PARA VERSION 18.00 DE SEDALPLUS EN ADELANTE

COMPATIBLE CON LAS NORMAS RAS 2016

INTRODUCCION

RESEÑA DEL AUTOR

Rafael Paredes Infante es ingeniero civil de la Universidad del Cauca y Magíster de Economía de la Universidad de Los Andes. Ha realizado numerosos cursos en administración, finanzas, mercadeo y computación. Fue durante dos periodos presidente de Acodal, siendo actualmente Miembro Honorario. Pertenece a la Sociedad Colombiana de Ingenieros, donde ha sido miembro de su Junta Directiva durante varios periodos. Es Socio Honorario de la Asociación Caucana de Ingenieros. Ha sido profesor de la Universidad Tecnológica del Magdalena y de la Universidad Javeriana. Durante su carrera profesional ocupó la Dirección General del Instituto Nacional de Fomento Municipal durante 5 años y La Gerencia General de Tubos Moore S.A. durante 7 años. Como Consultor Internacional prestó servicios al Banco Mundial, al Banco Interamericano de Desarrollo y a La Organización Panamericana de la Salud en varios países latinoamericanos. En Consultaría Nacional tiene amplia experiencia en diseño de Acueductos y Alcantarillados, áreas para las cuales ha desarrollado programas de computador. Fue Vicepresidente de Tecnología del Megabanco durante muchos años, habiéndole correspondido llevar a cabo el desarrollo de los sistemas del Banco.

SISTEMAS EXPERTOS

En computación los sistemas expertos son una rama de la *inteligencia artificial.* Su objetivo es producir programas que produzcan resultados similares a los obtenidos por personas expertas en cualquier área del conocimiento humano. Solo algunos pocos modelos de diseño pueden obtener resultados óptimos desde un punto de vista matemático como ocurre con los problemas que maneja, por ejemplo, la programación lineal. En el caso específico de los alcantarillados, como en muchas otras ramas de la ciencia, ha sido imposible desarrollar modelos de cálculo que puedan garantizar matemáticamente la solución óptima, de ahí la conveniencia de desarrollar sistemas expertos.

CLASES DE PROGRAMAS

Los programas de ingeniería se pueden clasificar en:

- **Programas de Diseño**, son programas que, a partir de la información de datos físicos, parámetros y especificaciones son capaces de decidir un diseño.

  En el caso específico de alcantarillado, deben ser capaces de definir, para cada uno de los tramos: los diámetros, pendientes y cotas del proyecto que garanticen el cumplimiento de las especificaciones técnicas. Un buen programa debe tener implícito el concepto de costo mínimo.

- **Programas de Revisión,** son programas que, a partir de los datos de un diseño previamente realizado, son capaces de revisar el funcionamiento para ver si se ajusta o no a las normas técnicas.

En el caso específico de alcantarillado reciben entre los datos de entrada los diámetros, las pendientes y las cotas de los tramos, a partir de las cuales calculan velocidades, fuerzas tractivas, profundidades, etc., para conocer si se ajustan o no a las normas del caso.

Puede observarse que los datos de salida de los programas de diseño de alcantarillados son los datos de entrada para los programas de revisión (ahí radica la principal diferencia).

Aunque los programas de revisión no son los más adecuados para realizar un diseño, a veces se les utiliza para esa finalidad, empleando una metodología iterativa basada en acierto y error (tanteando diámetros, pendientes, cotas), que mediante ajustes graduales pueda converger hacia una posible solución técnica que cumpla las normas. El procedimiento descrito, por estar basado en tanteos, normalmente carece de elementos sólidos que sirvan para garantizar que la solución técnica obtenida sea también la más adecuada desde el punto de vista de los costos.

El uso de programas de revisión para realizar diseños basados en la metodología de ajustes iterativos pueden enfrentar las siguientes dificultades: (i) problemas de convergencia, cuando corregidos los problemas que se han presentado durante una iteración, aparecen otros problemas que antes no existían y así sucesivamente sin que el procedimiento iterativo converja a una posible solución, (ii) eventos en que obtenida la convergencia hacia un diseño técnico que cumpla las normas, este resulte un mal diseño (o inclusive pésimo) desde el punto de vista económico y de funcionalidad. El autor de **SedalPlus** ha sido testigo de tales situaciones.

EL MODELO DE DISEÑO DE ALCANTARILLADOS

En resumen, un diseño de un alcantarillado sigue dos etapas complementarias:

1. Definición topológica del sistema, es decir planificar en qué orden deben interconectarse los tramos, para que conformen una malla donde los elementos deben concurrir hacia uno o más sitios de vertimiento final.
2. Las posibilidades de combinar los tramos para crear una topología específica crecen exponencialmente con el número de tramos, lo que hace que resulte imposible desarrollar modelos de fuerza bruta que contemplen todas las alternativas viables.

   La topología ideal debe tener en cuenta la topografía del terreno, de manera que se logre minimizar las profundidades y diámetros y de esa manera los costos. La topología es el elemento que más gravita en un buen diseño de alcantarillado. **SedalPlus**, siendo un sistema experto tiene capacidad de diseñar topologías eficientes.

3. Decidida la topología, el resto del diseño consiste en tomar decisiones, para cada tramo, sobre las combinaciones más adecuadas de los diámetros y las pendientes que cumplan el conjunto de especificaciones técnicas definidas para garantizar un buen funcionamiento. Este proceso, aunque sigue procedimientos de tipo más mecánico que el exigido para el diseño de la topología del sistema, de todas maneras, requiere cierto nivel de inteligencia, puesto que una buena decisión de la combinación de diámetros y pendientes no debe circunscribirse al tramo en cuestión, sino que debe atender las características de la topografía que sigue en muchos tramos, especialmente aguas abajo.

SedalPlus cuenta con algoritmos que lo dotan de una visión amplia de los tramos aguas abajo para definir adecuadas combinaciones de Diámetro y Pendiente.

En la terminología de **SedalPlus**, se hace mención a diseño manual, para referirse, a una topología definida completamente por el proyectista, mientras que el término diseño automático se reserva para una topología desarrollada totalmente por el programa. En ambos eventos, el resto del diseño, donde se definen las combinaciones de diámetros y pendiente de los tramos, será completamente automático, esto es realizada por **SedalPlus** sin necesidad de intervención humana.

Sin perjuicio de lo anterior, el proyectista podrá intervenir el proyecto, definiendo algunos tramos como restringidos, esto significa tramos nuevos, pero totalmente definidos en sus diámetros, pendientes y cotas, por el proyectista. **SedalPlus** respetará los tramos restringidos y realizará los acoples con el resto del diseño realizado automáticamente (mientras sea técnicamente factible). Los tramos restringidos pueden ser útiles en determinadas condiciones especiales (ver **ANEXO 2**), pero se recomienda utilizarlos con prudencia, pues mal usados podrían empeorar el diseño.

Para la simple revisión de proyectos, se pueden entrar todos los tramos como restringidos, de esta manera **SedalPlus** no hará modificaciones y se limitará a indicar si cumple o no las normas técnicas.

SedalPlus, como cualquier sistema experto, ha sido desarrollado con el objetivo de potencializar el trabajo de los profesionales del área, que, al desligarse de las tareas más rutinarias del diseño, podrán concentrarse en los aspectos donde un ser humano, con experiencia en el tema, resulta insustituible. Un ingeniero bien calificado, puede superar los diseños automáticos realizados por **SedalPlus.**

Por todo lo anterior se recomienda que el proyectista realice un diseño manual y use el automático realizado por el programa como una referencia que le ayude a determinar lo adecuado de su diseño. Cuando el diseño de **SedalPlus,** resultaré mejor (lo cual ocurre con frecuencia), este podrá tomarse como base para intentar mejorarlo aún más. Aunque ello, muchas veces no se logre, el proceso recomendado servirá para garantizar que el proyecto final sea suficientemente sólido.

En resume **SedalPlus**, permite 3 tipos de diseño:

1. Manual (La topología será diseñada totalmente por el proyectista).

2. Automático (Como no requiere que se haya definido previamente alguna topología, es muy útil para estudios de factibilidad de alternativas donde se varíen por ejemplo los sitios de vertimiento, para buscar costos mínimos. En muchos casos la adecuada ubicación de los vertimientos finales ayuda a obtener las mejores topologías).

3. Manual y Automático (Se pude realizar dentro de un mismo proceso, un diseño manual, que sea comparado con las mejores alternativas automáticas generadas por **SedalPlus**. El programa diseña 6 topologías automáticas, realiza los diseños completos, y muestra los mejores resultados (hasta 3 diseños automáticos) ordenados según: (i) menor profundidad promedio, (ii) menor diámetro promedio y (iii) menor profundidad máxima.

NORMAS RAS

Las normas colombianas para los sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales domésticas y pluviales están contenidas en el reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico, conocido con la sigla RAS. Se han producido 2 versiones: La RAS 2000, Recientemente remplazada por la RAS 2016. Está versión del programa **SedalPlus** permite ajustarse al RAS 2016, aunque no fue desarrollada exclusivamente para el caso colombiano, y puede ser utilizada en otros países donde el diseño se regule por las normas más tradicionales. El programa permite deshabilitar las normas especiales agregadas por el RAS que el consultor no desee aplicar.

Las normas especiales del RAS adicionan un alto nivel de complejidad a los proyectos de alcantarillado y hace extremadamente difícil la elaboración de diseños manuales que garanticen el cumplimiento simultáneo de todas las reglas. Inclusive el diseño auxiliado por hoja electrónica resulta demasiado engorroso.

SedalPlus resuelve de una manera eficiente tales dificultades y adicionalmente permite mejorar considerablemente el diseño. Aún en ausencia de las dificultades impuestas por las normas del RAS, el programa constituye una mejora sustancial sobre los diseños manuales o realizados con hoja electrónica.

En el desarrollo de este Manual, además de presentar consideraciones generales, (algunas no aplicables al caso colombiano), se harán planteamientos explícitos, para aspectos directamente relacionados con las normas especiales del RAS.

En el RAS debe distinguirse entre el **Titulo A** que incluye normas obligatorias (realmente son muy pocas) que se aprueban mediante una resolución del ministerio de vivienda y el **Titulo D** que, no siendo obligatorio, intenta incluir aspectos que se consideran importantes para un buen diseño, lo que lo convierten técnicamente en un manual de diseño. En las versiones anteriores **SedalPlus** por defecto ofrecía las normas de ambos títulos, a partir de la versión 11 se cambió la estrategia y se incluyen por defecto solo las normas que se consideran más convenientes, sin importar que sean o no del RAS.

REVISION DEL DISEÑO MEDIANTE MODELOS AVANZADOS

Entre las normas RAS 2016 en **6.2.1** se incluye lo siguiente: “En aquellos casos en los cuales después de haber realizado el diseño de la sección transversal, se tengan tuberías con diámetros iguales o superiores a 600 mm y menores que 900 mm, se debe llevar a cabo una comprobación del comportamiento hidráulico del sistema diseñado, en forma ensamblada, bajo las condiciones de flujo gradualmente variado. En aquellos casos en que el sistema de recolección y evacuación de aguas residuales y aguas lluvias tengan tuberías con diámetros iguales o superiores a 900 mm, la comprobación del diseño debe realizarse bajo la condición de flujo no permanente”.

Para facilitar la **revisión** mencionada en el punto anterior **SedalPlus,** a partir de la versión **10.00**, integró en su estructura el programa de la **EPA** (Agencia de protección del ambiente de los Estados Unidos) denominado SWMM**,** que incluye el modelo de revisión más avanzado para flujo no permanente, con análisis dinámico, basado en las ecuaciones de Saint Venant, con capacidad de predecir con la mayor exactitud posible el funcionamiento hidráulico de los alcantarillados. Tal revisión se realiza automáticamente, sin necesidad de introducir ningún dato adicional, seleccionando una opción del menú.

La revisión se hace para la totalidad de los tramos del programa, cualesquiera sean los diámetros. Por lo anterior la revisión es mucho más completa y exigente que lo solicitado en el RAS 2016.

En general los diseños sanitarios pasan la verificación sin problemas. En algunos casos (especialmente de alcantarillados que involucren aguas pluviales con grandes caudales y elevados diámetros), en algunos casos, la revisión exigirá que sea complementada mediante el análisis de los perfiles de algunos tramos donde en principio podría presentarse trabajo a presión en algunas tuberías, aunque generalmente el resultado es que todo está correcto**. SedalPlus,** indica cuales tramos merecen ser revisados.

La revisión demostrará que los diseños realizados con **SedalPlus** con el modelo de flujo uniforme pasan sin problemas la verificación, y en general no presentan problemas de tramos sobrecargados o que presenten inundaciones, y en el análisis de los perfiles, que se puede hacer con el programa SWWMM, con archivos generados por **SedalPlus** para ese propósito, se podrá observar que siempre son adecuados los llenados de las tuberías, indicativo de un diseño eficiente.

Seguidamente se transcribe lo que al respecto dice el manual de SWMM**:**

“El modelo de transporte de la Onda Dinámica (Dynamic Wave Routing) resuelve las ecuaciones completas unidimensionales de Saint Venant y por tanto teóricamente genera los resultados más precisos. Estas ecuaciones suponen la aplicación de la ecuación de continuidad y de cantidad de movimiento en las conducciones y la continuidad de los volúmenes en los nudos”.

“Con este tipo de modelo de transporte es posible representar el flujo presurizado cuando una conducción cerrada se encuentra completamente llena, de forma que el caudal que circula por la misma puede exceder del valor de caudal a tubo completamente lleno obtenido mediante la ecuación de Manning. Las inundaciones ocurren en el sistema cuando la profundidad (calado) del agua en los nudos excede el valor máximo disponible en los mismos (altura de los pozos de inspección). Este exceso de caudal bien puede perderse o bien puede generar un estancamiento en la parte superior del nudo y volver a entrar al sistema de saneamiento posteriormente”.

“El modelo de transporte de la Onda Dinámica puede contemplar efectos como el almacenamiento en los conductos, los resaltos hidráulicos, las pérdidas en las entradas y salidas de los pozos de registro, el flujo inverso y el flujo presurizado. Dado que resuelve de forma simultánea los valores de los niveles de agua en los nudos y los caudales en las conducciones puede aplicarse para cualquier tipo de configuración de red de saneamiento, incluso en el caso de que contengan nudos con múltiples divisiones del flujo aguas abajo del mismo o inclusive mallas en su trazado.

“Se trata del método de resolución adecuado para sistemas en los que los efectos de resalto hidráulico, originados por las restricciones del flujo aguas abajo y la presencia de elementos de regulación tales como orificios y vertederos, sean importantes. El precio que generalmente es necesario pagar por el empleo de este método es la necesidad de utilizar incrementos de tiempo de cálculo mucho más pequeños, del orden de 1 minuto o aún menores. Durante el cálculo SWMM reducirá automáticamente el incremento de tiempo de cálculo máximo definido por el usuario si es necesario para mantener la estabilidad numérica del análisis”

REVISION MEDIANTE SWMM

Como fue mencionado, SWMM**,** se integró completamente con **SedalPlus**, que quedó capacitado para correr el programa de la EPA, para revisar los diseños como si fuese una rutina propia.

En **SedalPlus** se incluyó una opción que permite correr de manera totalmente transparente la revisión, seleccionando la opción: Diseño/Revisar con Swmm.

Otra opción de **SedalPlus**: List. Diseño/Reporte Swmm, permite generar el listado de los resultados producidos por SWMM y dos opciones adicionales permiten listar un análisis que compara algunos datos de los dos programas, e indica que nodos o tramos merecen ser revisados con mayor detalle: La primera opción: List. Diseño/Análisis Swmm (Total) muestra todo el proyecto y la segunda: List. Diseño/Análisis Swmm (Solo a revisar) solamente los tramos que exigen una revisión adicional, mediante un análisis de los perfiles para comprobar que no hay nodos sobrecargados o que presenten inundaciones. En general los proyectos pasan también esta segunda revisión.

Aunque **SedalPlus**, incorpora toda la lógica de revisión necesaria y no requiere la presencia explicita de SWMM**,** se recomienda bajar desde Internet, este último programa que es de distribución gratuita, para utilizarlo directamente cuando sea conveniente. Además de la versión original que se puede bajar fácilmente desde la dirección: http://www.epa.gov/ednnrmrl/models/SWMM/index.htm., existe también una versión en español, desarrollada por la Universidad Tecnológica de Valencia (España) en convenio con la EPA, cuya dirección de acceso en Internet es: http://www.gmmf.upv.es *(*buscar en “desarrollo/software/SMM5.0vE”). ***SedalPlus*** *utiliza el programa en Ingles por estar generalmente varias versiones más adelantado.* Se pueden bajar ambas versiones pues no son incompatibles y además ocupan muy poco espacio en el disco duro.

Los archivos de proyectos generados por **SedalPlus** durante la revisión del proyecto mediante SWMM, se denominan: “SWMM – nombre del proyecto.inp” y se localizan en una carpeta (relocalizable) que debe incluirse en el menú: Especificaciones\Configuración General Proyecto. Tales archivos pueden ser accesados desde el programa SWMM, cuando se desee manejarlos directamente (versión en inglés o español).

Como SWMM, requiere, en los diseños distintos a onda dinámica, que los tramos iniciales tengan pozos de inspección independientes para que la topología sea arborescente (en forma de árbol) y no mallada (como las redes de acueducto), **SedalPlus**, realiza una conversión de la nomenclatura, en los nodos iniciales, añadiéndoles al final un guión seguido de los números 1, 2, 3 o 4, para indicar que tienen pozos de inspección independientes. El guión es un carácter no accesible cuando se capturan los datos en **SedalPlus** y en consecuencia es imposible crear inconsistencias.

Aunque SWMM, permite usar una interfase grafica para la introducción de los datos, **SedalPlus** no necesita utilizarla, aunque puede hacerlo (**ANEXO 12**), pues transfiere la información que genera automáticamente, a la lógica de ejecución de ese programa que maneja internamente, sin necesidad de digitar manualmente ningún dato.

No obstante, la ausencia, en algunos casos, de la interfase gráfica, desde SWMM será posible generar los perfiles hidráulicos (con la evolución de los niveles de agua a través del tiempo) y otros gráficos con el simple expediente de indicar el rango de tramos que se quieran observar (por la nomenclatura de sus tramos o nodos). Cuando falta la interfase gráfica, esta labor conviene apoyarla con los mapas (planos) del diseño y en los listados pertinentes.

En el menú “Lst. Diseños”, existe la opción:” Diseño Hidráulico para Swmm”, en que la nomenclatura de los tramos corresponde a la que se utilizó para este programa. Los datos presentados corresponden al diseño SWMM, en vez de los obtenidos mediante el modelo de flujo uniforme de **SedalPlus**.

En el resto del manual se irán incluyendo detalles específicos sobre SWMM cuando sean pertinentes. Se recomienda estudiar el **ANEXO 6** que contiene mayor información sobre el tema.

MANEJO DE LAS NORMAS EN SedalPlus

SedalPlus ha sido estructurado para permitir desde un manejo flexible de las normas técnicas hasta el más estricto posible. A continuación, se detalla cómo se pueden manejar en **SedalPlus** algunos escenarios:

- **Tramos existentes.** Frente al evento de tramos existentes, diseñados con normas anteriores menos exigentes o ante la presencia de algunas deficiencias de construcción que impidan el cumplimiento de algunas normas, el sentido común indica, por razones de costo, la conveniencia de conservar tales tramos dentro del nuevo proyecto, mientras no haya evidencias ciertas de mal funcionamiento.

  Por lo anterior **SedalPlus** no realiza la eliminación automática de tramos con algunas deficiencias de velocidad, fuerza tractiva, profundidad, llenado del tubo, etc., a menos que se trate de problemas inaceptables, tales como que el caudal supere la capacidad del tubo, o desempalmes de cotas (tramo aguas abajo más alto que el precedente).

  Cuando el consultor tenga evidencias de que el funcionamiento es inaceptable puede marcar los tramos afectados con una señal que ordenará su eliminación durante el proceso de cálculo, usando en “Tramos” el botón “Quitar Tramo”. No se recomienda una eliminación de frente, es decir tratarlos como tramos nuevos, para que el programa pueda incluir los costos de sustitución que se derivan de mantener en funcionamiento el servicio mientras se hace el reemplazo. En otras palabras, la eliminación de tramos construidos con deficiencias debe ser una decisión expresa del consultor. En los listados los tramos existentes se identifican con la convención: “**T.E**.”. Para forzar la aplicación estricta de las normas basta eliminar manualmente todos los tramos existentes con cualquier deficiencia, apoyándose en los listados que ofrece **SedalPlus**:

- **Tramos empalmados**. Cuando tramos nuevos deban verter sus aguas a tramos existentes que no estén suficientemente profundos para permitir físicamente el empalme, **SedalPlus** ofrece la posibilidad de usar algunas especificaciones denominadas mínimas minimorum, con valores menos exigentes que los de norma, y que solo se utilizarán cuando sea estrictamente necesario para lograr los empalmes.

  Con lo anterior se puede otorgar un rango de flexibilidad tendiente a aprovechar al máximo el sistema existente. Se recomienda que las normas mínimas minimorum correspondan con las que se permitían cuando se realizó el diseño original.

  Es posible que en el diseño anterior se hayan incluido tramos que aún no han sido construidos, o que se haya previsto que algunos pozos recibirían áreas de desarrollo futuro, pero que tales previsiones se hayan realizado frente a normas anteriores menos exigentes que las actuales.

  Los tramos nuevos que por razones de empalme usen especificaciones mínimas minimorum se denominan “empalmados” y se identifican en los listados con la convención “**E.E**.” Por lo anterior el tratamiento de los tramos existentes se extiende a los empalmados. Para forzar la aplicación estricta de las especificaciones basta igualar las especificaciones mínimas minimorum con los valores de norma.

- **Tramos restringidos. SedalPlus** permite utilizar los denominados tramos restringidos que son tramos nuevos, pero completamente definidos en sus diámetros y cotas por el proyectista por alguna razón especial. En tales eventos, el programa respeta el diseño del consultor, mientras sea viable desde el punto de vista de la Capacidad (que el caudal quepa en el tubo) y del Empalme (que el tramo aguas abajo sea más bajo que el precedente). Si el diseño restringido implica algunas deficiencias frente a las normas, estas serán indicadas en los listados.

  Aunque los tramos restringidos tienen un uso más general (ver **ANEXO 2**), pueden utilizarse para forzar empalmes de tramos nuevos con existentes, cuando fuere insuficiente la flexibilidad otorgada por las especificaciones mínimas minimorum, pero de todas maneras se considere que forzar el empalme sea la mejor solución. En los listados los tramos restringidos se identifican con la convención: “**T.R**.”. Para forzar la aplicación estricta de las normas se debe evitar la utilización de “tramos restringidos”, o solamente emplearlos cuando los cálculos manuales aseguren el cumplimiento de todas las normas.

- **Diámetros excluidos.** El RAS 2000 en el Titulo D (no es obligatorio) excluía expresamente algunos diámetros del cumplimiento de las normas de empalme de energía para régimen subcrítico y supercrítico (inferiores a 500 mm). Por compatibilidad se conserva esa posibilidad.

  Tales diámetros se identifican en los listados con la convención: “**D.E**. (diámetro excluido)”, para indicar, en presencia de un valor claramente por fuera de la norma, que la situación es aceptable.

En resumen, **SedalPlus** garantiza siempre el cumplimiento de las normas que se hayan especificado para los tramos nuevos. En presencia de tramos existentes (T.E), permite que tales tramos, así como los empalmados (E.E), los restringidos (T.R.), puedan presentar algunas deficiencias mientras, a juicio del consultor, éstas no sean graves. No obstante, lo anterior el consultor cuenta con la posibilidad de forzar el cumplimiento de las normas en todos los casos. En otras palabras, el proyectista tendrá siempre la última palabra sobre el cumplimiento de las especificaciones o recomendaciones técnicas.

RESUMEN GENERAL DE SEDALPLUS

RESUMEN GENERAL

SedalPlus es un sistema experto de computador, desarrollado para el diseño de Redes de Alcantarillados de todas las clases: sanitarias, pluviales, combinadas y sistemas mixtos. El programa puede realizar el diseño automático de la topología del sistema (forma como se interconectan los tramos), para luego ejecutar el diseño hidráulico (definición de diámetros, cotas y pendientes) que satisfagan las especificaciones técnicas, los parámetros de diseño y los de construcción. Además, genera las cantidades de obra y calcula los presupuestos a partir de los precios unitarios que se suministren. También permite la revisión de proyectos.

Las versiones de **SedalPlus** se han hecho compatible con las normas para el diseño de alcantarillados conocidas por la sigla RAS 2016 (Normas Colombianas), aunque permite su no utilización (parcial o total) para el caso de otros países o situaciones donde su aplicación no sea pertinente ni obligatoria.

Desde la versión (10.00), se integra **SedalPlus** con el programa SWMM de la **EPA** (agencia de protección del ambiente de E.E.U.U) que trabaja con las ecuaciones de Saint Venant, modelo avanzado, que, aunque no es capaz de diseñar, porque exige conocer los datos de un diseño anterior (diámetros, cotas y pendientes), permite revisar con la mayor exactitud posible el funcionamiento hidráulico. Realizado el diseño por **SedalPlus**, sin abandonar para nada el programa ni tener que introducir información adicional, se puede ordenar la revisión por SWMM y producir el reporte correspondiente. La lógica de SWMM, opera como una subrutina de **SedalPlus**. En general la revisión por SWMM confirmará lo acertado del diseño de **SedalPlus**, de manera que usualmente no se requerirán modificaciones.

A partir de la versión 12.00, **SedalPlus** añadió la posibilidad de diseñar los alcantarillados pluviales o combinados con los hidrogramas de SWMM, aunque conserva la posibilidad de continuar usando el método racional. Cabe advertir que este tiene limitaciones que hacen que solo se recomiende para áreas inferiores a 80 hectáreas (200 acres). SedalPlus incluye dos formas de realizar los diseños con el modelo de la EPA: (i) en el caso de que estén disponibles los hietogramas del aguacero de diseño (en mm/hr) se introducen tales datos (hasta 5 series de 15 valores c/u) para distintos tiempos sucesivos, espaciados entre 5 y 30 minutos, (ii) cuando, como es bastante usual, solo se conocen las curvas IDF (Intensidad, duración, frecuencia), el programa aplicará automáticamente el método de los bloques alternados, de Chow et Al, que calcula los hietogramas a partir de las ecuaciones de aguas lluvias. Al SWMM se le ajustaron algunos parámetros, para lograr que los diseños con el método racional y con los hidrogramas de SWMM resulten bastante similares en sus dimensiones y caudales.

La experiencia ha demostrado que el método racional, a pesar de sus limitaciones, ha permitido realizar adecuados diseños que funcionan razonablemente bien. Los diseños basados en hidrogramas conservan la automaticidad que caracteriza a **SedalPlus** que permite obtener resultados de mínimo costo a partir de las especificaciones y los datos topográficos, sin necesidad de intervención humana.

La primera versión del programa se desarrolló en la década de los setentas y ha experimentado una evolución permanente hasta convertirse en un sólido sistema experto. Inicialmente el uso del programa se limitaba a la prestación de servicios directos a algunas firmas de ingeniería. Ahora se pone, de manera gratuita, a través de Internet, al servicio de la Ingeniería Sanitaria de todos los países.

Entre las funciones que realiza **SedalPlus** se destacan las siguientes:

- Revisión exhaustiva de los datos de entrada.
- Diseño del proyecto (topológico e hidráulico) después de analizar numerosas alternativas.
- Verificación de los cálculos realizados (con una rutina diferente a la que diseña).
- Generación de las cantidades de obras totales y por etapas de construcción.
- Clasificación de los tramos y pozos de inspección por rangos de profundidades.
- Elaboración de los presupuestos de las obras nuevas.
- Elaboración de presupuestos de etapas de construcción.
- Actualización del costo de las obras existentes.

SedalPlus es una poderosa herramienta destinada a auxiliar a la Ingeniería Sanitaria en el diseño de alcantarillados que permite mejorar sustancialmente la calidad de los proyectos y reducir drásticamente el tiempo de diseño tradicional, comprimiendo muchos meses de trabajo en pocas horas, con la ventaja adicional de eliminar los errores de trascripción o de cálculo.

SedalPlus hace realidad el estudio de alternativas, para seleccionar la que mejor satisfaga los requerimientos técnicos y económicos.

SedalPlus permite realizar el diseño integrado de un proyecto que aproveche las redes existentes, las cuales conformarán con las tuberías nuevas un conjunto hidráulico único. El programa cuenta con poderosos algoritmos para realizar el empalme de las tuberías nuevas con los existentes. Cuando el acople falle en el primer intento, se hará un nuevo reintento empleando las especificaciones mínimas-minimorum y reajustando los tramos aguas arriba previamente calculados hasta donde sea necesario.

SedalPlus diseña cualquier tipo de alcantarillado. Incluye las siguientes opciones: (i) sistemas sanitarios calculados por áreas o por longitudes tributarias, (ii) sistemas combinados (unitarios) por áreas tributarias (método racional), (iii) sistemas pluviales por áreas tributarias (método racional) y (iv) sistemas mixtos por áreas tributarias (método racional), (v) sistemas combinados (hidrogramas SWMM basados en curvas IDF - método de bloques alternados) (vi) sistemas pluviales (hidrogramas SWMM basados en curvas IDF - método de bloques alternados), (vii) sistemas combinados (hidrogramas SWMM basados en hietogramas), (viii) sistemas pluviales (hidrogramas SWMM basados en hietogramas). Por sistema mixto se entiende aquel que reúne dentro de un solo conjunto, subsistemas sanitarios, combinados y/o pluviales.

SedalPlus diseña correctamente cualquiera sea la conformación topográfica del terreno: plano, ondulado, quebrado o mixto. El programa cuenta con poderosos algoritmos que lo dotan de una "visión amplia" del conjunto topográfico y que le permiten adoptar en cada caso las mejores combinaciones de diámetros y pendientes que se ajusten a la topología del sistema.

SedalPlus es sumamente flexible, pues permite al proyectista decidir los criterios técnicos que considere más adecuados dentro de una amplia gama de posibilidades. Para cada tramo es posible cambiar algunas de las especificaciones generales por otras de carácter individual.

SedalPlus, para el cálculo de los caudales sanitarios, permite definir varias zonas (hasta 15), cada una de ellas con diferentes caudales unitarios de aguas negras e infiltración más conexiones erradas, así como con distintas densidades de población. El programa garantiza la adecuada autolimpieza del sistema, usando como parámetro de control la velocidad mínima real, modelo RAS 2016, pendiente mínima para cada diámetro, o mejor aún una fuerza tractiva mínima, previamente especificadas.

Aunque actualmente en desuso, por compatibilidad con proyectos antiguos, también permite controlar proyectos con la velocidad mínima a tubo lleno.

SedalPlus, para el cálculo de los caudales pluviales, permite la utilización simultánea de hasta 5 ecuaciones pluviales con diferentes periodos de retorno.

SedalPlus permite adicionar en cualquier tramo, áreas de desarrollo futuro sanitario y/o áreas brutas pluviales. Para el caso de alcantarillados combinados, el programa con base en el factor de alivio que se escoja calculará de manera automática el caudal aliviado, así como los componentes de aguas negras e infiltración más aguas lluvias que continuarán en el sistema.

SedalPlus está dotado de sólidos controles de calidad de la información que se le suministra para el diseño, detectando cualquier inconsistencia de los datos de entrada. El programa además verifica que el sistema constituya conjuntos hidráulicamente continuos.

SedalPlus es un programa totalmente confiable que después de ejecutar el diseño, permite realiza con una rutina distinta a la que diseñó, la verificación exhaustiva del proyecto para comprobar su conformidad con las especificaciones. En la revisión del proyecto solamente se podrán encontrar problemas relacionados con tuberías existentes que hubiesen sido construidas sin cumplir las normas, puesto que los tramos nuevos diseñados por el programa se ceñirán necesariamente a las especificaciones.

SedalPlus es un programa de diseño completo. Además de realizar el diseño topológico e hidráulico de las redes de alcantarillado, genera las cantidades de obra, clasifica los tramos y los pozos por rangos de profundidad y elabora los presupuestos detallados hasta nivel de etapas de construcción. Además, estima el costo actualizado del sistema existente que se seguirá utilizando en el nuevo diseño. En el presupuesto se pueden adicionar ítems globales fijos, tales como son: Estaciones de Bombas, Sifones y otras estructuras no diseñadas directamente por el programa. En general, la única información que debe entregarse para la elaboración de los presupuestos de construcción, son los precios unitarios, diligenciando el formulario que para tal efecto suministra el programa.

SedalPlus cuenta con una capacidad prácticamente ilimitada. Permite subdividir el proyecto en sectores, así como incluir dentro de un mismo sector distintos subsistemas que tengan vertimientos independientes. El cálculo de las cantidades de obra y los presupuestos puede realizarse a nivel de sector, de etapa de construcción o agregados para la totalidad del proyecto. En distintos subsectores se pueden modificar las especificaciones.

SedalPlus es un programa ciertamente amigable, muy sencillo de manejar, basado en menús, pantallas de manejo intuitivo, y dotado de captura inteligente de los datos. Produce listados impresos que reproducen la información suministrada, con la relación de inconsistencias halladas, a fin de facilitar las correcciones del caso.

SedalPlus produce listados impresos bien diagramados, en tamaño carta, de muy fácil lectura y comprensión, muy similares en presentación y contenido a los tradicionalmente producidos en los diseños manuales. Los listados incluyen todos los detalles mecanográficos que permiten su incorporación directa a la memoria técnica, sin que se requiera trabajo dactilográfico adicional.

SedalPlus entrega prácticamente la totalidad del material que constituye la memoria técnica. El único capitulo que debe producirse manualmente es el que describe el proyecto y los cálculos de población y demanda que sirvan para justificar los parámetros de diseño.

SedalPlus libera al Ingeniero Sanitario de operaciones matemáticas dispendiosas para que pueda dedicarse a lo fundamental del proyecto como es la formulación de alternativas que permitan mejorar el diseño tanto desde el punto de vista técnico como del económico. El programa dará muy rápidamente las respuestas sobre la viabilidad de cada alternativa formulada.

SedalPlus permite la rápida actualización del proyecto y de sus presupuestos, cuando se presenten cambios imprevistos durante la etapa de construcción, sin que sea necesaria la paralización de los trabajos (por la velocidad con que rediseña). Además, simplifica enormemente la preparación de los Pliegos de Licitación y la definición de etapas de construcción que se ciñan a la financiación disponible.

SedalPlus limita los diseños al empleo de tuberías circulares y ductos cuadrados cuando se haya superado el mayor tamaño de tubería circular. No incluye, por ahora, canales abiertos Cuando se requieran estructuras de ese tipo el diseño tendría que ser manual o calculado por otros programas, sin perjuicio que los subsistemas donde aplican las tuberías circulares se diseñen con **SedalPlus**.

SedalPlus, se apoya en las más recientes recomendaciones tecnológicas, en especial las publicadas en el manual 60 de la ASCE (sociedad de ingenieros civiles de EEUU.) realizado en unión con la WEF (Water Enviromment Federation). Para el diseño, cuando requiere usar las ecuaciones de Saint Venant o realizar diseños basados en hidrogramas, interactúa, de manera totalmente transparente para el usuario, con el reconocido programa SWMM de la EPA (agencia de la protección del ambiente de EEUU). Para el control de autolimpieza permite la utilización de los modelos más empleados: velocidad mínima a tubo lleno, modelo ingles Ciria 3, velocidad mínima real, Fuerza Tractiva, pendiente mínima para cada diámetro (usado por Ten States, Chile y México, entre otros). Para los caudales máximos de diseño permite utilizar los modelos más reconocidos: Harmon, Babbit, Flores, Los Angeles, Tchobanoglous, Gaines o un valor fijo. Para los caudales mínimos de diseño permite usar el máximo horario, el máximo diario, el caudal medio, el mínimo diario, el mínimo horario o el caudal inicial máximo horario. Para las relaciones hidráulicas permite usar n/N variable (como recomendó Camp en el pasado) o n/N = 1 (como recomienda actualmente la ASCE). Para el coeficiente de Manning, además de emplear un valor fijo para cada tipo de material (dependiendo de su lisura), adiciona la recomendación de la ASCE de utilizar un valor para cada diámetro, que no depende de la clase de material de la tubería.

SedalPlus puede definirse como una herramienta de diseño, con dos características relevantes: (i) interactividad y (ii) capacidad de simulación. Mientras la índole interactiva permite una gran comunicación con el responsable del Diseño, quien mediante el adecuado manejo de criterios técnicos puede ordenarle al programa que ejecute el diseño deseado, la capacidad de simulación permite conocer con asombrosa rapidez la incidencia de cualquier modificación por pequeña que sea, sobre el proyecto y sus costos.

Finalmente cabe destacar que **SedalPlus** está organizado para cumplir de la manera más sencilla posible su función básica: producir un buen diseño y presentar adecuadamente los resultados. Sus menús están organizados de manera tal que recorriéndolos de izquierda a derecha (y de arriba hacia abajo), se sigan ordenadamente todos y cada uno de los pasos necesarios para generar el diseño y producir los listados que le sirven de sustento (memoria técnica). El programa se liberó de rutinas innecesarias para su objetivo final, que se incluyen en algunos programas similares, y que en muchos casos solo sirven para jugar con algunos datos, pero que con frecuencia distraen y confunden al usuario sobre el manejo del programa.

Siendo un sistema experto **SedalPlus** sabe, en general, tomar de manera automática las mejores decisiones técnicas que son de su resorte y también conoce en qué casos debe ofrecer alternativas que permite al Consultor intervenir manualmente el proyecto para la toma de decisiones que convenga apoyar en la experiencia humana.

RESUMEN

En resumen, **SedalPlus,** permite hacer diseños duales completos basados en el método de flujo uniforme y también en las avanzadas ecuaciones de Saint Venant (apoyándose en SWMM). El consultor decidirá cuál de los dos modelos presentará en su proyecto final. Para generar el modelo más avanzado, basta oprimir solamente un botón. Ambos diseños serán correctos dentro de sus propias especificaciones

ANEXOS

Al final de este manual se incluyen varios anexos que se recomienda leer, pues contienen información complementaria muy importante sobre: **SedalPlus**, las normas RAS y algunos aspectos a considerar para realizar buenos diseños. Además, incluye comentarios sobre los ejemplos de diseño que se adicionan durante la instalación del programa, e información sobre otros programas orientados al modelaje.

ESTRUCTURA Y MANEJO DE SEDALPLUS

ESTRUCTURA GENERAL DE SEDALPLUS

La mejor forma de describir la estructura general de **SedalPlus** es transcribiendo el contenido de su Menú Principal, como sigue:

Archivos

- Abrir (Permite abrir un proyecto anteriormente calculado o iniciar uno nuevo).
- Recuperar Archivo original (Recupera el archivo original cuando ha sido remplazado por otro generado automáticamente).
- Generar proyecto simulado (Genera proyectos para hacer simulaciones).
- Entrar Archivo Swmm (Permite cargar, en un proyecto nuevo, la captura de datos realizada desde SWMM, utilizando la interfase gráfica de ese programa).

Mapa Números de Froude (Muestra una matriz de números de Froude para distintas pendientes y llenados del tubo)

Especificaciones (Basadas en las modificaciones adoptadas en 2016 al Ras 2000)

Configuración General Proyecto. Incluye:

- Identificación del proyecto (Entidad, Nombre del proyecto, fecha, etc.).
- Clase de diseño (sanitario, combinado, pluvial o mixto con flujo uniforme, combinado o pluvial modelo Swmm, basado en curvas IDF o hietogramas)
- Coeficiente Máximo Horario para el diseño sanitario (Harmon, Babbit, Flores, Los Angeles, Tchobanoglous, Valor Fijo).
- Coef. Mínimo sanitario (Usar: Máximo Horario, Máximo Diario, Caudal Medio, Mínimo Diario, Mínimo Horario, Valor Fijo).
- Control de autolimpieza (velocidad mínima a tubo lleno, Modelo Ciria 3 Velocidad mínima real, Fuerza tractiva y/o Pendientes mínimas para cada tramo).
- Diseño Topología Hidráulica (Solo Manual, Solo Automático, Manual y Automático).
- *Normas especiales RAS 2016, Evitar régimen Crítico).*
- Método de cálculo (revisión) con SWMM (Onda dinámica, Onda cinemática, Flujo Uniforme).
- Modelo de infiltración para usar con Swmm (Horton, Green Ampt, Número de Curva).
- Relaciones Hidráulicas (Usar n/N = 1, Usar n/N variable – recomendación ASCE)
- Método de Cálculo SWMM: Onda Dinámica, Onda Cinemática o Flujo Uniforme.

- Coeficiente de Manning: Usar recomendación ASCE o Usar Valores Tradicionales.
- Directorio donde se ubicarán los archivos SWMM de interfase generados por **SedalPlus**.

Nota: Algunos de los parámetros anteriores deben ser complementados con valores a incluir en las especificaciones generales, sanitarias y/o pluviales. El programa ofrece valores por defecto que pueden ser modificados.

- Diámetros comerciales a utilizar en el diseño. (tabla modificable – para diseño)
- Pendientes Mínimas (una para cada diámetro – para diseño)
- Rangos profundidad excavaciones (para los presupuestos).
- Anchos de zanja (para los presupuestos).
- Rangos profundidad pozos (para los presupuestos).
- Diámetros pozos (para los presupuestos)
- Especificaciones generales (para diseño).
- Especificaciones sanitarias (para diseño).
- Especificaciones pluviales (para diseño).
- Valores unitarios sanitarios (para diseño).
- Ecuaciones de aguas lluvias (para diseño).
- Hietogramas SWNN (para diseño)
- Ajustes Swmm (para diseño)
- Factor de reducción pluvial (para diseño)
- Datos de construcción (para los presupuestos).

Tramos (entrada de tramos y reordenamiento de los mismos)

- (Entrada de los datos de los tramos).

Controles

- Verificación de las especificaciones.
- Verificación preliminar de los tramos.
- Verificación de nomenclatura y cotas.
- Verificación del ordenamiento hidráulico (solo aplica para diseños manuales):

Listados generales

- Listados de especificaciones.
- Listados de datos generales de los tramos.
- Listado de datos especiales de los tramos.
- Listado resumen de los tramos.
- Listado de relación ordenada de los Tramos.
- Listado de relación ordenada de los Pozos.

Diseño

- Diseño del Proyecto (presenta en pantalla los resultados de las alternativas analizadas).
- Revisión Diseño.
- Listado de evolución del cálculo.
- Listado de problemas encontrados.
- Listados de deficiencias encontradas.
- *Listado Deficiencias según normas especiales RAS*
- Revisar Con SWMM (correr la revisión del diseño mediante el programa SWMM de la EPA);

Listados de Diseño

- Listados de Diseño Hidráulico. (diámetros, pendientes, caudales, velocidades, fuerzas tractivas, etc.).
- Listados de Diseño Físico. (longitudes y cotas del terreno, cotas de clave, profundidades, cámaras de caída, etc.).
- Listado de solo colectores principales (diseño hidráulico).
- Listado de solo colectores principales (diseño físico).
- Listados de caudales sanitarios.
- Listados de caudales pluviales.
- Listados de Perdidas Menores.
- Listado de Pozos iniciales nuevos adicionados en el diseño (sirven para evitar tramos iniciales más profundos que otros tramos que comparten el pozo de inspección, y facilitar el acceso de los equipos de limpieza de las tuberías)
- Reporte SWMM (Lista los resultados de la revisión mediante SWMM – en Ingles)
- Listado de Análisis SWMM (Total). Listado que compara los caudales de diseño según **SedalPlus** y SWMM, señala algunos nodos y tramos donde es conveniente realizar verificaciones adicionales mediante la observación de lo que ocurre en los perfiles generados por SWMM cuando evoluciona el flujo. Contiene información muy útil para el manejo del proyecto en SWMM.
- Listado de Análisis SWMM (Solo a revisar). Listado igual al anterior pero que solo contiene los tramos que deben ser revisados.
- Diseño Hidráulico para SWMM. Listado que muestra los resultados del cálculo realizado por SWMM (es algo diferente a los datos obtenidos en el modelo de flujo uniforme) Emplea la nomenclatura que genera **SedalPlus** para ser usada en SWMM.

Cantidades de obra

- Definición de etapas de construcción (opcional)
- Cálculo de cantidades de obra.

Listados de obra

- Listados de etapas de construcción (opcional).
- Listados de cantidades de obra.
- Listados de clasificación de tramos y pozos de inspección
- Listados de formularios de precios (precios unitarios requeridos para el presupuesto del proyecto).
- Listado de formulario de precios totales (precios unitarios requeridos y no requeridos)

Presupuesto

- Entrada de precios unitarios.
- Entrada de precios globales.
- Cálculo del presupuesto.

Listados presupuesto

- Listados de precios unitarios.
- Listado del presupuesto de obra.

Listados resumen

- Listado resumen general del proyecto
- Listado del índice general del proyecto.

Ayuda

- Calculadora.
- Este Manual
- Acerca de...

OPERACIÓN RESUMIDA DE SedalPlus

Al igual que cualquier otro programa de computador la operación de **SedalPlus** puede sintetizarse en los siguientes pasos: (i) entrada de los datos, (ii) revisión de los datos, (iii) procesos de cálculo (diseño) y (iv) producción de listados.

La información que debe suministrarse a **SedalPlus** se puede agrupar en las siguientes áreas: (i) identificación del proyecto, (ii) clase de diseño, (iii) especificaciones técnicas, (iv) especificaciones de construcción, (v) datos topográficos de los tramos que constituirán el proyecto, y (vi) datos físicos de las tuberías existentes.

En el caso de diseño topológico "manual", la información de los tramos del proyecto debe estar ordenada según el sentido de flujos previamente establecido por el proyectista (ver Entrada de Tramos según sentido de flujo - página 33). En caso de seleccionar "solo diseño automático", los tramos se pueden introducir en cualquier orden, pero en los listados de salida los datos estarán ordenados según el sentido de flujos diseñado por **SedalPlus** para cada alternativa.

Después de comprobar, mediante los controles de calidad que los datos estén completos y además que no tengan inconsistencias, se procede a solicitar la ejecución del diseño hidráulico y el cálculo de cantidades de obra sin que se requiera ninguna intervención humana, pues **SedalPlus**, siendo un sistema experto, toma todas las decisiones necesarias. Seguidamente se pide al programa una lista de los precios unitarios requeridos para el cálculo de los costos. Suministrada esa información el programa procede a calcular los presupuestos de obra del proyecto. Para finalizar se solicita al programa la producción de los listados que constituirán la mayor parte de la memoria técnica del proyecto.

Recomendación

Para que **SedalPlus** pueda realizar un buen diseño automático, se recomienda que el proyectista haga una juiciosa selección de los sitios (o el sitio) de vertimiento final del sistema de alcantarillado. La anterior es la decisión de diseño más importante que requiere ser tomada directamente por el proyectista (**SedalPlus** no puede hacerlo por él), y que gravitará definitivamente en la calidad del proyecto. Desde luego, también en las topologías manuales, la localización de los vertimientos es un aspecto fundamental para la realización de un buen diseño.

Durante el proceso de entrada de la información de los tramos, **SedalPlus** permite que se señale cuáles de ellos corresponden a los vertimientos finales, escogiendo alguna de las siguientes opciones: (i) Vertimiento o (ii) Estación de Bombeo. Ambas opciones son funcionalmente equivalentes y solo se diferencian en el texto que se incluirá en los cuadros de cálculo (en observaciones).

Se recomienda que inicialmente se marquen los sitios finales del alcantarillado como Vertimientos, y solo cuando el diseño muestre que en algunos de ellos se requieren Estaciones de Bombeo, se haga el cambio, que solo obedece a razones estéticas.

ESTUDIO DE ALTERNATIVAS Y ANALISIS DE SENSIBILIDAD

Cada esquema de flujos que considere viable el proyectista, además de las que genera automáticamente **SedalPlus,** constituyen alternativas a ser consideradas, de manera que se pueda seleccionar la de menor costo.

SedalPlus realiza los cómputos completos de cada alternativa manual, en muy pocos segundos, y propone hasta 6 alternativas generadas automáticamente. El tiempo que toma el diseño automático de cada una de las alternativas dependerá del tamaño del proyecto y de la complejidad topológica, variando desde unos pocos segundos hasta algunos minutos (por alternativa).

Una alternativa puede no ser técnicamente viable cuando se presenta alguna de las siguientes condiciones: (i) En el caso de sistemas completamente nuevos, relativamente extensos, con terreno muy plano y sin estaciones elevadoras, las tuberías podrían enterrarse excesivamente, llegando a situaciones objetables. No existe otro posible inconveniente técnico en sistemas nuevos), (ii) En alcantarillados parcialmente construidos, es posible que el caudal de cálculo supere la capacidad de algunos colectores existentes, o que tuberías nuevas que deban verter sus aguas al sistema antiguo, a pesar de usar especificaciones mínimas minimorum, no cuenten con la diferencia de nivel requerida para hacer físicamente posible el empalme. Aun en los casos más difíciles, el programa ayudará al proyectista en la búsqueda de alternativas técnicamente factibles.

Para facilitar el estudio de las alternativas manuales, **SedalPlus** cuenta con rutinas que simplifican la reordenación del esquema inicial de flujos, sin que sea necesario introducir nuevamente los datos.

Por ser **SedalPlus**, en esencia, un programa de simulación es muy sencillo hacer con él complejos análisis de sensibilidad sobre cualquiera de las especificaciones y parámetros de diseño, para determinar su efecto técnico y económico. Lo anterior sirve para determinar cuáles vale la pena afinar y cuales son irrelevantes, de manera que sea suficiente especificar valores adecuadamente conservativos.

Para facilitar la toma de decisiones sobre estudios de alternativas o análisis de sensibilidad, **SedalPlus** ofrece un listado resumen que en una sola hoja muestra los principales indicadores técnicos y económicos resultantes de cada opción estudiada.

NOMENCLATURA

Se utilizará la siguiente nomenclatura: Los capítulos numerados con caracteres romanos y en negrilla de este manual son opciones del menú principal. Los títulos en mayúsculas y en negrilla corresponden a los submenús.

MANEJO DEL PROGRAMA

El programa se maneja dentro de los estándares de Windows, con algunas excepciones que se explicarán a continuación:

La tecla Intro (Enter), se aparta del manejo estándar de Windows que la utiliza para ejecutar la acción del botón que tenga el foco, dejando la tecla Tab para moverse al siguiente campo. Intro se usa, tal como se hacía en DOS, para terminar la captura de un dato y trasladarse al campo de captura siguiente.

La tecla Intro es la mejor ubicada en el teclado, inclusive se duplica en el teclado numérico, y en consecuencia es la más adecuada para agilizar el proceso de captura de datos. Para subir a un campo precedente se utiliza la flecha hacia arriba en vez de Mayúscula Tab (Shift Tab) como se hace en el estándar Windows. De todas maneras, los campos se pueden accesar también con el Mouse.

Los componentes de la pantalla, los botones y el manejo del Mouse, no difieren de los estándares de Windows (salvo el uso de ventanas embebidas y el manejo del área de captura de los datos, diseñados para hacer más operativo el programa), que se explican a continuación.

Las pantallas del programa contienen los siguientes elementos:

- **Botones**. Se ajustan al estándar Windows. De manera general se ubican en un área localizada en la parte inferior de la pantalla del programa. Ejecutan las acciones indicadas en el texto contenido en cada botón. Cuando se detiene el cursor del Mouse algunos segundos sobre cualquier botón, aparece una pequeña ventana amarilla (“Hint”), que indicará cual es la tecla que produce la misma acción que ese botón, para ser usada por quienes prefieran usar comandos en vez de botones.

- **Ventanas Superpuestas.** Son ventanas estándar de Windows que se pueden arrastrar por la pantalla con el cursor, y que exigen ser abandonadas mediante un botón tal como Aceptar, Cancelar, OK, SI (YES), etc. Tales ventanas se distinguen por mostrar en su parte superior una barra azul.

- **Ventanas Embebidas.** Son ventanas fijas, no estándar de Windows, que no pueden ser arrastradas con el Cursor, pero que tienen la ventaja de desmontarse automáticamente cuando se cambia de opción del menú general (ubicado en la parte superior de la ventana) sin necesidad de oprimir ningún botón, lo cual da un manejo más ágil para la navegación por el menú. Tales ventanas se distinguen por tener en su parte superior una barra gris o carecer de barra, estas últimas se utilizan para mensajes informativos muy volátiles.

- **Area de captura de datos.** La parte central de la ventana del programa, con fondo azul claro es el área donde se ejecutan las principales actividades del programa, tal como la captura de los datos. Los campos de datos capturables, aparecen enmarcados en recuadros que acotan el máximo número de caracteres que se puede capturar. El color de fondo es blanco cuando tiene el cursor (foco), es decir que están en capacidad de recibir los caracteres que se opriman en el teclado. Cuando no tienen el foco el fondo será azul claro. En el estándar Windows los campos son siempre blancos y para conocer el que tiene el foco debe mirarse el cursor que es difícil de observar.

La lógica de la captura de datos es la siguiente: Cuando se acaba de ingresar a un campo de captura que contenga información anterior, al digitar el primer nuevo carácter, el programa presume que desea borrar el dato anterior para remplazarlo y procede en consecuencia.

Un Click previo del Mouse al entrar a un campo se interpreta como un deseo de solo modificar parcialmente el dato anterior y no realiza el borrado automático.

En el evento anterior, cualquier carácter nuevo se insertará a partir de la posición del cursor, y los no deseables se podrán eliminar con la tecla Supr. Cuando por error se borre el dato anterior, con el botón RECUP. DATO se podrá recuperar.

Para terminar una captura de datos basta oprimir el botón Salir o escoger desplazarse a otra opción del menú. El programa graba automáticamente los datos cuando se abandona alguna pantalla.

I – ARCHIVOS

Cada proyecto se identifica por una extensión, definida por el proyectista, que se añade automáticamente a cada uno de los archivos generados por el sistema, cuyos nombres son predeterminados por **SedalPlus**. La extensión tiene 3 caracteres, de los cuales los 2 primeros deben ser alfabéticos y sirven para identificar cada proyecto. El último carácter debe ser numérico, e indica cual sector del proyecto (entre 1 y 9), se va a procesar, cuando este es multisector. El sector 0 (cero) sirve para indicar que el proyecto no tiene sectores. Cuando el proyecto si tiene sectores el 0 (cero) se reserva para realizar un acceso a **SedalPlus** con opciones del menú limitadas a generar cantidades de obra y presupuestos consolidados (agregados) de todos los sectores.

Cuando el proyecto no tiene sectores (sector único), al preguntar **SedalPlus** ¿Cuántos sectores tiene el proyecto?, se debe responder 1. Cuando el proyecto tiene sectores, cada uno de ellos se caracterizará por el último digito entre 1 y 9 y la pregunta ¿cuantos sectores tiene el proyecto? no aplica en este caso. Se recomienda que los sectores se numeren en orden consecutivo: 1, 2, 3, 4, etc., sin omitir ningún número intermedio, pues la totalización presupuestal no se podrá efectuar mientras falte algún sector intermedio.

SedalPlus organiza los proyectos por carpetas con la nomenclatura “XX-nombre del proyecto”, en que XX son las dos letras que identifican cada proyecto específico. Cuando se cambia el nombre del proyecto, el programa renombra automáticamente la carpeta del caso. Al interior de cada carpeta aparecen archivos con nombres asignados por **SedalPlus** y con la extensión “. XXn”, en que XX son las dos letras que identifican el proyecto y n el número del sector, o cero para proyectos de un solo sector (algunos archivos tienen al final de la extensión una letra adicional).

Las carpetas de los proyectos estarán contenidas en un directorio, previamente creado por el usuario del programa, que conviene identificar con un nombre que explique claramente su contenido, tal como: “Proyectos Alcantarillado”. Por defecto los proyectos se ubican en una carpeta creada durante la instalación del programa en la dirección: C:\Archivos de Programa**SedalPlus**\Database. Para los sistemas operativos en inglés “Archivos de Programa” se remplaza por “Program Files”. Paran las versiones de Windows de 64 bits la dirección por defecto es: C:\Archivos de Programa (x86) \SedalPlus\Database y para los sistemas operativos en inglés “Archivos de Programa” se remplaza por “Program Files (x86)”. En los sistemas operativos de 64 bits también existe “Archivos de Programa” o “Program File” (sin x86) pero se reservan para programas de 64 bits, mientras que x86 se usa para programas de 32 bits. El sistema operativo maneja automáticamente la situación anterior.

IMPORTANTE

Para relocalizar en la pantalla de **SedalPlus** un directorio se utiliza un componente, denominado explorador, que permite navegar por los archivos. Cuando se excede la navegación y por error se abre una subcarpeta indeseada, para reubicarse debe retrocederse por lo menos tres pasos y luego avanzar nuevamente hacia adelante hasta que se llegue a la carpeta deseada (por ejemplo “Database” y ahí oprimir abrir. Por un defecto del componente de Windows cuando solo se retrocede un paso y se oprime abrir, el programa llega nuevamente a la carpeta indeseada.

PANTALLA INICIAL

Al iniciar el programa se muestra la pantalla inicial que permite seleccionar un proyecto existente o incluir uno nuevo. La opción **ARCHIVOS/Abrir** del menú principal redespliega la pantalla inicial para cambiar de proyecto cuando se desee.

La pantalla inicial de **SedalPlus** cuenta con un explorador que permite navegar entre los directorios y subdirectorios para escoger la carpeta predefinida donde se almacenarán las carpetas de los distintos proyectos. Tal sitio se conservará para los siguientes cargues de **SedalPlus,** aunque se cierre la aplicación, mientras que con una nueva navegación sea reubicado. Cuando se agoten las combinaciones de letras que caracterizan los proyectos, éstas se podrán rehusar, pero en otro directorio.

Si por error involuntario se copia al subdirectorio de los proyectos otro que tenga las mismas 2 letras de identificación de alguno incluido, al intentar cargar **SedalPlus,** se interrumpirá el proceso y aparecerá un mensaje indicando la duplicación. Con el explorador de Windows debe eliminarse (o trasladarse a otro lugar) uno de los proyectos duplicados.

Para entrar un proyecto nuevo, se introducen primero los dos caracteres alfabéticos que lo identificarán, luego en otro campo el número del sector (o cero cuando no hay sectores), luego en otro campo el número de sectores que tendrá el proyecto (1 para proyectos sin sectores) y finalmente se oprime el botón aceptar. **SedalPlus** mostrará una ventana con los parámetros del proyecto y las operaciones que serán permisibles en este caso. Si todo está correcto se oprime el botón SI (o YES), y en caso contrario se oprimirá el botón NO que permite que se reintroduzcan los datos o se abandone el aplicativo.

Cuando el proyecto haya sido incluido anteriormente, la mejor forma de accesarlo consiste en seleccionarlo de la lista en pantalla, con un click del Mouse, y luego oprimir el botón aceptar, etc.

SUBMENUS DE ARCHIVOS

Contiene las siguientes opciones:

- Abrir (Permite abrir un proyecto anteriormente calculado o iniciar uno nuevo).

- Recuperar Archivo original. Cuando en un diseño cualquiera ha sido seleccionada una alternativa diferente a la manual (alguna de las generadas automáticamente por **Sedal plus**), el programa realiza los siguientes pasos, para poder permitir su manipulación y modificación posterior por el consultor:

- Hace un respaldo del archivo de tramos original, manualmente digitado por el consultor.

- Traslada el diseño automático para que pueda ser accesado desde la opción tramos del menú (como si hubiese sido digitado manualmente).

  Esta opción permite recuperar el diseño manual original, aunque se perderán las modificaciones que hubiesen sido realizadas en el diseño automático antes seleccionado.

- Generar proyecto simulado.

  Permite generar automáticamente, sin necesidad de tipiar los datos, proyecto de cualquier tamaño deseado (definido por el número de tramos horizontales y verticales deseados), con cualquier longitud igual para todos los tramos y determinada pendiente del terreno, aplicable a la totalidad de los tramos, para sobre tale proyecto hacer simulaciones de lo que ocurre cuando se modifican las especificaciones y así conocer las variaciones en las profundidades, los diámetros promedios y las profundidades máximas y poder estimar las variaciones esperadas en los costos, dentro de determinados escenarios. Cuando se generan proyectos simulados, si se realiza la revisión con SWMM**,** se generará de forma automática la imagen gráfica del proyecto que se podrá ver al cargar tal programa. Con lo anterior se pueden ampliar la operación de los proyectos simulados con las que ofrece SWMM**:** ver perfiles con los niveles de agua, etc.

- Entrar Archivo SWMM.

  Un proyecto capturado con el programa SWMM de la EPA, usando la interfase gráfica, puede trabajarse con **SedalPlus**. Para tal efecto se abre un proyecto nuevo en **SedalPlus,** se le pone un nombre y se usa la opción: Entrar Archivo SWMM, para cargar los datos.

  Una vez hecho lo anterior, desde **SedalPlus** se ajustan las especificaciones de diseño y luego se va a “Tramos” para incorporar los datos faltantes.

  Solo es necesario introducir gráficamente en SWMM los datos de los nodos de los tramos, pues el resto de la información se captura más fácilmente desde **SedalPlus.** Hecho la anterior se hace el control de calidad y Lugo se realiza el diseño. Realizado lo anterior se carga nuevamente el programa SWMM, se recalcula y se pueden observar los perfiles, y en general se cuenta con todo el manejo de SWMM.

  Con lo anterior se combina la capacidad gráfica de SWMM con la gran capacidad de diseño de SedalPlus. El proyecto se puede correr desde ambos programas.

II- ESPECIFICACIONES

CONFIGURACION GENERAL DEL PROYECTO

Comprende la identificación del proyecto, la clase de diseño a ejecutar, el control de autolimpieza adoptado, el tipo de diseño hidráulico seleccionado, etc. Algunos de esos parámetros requieren ser complementados con valores de variables asociadas que han sido definidas en las áreas de: especificaciones generales, especificaciones sanitarias, y/o especificaciones pluviales. Cuando se seleccione una especificación que exija completar la información en una variable asociada, **SedalPlus**, incluirá automáticamente en tal variable, el valor por defecto que se ajuste mejor a la especificación más usual. Tal valor puede ser modificado.

Identificación del proyecto

1. Nombre del consultor.
2. Correo (E-Mail) del consultor.
3. País donde se realizará el proyecto.
4. Nombre de la entidad.
5. Nombre del proyecto.
6. Fecha del proyecto.

Clase de diseño (opciones mutuamente excluyentes)

.

- Sanitario por longitudes tributarias (Diseño por flujo uniforme). En esta opción los caudales unitarios y las densidades se especifican por unidad de longitud de colector. Así mismo, las zonas futuras se incluyen por la longitud estimada de los colectores que se puedan construir. La longitud tributaria se especifica en hectómetros.

- Sanitario por áreas tributarias (Diseño por flujo uniforme). Esta opción que es la más utilizada, obliga a medir e incluir las áreas tributarias de todos los colectores. Las áreas se especifican en hectáreas.

- Combinado por áreas tributarias (Diseño por método racional). Tal sistema, también conocido como unitario, lleva por los mismos colectores, tanto los caudales sanitarios como los pluviales.

- Pluvial por áreas tributarias (Diseño por método racional). En este caso los colectores solo transportarán los caudales procedentes de las lluvias. Los sistemas denominados separados están compuestos de redes sanitarias y pluviales perfectamente independientes.

- Mixto por áreas tributarias (Diseño por método racional). Esta opción especial es para sistemas que, por alguna razón, son una mezcla de los anteriormente definidos. No es usual que se diseñen a propósito sistemas de esta clase, pero se pueden presentarse en la realidad.

- Combinado por áreas tributarias (Diseño con Hidrogramas SWMM – bloque alternados). Tal sistema, también conocido como unitario, lleva por los mismos colectores, tanto los caudales sanitarios como los pluviales.

En esta opción a partir de las ecuaciones de aguas lluvias (IDF), el programa calcula los hietogramas que requiere SWMM, aplicando de modo transparente para los usuarios el método de los bloques alternados desarrollado por Chow el Al. Algunos de los parámetros que maneja el SWMM fueron ajustados de manera que los diseños obtenidos sean similares a los obtenidos por el Método Racional que ha demostrado ser bastante adecuados en la mayoría de los casos, especialmente cuando las áreas no exceden de 80 hectáreas.

- Pluvial por áreas tributarias (Diseño con Hidrogramas SWMM – bloques alternados). En este caso los colectores solamente transportarán los caudales procedentes de las lluvias. En esta opción, al igual que en la precedente, el programa aplica el método de los bloques alternados, y son válidos los comentarios sobre el particular.

- Combinado por áreas tributarias (Diseño SWMM con hietogramas). Tal sistema, también conocido como unitario, lleva por los mismos colectores, tanto los caudales sanitarios como los pluviales. En esta opción los hietogramas del aguacero de diseño (en mm/hr) se introducen directamente al programa, (hasta 5 series de 15 valores c/u) para distintos tiempos sucesivos, espaciados entre 5 y 30 minutos.

- Pluvial por áreas tributarias (Diseño con SWMM con Hietogramas. En este caso los colectores solamente transportarán los caudales procedentes de las lluvias. En esta opción los hietogramas del aguacero de diseño (en mm/hr) se introducen directamente al programa, (hasta 5 series de 15 valores c/u) para distintos tiempos sucesivos, espaciados entre 5 y 30 minutos.

Coeficiente Máximo Horario sanitario

Permite seleccionar la formula a aplicar para el coeficiente de mayoración. Presenta las siguientes alternativas:

- Harmon.
- Babbit.
- Flores.
- Los Angeles.
- Tchobanoglous
- Gaines
- Caudal al inicio del proyecto (Máximo horario)

Coef. Mínimo sanitario (Se usa para el cálculo de la autolimpieza por fuerza tractiva con caudales bajos)

Permite seleccionar alguno de los siguientes parámetros:

- Usar Máximo Horario.
- Usar Máximo Diario.
- Usar Caudal Medio.
- Usar Mínimo Diario.
- Usar Mínimo Horario.
- Valor Fijo.

Usar el Máximo Horario corresponde a los diseños antiguos que no diferenciaban entre el caudal máximo y el mínimo de diseño.

Para las condiciones iniciales del servicio (caudal mínimo) puede usarse un valor fijo que corresponda a la relación porcentual entre las estimaciones del caudal inicial respecto al calculado para el final del proyecto.

Cuando se selecciona valor fijo en Especificaciones/Especificaciones Sanitarias se activará un campo denominado: Coef. Mínimo de diseño: relación (Qinicial/Qfinal), donde debe incluirse el resultado de dividir el caudal de diseño inicial del proyecto por el caudal final.

Otro criterio mejor es que la autolimpieza (fuerza tractiva) se calcule para un caudal menor que el máximo horario, como por ejemplo el mínimo diario, lo cual garantiza la funcionalidad dentro del peor escenario esperable de operación del sistema. En números redondos calcular por el caudal mínimo diario equivale a que el caudal final sea mucho más del doble del caudal inicial, cifra conservativa para la mayoría de los proyectos.

A pesar de lo conservativo de tal valor, en términos de costo del sistema, sus implicaciones no son exageradamente elevadas (se puede verificar mediante simulación). Conviene recordar que los tramos iniciales (que son los más críticos para la autolimpieza) normalmente se construyen muy cerca de cuando van a ser utilizados, por tanto, su funcionamiento es siempre muy similar, sean construido ahora o posteriormente en el futuro. (Los aumentos de caudal al final del periodo de diseño se manifiestan básicamente en los colectores principales donde la autolimpieza no suele ser un factor crítico).

Control de autolimpieza.

SedalPlus calcula siempre los parámetros de autolimpieza por las siguientes alternativas que no son excluyentes:

1. Por velocidad mínima a tubo lleno. Esta opción, con valor usual de 0.60 m/s para sistemas sanitarios y de 0.75 m/s para sistemas pluviales fue la utilizada en el pasado. Tiene el inconveniente de que, para tuberías parcialmente llenas, con poco caudal como ocurre en los tramos iniciales, no garantiza adecuadamente la autolimpieza. Está actualmente en desuso.

2. Por Modelo RAS 2016. Es un modelo relativamente ecléctico que se apoya en la velocidad real mínima, fuerza tractiva mínima, y en el modelo ingles Ciria. Este un modelo genera una velocidad mínima a tubo lleno para cada diámetro (la velocidad es mayor a medida que crece el diámetro), Con n = 0.013 para 200 mm el caudal mínimo es de 0.70 m/s y para 3.00 m es de 1.00 m/s). Este modelo intenta corregir las deficiencias de autolimpieza cuando se usaba el control por velocidad mínima a tubo lleno tradicional, basado en 0.60 m/s para diseños sanitarios y 0.75 m/s para diseños pluviales. *Este modelo lo recomienda el RAS en el Titulo D y no es de uso obligatorio.*

3. Por velocidad mínima real. (Para caudal máximo de diseño). Esta opción, con valores usuales entre 0.30 y 0.40 m/s, o mayores, mejoró las condiciones para tuberías parcialmente llenas, aunque tiene el defecto de que la velocidad real no es un buen indicador de la autolimpieza, pues sobredimensiona la pendiente para caudales bajos y la subdimensiona para caudales altos (Ver **ANEXO 8)**

4. Por fuerza tractiva. La fuerza tractiva mide el esfuerzo cortante generado por la lámina de agua en la periferia de la tubería y en consecuencia es el mejor parámetro para medir la autolimpieza.

   En Latinoamérica (especialmente en Brasil) se emplean valores de 0.10 Kg/m2 (aproximadamente 1 pascal). *El RAS 2016* propone 1 Pa. *para el diseño sanitario, con carácter obligatorio.*

5. Pendiente mínima para cada diámetro. En este modelo se especifica una pendiente mínima para cada diámetro, mayor mientras más pequeño es el diámetro. Conceptualmente es similar al modelo Ciria 3, aunque los valores de las pendientes se definen directamente y no a través de un modelo matemático. Seleccionada esta opción deben incluirse los valores de las pendientes en la opción del menú: Especificaciones/Pendientes Mínimas. Este modelo se utiliza muy ampliamente en EE.UU.: y también en Chile y México. **SedalPlus** ofrece por defecto los valores recomendados por Ten States (10 estados de EE.UU.), aunque limita las pendientes para diámetros grandes a 0.05%, por ser el menor valor que permite usar el programa.

SedalPlus incluye todos los modelos anteriores para permitir que el usuario utilice el que considere más conveniente teniendo en cuenta las normas a que deba someterse. Sin perjuicio de lo anterior, el autor del programa coincide con lo que afirma el Manual 60, segunda edición de 1987, de la ASCE y la WEF (Sociedad de ingenieros Civiles de EE.UU. y la Federación Ambiental del Agua) de que la Fuerza Tractiva es, sin lugar a dudas, el mejor modelo para garantizar la autolimpieza. (Ver **ANEXO 8**).

Diseño topología hidráulica

- Solo manual. El proyectista debe definir manualmente la topología hidráulica de la alternativa propuesta para el diseño de alcantarillado, el programa verificará que la topología sea correcta, es decir que constituya un todo continuo, debidamente ordenado.

  Los datos de los tramos requieren ser entrados en una secuencia que cumpla ciertas reglas de ordenamiento más adelante explicadas, que corresponden con la presentación que la mayoría de los ingenieros utilizan para los tramos en los cuadros de cálculo, conocida como: "presentación según sentido de flujo hidráulico".

- Solo automático. El proyectista puede introducir todos los tramos en cualquier orden, pues **SedalPlus** diseñará la topología del sistema que "presentará según sentido de flujos".

  El programa estudiará 6 alternativas, modificando algunas variables internas que sirven para definir cada topología, pero solo presentará las mejores (hasta 3), ordenadas según parámetros que de cierta manera tienen relación con el costo.

Pueden presentarse casos en que se muestre una sola alternativa, en sistemas donde la topografía en cierta forma predefine el proyecto.

- Manual y automático. El proyectista debe definir manualmente la topología de una primera alternativa, a la cual el sistema añadirá hasta las 6 que diseña automáticamente y ofrecerá los resultados en el siguiente orden: primero la alternativa manual y luego las mejores automáticas.

El mejor diseño automático, corresponde al realizado por un ingeniero con gran experiencia, o con muy buen sentido del diseño y puede en algunos casos ser superado por un excelente diseño manual, pero en general supera al realizado por ingenieros novatos.

El programa incorpora el diseño generado automáticamente que haya sido seleccionado como la alternativa a seguir, a la rutina en que se introducen los datos de los tramos (como si hubiesen sido digitados), para que el consultor pueda modificarlo en aquellos detalles que, según su experiencia, puedan mejorar el proyecto.

Relaciones Hidráulicas

- Usar n/N = 1.
- Usar n/N variable.

Tradicionalmente se usaba n/N variable atendiendo la recomendación formulada por Camp desde 1946. Sin embargo, en la segunda edición (2007) del manual 60, de la ASCE y la WEF, en la página 133, sección 5.4.4, afirma que observaciones experimentales más recientes, indican que la propuesta de Camp es un error y que conviene utilizar n/N = 1 para los cálculos hidráulicos. Lo anterior es una buena noticia porque permite utilizar pendientes más bajas.

Perdidas Menores.

Cuando la cabeza de energía es mayor en la tubería de salida que en la de entrada, esta opción hace automáticamente durante el diseño, una corrección que consiste en descender la clave de salida en lo necesario para que la cabeza de salida no sea más alta que la de entrada. Cuando esta opción se selecciona, automáticamente deselecciona en “Especificaciones Generales”. La de empalmar a nivel claves llegan...” y la de “En diámetros menores que el anterior, empalmar a nivel caídas menores a..”, pues son incompatibles. Esta especificación usada en algunos pises no se recomienda. Ver ANEXO 2.

- **Evitar flujo crítico** (Solo de interés para Colombia)

  Evitar flujo Crítico, para valores del número de Froude en el rango (0.90 – 1.10) para alturas de lámina (y/D) mayores al 70%

Método de cálculo de SWMM

- Onda Dinámica.
- Onda Cinemática.
- Flujo Uniforme.

Se recomienda utilizar Onda Dinámica para la revisión de los programas diseñados por **SedalPlus**, por ser el más completo y que se ajusta mejor al funcionamiento real de los alcantarillados.

Coeficiente "n" de Manning

- Usar sugerencia ASCE (n = variable con el diámetro.
- Usar valores tradicionales (n = constante)

En el mencionado manual 60 de la ASCE y la WEF se recomienda usar valores de "n" que varían entre 0.0107 para diámetro de 200 mm, los cuales se aproximan a 0.013 para diámetros muy grandes. Los valores de "n" recomendados son iguales para todas las tuberías relativamente lisas, sean estas de concreto o plásticas como el PVC. Los valores del "n" de Manning recomendados son un 15% mayores (margen de seguridad) respecto de los valores que se obtienen en instalaciones muy cuidadosamente realizadas. **(**Ver **ANEXO 9)**

Directorio SWMM

Permite navegar mediante un explorador hasta el directorio donde se ubicarán los archivos generados desde **SedalPlus** cuando se corre "revisar con SWMM" de manera que puedan fácilmente ser localizados cuando se quieran accesar directamente desde el programa de la EPA. **SedalPlus** crea automáticamente el directorio "00 Archivos SWMM". Este puede cambiarse a otro sitio e indicar en Especificaciones/Configuración General la nueva ubicación.

NUMERO MAXIMO DE DIAMETROS DE TUBERIAS Y DE DUCTOS CUADRADOS

El programa permite definir el número de diámetros a utilizar en el diseño entre 5 y 30. El último ofrecido será un ducto cuadrado (Box Culvert). De ahí en adelante se ofrecen ductos cuadrados hasta un máximo de 30 contabilizando el que incluye necesariamente como último en la serie de números de tuberías. Tales valores máximos se capturan en el menú: Especificaciones/Máximo número de diámetros (y ductos cuadrados).

DIAMETROS COMERCIALES A UTILIZAR

El programa ofrece una gama de hasta 30 diámetros comerciales a utilizar en el diseño del proyecto, que puede ser modificada. Los diámetros se especifican en milímetros, y deben estar en orden estrictamente ascendente. El diámetro mayor corresponde realmente a un ducto cuadrado.

De ahí en adelante se incluyen más ductos cuadrados cuyas dimensiones se incrementan cada vez de 0.20 cm en 0.20 cm. Se considera que el diseño más adecuado corresponde a los ductos circulares. Los ductos cuadrados de consideran como una primera aproximación al diseño y debe estudiarse si es el tipo más conveniente de estructura y si cabe en la calle.

Los ductos cuadrados podrían cambiarse a canales abiertos o ductos rectangulares y otro tipo de secciones, pero su diseño sería manual o con otros programas, sin perjuicio de que se acepte el diseño de las tuberías circulares realizado por **SedalPlus**, incluyendo los ductos cuadrados que se consideren adecuados.

PENDIENTES MINIMAS

El programa permite incluir una pendiente mínima de diseño para cada uno de los diámetros comerciales especificados (30). La opción solo se ofrece cuando en Control de Autolimpieza se ha seleccionado: Pend. Mínima cada Diámetro.

RANGOS DE PROFUNDIDADES DE EXCAVACIONES

El programa ofrece 3 límites, modificables, para la clasificación de profundidades de las excavaciones para efectos presupuestales.

Tales límites permiten definir 4 rangos de profundidades, así: (i) Menor que el primer limite, (ii) Entre el primer límite y el segundo, (iii) Entre el segundo límite y el tercero, (iv) Mayor que el tercer limite. Los rangos son en metros.

ANCHOS DE ZANJAS

Para cada uno de los rangos de profundidades, anteriormente descritos, el programa ofrece un valor en metros, que añadido al diámetro del tubo define el ancho de zanja para ese rango. Tales valores están en metros y son modificables.

RANGOS DE PROFUNDIDADES DE POZOS

El programa ofrece 2 límites modificables, que definen 3 clases de pozo de inspección. Típicamente hasta el primer límite se construyen pozos con tapa plana; a partir del primer limite se usa cono de reducción para la tapa; y para profundidades superiores al segundo limite, además del cono de reducción, las paredes del pozo deben ser reforzadas. Los límites están en metros y son modificables.

DIAMETROS DE POZOS.

El programa ofrece pozos de inspección con diámetros de 1.20 y 1.80 m que se pueden usar hasta determinados diámetros de tubería. Para diámetros de tuberías superiores al mayor especificado deben usarse pozos de diseño especial. Debe indicarse hasta que diámetro de tubería es el máximo a utilizar en cada pozo. Los diámetros a utilizar en cada pozo pueden ser modificado.

ESPECIFICACIONES GENERALES

Seguidamente se detallan las especificaciones generales que deben ser definidas por el proyectista para cualquier diseño. El programa hace una oferta inicial de valores por defecto.

Las especificaciones mencionadas se denominan generales porque son comunes a cualquier clase de diseño: sanitario, combinado, pluvial o mixto, diseñado por flujo uniforme o por hidrogramas. Se advierte que los valores mínimos minimorum de algunas especificaciones solamente serán utilizados por **SedalPlus** cuando sean estrictamente requeridos para realizar los empalmes con las tuberías existentes que de otra manera serían imposibles. Para evitar el uso de las especificaciones mínimas minimorum basta igualar sus valores con el de las especificaciones mínimas.

Además de los tramos “existentes” pueden exigir también especificaciones mínimas minimorum para los tramos “restringidos” y los que se denominan “empalmados” (tramos nuevos que deben empalmar necesariamente con tuberías existentes).

Las medidas anteriores conducen a permitir continuar utilizando muchos sistemas antiguos construidos con las normas que se usaron en el pasado, mientras no haya evidencia cierta de un notorio mal funcionamiento, pues no parece justificado eliminar alcantarillados por consideraciones teóricas.

SedalPlus usa las siguientes especificaciones generales:

1. Coeficiente [n] de Manning para tubería nueva. La cifra más usual es n = 0.013 para tubería de concreto y de 0.009 para tubería de PVC.

2. …< usar [n] anterior hasta diámetro (mm) de >. Se coloca el diámetro hasta el cual se aplica el coeficiente de Manning anterior.

3. ……< para diámetros mayores usa [n] de >. Cuando el mismo “n” se utiliza para todo el rango de diámetros, el valor del diámetro de que trata el numeral anterior se vuelve irrelevante. En ese evento basta incluir en el numeral 1 y en este el mismo valor del coeficiente de Manning.

   Cuando en Especificaciones/Configuración General Proyecto se ha seleccionado la opción: Usar sugerencia ASCE (n = variable con Diámetro), los numerales 1, 2 y 3 se vuelven inaccesibles.

4. Profundidad mínima minimorum a clave (m). Para las profundidades mínimas se suelen especificar valores de 1.00 m o de 1.20 m. En algunos casos se utilizan valores de hasta 1.60 m.

   Para circunstancias mínimo minimorum en muchos diseños se emplean valores de 0.70 m y aún más bajos. En este último caso es conveniente especificar una cimentación especial para las tuberías en áreas de tráfico pesado.

5. Profundidad mínima a clave (m). Se aplica el comentario hecho en el párrafo anterior.

6. Profundidad máxima deseable (m). En presencia de terrenos con pendientes muy variables podría ocurrir que, en una parte plana, en razón del caudal, se debiera elegir en principio, un diámetro mayor que el que viene desde aguas arriba, a pesar de que unos pocos tramos aguas abajo, las pendientes permitiesen continuar con el diámetro anterior.

   La especificación de una profundidad máxima deseable permite continuar con un diámetro más reducido, aunque transitoriamente se profundice un poco más, pero sin exceder del máximo deseable aquí estipulado, siempre y cuando **SedalPlus** tenga la certeza de que más adelante tal diámetro será el adecuado. Se recomienda usar un valor de 5.00 m que produce generalmente el menor costo y solamente reducir el valor cuando las excavaciones sean muy costosas. En caso de duda se puede hacer un análisis de sensibilidad para definir el valor que minimice los costos (ensayar varios valores de este parámetro).

7. Profundidad máxima a clave (m). Generalmente se especifican valores comprendidos entre 5.00 m y 7.50 m, siendo la primera cifra la más usual. **SedalPlus** no detendrá los cálculos cuando se exceda tal límite, pero informará sobre los tramos que lo superen para que el proyectista decida si emplea estaciones elevadoras o modifica el esquema de flujos buscando una mejor alternativa de diseño.

8. Altura mínima de bajante en tubo (m). Los bajantes en tubo de las cámaras de caída no pueden ser construidos cuando son demasiado cortos. Generalmente se especifica un valor mínimo de 0.75 m.

9. Para valores menores que el anterior se dejaría la caída libre del chorro, sin ningún aditamento.

10. Empalme de las tuberías que llegan a un pozo. Las tuberías que concurren a un mismo pozo de inspección, generalmente lo hacen a distintos niveles, dependiendo de lo enterrado que venga cada colector y de la pendiente requerida para cumplir con un criterio de velocidad o fuerza tractiva. Cuando no se especifica ningún criterio de empalme, **SedalPlus** dejará las tuberías como llegan, diseñando si es el caso cámaras de caída.

    Cuando aquí se especifica un diámetro determinado, ello significa que para tuberías iguales o mayores a la estipulada **SedalPlus** aumentará la pendiente buscando empalme a nivel de los colectores entrantes con el colector de salida.

    El valor recomendado para esta especificación es 600 mm, lo cual produce como efecto que para los colectores iniciales, se preferirá el uso de cámaras de caída que oxigenan el sistema, pero cuando las aguas negras ya llevan algún tiempo de recorrido y se han podido formar sulfuros, es preferible evitar las caídas verticales que al producir turbulencia permiten que tales sulfuros abandonen el cuerpo del líquido y generen ácido sulfúrico, agente altamente agresivo para las estructuras no protegidas.

    Para sistemas pluviales lo anterior es irrelevante, aunque de todas maneras construir cámaras de caída para diámetros mayores de 900 mm resulta bastante costoso y puede ser preferible el empalme a nivel.

11. En diámetros menores que el anterior empalmar a nivel caídas inferiores a (m). Como complemento del criterio anterior, se puede especificar una caída límite, por debajo de la cual, cualquier tramo empalmará a nivel sin importar su diámetro. Esta especificación intenta evitar las caídas libres sin bajante en tubo y por eso el valor a especificar se recomienda sea el mismo estipulado para la altura mínima de bajante en tubo (0.75 m). No obstante que algunos proyectistas suelen evitar las caídas libres menores, se considera que ello no es importante, y por eso **SedalPlus** permite omitir este criterio.

12. Rebajar la clave de salida (m). Para asegurar que exista alguna pendiente en las canaletas de las cámaras de inspección se suele especificar que las claves de salida estén más bajas que las de entrada. El valor más usual es 0.02 m, aunque algunos proyectistas prefieren usar hasta 0.05 m.

Cuando la clave de salida es de un diámetro mayor que la de entrada no es necesario hacer ninguna rebaja, lo que se llama empalmar claves a nivel, pero la batea de salida estará más baja por la diferencia de diámetros, lo que garantiza una pendiente adecuada en la canaleta.

13. Velocidad máxima de diseño (m/s). Depende de la resistencia a la abrasión del material de la tubería. Usualmente se especifican valores comprendidos entre 3.50 y 6.00 m/s. Para no exceder tal velocidad, los tramos muy empinados exigirán cámaras de caída.

Tradicionalmente esta norma se refería a la velocidad a tubo lleno, pero el RAS 2016 la especifica como velocidad real. ***SedalPlus*** *asegurará que no se exceda* ninguna de las dos velocidades.

En la norma tradicional la velocidad real, solamente cuando está muy cerca a la condición de tubo lleno puede superar, en una fracción despreciable a la velocidad máxima da tubo lleno que se haya especificado.

En cambio, la velocidad real con caudales bajos puede aceptar pendientes realmente exageradas.

La solución propuesta por ***SedalPlus*** *evita las pendientes demasiado altas, a la vez que garantiza que la velocidad real de diseño no supere el valor especificado*

14. Pendiente mínima de diseño (%). Este criterio sirve para garantizar que el diseño cuente con una diferencia de nivel, que sea significativamente medible, entre 2 cámaras consecutivas y a la vez previene un incremento excesivo en los diámetros de los colectores principales. **SedalPlus** exige que se especifique un valor no inferior a 0.05%.

15. *Empalmar por energía diámetros mayores de (mm). El valor especificado por el RAS 2000 es de 500 mm. Cuando no se especifica el uso de "Empalme por energía" se deshabilita automáticamente esta opción.* (El empalme por energía no es norma obligatoria).

ESPECIFICACIONES SANITARIAS

Este grupo de especificaciones es aplicable a todos los tipos de diseño previstos en **SedalPlus**, excepto los pluviales.

1. Caudal mínimo de cálculo (l/s). Esta norma, cuya explicación más usual se fundamenta en la medición de la descarga simultánea de los aparatos sanitarios que como mínimo se espera ocurran en cualquier tramo, generalmente usa valores comprendidos entre 1.3 y 2.00 l/s. Si se especifica un valor muy bajo, los diseños controlados por fuerza tractiva exigirán pendientes demasiado altas, mayores que las que la experiencia usualmente indica como suficientes para asegurar el buen funcionamiento de los tramos iniciales. El valor más usado es de 1.5 Lts/s.

Cabe recordar que, en los tramos iniciales, la hipótesis de caudal uniforme en que se basa el diseño hidráulico, no se cumple ni aproximadamente, sino que en la realidad el régimen es de descargas puntuales no continuas (pulsos).

Por lo tanto, en sentido estricto la pendiente mínima, realmente necesaria, es un valor empírico, usualmente comprendido entre 0.4% y 0.6%, el cual puede fácilmente obtenerse (sin necesidad de cambiar el modelo matemático del diseño de alcantarillados), especificando un caudal mínimo de cálculo que en conjunción con el criterio de autolimpieza empleado, genere para los tramos iniciales la pendiente mínima que la experiencia indica ser la adecuada.

2. Coeficiente máximo horario (valor fijo). Este campo estará activo solo cuando en los "Configuración General Proyecto" se haya seleccionado la opción: "Valor Fijo", en vez de alguna de las fórmulas propuestas. Se recomienda usar como valor constante una cifra usualmente comprendida entre 3.0 y 4.0.

3. Temperatura del agua (grados centígrados). Esta temperatura se utilizará para calcular el DBO efectivo que servirá para el cómputo del factor Z de la fórmula de Pomeroy que permite estimar la probabilidad de la formación de sulfuros en las tuberías.

4. DBO a los 5 días (mg/l). Este parámetro en conjunción con la temperatura permitirá calcular el DBO efectivo, mencionado en el párrafo precedente.

5. Fuerza tractiva mínima minimorum (Kg/m2). El valor mínimo adoptado en Brasil y varias naciones latinoamericanas es un Pascal, aproximadamente 0.10 Kg/m2 que es capaz de remover partículas de 1.67 mm. Hay prácticamente un consenso de que la partícula más grande que se presenta en los alcantarillados es de 1.00 mm. Un valor más conservador puede ser 0.11 Kg/m2 capaz de remover partículas de hasta 2.36 mm.

   Los valores anteriores corresponden a n = 0.013. Cuando en el control de la auto limpieza no se haya seleccionado el uso de fuerza tractiva, **Sedal plus** exigirá que este parámetro permanezca en cero (no es especificable en este caso). Por defecto **SedalPlus** propone un valor de 0.10 Kg/m2 para este parámetro.

6. Fuerza tractiva mínima (Kg/m2). Se aplica el comentario hecho en el numeral anterior. Cuando en el control de la autolimpieza no se haya seleccionado fuerza tractiva, **SedalPlus** exigirá que este parámetro permanezca en cero (no es especificable en este caso).

7. Velocidad mínima minimorum real (m/s). Se recomienda no usar la velocidad real como criterio de autolimpieza porque sobrestima las pendientes para caudales bajos y las subestima para caudales altos (ver **ANEXO 8**). No obstante, lo anterior, en caso de usarse esta especificación se recomendaría un valor de 0.30 m/s para el valor mínimo minimorum. Cuando en el control de la auto limpieza no se haya seleccionado velocidad real, **SedalPlus** exigirá que este valor permanezca en cero (no es especificable en este caso).

8. Velocidad mínima real (m/s). Se aplica el comentario hecho en el numeral anterior. Cuando en el control de la auto limpieza no se haya seleccionado velocidad real, **SedalPlus** exigirá que este valor permanezca en cero (no es especificable en este caso.

9. Coeficiente mín. diseño – Relación (Qinicial/Qfinal). Este campo estará activo solamente cuando en los "Configuración General Proyecto" se haya seleccionado la opción: Usar valor fijo. Se debe usar un valor constante que refleje la relación entre el caudal inicial y final del proyecto.

10. Velocidad mínima a tubo lleno (m/s). El valor universalmente aceptado es 0.60 m/s. Se pretende que esta especificación defina, para cada diámetro, pendientes mínimas suficientes para evitar la sedimentación.

    Cuando el diseño se controla por fuerza tractiva resulta innecesario y además antieconómico especificar simultáneamente una velocidad mínima a tubo lleno.

    Cuando en el control de la auto limpieza no se haya seleccionado velocidad mínima a tubo lleno, **SedalPlus** exigirá que este parámetro permanezca en cero (no es especificable en este caso). Este parámetro está en desuso y se mantiene por compatibilidad con diseños antiguos.

11. Máximo llenado del tubo (y/do). Para disminuir los problemas relacionados con la formación de sulfuros en las alcantarillas sanitarias, conviene no llenar totalmente las tuberías, de manera que se cuente con una capa de aire que facilite la oxigenación.

    Para tal efecto, se recomienda que la altura de lámina de agua no exceda de 2/3 del diámetro del tubo, aunque muchos diseños emplean un valor menos conservativo (por ejemplo 3/4).

12. Diámetro mínimo sanitario (mm). Según la practica tradicional en los alcantarillados sanitarios el diámetro mínimo ha sido 200 mm. Cuando los diseños se controlaban por velocidad a tubo lleno, disminuir este diámetro significaba incrementar las pendientes. Sin embargo, con diseños basados en fuerza tractiva el empleo de diámetros mínimos de 150 mm resulta deseable, pues los tramos iniciales (con bajos caudales) no solamente exigen menores pendientes, sino que además son más baratos.

    Cabe recordar que la fuerza tractiva se incrementa cuando aumenta el espesor de la lámina de agua, lo que ocurre cuando se utilizan diámetros más pequeños en los tramos iniciales.

ESPECIFICACIONES PLUVIALES

Este grupo de especificaciones se aplican total o parcialmente a los tipos de diseños pluviales que maneja **SedalPlus**, excepto para los estrictamente sanitarios. Las especificaciones pluviales usadas por **SedalPlus** son las siguientes:

1. Velocidad mínima a tubo lleno (m/s). El valor generalmente usado en alcantarillados pluviales o combinados es 0.75 m/s. En el caso de sistemas mixtos **SedalPlus** decidirá cual norma de velocidad a tubo lleno usará (la especificación sanitaria o la pluvial) teniendo en cuenta si el caudal del tramo en diseño es exclusivamente sanitario o si contiene total o parcialmente aguas lluvias.

Cuando en el control de la auto limpieza no se haya seleccionado velocidad mínima a tubo lleno, **SedalPlus** exigirá que este parámetro permanezca en cero (no es especificable en este caso). Este parámetro está en desuso y se mantiene por compatibilidad con diseños antiguos.

2. Tiempo de concentración mínimo (minutos). Este tiempo es el necesario para que el agua llegue al punto de captación en el sistema de alcantarillado. Generalmente se especifican valores entre 5 y 15 minutos, siendo la última cifra la más usual.

3. Coeficiente de escorrentía más usual. El coeficiente de escorrentía es un parámetro que refleja las características de impermeabilidad de cada área tributaria. Para casos específicos, puede fluctuar en rangos tan amplios como desde 0.10 hasta 0.90, estando los valores más usuales comprendidos entre 0.40 y 0.60.

   En poblaciones relativamente uniformes se puede especificar un valor dado que se ajuste a la mayoría de las áreas, denominado el más usual, sin perjuicio de que a nivel de tramos individuales se modifique por otro de carácter más específico.

   Esta norma intenta simplificar la introducción de los datos de los tramos, en la medida en que solo será necesario especificar por excepción los valores que sean diferentes del más usual.

4. Diámetro mínimo pluvial (mm). En los diseños pluviales o combinados se suele especificar un diámetro mínimo superior al de los sistemas sanitarios (por ser bastante mayores los caudales), siendo este valor generalmente de 250 mm.

5. Fuerza tractiva mínima minimorum (Kg/m2). Se recomienda usar un valor no inferior a 0.12 Kg/M2 para este parámetro en sistemas pluviales o combinados, valor capaz de remover partículas hasta de 3.23 mm de diámetro.

   Cuando en el control de la auto limpieza no se haya seleccionado el uso de fuerza tractiva, **SedalPlus** exigirá que este parámetro permanezca en cero (no es especificable en este caso).

6. Fuerza tractiva mínima (Kg/m2). Se recomienda usar un valor no superior a 0.15 Kg/m2 para este parámetro en sistemas pluviales o combinados, valor capaz de remover pedruscos de hasta 7.23 mm de diámetro. Cuando en el control de la autolimpieza no se haya seleccionado fuerza tractiva, **SedalPlus** exigirá que este parámetro sea cero (no es especificable en este caso).

7. Velocidad mínima minimorum real (m/s). Se recomienda no usar la velocidad real como criterio de autolimpieza porque sobrestima las pendientes para caudales bajos y las subestima para caudales altos (ver **ANEXO 8**). No obstante, lo anterior, en caso de usarse esta especificación se recomendaría un valor de 0.30 m/s para el valor mínimo minimorum.

   Cuando en el control de la autolimpieza no se haya seleccionado velocidad real, **SedalPlus** exigirá que este valor permanezca en cero (no es especificable en este caso).

8. Velocidad mínima real (m/s). Se aplica el comentario hecho en el numeral anterior. Cuando en el control de la auto limpieza no se haya seleccionado velocidad real, **SedalPlus** exigirá que este valor permanezca en cero (no es especificable en este caso).

ESPECIFICACIONES ADICIONALES (RAS)

El RAS 2000 adicionaba una especificación para ser usada en sectores industriales como se indica en la siguiente tabla: (Esta norma *era de uso Obligatorio). Se conserva por razones de compatibilidad.*

Velocidad mínima de aguas residuales industriales

DBO efectiva (mg/l)	Velocidad mínima real (m/s)
Hasta 225	0,50
De 226 a 350	0,65
De 351 a 500	0,75
De 501 a 690	0,90
De 691 a 900	1,00

Para usar esa especificación en **SedalPlus**, en el menú Tramos existe un campo en "Entrar Datos Especiales" que permite incluir una velocidad mínima real de la tabla anterior, cuando el tramo pertenezca a un sector industrial.

VALORES UNITARIOS SANITARIOS

Comprende los siguientes parámetros requeridos para el cálculo de los caudales unitarios: (i) caudal de aguas negras, (ii) infiltración más conexiones erradas y (iii) densidad de población.

Cuando se haya seleccionado la opción de cálculo por longitudes tributarias, las cifras anteriores estarán expresadas por hectómetros y en el caso de áreas tributarias por hectáreas. **SedalPlus** permite dos formas de incluir tales valores:

- Zona única. Todos los tramos tendrán los mismos valores unitarios y no es necesario incluir información adicional a nivel de cada tramo.

- Hasta quince zonas. Se pueden incluir hasta quince zonas tipificadas por sus valores unitarios, de manera que, al introducir, como se explicará más adelante, la información detallada de cada tramo, baste señalar a que zona corresponde.

Cabe anotar que para efectos de diseño se suelen detallar los valores unitarios por clases de consumos: domestico, industrial, comercial, institucional, etc. Por simplicidad **SedalPlus,** los clasifica en los que son afectados por el coeficiente de mayoración (aguas negras) y los que son constantes por área tributaria (Infiltración más conexiones erradas, etc.).

Adicionalmente incluye la densidad de población que algunos modelos de mayoración exigen como parámetro necesario para la estimación.

Cuando las normas exijan analizar con detalle las clases de consumo, se recomienda que en la memoria técnica del proyecto se realice el desglose y luego se explique cómo se agregan los conceptos para el diseño por computador.

Para **SedalPlus**, el desglose detallado de los valores unitarios sanitarios resulta irrelevante para efectos del diseño.

ECUACIONES DE AGUAS LLUVIAS

Las ecuaciones pluviales o curvas IDF (intensidad, duración, frecuencia) usadas por **SedalPlus** tienen la siguiente forma matemática: $i = A/(B + t^n)^m$ donde i = intensidad en l/s/Ha, t es el tiempo de concentración (duración) en minutos, A y B son coeficientes y n y m son exponentes.

En caso de que algún coeficiente no sea aplicable se remplaza por cero y cuando sea un exponente se sustituye por uno.

La forma matemática indicada es común a una amplia gama de modelos que incluye los más usuales para la representación de la precipitación pluvial.

Dentro de esta forma matemática caben los modelos más empleados, como son: $i = KT^p / (B + t)^m$ (Sherman - 1931), $i = KT^p / (B + t^n)$ (Chow – 1994), también se puede usar el modelo: KT^p / t^n (Aparicio – 1997). En los modelos anteriores, K es una constante, T es la frecuencia (periodo de retorno) en años y p es un exponente.

En el modelo usado por **SedalPlus,** $A = KT^p$, o sea que debe formularse una ecuación para cada frecuencia (periodo de retorno) especifica, hasta un máximo de 5 ecuaciones que el programa puede manejar simultáneamente.

Para cada frecuencia, en años, la intensidad se puede representar por una fórmula única o por dos ecuaciones aplicables a rangos de tiempos de concentración sucesivos, típicamente hasta 60 minutos y luego de ahí en adelante. **SedalPlus** admite dos formas para incluir las ecuaciones pluviales:

- Tipo único. Todos los tramos se calcularán para una misma frecuencia, con base en una o dos ecuaciones pluviales que cubran tiempos de concentración sucesivos. En este evento no será necesario incluir información adicional al introducir, cada uno de los tramos del proyecto.

- Hasta cinco tipos. Se admite el uso simultáneo de hasta cinco tipos de frecuencias (en años), cada una de ellas caracterizada hasta por dos ecuaciones pluviales que cubran sucesivos tiempos de concentración. En este evento será necesario indicar para cada tramo específico, cual es el tipo de frecuencia a aplicar.

FACTOR REDUCCION PLUVIAL

Los valores de la intensidad de las ecuaciones de aguas lluvias corresponden a valores puntuales representativos de áreas relativamente pequeñas.

Cuando las áreas de drenaje consideradas se hacen más grandes, la intensidad media de la lluvia se reduce a causa de la variabilidad espacial que presenta el fenómeno de la precipitación.

Para poder manejar tal situación, **SedalPlus** ofrece cinco rangos de áreas de drenaje pluvial acumuladas, a las cuales se les aplicará un factor de reducción especificable. Este parámetro solo se aplica para diseños basados en el método racional.

DATOS DE CONSTRUCCION

Los datos de construcción incluyen la información necesaria que deberá suministrar el proyectista para el cálculo de las cantidades de obra que se requieren para la elaboración de los presupuestos, proceso que realiza **SedalPlus** automáticamente. Ellos son:

1. Estructura porcentual de las excavaciones (%). El proyectista definirá la estructura porcentual promedio de todas las excavaciones clasificándolas en los siguientes tipos: (i) seca en material común, (ii) seca en conglomerado, (iii) seca en roca, (iv) húmeda en material común, (v) húmeda en conglomerado y (vi) húmeda en roca.

2. Número de conexiones por metro lineal de colector. Este valor lo emplea **SedalPlus** para estimar el número de conexiones domiciliarias del proyecto, clasificadas según el diámetro de los colectores donde se vayan a instalar. Los valores más usuales están comprendidos entre 0.10 y 0.02 unidades por cada metro de colector, cifras que corresponden en su orden a una conexión por cada 10 y 50 m de colector respectivamente.

3. Longitud promedio de la conexión domiciliaria (m). Este valor no es actualmente procesable, sino simplemente informativo para ser incluido en el detalle de los análisis de precios unitarios. La cifra más usual es 6.00 m.

4. Volumen de excavación por metro lineal de conexión domiciliaria (m3). Este parámetro tampoco es procesable sino informativo. La cifra más usual está comprendida entre 0.50 y 1.00 m3/m.

5. Factor de compactación para rellenos de zanjas. Significa la variación esperada en el volumen del material usado para el relleno de zanjas cuando este es compactado. Un factor de 1.00 indica que no habrá reducción en el volumen. El material de rellenos se subdivide en tres categorías: (i) material de la excavación, (ii) material de préstamo y (iii) material seleccionado.

6. Cimentación de las tuberías. **SedalPlus** prevé dos tipos de cimentación de las tuberías: (i) en recebo con un espesor igual a 1/3 del diámetro interior del tubo, con un mínimo de 0.10 m y un máximo de 0.30 m, y (ii) en concreto simple 1:3:5 con un espesor igual a 1/4 del diámetro interior del tubo, con un mínimo de 0.10 m y un máximo de 0.30 m. En ambos casos el ancho será igual al diámetro de la tubería más 0.30 m.

7. Deberán especificarse adicionalmente las profundidades a partir de las cuales se requiere cada tipo de cimentación. Profundidades menores que las especificadas para el recebo no requieren ninguna cimentación especial.

8. Clases de tuberías. Se pueden especificar hasta 3 clases de tuberías para uso simultáneo en el proyecto. Esta información no es procesable y el proyectista tiene entera libertad para explicar hasta con 60 caracteres alfanuméricos los detalles que considere importantes respecto a cada clase de tubería.

III – TRAMOS (Datos de los tramos requeridos por SedalPlus)

MAXIMO NUMERO DE TRAMOS EN UN MISMO SECTOR

En primer lugar, cabe advertir que el máximo número de tramos que maneja **SedalPlus** en un mismo sector es de 10.000. Cuando se tenga un proyecto con un número mayor de tramos será necesario dividirlo en más de un sector o realizarlo en varios proyectos individuales, que se conocen con el nombre de subproyectos. La diferencia entre sectorizar y dividir en subproyectos consiste en que la primera alternativa incluye la opción de consolidar los resultados de cantidades de obra y presupuesto de obra automáticamente, pero limita las posibilidades a 9 sectores. Los subproyectos no tienen limite, pero exigen hacer la consolidación manualmente, posiblemente en una hoja de cálculo.

ENTRADA DE TRAMOS SEGÚN SENTIDO DE FLUJO

Cuando en el "Diseño de la topología hidráulica", se ha seleccionado una opción que implique cálculo manual (Solo Manual o Manual y Automático), debe darse a **SedalPlus** información suficiente sobre la topología de la red adoptada en el diseño manual. Para tal efecto basta entrar los tramos en un orden que los proyectistas de alcantarillado conocen con el nombre de "presentación de los cuadros de cálculo según sentido de flujo. Veamos las reglas que deben cumplirse para que ese propósito:

1. El diseño debe empezar en un tramo inicial (preferible uno bien alejado del vertimiento).

2. A partir de ese tramo se van entrando los tramos que sigan aguas abajo (en el sentido del flujo).

3. Cuando se llegue a un pozo de inspección donde converjan otros tramos, no se podrá continuar aguas abajo, mientras no se hayan introducido previamente todos los tramos aguas arriba del pozo. Para tal efecto, se busca un nuevo tramo inicial cuyo desarrollo llegue hasta el pozo en cuestión, y se repiten los pasos anteriores y así sucesivamente.

La regla de oro consiste en que para poder continuar aguas abajo de un pozo de inspección, es necesario que se hayan incluido primero todos los tramos que concurren al pozo desde aguas arriba.

Con ese ordenamiento tan sencillo **SedalPlus** será capaz de deducir, con toda precisión, la topología total del diseño manual realizado por el proyectista. En el evento de que no haya diseño manual (Solo automático) los tramos se podrán entrar en cualquier orden.

SedalPlus cuenta con rutinas de control de calidad que verificarán que los diseños topológicos manuales cumplan las reglas anteriormente explicadas. En caso contrario señalarán el error con un mensaje que dice que el tramo del pozo XXXXXX al pozo YYYYYY carece de continuidad.

Lo anterior significa que **SedalPlus** no pudo encontrar aguas abajo, un tramo que inicie con el pozo YYYYYY, aunque tal tramo pueda existir aguas arriba, donde fue incorrectamente localizado, o sea, sin cumplir la regla de oro del ordenamiento. El problema también puede originarse por error de nomenclatura.

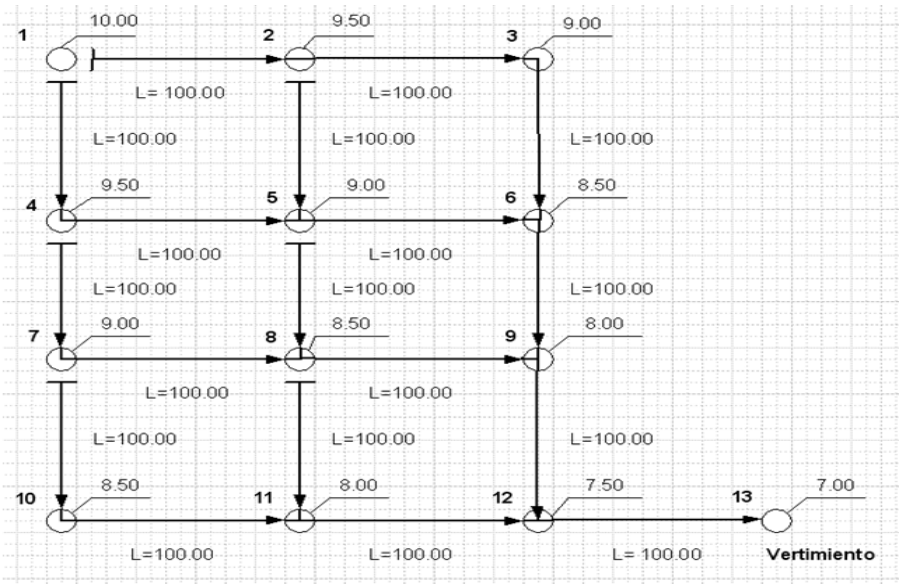
Un problema de falta de continuidad puede generar un efecto cascada que hace que se refleje falta de continuidad en otros tramos que realmente no tienen inconvenientes.

Por lo anteriormente explicado se recomienda que el ordenamiento hidráulico de los tramos, aunque es muy simple, se realice con especial cuidado, pues el mensaje de errores del sistema no ayuda mucho, para identificar fácilmente las acciones correctivas, lo que en muchos casos exige volver a revisar tramo por tramo, desde el primero de ellos, para comprobar que los datos hayan sido introducidos en el orden correcto hasta el pozo donde se refleja la falta de continuidad.

También se recomienda que las acciones se limiten a realizar, cada vez, solo la primera corrección que aparezca en el listado, porque por el efecto cascada, una sola corrección puede eliminar muchos aparentes errores.

En la entrada de los tramos, se cuenta con el botón “reordenar” que facilita realizar las modificaciones en el ordenamiento inicial sin que se pierdan los datos capturados. Más adelante se explica cómo se maneja el “reordenamiento”.

EJEMPLO DE ENTRADA DE LOS DATOS DE LOS TRAMOS



- Usando el gráfico anterior, una posible entrada de los tramos sería: **1-2,** 2-3, 3-6, **1-4,** 4-5**, 2-5**, 5-6, 6-9, **4-7,** 7-8**, 5-8**, 8-9, 9-12, **7-10,** 10-11, **8-11**, 11-12, 12-13.

- El resaltado en negrilla indica que se está iniciando una nueva secuencia por haber llegado a un pozo donde no se debe seguir aguas abajo porque falta introducir previamente todos los tramos que vienen de aguas arriba. (Regla de oro).

- Otro posible ordenamiento es: **1-4,** 4-5, **2-5,** 5-6**, 1-2**, 2-3, 3-6, 6-9, **4-7**, 7-8**, 5-8**, 8-9, 9-12, **7-10,** 10-11**, 8-11**, 11-12, 12-13.

- Un ordenamiento incorrecto es: **1-2**, 2-3, 3-6, **6-9**, **1-4**, 4-5, **2-5**, 5-6, **4-7,** 7-8**, 5-8**, 8-9, 9-12, **7-10,** 10-11**, 8-11**, 11-12, 12-13. El error consiste en haber introducido el tramo **6-9** antes de que en el pozo 6 se hubiesen introducido todos los tramos que le llegan de aguas arriba (Faltan los tramos **1-4,** 4-5, **2-5**, 5-6

ENTRADA DE LOS DATOS DE LOS TRAMOS

Comprende la información de todos los tramos que conforman el proyecto. Según se hayan definido: (i) la clase de diseño, (ii) los valores unitarios especificados (único o por zonas) y (iii) las ecuaciones de aguas lluvias (frecuencia única o varias), **SedalPlus** ajustará la pantalla de captura para incluir solamente los datos indispensables y omitir los que no sean pertinentes. Los datos son los siguientes:

1. Línea #. Es un consecutivo de los tramos.

2. Tramo [De] [A]. Contiene la nomenclatura de cada tramo, definido por sus dos nodos terminales. Se pueden usar hasta 5 caracteres alfanuméricos para cada nodo.

3. Zona sanitaria (No aplica en caso de alcantarillados pluviales). Cuando se han especificado varias zonas sanitarias con diferentes valores sanitarios, es necesario indicar a cuál pertenece cada tramo. En el caso de zona sanitaria única no se despliega este campo.

4. Tipo ecuación pluvial (No aplica en sistemas sanitarios). Cuando se han especificado varios tipos de ecuaciones correspondientes a diferentes frecuencias, es necesario indicar cual se aplica a cada tramo. Cuando se haya especificado solamente una ecuación pluvial no se despliega este campo.

5. Aporte (clase caudal recibe). (Solo para sistemas mixtos). Las opciones son: (i) sanitario, (ii) combinado, (iii) pluvial. En los sistemas no mixtos **SedalPlus** presume que todos los tramos reciben caudales con las características propias del diseño especificado.

6. Cota rasante [superior] [inferior] (m). Debe informarse las cotas de los nodos superior e inferior de cada tramo.

7. Longitud (m). Es la longitud del tramo.

8. Area del tramo (Has) (No aplica para los diseños sanitarios por longitud tributaria) Es el área en hectáreas.

9. Clase de tramo. Usar: 0 = nuevo, 1 = existente, 2 = restringido, 3 = no investigado. Los tramos restringidos son nuevos pero definidos en su diámetro y cotas de clave (superior e inferior) por el proyectista. Los tramos no investigados son existentes sobre los cuales no hay total información, pero se exige que sean al menos conocidos los datos necesarios para empalmar con el resto del proyecto.

El diseño automático de la topología (Solo automático o Manual y automático) no admite tramos no investigados. El control de calidad vigilará el cumplimiento de lo anterior.

10. Datos de los tramos existentes o restringidos. Cuando en el numeral anterior se ha identificado un tramo como existente o restringido **SedalPlus** exige adicionalmente los siguientes datos: (i) La cota de la clave superior, (ii) El diámetro, (iii) La pendiente o la clave inferior y el coeficiente de Manning del tremo. Los tramos no investigados permiten omitir la información anterior que no sea conocida.

Datos especiales.

Los datos especiales son opcionales y sirven para indicar características que solamente se aplican al tramo en cuestión. Los datos especiales pueden ser:

1. *Velocidad mínima real (m/s) En el Ras 2000, el valor a utilizar dependía, en alcantarillados sanitarios de los sectores industriales del DBO efectivo según la tabla incluida atrás bajo el titulo* ***ESPECIFICACIONES ADICIONALES (RAS)****. Fue descontinuada y se mantiene por razones de compatibilidad. En el Ras 2000 esta norma era obligatoria.*

2. Profundidad Mínima (m) a usar en ese tramo, cuando por ejemplo se desea asegurar que, durante el diseño, el tramo en cuestión quede suficientemente enterrado para poder recibir un área bruta de desarrollo futuro que deba verter a él.

3. Caudal Puntual Sanitario (l/s) que será recibido de una instalación importante especial. Tal caudal no es afectado por el coeficiente de mayoración. Esta opción no aplica para diseños pluviales.

4. Area futura sanitaria que será recibida por el tramo. Se mide en hectáreas para diseños por áreas tributarias y en hectómetros cuando se trata de longitudes tributarias. Tampoco aplica para diseños pluviales.

5. Area adicional pluvial (Has). Corresponde a áreas brutas que aportaran caudales pluviales al tramo en cuestión. No aplica para diseños sanitarios.

6. Tiempo concentración de las áreas adicionales (minutos). Esta especificación complementa la del numeral anterior, indicando el tiempo de concentración estimado para cada área adicional prevista. Tampoco aplica para diseños sanitarios.

7. Coeficiente de escorrentía especificado para este tramo cuando no resulte adecuado el más usual, anteriormente explicado. No aplica para diseños sanitarios.

8. Factor de Alivio (n.n:1 en que n.n es un número con un decimal). Se usa en el caso de alcantarillados combinados, para indicar el número de veces que debe dejarse pasar, en una cámara de alivio, el pico máximo horario de aguas negras permitiendo que el resto sea evacuado a un cauce externo, de manera que las aguas aliviadas no estén excesivamente contaminadas.

Cuando existe un alivio **SedalPlus** efectuará las siguientes operaciones: (i) Colocará las áreas pluviales acumuladas en cero, (ii) rebajará el tiempo de concentración al valor inicial, (iii) dejará sin modificación el caudal medio de aguas negras, (iv) dejará sin modificación la población acumulada que sirve para calcular el caudal máximo horario (cuando se emplea una fórmula que lo exija) y (v) remplazara la infiltración y conexiones erradas por n.n - 1 veces el caudal máximo horario de aguas negras, siempre y cuando tal valor sea mayor que el que anteriormente existía. Algunos modelos especifican el alivio en función del caudal medio, situación menos conservativa, que podría permitir en las horas pico, el alivio de aguas negras sin suficiente dilución para factores de alivio más bajos que el factor de mayoración.

Tipo de tramo.

Usar uno de los siguientes tipos: (i) Red - tramo normal, (ii) Emisario - solo se adiciona infiltración más conexiones erradas a las tuberías (no se adicionan aguas negras), (iii) Vertimiento - indica que es la terminación de un subsistema, (iv) Estación de bombeo - indica también la terminación de un subsistema.

Los tramos de terminación de los subsistemas (vertimientos y estaciones de bombeo), deben tener en sus nodos finales una nomenclatura única que no se haya usado en otros tramos. El control de calidad vigilará el cumplimiento de lo anterior.

Eliminación de tramos existentes (importante)

Los tramos existentes sobre los cuales exista evidencia de que presentan severos problemas de funcionamiento pueden ser manualmente eliminados con el botón “Quitar Exist.” que funciona como un “switch” para marcar (o demarcar) un tramo que deba ser eliminado durante el proceso de cálculo. Los listados de cálculo dejarán evidencia de los tramos eliminados manualmente, y en las cantidades de obra y presupuesto se incluirán los sobrecostos por la eliminación de tales tramos que exigen que el sistema continué funcionando adecuadamente mientras son sustituidos. Por lo anterior se recomienda que no se haga una eliminación “de frente”, incluyéndolos como tramos nuevos, pues se desconocerán los sobrecostos de la eliminación.

Reordenamiento de los tramos.

En la pantalla de entrada de los tramos (**TRAMOS**), aparece un botón denominado “REORDENAR” que despliega una nueva ventana con nuevos botones que sirven para eliminar, mover, adicionar tramos, y así modificar (reordenar) la entrada inicial de los mismos, cuando sea conveniente. Esta pantalla solo incluye los nodos de cada tramo (“De”, “A”) y el número de línea correspondiente. Al principio solo aparece en pantalla el último tramo, pero con el botón retroceder se llega a la página precedente y así sucesivamente (también existe un botón para avanzar páginas completas).

Para adicionar un tramo nuevo se localiza la ubicación del tramo que debe precederlo, se oprime “Enter” para avanzar de “De” a “A” (si es del caso) y luego se oprime nuevamente “Enter”, con lo cual se abre abajo una línea vacía donde se deben introducir los nodos (También se puede adicionar la línea nueva con el botón “INSERT LINEA”). En la línea adicionada se remplaza automáticamente, el número que la identificaba con tres asteriscos, lo cual sirve para indicarle que es una línea nueva a la cual falta incluirle los demás datos del tramo: cotas de rasante, longitud, área, etc.

Para recorrer los tramos sin adicionar líneas se debe utilizar las flechas hacia abajo en vez de “ENTER”, y para subir al tramo anterior se debe utilizar la flecha hacia arriba.

Para eliminar una línea, se oprime el botón “ELIMIN LINEA”, después de haberse ubicado en ella. Si posteriormente se adiciona una línea anteriormente eliminada reaparecerá el número de línea que la identifica, en vez de los tres asteriscos.

Además de los botones mencionados, existen otros para: marcar bloques (por su inicio y fin) o quitar las marcas y para mover un bloque marcado, insertándolo arriba de la línea donde se esté ubicado. El reordenamiento no afecta la información incluida en los tramos que no hayan sido modificados.

Al finalizar las modificaciones de uno o varios tramos, al abandonar la rutina de reordenamiento (“SALIR”), el programa le preguntará si desea dejar en firme el reordenamiento, si responde “No”, se desharán todos los cambios y las cosas permanecerán como estaban. Es conveniente dejar anotados los tramos que hayan sido adicionados para introducirle la información faltante, una vez haya concluido el proceso de reordenamiento.

Una de las principales aplicaciones del reordenamiento es para reorganizar el proyecto cuando el control de calidad indique que hay falta de continuidad en algunos tramos. En este evento debe reintroducirse el orden de los tramos (según sentido de flujo), y realizar las modificaciones del caso.

Si no le resulta sencillo realizar los ajustes con movimientos de los bloques mal ubicados, eliminación y adición de tramos, que es el procedimiento más corto para hacer las correcciones, entonces elimine todos los tramos y reintrodúzcalos en el orden debido. Recuerde que no se perderá la información de los tramos reintroducidos a menos que tenga que cambiar la nomenclatura de algún nodo, pero en ese caso, solamente se perderá la información de ese tramo específico que podrá adicionarse posteriormente.

Otra utilización frecuente del reordenamiento es para introducir un pozo de inspección intermedio, evento en que hay que reemplazar un tramo por dos. Para el efecto anterior se adiciona el segundo tramo y se modifica la nomenclatura para ajustarla a las nuevas condiciones.

La función reordenamiento se puede utilizar todas las veces que sea necesario, tan pronto se vayan presentando las circunstancias que así lo exijan, pues no es necesario esperar hasta el final.

II – CONTROLES DE CALIDAD

EXPLICACION

SedalPlus realiza exhaustivos controles de calidad sobre la información general o particular contenida en los datos que le hayan sido suministrados, previamente a la ejecución de los cálculos, en orden a evitar errores en el proyecto. Existen dos tipos de controles de calidad: los que se ejecutan interactivamente en el mismo momento de la captura y los que se realizan posteriormente con rutinas especialmente diseñadas para tal fin. Mientras la información no haya sido verificada se niega el acceso a los cálculos (diseños), así como a los listados finales. Cuando datos previamente verificados son posteriormente modificados, se vuelven a exigir los controles de calidad para que el proceso pueda proseguir. Los controles de calidad, no interactivos, son los siguientes:

1. Verificación de las especificaciones. **SedalPlus** verifica que todas y cada una de las especificaciones requeridas para un proyecto específico hayan sido suministradas.

2. Verificación preliminar de los tramos. **SedalPlus** verifica que a todos y a cada uno de los tramos se le haya incluido la totalidad de los datos requeridos.

3. Verificación de nomenclatura y cotas. **SedalPlus** verifica que no exista ningún error de nomenclatura, ni tramos repetidos. Igualmente revisa que las cotas asignadas al mismo nodo en diferentes tramos correspondan siempre el mismo valor.

4. Verificación del ordenamiento hidráulico. **SedalPlus** revisa que todos los tramos constituyan un conjunto hidráulico continuo desde los tramos iniciales hasta cada vertimiento.

   Cuando se haya escogido la opción de solo realizar diseños automáticos, la revisión se limitará a verificar ciertos aspectos complementarios, puesto que el programa generará topologías que necesariamente garantizarán la continuidad hidráulica.

Después de hechos los cálculos, **SedalPlus** permite opcionalmente verificar con una rutina especial (diferente a la inicial), denominada **REVISION DE LOS CALCULOS**, que los resultados sean correctos. Además, verifica las violaciones de las normas relacionadas con los tramos existentes deficientemente diseñados o mal construidos, e informa al proyectista sobre tales circunstancias para que decida sobre una eventual eliminación de los que sean francamente inadecuados.

Los problemas de tramos existentes, encontrados durante la revisión de los cálculos, **SedalPlus** los clasifica en: (i) Errores Fatales cuando son francamente inaceptables, tales como que el diámetro sea insuficiente para transportar el caudal o desempalmes de cotas, de manera que un tramo aguas abajo esté más alto que el inmediatamente aguas arriba, y (ii) Deficiencias, cuando se trata de problemas que con flexibilidad, cuando no haya evidencia cierta de problemas de funcionamiento, puedan ser aceptados, sin necesidad de eliminar por el incumplimiento de algunas normas, los tramos afectados, como por ejemplo: velocidades bajas, tramos construidos relativamente superficiales, reducción de diámetros aguas abajo, excesivo llenado del tubo sin superar su capacidad, etc.

V – LIST. GENERALES (Listados para revisión de los datos entrados)

CONTENIDO DE LOS LISTADOS GENERALES

Los listados generales contienen información de los datos generales del proyecto, las especificaciones y los tramos entrados, así como de algunos valores calculados a partir de ellos. En resumen, los reportes que se pueden producir sobre la información capturada son los siguientes:

.

1. Listados de especificaciones (generales, sanitarias, pluviales y de construcción).

2. Listados de datos generales de los tramos (datos incluidos para todos los tramos).

3. Listado de datos especiales de los tramos (solo se incluyen los tramos pertinentes).

4. Listado resumen de los tramos (cifras totales de longitudes, número de tramos, áreas, etc.).

5. Listado de relación ordenada de los tramos (Incluye los tramos identificados por la nomenclatura de sus nodos (inicial y final). Sirve de ayuda, para detectar los errores, cuando falla el control de calidad que revisa el ordenamiento hidráulico.

6. Relación ordenada de pozos (sirve para consultar, en cualquier momento, los pozos que hayan sido incluidos en la entrada de tramos, para evitar duplicaciones que de otra manera serian rechazadas por el control de calidad).

PRODUCCION DE LISTADOS

La funcionalidad que seguidamente se explicará es común a la totalidad de los listados y no necesita ser repetida posteriormente.

Al seleccionar un listado desde el submenú correspondiente, en unos casos se pide confirmación (listados cortos), y en otros casos (listados de muchas hojas) se solicita se indique desde que página hasta que página del listado se desea ver primero en la pantalla, antes de imprimirlo (se puede usar la tecla “Esc” para regresar al menú principal). La pantalla presenta los siguientes botones:

- Buscar. Permite localizar cualquier texto alfanumérico, a partir del sitio donde se halle el cursor. La búsqueda se puede repetir, varias veces, hasta que aparezca una ventana con el mensaje “Texto no encontrado”. Se puede incluir en cualquier búsqueda el carácter que se usa para demarcar columnas, que corresponde a la primera tecla (superior, izquierda) del teclado (en minúsculas). Lo anterior es útil cuando se desea localizar algún nodo, por ejemplo, el “15”, usando “|15“, para evitar que la búsqueda encuentre todos los números 15, en cotas, longitudes, caudales, etc., que no interesan.

- Reducir. Emplea un carácter más pequeño para reducir el ancho del listado en pantalla. Lo anterior es útil para ver listados con muchas columnas en una sola vista, en la mayoría de los casos, sin necesidad de usar el “scroll” horizontal.

- Imprimir. Cuando se oprime ese botón, se despliega en pantalla el dialogo estándar de impresión de Windows que permite seleccionar la impresora que se desea utilizar (cuando hay varias), los parámetros del listado, etc., y lanzar la impresión. Al iniciar la impresión se cierra automáticamente la ventana que contiene el listado.

- Grabar. Cuando se oprime ese botón, se despliega en pantalla el dialogo estándar de grabación de Windows que permite grabar el listado en un formato RTF (Rich Edit) que es muy parecido al de los documentos “.doc” que maneja Word. El archivo guardado que se graba con la terminación .RTF podrá ser accesado posteriormente desde Word para ser modificado.

  Si se introducen ajustes, para manejar adecuadamente las columnas, podrá ser posteriormente accesado desde Excel para por ejemplo exportar datos al programa AutoCAD para dibujar perfiles. La manipulación de los archivos grabados requiere un aceptable conocimiento del manejo de los programas Word y Excel. Para más información se recomienda leer el **ANEXO 5** del presente manual.

- Cerrar. Cierra la ventana cuando solo de desea consultar el listado sin imprimirlo y se regresa al menú principal.

INFORMACION IMPORTANTE

Para los listados **SedalPlus** utiliza la fuente “Courier New” con tamaño 7. Se recomienda utilizar esta misma fuente (posiblemente con un tamaño mayor) para los capítulos de la memoria técnica que requieren elaboración manual por el consultor. De esa manera la presentación quedará más uniforme.

La fuente “Courier New” es de tamaño fijo, lo que significa que todos los caracteres tendrán el mismo ancho, lo cual facilita el alineamiento en la elaboración de cuadros de valores (bastante usual en las memorias técnicas), aunque la presentación general pueda quedar algo mejor con las fuentes de tamaño proporcional.

VI – DISEÑOS (CALCULOS)

ADVERTENCIA

Cuando se acaba de cargar el programa y se hace por primera vez un cálculo, la respuesta es algo lenta (por la necesidad de comunicarse con Internet) y puede tardar algunos segundos. En los cálculos posteriores la respuesta es más rápida, mientras no se haya abandonado el aplicativo. Tal comportamiento es normal.

DISEÑO DEL PROYECTO

El diseño del proyecto se activa con la opción del menú: Diseño/Diseño del Proyecto. Al terminar el proceso de diseño se desplegará una pantalla.

En el caso de diseño solo automático o manual y automático **SedalPlus** mostrará en pantalla mediante una "barra de progreso", el avance de cada una de 6 alternativas que diseñará automáticamente. Además, indicará el tiempo empleado durante el diseño. En caso de diseño solo manual el proceso será mucho más rápido pues no se necesita diseñar las 6 alternativas.

Primera Pantalla

Terminado el proceso anterior se desplegará una primera pantalla donde se mostrará el resultado, incluyendo las alternativas del caso. Se presentarán los siguientes datos:

1. Profundidad media (m).
2. Diámetro promedio (mm).
3. Profundidad máxima (m).
4. Número de vertimientos.
5. Profundidad final máxima (vertimiento más enterrado). (m).
6. Profundidad final mínima (vertimiento más superficial). (m).
7. Diámetro máximo (mm)
8. Número de tramos eliminados por problemas de capacidad o empalme (cuando se haya autorizado la eliminación).
9. Alternativa Número (entre 1 y 16).

La primera alternativa mostrada será la manual (cuando fuese pertinente). Las alternativas automáticas se presentarán ordenadas de la mejor a la peor, según lo estime **SedalPlus.**

Solamente se mostrarán en la pantalla hasta 3 alternativas, la primera será la que tenga menor profundidad media, la segunda corresponderá a la que presente el menor diámetro promedio y la tercera será la que presente la menor profundidad máxima.

En el caso de que la mejor alternativa supere a las demás en todos los parámetros será la única mostrada. Cuando solo exista una segunda alternativa que supere a la que resulte mejor en alguno de los parámetros mencionados también se mostrará en pantalla.

En casos de alcantarillados muy planos, sin pendientes del terreno bien definidas, por regla general, **SedalPlus** encontrará mayor número de alternativas bien diferenciadas.

En proyectos de tamaño pequeño, con pendientes relativamente uniformes, donde el terreno prácticamente define la solución, **SedalPlus** presentará un menor número de alternativas diferenciadas. Inclusive se pueden presentar casos en que la alternativa manual realizada por el proyectista resulte muy similar (prácticamente igual) a la mejor generada automáticamente por el programa.

Por lo anterior, mientras menos alternativas presente **SedalPlus**, existe una mayor probabilidad de haberse aproximado a la mejor solución viable, mientras que, por lo contrario, mientras más soluciones automáticas se presenten, es una señal de que el proyecto, presenta más posibilidades de ser mejorado, con ajustes manuales por parte de proyectistas bien experimentados.

Finalmente, el proyectista debe seleccionar, la alternativa que considere más conveniente (incluida la manual) para continuar el resto del proceso. Para la selección basta marcar con el cursor, mediante el Mouse, la opción deseada y luego oprimir el botón “aceptar”, lo cual producirá el despliegue de la pantalla intermedia

Pantalla Intermedia

Realizado lo anterior se otra pantalla, la cual solicita que se precisen los siguientes parámetros, que serán utilizados durante los cálculos: (se ofrecen unas respuestas por defecto que se mantendrán fijas, mientras no sean modificadas)

1. Desea eliminar tramos existentes con problemas de capacidad o empalme (S/N). La eliminación de algunos tramos existentes resulta bastante costosa, especialmente por la necesidad de mantener el servicio hasta cuando sea sustituidos. Por lo anterior conviene aceptar inicialmente la eliminación como una primera aproximación a la solución y decidir si algunos de los tramos se podrían conservar mediante la inclusión de interceptores, duplicación de tuberías, etc. o flexibilizando algunas especificaciones.
   Cuando se autoriza a **SedalPlus** para que proceda a la eliminación, en los listados correspondientes aparecerá al final una relación de los tramos que necesitó suprimir.

2. Desea eliminar tramos restringidos con problemas de capacidad o empalme (S/N). Como los tramos restringidos son en esencia nuevos, la eliminación será realmente virtual y no creará los costos adicionales de sustituir un tramo existente (y posiblemente en operación), con nuevos parámetros de diseño. La eliminación solamente servirá para mostrarle al proyectista la razón para desatender la intervención manual que deseaba realizar al proyecto.

3. Desea ignorar las restricciones de los tramos (S/N). Aunque este evento no hace eliminaciones, sirve para comparar las restricciones manuales realizadas por el proyectista, con el diseño que de modo automático haría **SedalPlus**, en orden a conocer la conveniencia o no de introducir tales restricciones, comparando, por ejemplo, los costos (con y sin restricciones). Esta opción no borra físicamente las restricciones, sino que simplemente las ignora. Para un borrado físico, de todas las restricciones, en la rutina de entrada de los datos de los tramos existe un botón que ejecuta ese proceso.

4. Desea tramos iniciales a ras con otras salidas (S/N). Algunos proyectistas exigen que los tramos iniciales, se diseñen de manera tal que su batea este por encima de las claves de los demás tramos que comparten un mismo pozo de inspección, con el objetivo de facilitar la introducción a la tubería, de los equipos de limpieza.

   Otros menos conservadores permiten que los tramos iniciales puedan llegar a tener la clave a nivel (ras) con la de la tubería de salida más alta que exista. La primera opción corresponde con la respuesta NO, y la segunda con SI.

En esta pantalla aparece un botón [OK] que debe ser oprimido para pasar a la pantalla final.

Anotación Importante

Cuando se desee simplemente realizar la revisión de un proyecto, todos los tramos, excepto los construidos y los no investigados se incluyen como restringidos, para que **SedalPlus** no los modifique y simplemente los revise - debe decirse "N" (no) a los numerales 1 y 2 anteriores y proseguir con el cálculo (diseño) y luego estudiar los problemas y deficiencia del diseño revisado que deban ser corregidos (más adelante se explicará cómo consultar los problemas y deficiencias).

En caso de que se quiera comparar la solución revisada con la que diseñaría **SedalPlus**, basta aceptar que se desea ignorar las restricciones de los tramos (numeral 3 anterior) y el programa hará su propio diseño. Para hacer una comparación rápida de los costos basta ver las variaciones porcentuales de la profundidad media y el diámetro promedio.

Luego se hace una suposición de cuál es el peso promedio de los datos, cuyos costos, tienen relación directa con la profundidad promedio (excavaciones y pozos de inspección), por ejemplo 60% y cuales dependen del diámetro promedio (tuberías) por ejemplo 40% y se aplican tales porcentajes a las variaciones porcentuales antes mencionadas. El resultado expresará el sobrecosto porcentual del proyecto más costoso. Incluyendo los precios unitarios se podrán hacer comparaciones de costos más exactas pero el proceso es más elaborado.

Pantalla Final

En esta pantalla aparece la siguiente información relacionada con la opción de cálculo que fue seleccionada:

1. Tramo con capacidad insuficiente (número). Se refiere a tramos existentes donde el caudal de cálculo supera la capacidad del tubo. Requieren rediseño topológico, cambio especificaciones, o ser eliminados.

2. Las claves de entrada y salida no empalman (número). Se trata de: (i) tramos existentes mal empalmados (construidos deficientemente), o de (ii) tramos nuevos que deberían empalmar con tramos existentes que son muy superficiales para hacer viable el empalme. Han fallado los intentos de **SedalPlus** de facilitar el empalme usando especificaciones mínimas minimorum. La solución es: rediseño topológico, cambio especificaciones, o eliminación.

Adicionalmente se muestra el tramo o los tramos finales (vertimiento o estación de bombas), con indicación de los diámetros y las profundidades a que se llegó.

En cualquier momento se puede volver a ordenar la ejecución del cálculo. Si no ha sido cambiado ningún dato, **SedalPlus** presentará de manera casi instantánea, las pantallas descritas anteriormente que inicia mostrando las alternativas, para permitir seleccionar otra, si fuere el caso.

Si se realizan cambios en especificaciones, o se modifican las instrucciones para la eliminación de tramos con problemas, etc., pero no se altera ningún dato de los tramos, **SedalPlus** realiza un recálculo relativamente rápido y reajustará la pantalla de selección de alternativa con los nuevos valores que hayan resultado. Si se hace cualquier modificación en los datos de los tramos entrados, por leve que ella parezca, **SedalPlus** volverá ejecutar el diseño topológico completo de las 6 alternativas que puede tomar un tiempo significativo (hasta varios minutos por alternativa)

Recomendaciones importantes

1. La forma como opera **SedalPlus**, descrita en el párrafo anterior, permite recomendar que cuando se quiera hacer un diseño "manual y automático", primero se seleccione la opción de "solo manual", y se trabaje así, hasta cuando se considere que no se requieren más ajustes. De esa forma, los cálculos necesarios para verificar el funcionamiento del diseño se harán muy rápidamente. Seguidamente se puede cambiar a la opción de diseño a "manual y automático", para que **SedalPlus** genere adicionalmente las alternativas automáticas, que como ha sido mencionado, pueden tomar un tiempo significativo.

2. Cuando se vaya a realizar un cálculo que implique diseño automático, que puede tomar cierto tiempo, suele ser conveniente minimizar el aplicativo a la barra de tareas, oprimiendo el botón correspondiente localizado en la parte superior derecha de la ventana del programa (primero del grupo de tres botones que aparecen en ese sitio). Con lo anterior el programa continuará corriendo en "back ground", sin perturbar para nada la pantalla, lo que permite correr otros aplicativos, mientras se espera el resultado. Cuando el programa termine las 6 alternativas del diseño, irrumpirá súbitamente a la pantalla, mostrando los resultados obtenidos, y ubicándose en primer plano, para de esa manera, informarle que está listo para continuar.

   Si se desea, puede volverse a minimizar **SedalPlus**, para poder terminar el trabajo que se esté realizando con otro aplicativo. Para continuar será necesario primero abandonar la ventana que contiene los resultados de las alternativas, bien sea seleccionando una de ellas u oprimiendo la tecla de cancelación. La cancelación no pierde los resultados del diseño que reaparecerán instantáneamente en pantalla, cada vez que se vuelva a activar la función "Diseñar".

3. Algunos consultores tratan de abusar del diseño automático por la ventaja de no tener que introducir los tramos en una secuencia específica. Tal práctica tiene el inconveniente de que, en presencia de errores, tales como: (i) tramos necesariamente finales no identificados como vertimientos o estación de bombas, (ii) errores de nomenclatura, etc., **SedalPlus** fuera de manifestar el problema con un mensaje, no tiene forma de ayudar en la solución, de manera que la corrección se pude volver relativamente dispendiosa.

En condiciones extremas la mejor solución consiste en cambiar la opción a diseño manual e introducir los tramos según sentido de flujo para que la situación sea verificada por los controles. Lo anterior garantiza que la información de entrada está completa y correcta, lo cual asegura que el diseño automático pueda funcionar adecuadamente.

En **SedalPlus** se identificaron 5 puntos, dentro de la rutina de Diseño Automático, en los cuales se pueden presentar errores por fallas en los datos de los tramos, para que despliegue el mensaje de error, sin embargo, por la complejidad de tal rutina, es posible que se puedan presentar problemas en otros sitios que hagan abortar el programa con un mensaje del sistema operativo. De presentarse tal situación favor preservar sin modificación los archivos del proyecto que generan el problema para su envío por correo electrónico al autor del programa. Cada proyecto se almacena en una carpeta titulada con las dos letras que lo identifican, seguidas de un guión, y luego del nombre del proyecto. La carpeta está ubicada en el directorio que aparece en la parte superior de la pantalla de inicio de **SedalPlus**. La carpeta debe comprimirse con WinZip o Airar antes de su envío.

REVISION DISEÑO (Resumen)

Esta opción, realiza una revisión exhaustiva de la alternativa que haya sido seleccionada durante el proceso de cálculo, mediante una rutina diferente a la que realizó inicialmente el proceso.

Lo anterior permite asegurar que el diseño se encuentra razonablemente libre de errores de software y además presenta con gran detalle los problemas y deficiencias derivados de la utilización de tramos existentes, deficientemente construidos, o que no se ajustan adecuadamente al nuevo proyecto. Realizada la revisión, se presentará en pantalla el resultado de la misma, que incluye un resumen de los tramos con problemas o deficiencias (con indicación de la cantidad de tramos afectados), según el siguiente detalle:

Problemas de Capacidad o Empalme

- Tramos con capacidad insuficiente
- Las claves de entrada y salida no empalman

Deficiencias Tramos existentes y restringidos

- El tubo trabaja demasiado lleno (pero no se supera la capacidad).
- El diámetro siguiente es más reducido.
- Velocidad a tubo lleno muy baja.
- Velocidad a tubo lleno muy alta.
- Velocidad real insuficiente.
- Profundidad a clave insuficiente,
- Profundidad a clave muy grande.
- Faltan cámaras de caída intermedias.
- Pendientes nulas o negativas.
- Fuerza tractiva insuficiente.
- Tramo inicial enterrado (adicionar Pozo nuevo)

Nota: Cuando se ha autorizado el uso de especificaciones mínimas minimorum las deficiencias se miden respecto a ellas y no en relación a las normas normales.

En caso de que en la entrada de los tramos se haya especificado una profundidad mínima para algún tramo en particular y esta resultaré menor que la especificación general de profundidad mínima, tal situación no se relacionará como una deficiencia, pues se presume que el consultor tuvo una razón especial para tomar esa determinación.

Deficiencias según normas RAS

- Se pude presentar régimen Crítico

Para conocer el detalle de cada uno de los tramos afectados por problemas o deficiencias **SedalPlus** ofrece sendos listados que se explicarán más adelante.

LISTADO DE EVOLUCION DEL DISEÑO

Este listado, es de muy poco interés para los usuarios, aunque fue muy útil para el "debug" del programa durante el desarrollo, pues se usó para soportar lógicas de compilación condicional que mostraran en pantalla la evolución de los cálculos, con diversos detalles. Se incluyó en su versión más básica, para que los proyectistas con curiosidad en el tema puedan tener una mejor visión de la forma como diseña **SedalPlus.**

El listado contiene una relación de los tramos del proyecto, previamente ordenados según sentido de flujos. Cada tramo, además de la nomenclatura que lo identifica, muestra la clase (nuevo, existente, restringido, etc.), y el diámetro con que inicia el proceso de diseño, el cual será afinado al analizar las características de los tramos que le siguen aguas abajo (los puntos "." indican que se están evaluando algunos tramos aguas abajo, para proponer otro diámetro más adecuado).

Los signos "<" indican que, a pesar de las previsiones iniciales, se han encontrado tramos existentes que no pueden ser empalmados con las especificaciones mínimas y **SedalPlus** está haciendo los mejores esfuerzos posibles para lograr el empalme, ajustando con las especificaciones mínimas minimorum algunos tramos aguas arriba para rebajar el enterramiento de las tuberías. Cuando el empalme resulta viable se presenta el símbolo de admiración "!" y cuando el empalme resulta imposible se presentan dos signos de interrogación "??". Cuando el empalme definitivamente falle, la solución podría ser la eliminación del tramo existente problemático o modificar la topología del sistema. El cálculo no finaliza cuando se encuentra el primer problema, sino que prosigue para detectar la totalidad de ellos.

Las lógicas para el diseño de alternativas topológicas son mucho más complejas y abstractas y no puede detallarse, aún en su forma más básica, con modelos sencillos.

LISTADO DE PROBLEMAS ENCONTRADOS

Para poder generar este listado, es prerrequisito haber realizado previamente la revisión de los cálculos. El listado detalla cada uno de los tramos con problemas encontrados que tienen que ser necesariamente existentes o restringidos. Los problemas, por ser errores graves, deben ser necesariamente corregidos, en el peor de los casos mediante la eliminación del tramo que será remplazado por otro nuevo. Como ha sido mencionado los problemas se refieren a (i) Tramos con capacidad insuficiente, y (ii) Las claves de salida y entrada no empalman. Para cada tramo el listado incluye las cifras (caudales o cotas) que caracterizan los problemas.

LISTADO DE DEFICIENCIAS ENCONTRADAS

Para poder generar este listado, es prerrequisito haber realizado previamente la revisión de los cálculos. El listado contiene una relación detallada de los tramos existentes o restringidos con deficiencias, indicando la clase de deficiencia e incluyendo la cifra obtenida que viola necesariamente alguna norma de diseño.

La única deficiencia que puede afectar a un tramo nuevo es tener profundidad a clave muy grande (estar demasiado enterrado), situación que puede ocurrir en poblaciones planas y extensas.

Una posible solución consiste en usar estaciones de bombeo (elevadoras). Las clases de deficiencias fueron anteriormente detalladas (Ver: **REVISION DE LOS CALCULOS (Resumen)**).

En general se puede convivir con la gran mayoría de las deficiencias que se puedan presentar en algunos alcantarillados existentes. La eliminación de tramos existentes con deficiencias solo se recomienda cuando existan evidencias que estén causando serios problemas de funcionamiento que afecten el servicio o exijan dispendiosas y costosas labores de mantenimiento, pues no parece muy adecuado eliminarlos, por simples consideraciones teóricas de diseño.

LISTADO DEFICIENCIAS (RAS)

Para poder generar este listado, es prerrequisito haber realizado previamente la revisión de los cálculos. El listado contiene una relación detallada de los tramos, indicando la clase de deficiencia e incluyendo la cifra obtenida que viola necesariamente alguna norma de diseño.

La eliminación de tramos existentes con algunas deficiencias, según las normas RAS, solo se recomienda cuando existan evidencias que se estén causando serios problemas de funcionamiento que afecten severamente el servicio, o exijan dispendiosas y costosas labores de mantenimiento, pues no parece muy adecuado eliminarlos, por simples consideraciones teóricas de diseño.

REVISAR CON SWMM

Esta opción ejecuta la revisión del Proyecto con el programa SWMM de la EPA. El proceso es totalmente transparente y no requiere ninguna información adicional. La pantalla solamente indicará que se está realizando un proceso. Para ver y/o imprimir los listados producidos por SWMM debe cargarse el Menú: List. Diseños.

INCLUISION AUTOMATICA DISEÑO EN ENTRADA TRAMOS

Esta funcionalidad, ahora automática, sirve fundamentalmente para permitir mejorar manualmente una alternativa generada automáticamente por **SedalPlus**, cuando ella es seleccionada, y que en condiciones normales no podría ser modificada por que sus datos no son capturables. Al seleccionar una alternativa automática los datos de ella se transferirán a la entrada de datos, desde donde pueden ser manipulados. **SedalPlus** guarda una copia de la captura inicial que puede ser recuperada desde la opción del menú: Archivos/Recuperar Archivo Original.

Cuando se quiera ajustar manualmente un diseño inicialmente automático, conviene cambiar el diseño a “solo manual”, pues no tiene sentido volver a generar innecesariamente las otras alternativas automáticas desechadas, incrementando notoriamente el tiempo de proceso. En este evento conviene concentrar el trabajo en mejorar manualmente la alternativa seleccionada, labor que exige muy buena experiencia en el proyectista para lograr buenos resultados.

VII – LIST. DISEÑO (Listados con los resultados del diseño)

EXPLICACION

La totalidad de los listados fueron diseñados para impresión en tamaño carta en modo vertical. En resumen, los cuadros de cálculo son los siguientes:

- **Listados de Diseño Hidráulico**. (diámetros, pendientes, caudales, velocidades, fuerzas tractivas número de Froude, etc.). Este listado está reservado normalmente para el diseño con flujo uniforme o para diseños pluviales realizados con el método racional.

- **Listados de Diseño Físico**. (diámetros, pendientes, cotas de rasante, cotas de clave, profundidades, cámaras de caída, etc.). Este listado también está reservado normalmente para el diseño con flujo uniforme o para diseños pluviales realizados con el método racional.

- **Listados de caudales sanitarios.**

- **Listados de caudales pluviales.**

- ***Listados de Perdidas Menores****. Para conocer cuál fue la norma incumplida, basta observar si alguna de las variables H1 o H2, tiene un valor negativo.*

  (H1 expresa el empalme de cotas de batea, H2 corresponde al empalme de energía.

  En este listado al buscar "?." (asterisco punto) se encuentran los tramos que, aunque incumplen alguna norma (H1 o H2) estaban exonerados del empalme de energía, o hay razones de fondo para obviar su cumplimiento. Tales tramos deben pertenecer a alguna de las siguientes categorías: DE (con diámetro excluido expresamente de la norma, típicamente menor de 500 mm), TE (tramo existente – puede haber sido diseñado con normas antiguas, aunque no hay evidencias de mal funcionamiento, o habría sido eliminado manualmente), TR (tramo restringido – definido por el proyectista por alguna consideración especial) EE (tramo empalmado – se aplicaron especificaciones mínimas minimorum, excluidas las de energía, para poder lograr el empalme con un tramo existente ubicado aguas abajo que de otra manera sería imposible).

  Si al buscar "??" se encuentra algún tramo con esa característica, significa una falla de diseño debida a ***SedalPlus*** *(Se incumplió un empalme de energía sin razón para ello)****.*** *Se ruega reportar tal situación.*

- **Pozos iniciales nuevos adicionados en el diseño**. (para evitar tramos iniciales más profundos que otros tramos que comparten el pozo de inspección, y facilitar la limpieza de las tuberías).

- **Reporte SWMM**. Lista el reporte generado por SWMM, que sirve principalmente para ver si hay nodos (node) que trabajan a presión (surcharging), o que causan inundaciones (flooding).

  El listado se presenta en idioma inglés. En las últimas versiones de SWMM se modificó el reporte y las sobrecargas o inundaciones hay que verlas en "summary", donde hay que abrir un componente en la parte superior izquierda. Ahí aparecen las opciones pertinentes, de manera que si no hay sobrecargas o inundaciones no aparecen tales opciones. En **SedalPlus** se puede ver el reporte antiguo. Si se busca la palabra "nodes" se encontrará fácilmente los sobrecargados o con inundaciones o el comentario de que no existen.

- **Diseño Hidráulico para SWMM (solo inundados) y Diseño Físico para SWMM (solo inundados).** Estos listados, con presentación similar al listado de Diseño Hidráulico y el de Diseño Físico calculado con flujo uniforme, que fue anteriormente mencionado, han sido calculado con las ecuaciones de Saint Venant, usualmente con el modelo de Onda Dinámica. En el poco probable caso de que se presenten inundaciones, se mostrarán los tramos que según **SWMM**, sufren ese problema. Después de verificar en los perfiles de **SWMM** (se requiere disponer del ese programa) que el problema es real y no se trata de casos espurios, se procede a arreglar los problemas en los tramos señalados (conviene hacer un listado).

  Para el efecto se abre la opción tramos y los tramos con inundaciones, se convierten en "restringidos", luego se les pone la misma cota inicial y pendiente del listado: Diseño Físico para **SWMM.** Finalmente se cambia el diámetro al inmediatamente superior. Realizados estos cambios en todos los tramos con problema de inundación, se hace el recalculo y se vuelve a consultar los listados de solo inundados. Si aparecen otros errores se vuelven a corregir y así sucesivamente hasta que todos los problemas hayan desaparecido.

- **Diseño Hidráulico para SWMM Y Diseño Físico para** SWMM**.** Estos listados fueron elaborados para disponer también del proyecto, diseñado con las ecuaciones de Saint Venant, que, con el modelo de onda dinámica, ofrece el mejor resultado posible que más se asemeja al funcionamiento real del alcantarillado. El consultor podrá decidir entonces con cuál de los dos modelos presentará finalmente su proyecto.

  En ambos diseños solo varían, muy poco en promedio, algunas de las variables del diseño hidráulico pues el diseño físico es idéntico para ambas versiones. En el diseño basado en las ecuaciones de Saint Venant, se excluye el número de Froude y la fuerza tractiva que no se emplean en el diseño **SWMM.** En promedio, el diseño con flujo uniforme tiene un poco mayores llenados del tubo y velocidades reales algo más bajas, pero las diferencias no son importantes. Versiones antiguas de **SWMM** incluían el número de Froude, pero las más recientes lo excluyeron.

  Los listados elaborados para SWMM, se presentan los datos en la forma utilizada en los cuadros de cálculo tradicionales, que son mucho más fáciles de entender, que los que produce SWMM.

Al igual que en todos los listados, **SedalPlus** permite ver los listados por pantalla ante de imprimirlos. Para una mejor información sobre el particular se recomienda consultar: **V – LISTADOS GENERALES / PRODUCCION DE LISTADOS.**

Para el caso de aguas lluvias o sistemas combinados, **SedalPlus,** también permite hacer diseños basados en los hidrogramas de **SWMM,** que teóricamente ofrecen resultados más exactos. En este caso, en los listados de los Cálculos Hidráulicos, no se ofrecen las opciones de diseño bajo flujo uniforme, aunque el proyecto también se puede diseñar por el método racional. Estos dos diseños serán muy diferentes entre sí, aunque ambos correctos dentro de sus propias especificaciones.

DETALLES EMPALME DE ENERGIA

En el listado: Empalme Energía, que sirve para verificar el cumplimiento de las normas pertinentes, se incluyen los valores H1 y H2 que deben ser siempre positivos, pues en el evento de ser negativos indicarían un desempalme. A continuación, se explica con mayor detalle el significado de los parámetros anteriores:

- **H1** es la diferencia entre la cota de batea de entrada y de salida de las tuberías en cada pozo de inspección. Como es evidente tal parámetro indica la caída de las bateas en el pozo de inspección. Un valor cero indica bateas a nivel, mientras que un valor negativo indica un desempalme.

- **H2** es la diferencia de la cota de energía entre la tubería de entrada y de salida en los pozos de inspección, después de restar las perdidas por cambio de dirección y cambio de velocidad. El valor correcto debe ser cero o mayor.

.

III - CANT. DE OBRA (Cantidades de obra)

DEFINICION DE ETAPAS DE CONSTRUCCION

Para efectos presupuestales, **SedalPlus** permite clasificar los tramos a construir hasta en tres etapas de construcción, reservando el número cero para indicar que no pertenece a ninguna etapa de construcción. Por defecto todos los tramos no pertenecen a ninguna etapa de construcción. Las cantidades de obra y los presupuestos se calculan y listan primero para el proyecto total y luego para cada etapa de construcción, para las cuales se hayan definido tramos (por lo menos uno). Las etapas de construcción son en esencia subconjuntos presupuestales del proyecto total.

La pantalla de captura que permite clasificar los tramos por etapas de construcción muestra inicialmente el primer tramo del proyecto y el cursor está colocado en un campo donde debe incluirse el número de la etapa (1, 2 o 3) o dejarla en cero. Oprimida la tecla “Intro” (ENTER), se captura el digito entrado y se avanza al siguiente tramo. También funcionan las teclas “Re. Pág.” (Retroceder) y “Av. Pág.” (Avanzar) para navegar secuencialmente entre los tramos del proyecto (también hay botones con esa funcionalidad). Además, existe un campo de captura que permite saltar directamente a otro tramo. Hay que desplazarse con el Mouse a ese campo, para acceder luego cualquier tramo por su “número de línea”.

Para terminar la clasificación, se oprime un botón denominado “OK”, el cual presentará en una ventana el número de tramos clasificados en cada una de las etapas. De ahí en adelante, los demás procesos para calcular o listar, reconocen automáticamente la presencia de etapas para ofrecer las opciones del caso.

CALCULO DE CANTIDADES DE OBRA

Esta opción realiza automáticamente los cálculos de cantidades de obra por sistemas (nuevo, existente o total), según lo que sea pertinente en cada caso particular. También ejecuta los cálculos por sistemas, para el proyecto total y para cada una de las etapas de construcción que hayan sido definidas.

IX – LIST. OBRA (Listados de obra)

Todos los listados que seguidamente se detallan se pueden ver por pantalla antes de imprimirlos y cuentan con la operatividad señalada en el capítulo **VI – LISTADOS GENERALES/PRODUCCION DE LISTADOS.**

ETAPAS DE CONSTRUCCION

Este listado contiene una relación de la totalidad de los tramos del proyecto con indicación de la etapa de construcción a que haya sido asignado cada uno de ellos, o cero cuando no pertenece a ninguna.

CANTIDADES DE OBRA

Contiene los listados de las cantidades de obra detalladas del proyecto, clasificadas por sistemas (nuevo, existente o total) y por las etapas de construcción que hayan sido definidas. Los listados son selectivos de modo que se limitan a incluir solamente lo que sea pertinente.

CLASIFICACION DE TRAMOS Y POZOS

Contiene una relación de las tuberías del proyecto, clasificadas por rangos de profundidad y diámetros, así como una relación de los pozos de inspección, clasificados por diámetro de los pozos y rangos de profundidad. Las relaciones anteriores se agrupan según los sistemas del proyecto (nuevo, existente o total). Los listados son selectivos de modo que se limitan a incluir solamente los sistemas que sean pertinentes.

FORMULARIO DE PRECIOS REQUERIDOS

Contiene una relación de todos los precios unitarios requeridos para poder elaborar los presupuestos del proyecto. Los listados se presentan bajo la forma de formularios con campos en blanco para incluir manualmente los precios. Los listados, cuando estén completamente diligenciados, servirán de apoyo para cargar los datos a **SedalPlus.** En el formulario solo se incluyen los precios unitarios estrictamente necesarios para elaborar los presupuestos del proyecto en cuestión. **SedalPlus** no ofrece herramientas adicionales para la elaboración de los análisis unitarios. Estos se pueden elaborar manualmente o con algún aplicativo especial, tal como **PresW** elaborado por el autor de **SedalPlus** que se ofrece gratuitamente.

FORMULARIO DE PRECIOS TOTALES

La diferencia con el formulario anterior es que incluye la totalidad de los precios unitarios posibles. Aunque exige un trabajo inicial mayor tiene la ventaja de que no será necesario adicionar nuevos precios cuando se modifique el proyecto. Además, facilita la valoración de las alternativas que normalmente exigen distintos precios unitarios.

X – PRESUPUESTO (Entrada precios y cálculos de los presupuestos)

ENTRADA DE PRECIOS UNITARIOS

Esta pantalla permite introducir a **SedalPlus** los precios unitarios. Los datos que obligatoriamente se requieren se muestran en negrilla, mientras que los precios unitarios no utilizados por el proyecto específico que se está procesando, no aparecen resaltados. Entre los botones de la pantalla, merece ser mencionado el denominado “buscar” (equivale a oprimir F2) que permite desplazarse solo entre los campos obligatorios y a la primera línea de un nuevo capítulo. Ese botón permite navegar fácilmente entre los campos que deben ser diligenciados y salta los que no sean indispensables para el proyecto en cuestión.

Recomendación

Aunque no es obligatorio, se recomienda incluir dentro de **SedalPlus** la totalidad de los análisis unitarios posibles (requeridos por el proyecto y no requeridos), para no tener que estar adicionando datos, cuando se modifique el proyecto o se cambie de alternativa. Los precios unitarios, conviene ajustarlos periódicamente, en la medida que varíen los costos de los alcantarillados. De esta manera la elaboración de nuevos proyectos y la comparación de costos de alternativas se hacen más sencillas.

El archivo que contiene los precios unitarios se denomina XSANPRE.XX0 en que XX corresponde a las 2 letras que caracterizan el proyecto. Con el explorador de Windows es posible copiar este archivo trasladarlo al subdirectorio de otro proyecto y renombrar las letras que lo identifican, evitando la captura de los datos, cuando los precios sean aplicables a este último proyecto.

ENTRADA DE PRECIOS GLOBALES

Esta opción permite añadir a los presupuestos elaborados por **SedalPlus** algunos ítems no incorporados automáticamente, como son las estaciones de bombeo, sifones y demás estructuras especiales, cuyo diseño se hace por fuera del programa. Se pueden añadir hasta 17 ítems globales, los cuales pueden ser clasificados por etapas de construcción, o como existentes, para que los listados de presupuestos los presenten de manera adecuada.

CALCULO DEL PRESUPUESTO

Esta opción realiza de manera automática el cálculo de todos los presupuestos que se derivan de las características y parámetros del proyecto. En caso de que falten algunos análisis unitarios para elaborar algunos presupuestos, el sistema lo advierte, pero no termina el proceso, aunque algunos de los precios queden en ceros.

XI – LIST. PRESUPUESTO (Listados de los presupuestos)

Todos los listados que seguidamente se detallan se pueden ver por pantalla antes de imprimirlos y cuentan con la operatividad señalada en el capítulo **VI – LISTADOS GENERALES/PRODUCCION DE LISTADOS.**

PRECIOS UNITARIOS

Este listado contiene una relación de todos los precios unitarios que han sido capturados, y permanecen en cero los pendientes de capturar.

PRESUPUESTO DE OBRA

Este listado contiene los presupuestos pertinentes: sistema nuevo, sistema existente o sistema total, y etapas de construcción (cuando hayan sido definidas). También incluye los precios globales especificados por el proyectista. La presentación es la más usual para presupuestos, organizada por capítulos y subcapítulos presupuestales, con detalle de los ítems, cantidades de obra, precios unitarios y valor.

XII - LIST. RESUMEN (Listados de resumen e índice del proyecto)

Todos los listados que seguidamente se detallan se pueden ver por pantalla antes de imprimirlos y cuentan con la operatividad señalada en el capítulo **VI – LISTADOS GENERALES/PRODUCCION DE LISTADOS.**

RESUMEN GENERAL DEL PROYECTO

Este listado contiene la información del sistema nuevo y del sistema total expresada como parámetros que sirven para mostrar los datos físicos y las relaciones más importantes de la topografía y del diseño realizado.

También incluye un resume sobre el riesgo de formación de sulfuros, con base en la fórmula de Richard D. Pomeroy.

También muestra un presupuesto resumido, a nivel de capítulos, del sistema nuevo, que permite conocer los costos de construcción del proyecto, siempre y cuando se haya incluido la totalidad de precios unitarios requeridos por el proyecto. Si falta al menos un precio unitario el presupuesto se presenta en ceros.

INDICE GENERAL DEL PROYECTO

Este listado sirve para imprimir el INDICE DE TEMAS, así como hojas separadoras con los títulos de los diferentes capítulos que ayudan a organizar la memoria técnica del proyecto. La pantalla inicial permite seleccionar cuales de los listados que puede producir **SedalPlus** se incluirán en el proyecto. Realizada la selección se ordena la impresión del índice.

Como fue mencionado, **SedalPlus** suministra casi la totalidad de la memoria técnica, contenida en varios listados que incluyen el material impreso que típicamente conforma un proyecto, con excepción del capítulo que sustenta los datos sobre población, demanda y valores empleados en el cálculo, el cual debe ser elaborado manualmente por el proyectista. Aunque el índice varía según el tipo de diseño, a continuación, se describen el que, por ejemplo, se produce para un proyecto sanitario.

INDICE DE TEMAS

1. RESUMEN GENERAL Y ESPECIFICACIONES

Resumen general
Especificaciones generales y de construcción
Especificaciones sanitarias y Valores unitarios sanitarios

2. DISEÑO Y CALCULOS

Cuadros de caudales sanitarios
Cuadros de cálculo de alcantarillado
Cuadros de cálculo de colectores principales
Problemas de capacidad o empalme
Deficiencias en tramos existentes o restringidos

3. CANTIDADES DE OBRA Y PRESUPUESTO

Cantidades de obra
Clasificación de colectores y pozos de inspección
Presupuesto

ANEXOS (LISTADOS VERIFICACION Y DATOS DE ENTRADA)

Listados de verificación SWMM
Datos generales de los tramos
Datos especiales de los tramos
Resumen de los tramos
Relación de los tramos
Lista de precios unitarios

Cuando el proyecto incluye aguas lluvias se harán los ajustes del caso en los listados anteriores.

Cuando el proyecto tiene sectores, el índice anterior se generará para cada uno de ellos, así como para el consolidado. Cuando un sector contiene etapas de construcción el capítulo de CANTIDADES DE OBRA Y PRESUPUESTO se repetirá para cada una de las etapas, además en **ANEXO**S se adicionará una relación de los tramos indicando a que etapa de construcción pertenecen.

XIII – AYUDA

CALCULADORA

Activa una calculadora que emula una tira de papel donde guarda las operaciones realizadas, que funciona con la misma lógica de los modelos que se usan en las oficinas. La impresora permanece siempre en primer plano, para facilitar leer los resultados de las operaciones aritméticas. Puede ser minimizada a la barra de tareas o cambiada a un tamaño menor. La calculadora no se cierra automáticamente al finalizar **SedalPlus** (debe hacerse manualmente con el botón de cierre localizado en la parte superior derecha).

MANUAL

Despliega en pantalla este manual.

ACERCA DE

Presenta una ventana con el número de la versión y otros datos relacionados con el programa.

ANEXO 0 – DISEÑOS AVANZADOS

DISEÑOS AVANZADOS (ONDA DINAMICA)

El diseño normal realizado por **SedalPlus** se basa en el método de flujo uniforme. Cuando se realiza la revisión con SWMM, lo que realmente se hace, es recalcular el proyecto con el modelo que se haya elegido: Onda Dinámica, Onda Cinemática o Flujo Uniforme. (Se recomienda usar: Onda Dinámica por ser el modelo más completo y que mejor simula las condiciones reales de funcionamiento). Los modelos de Onda Dinámica y Onda Cinemática se calculan con las ecuaciones de Saint Venant y además utilizan alguno de los modelos de infiltración más avanzados: Horton, Green Ampt, o Número de Curva. Para realizar la revisión con SWMM**, SedalPlus** incorpora en su estructura el programa SWMM, utilizando los programas fuente suministrados por la EPA.

El recalculo conserva el diseño hecho por **SedalPlus** (Topológico y Físico), así como los caudales estimados, y solo se cambian un poco los llenados del tubo, las alturas de lámina y las velocidades reales. En promedio, el diseño de Onda Dinámica genera alturas de lámina un poco menores y velocidades reales algo mayores. Lo anterior significa que el diseño basado en flujo uniforme resulta un poco más conservativo que el de Onda Dinámica, pero no excesivamente conservativo. Por su sencillez el flujo uniforme facilita la elaboración de diseños que funcionan adecuadamente, como puede ser verificado por los modelos más avanzados.

Los resultados de los diseños SWMM se presentan en Llst.Diseño/Reporte SWMM que corresponde exactamente con los que ofrece el programa SWMM, pero también se ofrecen adicionalmente los listados: Diseño Hidráulico para SWMM y Diseño Físico para SWMM, que presentan los datos de manera similar a los listados de **SedalPlus,** que están organizados de la forma tradicional que resulta más comprensible. Cabe advertir que los listados de Diseño Físico, basado en flujo uniforme y en el modelo SWMM, son exactamente iguales. Las diferencias solo se presentan en los listados de Diseño Hidráulico.

Los listados SWMM, utilizan para cada tramo inicial que concurre a un mismo pozo de inspección, la nomenclatura “nodo-#”, en qué # = 1, 2, 3, 4, para que SWMM los interprete correctamente (modelo arborescente en vez de mallado). Cabe anotar que no se incluye la Fuerza Tractiva ni el Número de Froude, por ser datos que no maneja el modelo SWMM.

En resumen, **SedalPlus,** permite hacer diseños duales completos basados en el método de flujo uniforme y también en las avanzadas ecuaciones de Saint Venant (apoyándose en SWMM). El consultor decidirá cuál de los dos modelos presentará en su proyecto final. Como fue anteriormente mencionado, para generar el modelo más avanzado, basta oprimir solamente un botón. Ambos diseños serán correctos dentro de sus propias especificaciones.

Finalmente cabe advertir que para las clases de Diseño basadas en hidrogramas SWMM (ver Especificaciones/Configuración General del Proyecto), solo se ofrecen los diseños SWMM, pues **SedalPlus,** no puede generar, en esos casos, diseños basados en Flujo Uniforme.

ANEXO 1 – COSTOS ESTIMADOS DE ALGUNAS ESPECIFICACIONES

ALCANCE DEL ANEXO

En el presente anexo se compararán los costos relativos derivados de la selección de algunas especificaciones. La metodología para comparar los costos consiste en diseñar el mismo proyecto, cambiando solamente las especificaciones a comparar.

De cada uno de los diseños diseñados, se seleccionan solamente los parámetros: profundidad media (Prof. Med.) y diámetro promedio (Diam. Med.) y se colocan en una tabla Excel, en filas sucesivas. Los resultados obtenidos se ordenan por la Prof. Med., de menor a mayor.

La Prof. Med. se considera representativa de los costos de excavación, tablestacados, relleno y pozos de inspección, mientras el Diam. Med. se considera representativa de los costos de las tuberías.

Para calcular el porcentaje de sobrecosto de cualquier diseño, se divide su Prof. Med. por el valor más bajo (el de la primera fila), luego se repite el procedimiento para el Diam. Med. Finalmente, se le da un peso relativo al porcentaje de la Prof. Med. y su complemento a 1 al Diam. Med. Mi experiencia personal es usar para la Prof. Med. un valor de 0.60 (60%) y para el Diam. Med. de 0.40 (40%).

Para dar el peso relativo mencionado basta multiplicar los porcentajes de la Prof. Med. por 0.60 y del Diam. Med. por 0.40. Hechas las operaciones anteriores se resta uno al resultado para que indique porcentaje. Seguidamente veremos los resultados obtenidos en algunas especificaciones. El estimativo anterior solo tiene en cuenta las características físicas del diseño y cuando el cambio de especificación esté ligado a usar ciertos materiales debe ser ajustado por la relación de costos de tales materiales.

El proyecto utilizado para las comparaciones fue uno simulado generado por **SedalPlus.** Tal proyecto tiene 10x10 tramos de longitud de 100 m y una pendiente del terreno para todos los tramos de 0.25%. Se usó la pendiente promedio más baja observada en algún proyecto (alcantarillado de Arauca), para obtener el mayor impacto sobre los costos.

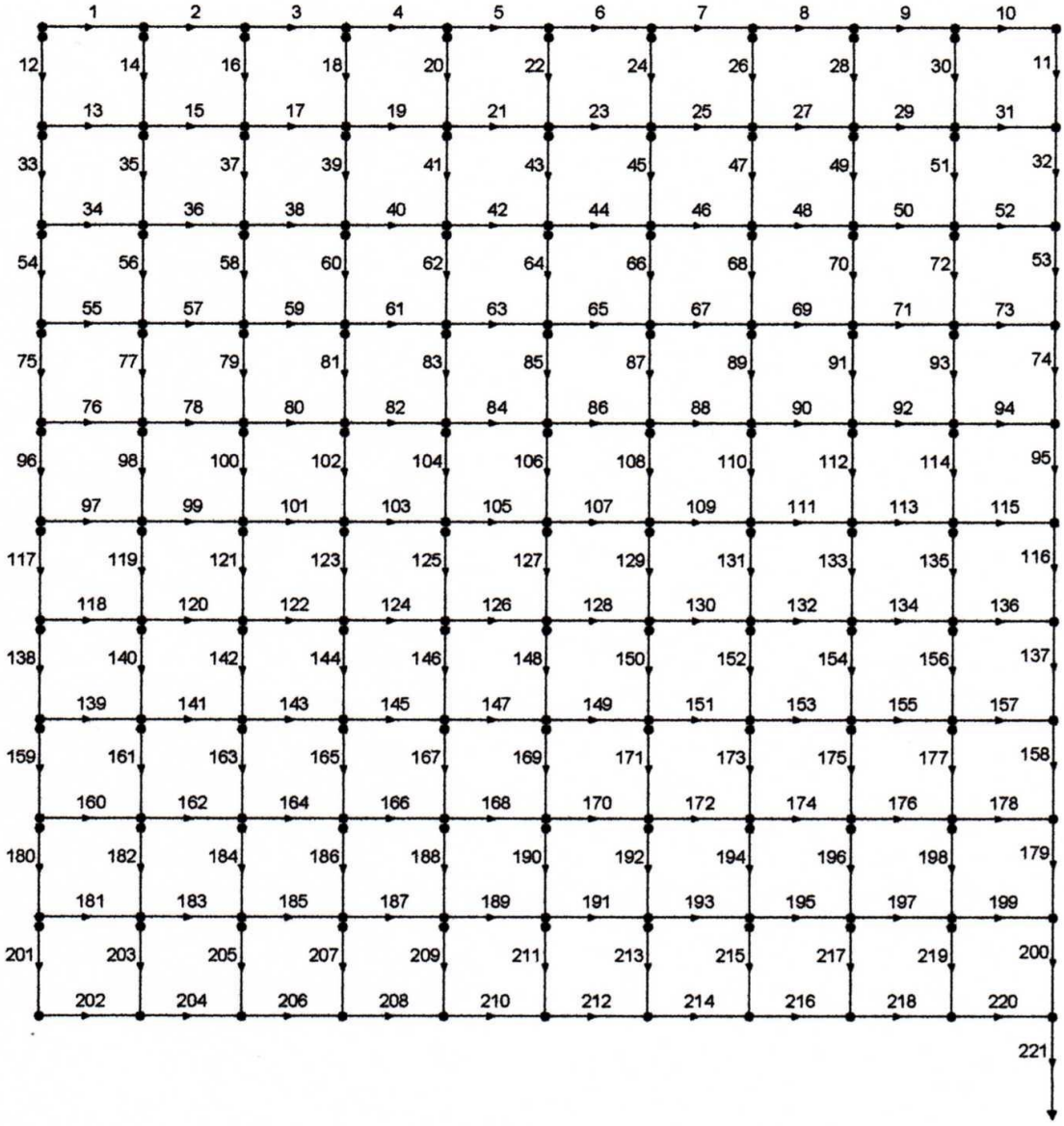
Todos los proyectos se calcularon con un coeficiente de autolimpieza definido como una fuerza tractiva de 0.10 Kg/m2, por ser la que produce el más bajo costo de diseño, excepto en el cuadro de comparación de costos de autolimpieza, donde ese parámetro fue el que sufrió el cambio.

Los diseños se hicieron con n = 0.013, para evitar problemas, cuando se utilice en las comparaciones el modelo Ciria 3 que se usa en el modelo del control de autolimpieza recomendado por el RAS 2016. Ver ANEXO 9, recomendación # 3.

A continuación, se puede ver la planta del diseño simulado utilizado para las comparaciones de costos:

<Espacio dejado intencionalmente en blanco>

Planta del proyecto simulado obtenida desde el programa SWMM



<Espacio dejado intencionalmente en blanco

Seguidamente se muestran las comparaciones realizadas:

Pendiente promedio terreno = 0,25%			
Factor Mayoracíon	**Prof. Media**	**Diam. Medio**	**Sobrecosto**
Los Ángeles	2,05	208,60	0%
Tchnobanoglous	2,06	208,82	0,33%
Harmon	2,07	208,82	0,63%
Flores	2,07	208,82	0,63%
Gaines	2,08	208,36	0,83%
Babbit	2,13	209,06	2,43%
Valor Fijo = 4	2,09	208,64	1,18%

Del cuadro anterior se deduce que excluyendo la fórmula de Babbit por ser la más costosa, las demás tienen costos muy similares, con diferencias inferiores al 1%. Lo sorprendente es que tales formulas difieren muy poco del criterio antiguo de usar un factor constante de 4 como coeficiente de mayoración de todos los tramos.

Para decidir que formula usar hay que basarse en otro criterio como es el rango de validez de la formula. Veamos el siguiente cuadro:

Factor Mayoracíon	**Desde**	**Hasta**
Los Angeles	2,8 Lts/s	28,300 Lts/s
Tchnobanoglous	4,0 Lts/s	5,000 Lts/s
Harmon	1,000 hab.	1,000,000 hab.
Flores	??	??
Gaines	0,28 Lts/s	4,250 Lts/s
Babbit	1,000 hab.	1,000,000 hab.
Valor Fijo = 4	??	??

Del cuadro anterior podemos deducir que las fórmulas ganadoras son la de Harmon (a veces se escribe Harman y la de Los Angeles pues su rango de validez son los mayores. De las fórmulas anteriores recomiendo utilizar la de Harmon, pues es ampliamente reconocida en Latinoamérica, siendo inclusive norma de uso obligatorio en muchos países. Aunque estuvo incluida en el RAS 2000, inexplicablemente se omitió en el RAS 2016, aunque su eliminación no es obligatoria.

COEFICIENTE MINIMO DE CAUDAL PARA DISEÑO DE LA AUTOLIMPEZA

Para el cálculo de la autolimpieza, conviene utilizar un caudal menor que el máximo horario, pues esta debe ser adecuada, cuando dentro de las variaciones diarias y horarias los caudales son relativamente bajos. **SedalPlus** ofrece varias alternativas para ese propósito. A continuación, se mostrarán los sobrecostos por usar determinada especificación:

Pendiente promedio terreno = 0,25%			
Coef. Min. Autolimpieza	**Prof. Media**	**Diam. Medio**	**Sobrecosto**
Usar Máximo Horario	1,45	207,69	0,00%
Usar Máximo Diario	1,52	207,69	2,90%
Usar Caudal Medio	1,62	207,69	7,03%
Usar Minino Diario	1,70	207,69	10,34%
Usar Minino Horario	1,75	208,36	12,54%
Usar Valor Fijo (Qin/Qfin) = 0,50	1,62	207,69	7,03%

Usar el máximo horario, era lo que se hacía en los diseños antiguos que no distinguían entre caudal máximo y mínimo.

En principio parece conveniente usar el caudal medio con un sobrecosto del 7.03%. Tal valor resulta igual al valor fijo, cuando el caudal final es el doble del caudal inicial.

Personalmente, soy muy conservador en este tema, pues considero conveniente evitar en lo posible la acumulación de detritos y la formación de ácido sulfhídrico que puede destruir las tuberías y dañar los pozos de inspección, cuando las pendientes son muy bajas, especialmente en climas calurosos. Por lo anterior prefiero usar el caudal mínimo diario con un recargo adicional del 3.31%, especialmente en climas calurosos (queda en 10.34% para una pendiente promedio del terreno del 0.25%).

El sobrecosto anterior es un valor extremo que disminuye considerablemente cuando la pendiente del terreno va subiendo del valor de 0.25% empleada en el cálculo anterior. En el cuadro siguiente repetimos el cálculo para una pendiente de terreno del 0.5%.

Pendiente promedio terreno = 0,5%			
Coef. Min. Autolimpieza	**Prof. Media**	**Diam. Medio**	**Sobrecosto**
Usar Máximo Horario	1,36	186,66	0,00%
Usar Máximo Diario	1,36	186,66	0,00%
Usar Caudal Medio	1,36	186,66	0,00%
Usar Minino Diario	1,36	186,66	0,00%
Usar Minino Horario	1,36	186,66	0,00%
Usar Valor Fijo (Qin/Qfin) = 0,50	1,36	186,66	0,00%

Podemos observar que todos los sobrecostos han desaparecido en este caso, pues el diseño es definido con holgura por la pendiente del terreno.

Por lo anterior, para los alcantarillados normales, el sobrecosto por coeficiente mínimo de autolimpieza no es tan significativo como aparece en la tabla original para pendiente promedio del terreno de 0.25%, pues los sobrecostos rápidamente desaparecen a medida que aumenta la pendiente del terreno.

n/N A USAR EN FORMULA DE MANNING

Desde 1946 Camp había recomendado el uso de n/N variable según el llenado del tubo y presentó una tabla con los valores que debían usarse. Revisiones actuales de la sociedad de Ingenieros Civiles de EE. UU. (ASCE), recientes han verificado que se trataba de un error y que lo recomendable es usar n/N = 1. En el cuadro siguiente comparamos los costos.

Pendiente promedio terreno = 0,25%			
Relaciones Hidráulicas	**Prof. Media**	**Diam. Medio**	**Sobrecosto**
Usar n/N = 1 - ASCE	1,70	207,69	0,00%
Usar n/N variable - Camp	1,75	208,82	1,98%

Del cuadro anterior se deduce que además de ser más sencillo y adecuado usar n/N=1, también representa un menor costo.

COEFICIENTE DE MANNING

Tradicionalmente se han usado valores de N = 0.013, para tuberías de concreto y gres y N = 0.009 para tuberías de PVC y otras plásticas.

Recientemente la ASCE en su manual No. 60 incluye un modelo que se apoya en la fórmula de Darcy Weisbach, en que demuestra que las diferencias entre tuberías lisas de concreto o PVC, no son significativas y también analiza que para un determinado valor de rugosidad de Darcy Weisbach se pueden calcular coeficientes n de Manning variables con el diámetro.

A tales valores se les adiciona un margen de seguridad y resultan los n de diseño, cuyos valores son mayores mientras más grande sea el diámetro. Tales valores que varían entre n = 0.0107 para D = 8 y N = 0.0123 para D = 60", son los que se recomienda usar para cualquier tubería lisa (Concreto o PVC). Para más información Ver **ANEXO 9.** En el cuadro siguiente comparamos los costos para n = 0.013, n = 0.009 y n = variable con el diámetro

Pendiente promedio terreno = 0,25%			
Coeficiente Manning	**Prof. Media**	**Diam. Medio**	**Sobrecosto**
Usar n = 0,013	1,70	207,69	0,00%
Recomendación ASCE	1,82	207,47	4,19%
Usar n = 0,009	1,87	206,55	5,78%

Que el sobrecosto sea mayor mientras más bajo sea el coeficiente de Manning, pueden ser sorprendentes para muchos, pero es completamente lógico. Basta recordar que la fuerza tractiva en que se basa el diseño de la autolimpieza es mayor mientras sea más alta la altura de lámina. Y ello ocurrirá así mientras más alto sea el coeficiente de Manning. Aquí lo importante no es seleccionar por costo, sino por el modelo más ajustado a la hidráulica real del sistema. Personalmente recomiendo usar el modelo de la ASCE que tiene el mejor sustento técnico. De todas maneras, los sobrecostos no son tan exagerados y disminuyen cuando la pendiente promedio sea mayor del 0. 25%.

COSTOS SEGÚN LA NORMA DE AUTOLIMPIEZA

En el cuadro siguiente comparamos los costos que resultan de usar las principales normas de autolimpieza. Se excluyeron de la comparación. la velocidad a tubo lleno y la velocidad real porque según el valor adoptado puede ser que no garantice una fuerza tractiva mínima de 0.10 Kg/M2 (aproximadamente 1Pa.), necesaria para la autolimpieza.

Como modelo se escogió el Ejemplo 1 de **SedalPlus** que tiene una pendiente promedio muy baja del 2.5%, por ser su diseño especialmente crítico desde el punto de vista de la autolimpieza. Se prefirió en este caso usar un modelo real en vez de uno simulado.

Ejemplo 1 - Pendiente promedio terreno 0,25%			
Costos según Autolimpieza	**Prof. Media**	**Diam. Medio**	**Sobrecosto**
Fuerza Tractiva = 0,10 Kg/m2	2,20	218,77	0,00%
Modelo Ras 2016	2,21	218,77	0,27%
Pend. Minima cada diametro	2,22	218,77	0,55%
Fuerza Tractiva = 0,11 Kg/m2	2,30	218,77	2,73%

El cuadro anterior confirma que la fuerza tractiva además de ser el mejor indicador de la autolimpieza es el de menor costo.

El modelo actual del RAS 2016, mejoró mucho sus costos, a pesar de incluir varios parámetros en su estructura: Fuerza tractiva, Velocidad real, Modelo Ciria 3 (método basado en velocidad a tubo lleno variable con el diámetro), y evitar el flujo crítico para llenados del tubo superiores a 0.70.

La principal rebaja en los costos del modelo RAS 2016 se deriva de haber especificado que el modelo para evitar el flujo critico solo se aplique cuando el llenado del tubo sea igual o mayor de 0.70 (muy rara vez se necesita utilizar). También favorece la norma de utilizar para los diámetros iguales o menores de 0.45 m, solamente una velocidad real de 0.45 m/s, en conjunción con una fuerza tractiva de un pascal, lo que consigue que la mayor parte del diseño se haga en condiciones similares a las especificaciones utilizadas en Brasil (Solamente usar fuerza tractiva de 1 pascal). De los dos valores anteriores el diseño queda gobernado por la fuerza tractiva de 1 pascal que es más exigente en el diseño que la velocidad real de 0.45 m/s que, adicionalmente presenta la falencia de que en la mayoría de los casos no garantiza por si sola la autolimpieza.

En general los sobrecostos calculados en este capítulo corresponden a valores extremos, por utilizar una pendiente promedio del terreno muy baja = 0.25%. A medida que la pendiente aumenta los sobrecostos rápidamente disminuyen. Recomendamos que en su proyecto específico calcule los sobrecostos por usar especificaciones más conservativas (análisis de sensibilidad).

ANEXO 2 - ALGUNOS ASPECTOS A CONSIDERAR PARA UN BUEN DISEÑO

ALCANCE DEL ANEXO

Los comentarios incluidos en el presente **ANEXO** se refieren a algunos aspectos que conviene tener en cuenta para un buen diseño usando el programa **SedalPlus.**

FACTIBILIDAD TECNICA DEL PROYECTO (Estudio de alternativas)

Como ha sido anteriormente mencionado la ubicación del vertimiento final o de los vertimientos finales (cuando son más de uno), es uno de los principales factores de decisión que debe tomar el proyectista.

Una juiciosa elección de los sitios de disposición final gravitará de manera muy significativa en los costos del proyecto. A partir de esa información **SedalPlus** estará en capacidad de definir automáticamente la topología total del sistema, así como de realizar el diseño completo del alcantarillado.

La opción de diseño automático se incluyó en **SedalPlus** precisamente para facilitar el manejo del proyecto durante la etapa de la factibilidad técnica, puesto que permite introducir la información de los tramos en cualquier orden, y luego señalar el sitio o los sitios de vertimiento final elegidos, para luego solicitarle al programa que realice un diseño totalmente automático. Elegida la mejor solución ofrecida por **SedalPlus,** se pueden calcular los costos del proyecto (previa introducción de los precios unitarios). Seguidamente se puede proponer una nueva alternativa, que, en principio, parezca técnicamente atractiva, con el simple expediente de modificar la ubicación de los vertimientos (basta señalar en que nuevos tramos se ubicarán ahora los vertimientos) y repetir el procedimiento antes explicado, y así sucesivamente para cada alternativa que se considere conveniente analizar. (También se pueden estimar los sobrecostos entre las alternativas analizadas empleando el procedimiento explicado en el **ANEXO 1**).

La metodología anterior permite evaluar con relativa rapidez numerosas posibilidades técnicas, para seleccionar la que resulte más conveniente desde el punto de vista de los costos. Conviene resaltar que los datos del proyecto basta introducirlos una sola vez, en cualquier orden y que para una nueva alternativa solo se requiere señalar que tramos deben proponerse como vertimientos finales. Cabe mencionar que solamente conviene considerar aquellas alternativas que parezcan atractivas y en consecuencia ameriten un análisis.

Existen casos en que el terreno define de manera muy clara la topología del sistema y la ubicación de los vertimientos finales y en consecuencia no es evidente la necesidad de analizar otras alternativas.

Durante la etapa de factibilidad se puede adicionalmente analizar, de manera muy rápida, la implicación en los costos de otros parámetros del proyecto, tales como especificaciones, valores de diseño, etc., pues basta recalcular el diseño después de modificar algunos datos del proyecto (análisis de sensibilidad).

Para la comparación de alternativas conviene imprimir el listado **RESUMEN GENERAL DEL PROYECTO** mencionado en el **CAPITULO XII,** para cada una de las alternativas analizadas. Como fue mencionado tal listado contiene un resumen de los principales elementos físicos y de costos.

Para identificar fácilmente cada una de las alternativas, el listado **RESUMEN GENERAL DEL PROYECTO**, permite opcionalmente introducir por pantalla una breve descripción de cada opción analizada.

Concluida la etapa de factibilidad técnica conviene modificar el diseño automático por la opción de diseño manual para afinar el proyecto. Como está opción exige que los datos se introduzcan en un orden especial, conocido como ordenamiento según sentido de flujo (ver **CAPITULO III**), cabe la posibilidad de volver a generar la alternativa que resultó mejor (estará ordenada como lo exige el programa). Al escoger una opción (distinta a la manual), **SedalPlus**, mueve automáticamente el diseño seleccionado a la rutina donde se introducen los datos de los tramos como si hubiesen sido así digitados. Posteriormente se realizarán los ajustes manuales que considere conveniente el proyectista según su experiencia personal.

Realizados los afinamientos se puede ordenar un nuevo diseño, incluido el recalculo del presupuesto de obra para ver el impacto de las modificaciones en el proyecto y así sucesivamente hasta encontrar la solución que se considere más satisfactoria.

Afinado el diseño seleccionado por el proyectista, se puede solicitar un diseño manual y automático que permita adicionar las distintas alternativas generadas por **SedalPlus** que servirán como puntos de referencia para evaluar la solidez del diseño manual. Se recomienda que la opción de diseño manual y automático solamente se corra en la etapa final del proyecto, cuando se considere que el diseño es suficientemente sólido, pues el proceso puede exigir un tiempo de hasta varios minutos para cada una de las 6 alternativas automáticas que genera **SedalPlus**.

Aunque el proyectista podría obviar el diseño manual y aceptar de frente el mejor automático generado por **SedalPlus**, se recomienda hacer en lo posible el esfuerzo de incluir una alternativa de diseño enteramente manual, en consideración a que un ingeniero con buena experiencia o muy buen sentido de diseño podría superar el mejor realizado por **SedalPlus.** Aunque el diseño manual no logre aventajar a **SedalPlus**, se podrá contar, con la seguridad de haber realizado el mejor trabajo profesional conducente a obtener un buen proyecto.

ELIMINACION DE TRAMOS EXISTENTES CON PROBLEMAS GRAVES

Como ha sido mencionado, cuando **SedalPlus** se enfrenta con problemas graves en algunos tramos existentes, que no puede resolver no obstante realizar varios reintentos, puede optar por la eliminación de tales tramos y remplazarlos por otros nuevos (cuando ha sido autorizado para ello). Los problemas graves se refieren a situaciones de desempalme de cotas (el tramo que sigue aguas abajo está más alto) o insuficiente capacidad para transportar el caudal calculado. Otros problemas relacionados con el incumplimiento de normas de velocidad, autolimpieza, energía, profundidad, etc., pueden ser aceptados para muchos tramos que fueron deficientemente diseñados o construido, mientras no haya evidencias de mal funcionamiento. En tales casos, **SedalPlus** nunca opta por la eliminación automática, sin perjuicio de que el proyectista pueda ordenarla manualmente en cada caso particular, cuando lo considere conveniente.

La eliminación de tramos existentes solo debe considerase como una primera aproximación a la solución, pues puede ser muy costosa, especialmente para diámetros grandes, ante la necesidad de mantener en funcionamiento el sistema, mientras se hace la sustitución de la tubería.

Cada caso particular debería ser materia de un juicioso análisis, tendiente a ver si existen otras soluciones, tales como colectores paralelos o interceptores que desvíen caudales a otros sitios.

Para **SedalPlus** resulta imposible proponer alternativas como las mencionadas, en la medida en que el programa no dispone de la información suficiente para realizar automáticamente tales diseños.

Cabe recordar que la información topográfica que se suministra a **SedalPlus** es muy reducida, y se refiere a las cotas de terreno en los sitios donde se ubicaran los pozos de inspección y a las distancias entre ellos, pero ignora el ancho de las calles y otros detalles topográficos que resultan indispensables para definir si es posible un colector paralelo o si existe la viabilidad de diseñar un interceptor.

En las circunstancias anteriores resulta insustituible la capacidad humana del ingeniero proyectista para visualizar y proponer otras alternativas que puedan resultar mejores a la simple eliminación de algunos tramos construidos.

Una vez planeada la nueva solución técnica por el proyectista, este puede agregar a **SedalPlus** la información de los tramos adicionales propuestos, siguiendo las mismas reglas con que se suministran inicialmente los datos al programa, que quedará entonces en capacidad de realizar el diseño parcialmente modificado por el proyectista.

Cabe advertir que, en las circunstancias anteriores, la solución diseñada por **SedalPlus** exigirá normalmente una verificación cuidadosa por parte del consultor, relacionada con la evaluación de los eventuales cruces con otras tuberías del alcantarillado que podrían presentarse en algunas calles, situación que podría dar lugar a incompatibilidad en cotas, pues el programa no tiene la información necesaria para garantizar que las tuberías se crucen a distintos niveles.

Para resolver inconsistencia que se presenten en los cruces de tuberías, el proyectista puede realizar el diseño manual (diámetros y cotas) de algunos tramos, e incorporar la información al programa como tramos restringidos (definidos por el proyectista). Seguidamente se puede ordenar a **SedalPlus** un nuevo cálculo que necesariamente respetará los tramos restringidos.

Cuando, de todas maneras se concluya, en cada caso particular, que lo más conveniente es la eliminación de los tramos construidos que presenten problemas inaceptables, un buen diseño debe incluir el detalle de las obras y procedimientos necesario para realizar los trabajos de manera que no se suspenda el servicio de alcantarillado, o la estimación del tiempo requerido para la suspensión cuando no haya mejor alternativa, de manera que se puedan tomar las medidas conducentes a minimizar las molestias a los usuarios.

Lo expuesto en el presente párrafo confirma la conveniencia de que los proyectos sean manejados por ingenieros competentes. No obstante, las bondades de **SedalPlus** para realizar diseños, el programa no puede sustituir al ser humano en las decisiones más importantes del proyecto.

En otras palabras, en manos de un profesional competente, **SedalPlus** potencializa el trabajo conducente a obtener un buen diseño técnico y con costos razonables, pero de ninguna manera cuenta con la capacidad necesaria para sustituir al ingeniero.

Para una mejor comprensión sobre la mejor manera de diseñar cuando hay tramos existentes, sin incurrir en la simple eliminación de los que presenten problemas se recomienda mirar en la página Web de **SedalPlus** la presentación en Power Point denominada "**Diseño con Existentes**"

AJUSTES AL PROYECTO

En algunos casos **SedalPlus,** propone algunas modificaciones a los proyectos exigidos por el cumplimiento de algunas normas técnicas, pero no realiza automáticamente los ajustes en los datos de entrada cuando conviene sean modificados manualmente por el proyectista.

La situación anterior se refiere, en primer lugar, al caso de algún tramo inicial que exige un pozo de inspección separado, porque quedarían por debajo de otros tramos con los cuales comparte actualmente el pozo de inspección. Normalmente esta situación da lugar al mensaje: "poner pozo nuevo".

En el menú: "**List. Cálculos"**, existe la opción: **"Pozos iniciales nuevos adicionados"**, que relaciona todos los casos que se hayan presentado. Con base en esa información se recomienda ir a la opción: **"Tramos"** (entrada de datos de los tramos), localizar cada uno de los casos y modificar la nomenclatura del pozo inicial por una no usada y acortar la longitud del tramo en lo necesario. Con lo anterior se ha creado un pozo inicial independiente y se eliminarán los mensajes recordatorios. Mientras no se haya realizado la modificación manual, **SedalPlus**, reiteradamente hará el recordatorio en los cuadros de cálculo y en otros listados pertinentes, aunque de todas maneras elaborará el diseño de cotas considerando el tramo como un inicial nuevo (aunque con la longitud inadecuada).

El lector se puede hacer la pregunta ¿porque **SedalPlus** conociendo la situación no hace automáticamente la corrección?, como efectivamente podría hacerlo. La respuesta es que se prefiere que aquellos cambios que requieren ser realizados también en los planos del proyecto, es mejor que sean hechas en su totalidad por el proyectista para prevenir inconsistencias entre los cuadros de cálculo y los planos.

Otra situación que conviene explicar es la relacionada con la deficiencia denominada: "faltan cámaras de caída intermedias" (Ver: **"Listado de deficiencias encontradas"**). La situación anterior ocurre en tramos muy empinados que superan la pendiente máxima permitida (para evitar velocidades excesivas), y donde la pendiente máxima permisible produciría un enterramiento mayor que el permitido por la norma. En tal evento la solución consiste en añadir pozos de inspección intermedios con cámaras de caída que mantengan tanto la pendiente como el enterramiento dentro de las normas. **SedalPlus** indica el número de cámaras de caída intermedia necesarias para arreglar el problema (puede necesitase más de una). Con la información anterior se subdivide el tramo afectado, en los subtramos que sea necesario (preferiblemente de igual longitud), y se determina en los perfiles del proyecto las cotas de rasante de las cámaras intermedias, luego se modifica el proyecto usando en la entrada de tramos el botón reordenamiento, como fue anteriormente explicado. Se Rediseña el proyecto, y si todo está bien realizado desaparecerán los problemas. Mientras éstos subsistan en los cuadros de diseño físico aparecerá en observaciones: faltan X C.C. interm.

SECTORIZACION

Inicialmente el programa solo permitía incluir un vertimiento final en cada diseño. Para el caso de que un proyecto tuviese múltiples vertimientos se desarrolló la sectorización que permitía que un proyecto definiese varios sectores (hasta un máximo de nueve), cada uno de ellos con su propio vertimiento.

El sector cero se reservó para ser usado como un consolidador de las cantidades de obra y presupuestos de todo el proyecto.

Posteriormente se adicionó la posibilidad de incluir múltiples vertimientos dentro de un mismo sector, con la única exigencia de que fuesen señalados explícitamente como tales. El nombre: "estación de bombas" es operacionalmente equivalente a "vertimiento" y se añadió solo para describir con mayor claridad la clase de estructura final en los listados (vertimiento o estación de bombas).

Un proyecto sectorizado respecto a un proyecto único (con uno o varios vertimientos finales) tiene ventajas y desventajas como sigue:

Ventajas:

- Permite cambiar las especificaciones y los valores unitarios de diseño en cada sector.

- La nomenclatura de los tramos y pozos es independiente en cada uno de los sectores (puede duplicarse la nomenclatura de los pozos de inspección).

- El tiempo total requeridos para realizar los cálculos es menor cuando el proyecto se subdivide en mayor número de sectores. (especialmente importante para los diseños automáticos).

- No obstante, la sectorización, se pueden calcular cantidades de obra y presupuestos consolidados para todo el proyecto.

Desventajas:

- El programa no tiene forma de identificar los tramos iniciales enterrados que exigen poner un pozo de inspección independiente (ver párrafo precedente), para los pozos que se inician en otros sectores. Por lo anterior conviene que los pozos iniciales no compartan tramos con otros sectores, pues en caso contrario, sería necesario hacer los ajustes manuales del caso, lo que es bastante dispendioso.

Cuando se agrupan varios vertimientos finales dentro de un mismo sector, aunque los tiempos de diseño sean mayores, se tiene la ventaja de que el programa tendrá mayor flexibilidad para definir cuales tramos irán a cada vertimiento.

El diseño para una gran área metropolitana se puede dividir en varios subproyectos individuales, cada uno de ellos, con uno o varios vertimientos finales, lo que funcionalmente equivale a sectorizar, aunque no se disponga de un procedimiento explicito para consolidar automáticamente las cantidades de obra y los presupuestos, tarea que de ser necesaria se puede realizar manualmente, por ejemplo, en una hoja de cálculo.

Los subproyectos individuales presentan la ventaja de no tener que limitar su número a un máximo de nueve unidades como ocurre con la sectorización.

Cabe aclarar que no existe ninguna diferencia funcional entre proyecto y subproyecto. Esta última denominación solamente indica que un gran proyecto puede subdividirse en varios proyectos menores de diseño independiente.

Tanto, varios subproyectos individuales como la sectorización, permite subdividir un proyecto muy grande en componentes más pequeños, lo que puede simplificar las revisiones y mejorar los tiempos de diseño. En principio se podría considerar que cada vertimiento señala un subconjunto candidato a tener un manejo independientemente. Subconjuntos demasiado pequeños es preferible agruparlos con otros en unidades de diseño algo mayores.

No existe ninguna fórmula mágica para decidir cómo integrar o subdividir un proyecto grande. Solo la experiencia y el sentido común pueden decir la última palabra en este tema.

DISEÑO DE MEGAPROYECTOS

Los proyectos grandes de alcantarillado suelen incluir canales abiertos, cuando los caudales acumulados superan la capacidad de las tuberías circulares. Como **SedalPlus** está limitado a los diseños basados en tuberías circulares y ductos cuadrados (box culverts), no cuenta con la capacidad para incluir en los cálculos otras estructuras de conducción de aguas como canales abiertos o ductos rectangulares No obstante la limitación anterior, **SedalPlus** sigue siendo una herramienta muy útil en los megaproyectos, aunque su utilización óptima se restrinja a los tramos cuyo diseño se pueda basar en tuberías circulares (incluye también ductos cuadrados más grandes que las tuberías circulares). Los sitios donde se entreguen los caudales a otras estructuras deben señalarse en **SedalPlus** como vertimientos (aunque no sean finales). Las transiciones de tubería circular a canal abierto, así como el diseño hidráulico de esas estructuras debe hacerse con otras herramientas (o usar el diseño manual).

Como la gran mayoría de las estructuras de conducción en cualquier sistema de alcantarillado son las tuberías circulares, la utilización de **SedalPlus** será de una gran ayuda, inclusive en los megaproyectos más grandes.

El planeamiento general de los proyectos debe prever donde se utilizarán box culverts o canales abiertos y a qué puntos llegarán las tuberías circulares. Igualmente debe planearse como se agruparán los diseños a cargo de **SedalPlus:** Utilización de varios subproyectos individuales o sectorización, ambos con la posibilidad de usar vertimientos múltiples, cuando sea conveniente.

Para proyectos muy grandes puede ser preferible el uso de subproyectos individuales en vez de la sectorización (por la limitación a nueve sectores), aunque se sacrifique la generación automática de los consolidados de cantidades de obra y presupuesto.

ANEXO 4 – MODELAJE DE ALCANTARILLADOS

FUNCIONAMIENTO REAL DE LOS ALCANTARILLADOS

El funcionamiento real de los sistemas de alcantarillados se aparta considerablemente del régimen uniforme utilizado usualmente en los programas de diseño por razones de simplicidad para hacer manejable el análisis. En la vida real el régimen es variado y no permanente, lo que hace bastante difícil el manejo matemático, que exige el planteamiento de ecuaciones diferenciales que en general no son susceptibles de una integración matemática directa y requieren la aplicación de complejas técnicas numéricas basadas en procesos iterativos muy exigentes en capacidad de cómputo.

Antes del advenimiento de los computadores los problemas de cierta complejidad hidráulica se analizaban construyendo modelos a escala de las estructuras en estudio que servían para simular el comportamiento que sería luego extrapolado al proyecto final, mediante conversiones numéricas especiales. Actualmente el modelaje se realiza con programas de computador sin necesidad de construir modelos físicos.

Programas como **SedalPlus** enfatizan en obtener el diseño de una topología eficiente para dentro de ella seleccionar adecuadas combinaciones de diámetros y pendientes que permitan asegurar razonablemente el buen funcionamiento del proyecto durante su horizonte de diseño, incurriendo en costos igualmente razonables. Para hacer manejable el diseño se utilizan ecuaciones hidráulicas relativamente simples (régimen uniforme basado en la fórmula de Manning) aunque resulten ciertamente limitadas para predecir el funcionamiento real del proyecto. Durante la etapa de diseño, no resulta muy recomendable utilizar modelos hidráulicos demasiados complejos, porque estos usualmente exigen conocer al detalle los datos resultantes de un diseño previo. En otras palabras, los modelos hidráulicos complejos son más aptos para la **revisión** (conocer cómo funcionan las cosas) que para el **diseño** (definir como deberían ser las cosas).

Programas como SWMM de la EPA, Hidra, Mouse, SewerCad, StormCad, etc., enfatizan en el modelaje, cuyo objetivo es conocer con la mayor precisión posible, como se comportan los proyectos de alcantarillados en la realidad, aunque resulten limitados en su capacidad de diseño, pues para realizar las simulaciones necesitan conocer previamente la topología, así como los diámetros, cotas, longitudes y pendientes del proyecto. Tales programas no necesitan ajustarse a normas específicas por cuanto el modelaje dice cómo funcionan las cosas en la realidad, independientemente de las especificaciones técnicas que hayan servido de soporte al diseño.

De los programas anteriormente mencionados, conviene recordar que el SWMM de la EPA puede bajarse gratuitamente por Internet, tanto el ejecutable como los programas fuente y manuales.

En sentido estricto **SedalPlus** es un programa de diseño, mientras que los usados para modelaje están más orientados hacia la revisión.

Cabe recordar que un buen programa de diseño de alcantarillado se caracteriza por ser capaz de proponer la topología del sistema a partir de la información topográfica, así como la solución hidráulica (diámetros, cotas y pendientes) a partir de la información física, las especificaciones técnicas y otros parámetros de diseño.

Los programas de revisión parten del conocimiento de los datos de un diseño previo (construido o no) y son capaces de evaluar usando técnicas de simulación si su funcionamiento es correcto**. SedalPlus** es el único programa con capacidad de hacer diseños topológicos, mediante técnicas avanzadas que permiten clasificarlo como un sistema experto (inteligencia artificial).

Los programas de diseño y de modelaje, se deben considerar como elementos complementarios para los alcantarillados, pues cada uno de ellos cumple un rol técnico específico.

ETAPAS DE DISEÑO

Para una mejor comprensión de cómo se complementan los programas de diseño y modelaje conviene analizar las etapas técnicas de un alcantarillado. Las dos primeras etapas ya habían sido planteadas en este manual, pero se repiten y amplían por consistencia temática:

1. Definición topológica del sistema. Consiste en planificar en qué orden deben interconectarse los tramos, para que conformen una malla donde los elementos deben concurrir hacia uno o más sitios de vertimiento final.

   Las posibilidades de combinar los tramos para crear una topología específica crecen exponencialmente con el número de tramos, lo que hace que resulte imposible desarrollar modelos de fuerza bruta que contemplen todas las alternativas viables.

   La topología ideal debe tener en cuenta la topografía del terreno, de manera que se logre minimizar las profundidades y diámetros y de esa manera los costos. La topología es el elemento que más gravita en un buen diseño de alcantarillado. **SedalPlus**, siendo un sistema experto tiene la capacidad de diseñar topologías eficientes.

   La etapa de diseño topológico se apoya básicamente en la información topográfica y los datos físicos de los tramos de alcantarillado existente y apenas hace unas mínimas consideraciones hidráulicas muy simples, y no necesita apoyarse siquiera en el modelo completo del régimen uniforme. No obstante, lo anterior el diseño topológico es la etapa de mayor complejidad y consume importantes recursos de cómputo. Su complejidad es tal que se clasifica como un sistema experto perteneciente al área de la inteligencia artificial.

2. Diseño Hidráulico. Decidida la topología, el resto del diseño consiste en tomar decisiones, para cada tramo, sobre las combinaciones más adecuadas de los diámetros y las pendientes que cumplan el conjunto de especificaciones definidas para garantizar un buen funcionamiento. Este proceso, aunque sigue procedimientos de tipo más mecánico que el exigido para el diseño de la topología del sistema, de todas maneras, requiere cierto nivel de inteligencia, puesto que una buena decisión de la combinación de diámetros y pendientes no debe circunscribirse al tramo en cuestión, sino que debe atender las características de la topografía que sigue en muchos tramos aguas abajo.

   SedalPlus cuenta con algoritmos que lo dotan de una visión amplia de los tramos aguas abajo para definir adecuadas combinaciones de Diámetro y Pendiente.

Durante esta etapa el análisis se apoya fundamentalmente en el modelo de régimen uniforme que complementado con las especificaciones técnicas se espera que produzca un diseño que garantice un funcionamiento razonable, para las condiciones variables de flujo durante el horizonte del proyecto. La relativa simplicidad de las ecuaciones del régimen uniforme facilita la elaboración de algoritmos que, a partir de los datos físicos, especificaciones técnicas y otros parámetros, permitan definir de manera directa los diámetros, cotas y pendientes exigidos por el diseño.

Con modelos hidráulicos más complejos, como por ejemplo el flujo gradualmente variado, seria supremamente difícil lograr este propósito, pues su manipulación matemática o algorítmica para obtener a partir de los datos usuales de entrada (información física, especificaciones y parámetros), de manera directa los datos de salida (diámetros, cotas y pendientes), va en contravía a la forma como trabajan tales modelos que exigen conocer previamente los datos del diseño (diámetros, cotas, pendientes).

En resumen, el diseño hidráulico apoyado en régimen uniforme es útil, como ha sido mencionado, para diseñar una estructura capaz de funcionar razonablemente durante las situaciones cambiantes que se presentarán durante el horizonte del proyecto, aunque no resulte igualmente adecuado para predecir con buena precisión, el funcionamiento real del sistema bajo determinadas condiciones específicas. Las diferencias funcionales indeseables entre el modelo de flujo uniforme y la realidad se intentan corregir con la introducción de ciertas normas técnicas que incorporan restricciones orientadas a ajustar exógenamente el modelo para garantizar un diseño aceptable. Para conocer con algún grado de precisión el funcionamiento real de los alcantarillados, se requieren programas orientados al modelaje que en general se apoyan en la solución de las ecuaciones diferenciales de Saint Venant, que permiten lograr un análisis dinámico, lo más próximo posible, al funcionamiento real.

A partir de la versión 10.00 **SedalPlus** incorporó la facilidad de verificar sus diseños con el reconocido programa SWMM de la EPA (Agencia de protección del ambiente de EE.UU.) que maneja las más avanzadas ecuaciones de Saint Venant. El SWMM corre transparentemente como una subrutina de **SedalPlus** y basta invocarlo desde una opción del menú, sin necesidad de adicionar ninguna información adicional. Desde **SedalPlus** se puede producir el reporte de SWMM con los resultados obtenidos, que permiten confirmar que no se presente inundación ni trabajo a presión. Para mayor información consultar el **ANEXO 6** de este Manual.

3. Modelaje. En los eventos en que sea necesario conocer con la mayor precisión posible el funcionamiento real de un sistema de alcantarillado, lo más adecuado es utilizar algún modelo de análisis dinámico. Tales modelos son capaces de predecir el funcionamiento no solamente bajo condiciones de flujo libre, sino que además incluyen el manejo del flujo a presión de las tuberías, siendo capaces de cuantificar los rebosamientos, cuando se presenten caudales que excedan la capacidad del sistema.

   Por lo anterior son muy útiles para el análisis de sistemas existentes con problemas que requieran soluciones especiales, tales como colectores en paralelo o interceptores que alivien los caudales.

La capacidad de simulación de **SedalPlus** permite conocer adecuadamente el efecto de las obras de corrección que se propongan.

La implementación de tales modelos exige disponer de mucha información sobre caudales, niveles y otros datos de la operación real de los sistemas, que permitan calibrar el modelo, de manera que las predicciones se ajusten razonablemente a la realidad.

La información, para evaluar los alcantarillados puede ser bastante costosa para las empresas de servicio pequeñas, pero las más grandes deberían incluir dentro de su estructura áreas técnicas equipadas para evaluar rutinariamente el funcionamiento de su sistema de alcantarillado, en orden a anticipar eventuales problemas de funcionamiento. Sin perjuicio de lo anterior, aun los sistemas relativamente pequeños, deberían utilizar, mediante consultoría externa, los modelos de simulación dinámica, para ayudar a corregir de una manera eficiente problemas manifiestos de mal funcionamiento del alcantarillado

Personalmente he considerado que los organismos responsables de la normatividad técnica deberían utilizar el modelaje para verificar teóricamente el comportamiento de una muestra de proyectos realizados con las normas expedidas y ver la conveniencia de adicionar algunas nuevas o inclusive eliminar algunas existentes, a la luz de los resultados obtenidos en las simulaciones. Si las normas son adecuadas para el diseño deberían producir proyectos, no demasiado costosos, que según las simulaciones funcionen razonablemente.

ANEX0 5 – MANEJO DE LOS ARCHIVOS GRABADOS CON WORD Y EXCEL

Los listados que se graban por **SedalPlus** se hacen con una Fuente especial denominada Courier Dos que es una modificación de Courier New que incorpora caracteres especiales requeridos para la presentación de la impresión. Tal Fuente que se agregaba por **SedalPlus** a las otras incluidas en su equipo, Windows no permite ahora que se agregue automáticamente, y debe añadirse manualmente, mediante el siguiente procedimiento:

Localizar la fuente Courierdos.ttf en "C:\Archivos de SedalPlus\SedalPlus", con el explorador de Windows cópiela y luego vaya a "C:\Windows\Fonts" y péguela ahí.

Si se quiere eliminar esa Fuente basta accesar la dirección C:\Windows\Font, localizar Courier Dos y con Click derecho del Mouse seleccionar eliminar.

Los archivos se incluyen automáticamente en la carpeta: "C:\00 Archivos Word de Sedalplus, desde donde debe ser accesada por el programa Word (o cualquier otro editor de texto)

Al pasar a Word y cargar el archivo previamente grabado desde **SedalPlus,** se verá el contenido del listado, pero de manera tal que los datos superan el ancho de impresión.

Para cuadrarlo hay 2 opciones: La primera consiste en ir a "Archivo/Configurar página" y cambiar la orientación de Vertical a Horizontal (es el procedimiento más sencillo).

Otra alternativa consiste en cambiar el tamaño de la Fuente Courier Dos, de 8 a 7 (el tamaño 7 no se ofrece directamente entre las opciones de Word, pero puede digitarse tal valor), y adicionalmente en el Archivo/Configurar página, se deben modificar los márgenes izquierdo y derecho a 1.0 cm y 0.5 cm aproximadamente. También se pueden reducir el margen superior e inferior para acomodar el listado al área de impresión.

No se recomienda cambiar la fuente "Courier Dos" por otra, porque el listado se distorsionará y aparecerán caracteres de impresión raros en la pantalla, aunque los datos numéricos y los textos alfanuméricos se conservarán. Con manejo adecuado de Word será posible modificar o ajustar los listados de diversas maneras.

Cuando se quiera pasar los datos a una hoja de cálculo Excel se recomienda cambiar los delimitadores de columnas a blancos mediante el comando Edición/Reemplazar. Con el Mouse debe seleccionarse el carácter de separación de columnas que aparece en los listados (arrastrando el cursor), abrir luego, Edición/Reemplazar con lo cual el carácter aparecerá en el campo "buscar:" como un numero 3 de superíndice (eso no es un error). Luego en el campo "Reemplazar con:" introducir un espacio en blanco. Finalmente se debe oprimir el botón "Reemplazar todos", con lo cual desaparecerán los delimitadores de columna.

En caso de que su configuración de Windows esté organizada para aceptar la "," (coma) como delimitador de los decimales, adicionalmente se debe reemplazar todos los puntos por comas.

Finalmente se debe eliminar todos los textos de títulos y pies de página, para que solo queden visibles las columnas de datos. Al grabar los cambios debe hacerse con la opción “Grabar como:”, y en el cuadro de dialogo señalar en “Guardar como tipo:”, la opción: Texto sin formato (*.txt), pues de otra manera la grabación quedaría con Formato RTF (*.rtf) que no es adecuado para trasladar los datos a Excel que lo interpretaría como una serie de textos raros. Hecho lo anterior se puede cerrar el Word.

Luego desde Excel, se carga el archivo modificado mediante Word. Para cargarlo se selecciona en “Tipo de archivo:”, la opción: Archivos de Texto (*.prn *.txt *.cvs), pues de otra manera no podrá visualizar su archivo que es *.txt. Al oprimir el botón abrir se desplegará la hoja de cálculo y aparecerá una ayuda que guiará paso a paso la importación de las columnas de datos. Finalmente se podrán hacer los ajustes y modificaciones del caso. Con alguna experiencia en el manejo de Word y Excel se podrán manipular los archivos de listados a la conveniencia del usuario.

ANEXO 6 – SEDALPLUS y SWMM

LA COMBINACION PERFECTA

Mientras el modelo de Flujo Uniforme por su simplicidad resulta ideal para el diseño, resulta inapropiado para predecir lo que ocurre en las estructuras de unión (pozos de inspección) y mucho menos para conocer siquiera aproximadamente lo que sucede cuando el caudal excede la capacidad de la tubería, circunstancia en que se pueden presentarse remansos, con la posibilidad de almacenamientos temporales en los vertimientos, y en circunstancias extremas producir inundaciones.

Para predecir con alguna precisión el funcionamiento real de los alcantarillados se necesitan modelos más avanzados de análisis dinámico, que manejen el flujo no uniforme ni permanente. Tales modelos se basan en las conocidas ecuaciones de Saint Venant, que exigen sofisticados métodos de integración numérica.

El problema que se presenta es que tales modelos requieren conocer con anticipación los diámetros y pendientes de las tuberías, es decir los datos de un diseño anterior.

SedalPlus, a partir de la versión 10.00, adicionó a su gran capacidad de diseño, la posibilidad de hacer las revisiones de ellos, con SWMM**,** avanzado programa de análisis dinámico de la EPA (Agencia de Protección del Ambiente de EE.UU.). Este programa de distribución gratuita permite acceder a los programas fuente y DLL's (Estos últimos sirven para accesar programas o rutinas escritos en determinado lenguaje de programación, desde otros lenguajes diferentes),

Empleando las facilidades dadas por la EPA, fue posible modificar a **SedalPlus**, para que de manera transparente para los usuarios pudiesen ejecutar la lógica de SWMM, para correr las ecuaciones de Saint Venant, y manejar los datos para producir los listados originales de ese programa, e inclusive generar nuevos listados. Para el usuario desprevenido, parecería que **SedalPlus** realiza directamente todos esos procesos, pues ni si quiera requiere disponer del programa de la EPA, aunque se recomienda que se baje desde Internet, pues los archivos generados por **SedalPlus** son compatibles y pueden ser cargados, cuando se quiera trabajar directamente con SWMM.

Con lo anterior se dispone de la combinación perfecta**: SedalPlus,** para realizar los diseños de una manera eficiente y sencilla, mientras SWMM permite hacer las revisiones más avanzadas y de esa manera, garantizar la idoneidad de cada proyecto, especialmente en presencia de circunstancias que trascienden los límites del Flujo Uniforme.
Para la revisión no es necesario incluir información adicional pues **SedalPlus** genera todo lo requerido de manera automática y maneja la lógica de SWMM para realizar el análisis.

En resumen, los diseños realizados por **SedalPlus** con Flujo Uniforme (Incluido el método racional) pueden ser revisados activando la opción del menú Diseño/Revisar con SWMM.

Los resultados obtenidos pueden ser vistos en los listados: List. Diseño/Reporte Swmm, aunque puede ser preferible abandonar **SedalPlus,** cargar SWMM y moverse al Directorio SWMM, tal como está indicado en **SedalPlus,** en Especificaciones/Configuración General del Proyecto. El proyecto revisado aparecerá con el nombre: SWMM-*nombre proyecto.*inp.

Para realizar el cálculo se oprime un botón que tiene una forma de rayo amarillo. Luego se pueden observar los resultados del cálculo en el menú Report/Status (es el mismo listado que produce **SedalPlus** como List. Diseño/Reporte Swmm). En las últimas versiones de SWMM los resultados del cálculo hay que verlos en Report/Summary, que en la parte superior derecha ofrece las opciones para el diseño específico.

En este reporte lo más interesante es consultar: Node Surcharging y Node Flooding para verificar que no hay nodos sobrecargados (trabajan a presión) ni nodos que causen inundaciones (el agua se sale del pozo de inspección). La revisión con SWMM se hace con las ecuaciones de Saint Venant, con modelo de onda dinámica, que producen resultados mucho más exactos que el flujo uniforme. En Report/Summary no aparecerá la información de Surcharging o Flooding si no se presentan nodos sobrecargados o inundaciones (solo muestra lo pertinente al proyecto específico).

Como el modelo de flujo uniforme es más conservador que SWMM, los diseños realizados con S**edalPlus** que no presenten tramos sobrecargados, pasarán sin problemas la revisión, mostrando llenados de tubo algo inferiores y velocidades reales un poco más altas, que las calculadas con S**edalPlus**.

La verdadera importancia de la revisión con SWMM, es para casos de alcantarillados con tramos existentes con capacidad insuficiente, que en principio deberían ser eliminados o reforzados con interceptores o tuberías paralelas, pero que al hacer la revisión con SWMM podría mostrar que realmente trabajan adecuadamente o con sobrepresión aceptable y no necesitan modificación. Los ajustes entonces podrían limitarse a los casos donde el cálculo muestre inundaciones.

DISEÑO ITERATIVO SEDALPLUS-SWMM

A partir de la versión 13.00 de **SedalPlus,** se adiciono la posibilidad de hacer diseños automáticos con el modelo SWMM de la EPA basado en hidrogramas, para el caso de alcantarillados combinados o pluviales. El diseño se inicia dimensionando el proyecto con el Método Racional, luego se revisa con el programa SWMM, con los resultados obtenidos con este último programa se rediseña el proyecto nuevamente empleando el Método Racional y así sucesivamente hasta obtener un diseño final que usando los menores diámetros posibles no presente inundaciones.

Mediante ese proceso iterativo se logra diseñar proyectos cuyo cálculo se realiza con las ecuaciones de Saint Venant más completas (Onda Dinámica), apoyado en alguno de los siguientes modelos de infiltración: Horton, Green Ampt o Numero de Curva. Para la pluviometría se pueden usar los hietogramas que exige SWMM, o las curvas IDF de las cuales se deducen (en forma automática) los hietogramas mediante la técnica de los bloques alternados de Chow et Al.

Cabe advertir que, durante el proceso descrito, **SedalPlus** aporta la capacidad de diseño, que no tiene SWMM por ser este un programa exclusivamente de revisión, mientras que SWMM realiza el cálculo hidráulico apoyado en su modelo interno de escorrentía - infiltración que utiliza las ecuaciones de Saint Venant.

Los resultados obtenidos que se muestran en los listados de **SedalPlus** corresponden a los valores obtenidos en SWMM y difieren algo en su presentación de los correspondientes al flujo uniforme, pues solo contienen las variables que maneja este último programa. También puede observarse que no se ofrece la opción: Revisar con SWMM, puesto que el diseño por ser de este último modelo genera siempre el archivo *.inp que puede cargarse desde SWNN para analizar perfiles y otras cosas.

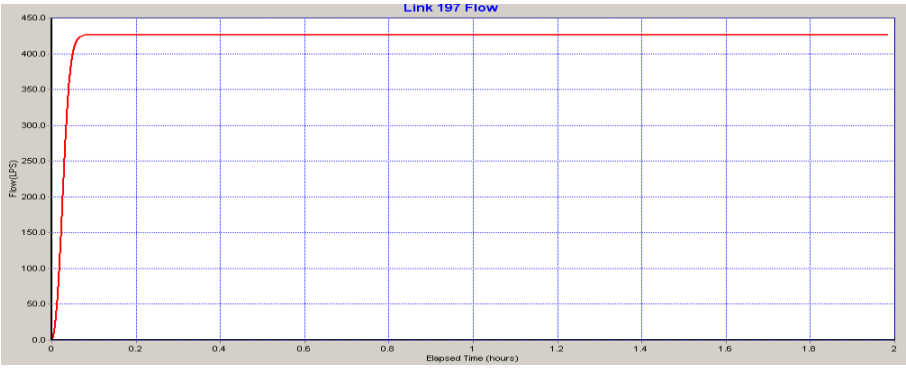
ALGUNAS DIFICULTADES CON SWMM

Evolución de los Caudales

En los diseños sanitarios donde los caudales son moderados, casi no se presentan problemas y la revisión en general pasa satisfactoriamente, sin que se presenten sobrecargas (trabajo a presión) ni inundaciones en los nodos y tramos. Los caudales máximos calculados por **SedalPlus** que son exportados a SWMM resultan prácticamente iguales a los generados por este último programa, con muy pocas diferencias.

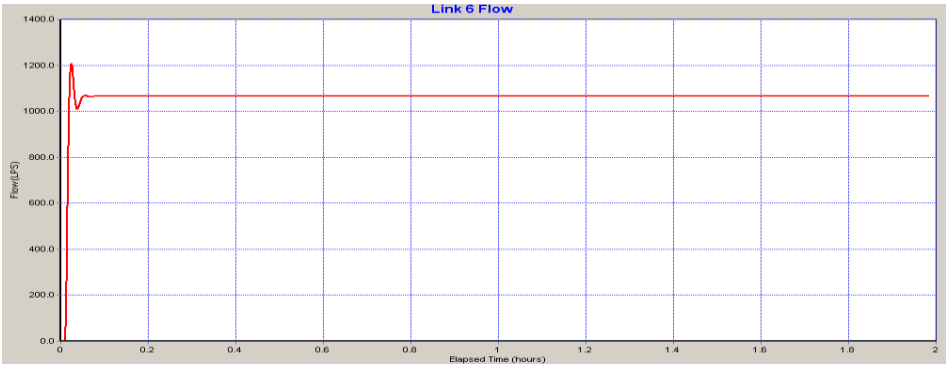
Cuando los diámetros y caudales aumentan, como en los diseños que incluyan caudales pluviales, especialmente cuando existen muchos tramos de longitud corta, se empiezan a mostrar diferencias entre los caudales máximos de ambos programas y pueden aparecer tramos con presuntos problemas de sobrecarga.

La razón de ser de la situación anterior es que SWMM aumenta muy rápidamente el caudal desde un valor cero al que le reportó **SedalPlus.** Cuando el caudal no es demasiado grande la transición a pesar de la rapidez con que se efectúa es muy gradual y los caudales máximos reportados por ambos programas resultan iguales (Ver figura Caso 1).



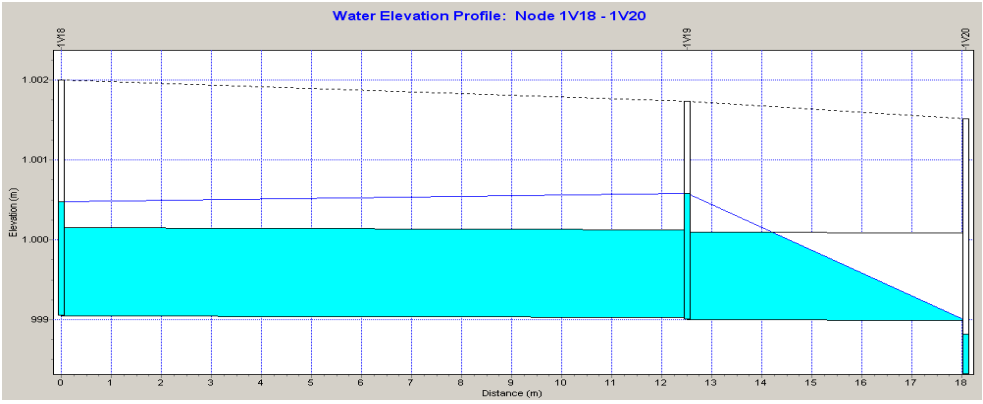
Caso 1 – Caudal máximo de 426.26 LPS en SedalPlus y SWMM

Cuando el caudal es más grande como en el Caso 2, el valor máximo, usualmente presentado durante un lapso muy corto (pocos segundos), excede momentáneamente el valor reportado por **SedalPlus,** aunque muy rápidamente se ajusta a ese valor. Puede darse el caso de que el mayor caudal momentáneo genere teóricamente una sobrepresión, realmente inexistente.



Caso 2 – Caudal máximo de 1065.37 LPS en SedalPlus y de 1206.64 LPS en SWMM

El Caso 2 es una situación simplemente teórica, por cuanto el caudal en la vida real, bajo régimen no permanente, evoluciona mucho más gradualmente, generalmente sin ocasionar problemas. Pero aún, considerando que el fenómeno descrito fuese real, su duración tan corta no tendría por qué crear problemas de falta de aireación en los alcantarillados sanitarios, ni de inundación en los alcantarillados pluviales. Estos últimos durante su vida útil se ven sometidos a sobrecargas e inundaciones cuando las lluvias superan el periodo de retorno, lo cual ocurre con cierta frecuencia,

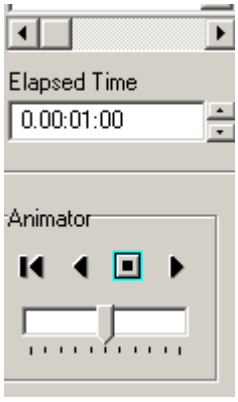


Tramos sobrecargados

En la figura precedente se muestran dos tramos sobrecargados (a presión). Se puede observar que la tubería está completamente llena y la línea piezométrica pasa por encima de la clave de la tubería. Si la situación anterior es simplemente momentánea (pocos minutos) no hay problemas, pero si persiste debe corregirse, aumentando el diámetro o la pendiente.

Para revisar un perfil, después de cargado SWMM**,** en la opción del menú: File/Open se selecciona el archivo que incluya el nombre del proyecto a analizar (estará ubicado en el sitio denominado Directorio SWMM, previamente indicado en Especificaciones/Configuración General Proyecto de **SedalPlus)**.

Luego se oprime el icono que tiene una forma de rayo en color amarillo el cual realiza el cálculo del proyecto. Finalmente se oprime el icono que tiene una figura de perfil de tubería (en color azul claro), se introduce el nodo superior del tramo, luego el inferior, luego el botón" Find Path" y finalmente el botón "OK". Aparecerá en pantalla el perfil del tramo, posiblemente con la tubería vacía. Luego se opera el control seguidamente mostrado.



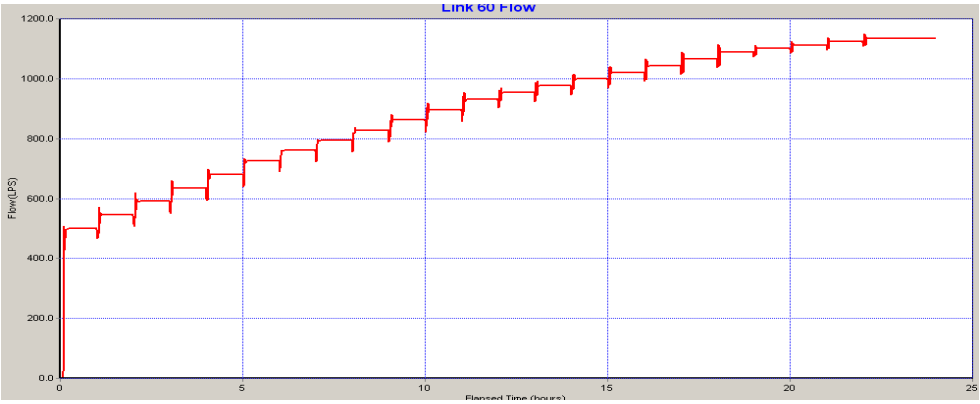
En la parte izquierda de SWMM en la pestaña "MAP", aparecen los controles mostrados arriba. Manteniendo oprimida la flecha que apunta a la derecha (parte superior), empecerá a verse el agua en la tubería, la cual ira subiendo de nivel. El botón cuadrado se moverá lentamente hacia la derecha.

Para hacer el proceso más rápido se puede mover con el cursor, el botón cuadrado, hacia la derecha. También se puede activar la flecha del control "Animator" y el proceso se hará automáticamente.

Si el nivel de agua muestra sobrecarga durante un lapso muy corto (se puede visualizar el tiempo en "Elapsed Time"), y regresa a un nivel normal, no hay problema. Si la situación persiste cuando se ha terminado el recorrido hacia la derecha, es necesario corregir el problema.

AJUSTES PARA CAUDALES ELEVADOS

Para disminuir la indicación de presuntos problemas inexistente en los alcantarillados pluviales, que por sus mayores caudales son más propensos a mostrarlos, se adoptó la estrategia mostrada en el Caso 3, que consiste en ajustar más gradualmente la evolución de los caudales máximos. Aunque se corrigió parcialmente el problema, no se pudo eliminar del todo, por la circunstancia que SWMM**,** realiza los ajustes por saltos escalonados, los cuales tienden a exagerar los caudales máximos, aunque solo para valores muy altos.



Caso 3 – Caudal Máximo de 1134.49 LPS en SedalPlus y de 1152.57 LPS en SWMM

La estrategia mostrada en el caso 3 tiene un costo en término del tiempo necesario para realizar el cálculo con SWMM, que pasa de segundos a minutos, pero la ventaja de disminuir los tramos a revisar justifica las cosas. Tal estrategia se aplica solo e el caso de diseños que incluyan aguas lluvias.

El problema analizado, más que una deficiencia de SWMM, se debe a la circunstancia de que el modelo, como su nombre lo indica “Storm Water Management Model “, fue desarrollado básicamente para sistemas pluviales que se calculen con el modelo de hidrogramas desarrollado por la EPA, y no propiamente para sistemas sanitarios o pluviales diseñados con el método racional. Ello explica que no se les diera importancia a los aumentos de caudal súbitos o por escalones que ocasionan los problemas. De todas maneras, la revisión con las ecuaciones de Saint Venant, continúa siendo válida, aunque haya necesidad de interpretar algunos resultados. Afortunadamente en la gran mayoría de los casos estudiados no se presentan esos problemas.

Tramos Sobrecargados Espurios

Con alguna frecuencia, en los diseños de alcantarillados pluviales o combinados, en el informe (Status) de SWMM, se presenta la contradicción de que no obstante no aparecer ningún nodo sobrecargado se reportan varios tramos (Links) con sobrecargas (de tiempos mínimos: 0.01 horas) ¿Cómo puede un tramo estar sobrecargado sin que al menos uno de sus nodos terminales también lo esté?

Como la sobrecarga tampoco aparece, al recorrer segundo a segundo el tiempo, en los gráficos de los perfiles de tales tramos, se considera que tales sobrecargas son espurias y deben ignorarse. Por lo anterior SedalPlus solo analiza las sobrecargas reportadas en los nodos e ignora las de los tramos.

Errores en SWMM en modelos Flujo Uniforme y Onda Cinemática

Cuando se hace la revisión de diseños con los modelos: Flujo Uniforme u Onda Cinemática se puede presentar un error en los gráficos de perfiles que en algunos casos muestran nodos sobrecargados (con algún nivel de agua en los pozos de inspección por encima de la clave de las tuberías), mientras el reporte (Status) de SWMM no indica ninguna sobrecarga en nodos o tramos. Este problema no se presenta cuando se usa el modelo de Onda Dinámica que es el recomendado.

Información incorrecta sobre Pozos con sobrecarga.

Especialmente en diseños muy grandes donde se utilizan ductos cuadrados en **SedalPlus,** en el reporte Swmm aparecen varios pozos como sobrecargados. Pero cuando se hace la misma consulta en SWMM 5 ve (versión en español) o en EPA SWMM 5.1 (versión en inglés), no hay pozos sobrecargados, ni se observan las hipotéticas sobrecargas en los perfiles. Parece ser una falla en el módulo de interfase suministrado por la EPA que utiliza el programa **SedalPlus**.

ANEXO 7 - GENERAR PROYECTOS PARA SIMULACIONES

A partir de la versión 11.00 se adicionó a **SedalPlus** la posibilidad de generar proyectos simulados, mediante la opción del menú: Archivos/Generar Proyecto Simulado. Al seleccionar la opción mencionada, se verifica que se trate de un proyecto nuevo para evitar sobrescribir los existentes y si no hay riesgo de sobreescritura aparece una ventana donde se capturaran los siguientes datos: (i) Tamaño del proyecto definido por el número de tramos horizontales y verticales que lo conformarán, longitud de los tramos (todos serán iguales), (ii) pendiente del terreno (el proyecto simulado será un plano inclinado con la misma pendiente en sentido horizontal y vertical), (iii) rasante inicial del proyecto (cota).

Introducidos los parámetros anteriores se generará automáticamente un proyecto el cual podrá ser observado de manera detallada en la opción tramos del menú, como si hubiese sido manualmente tipiado, pero no debe ser modificado, pues al hacerlo se convertirá en un proyecto normal que no podrá producir la interfase grafica de SWMM que se menciona más adelante.

Al proyecto se le pueden modificar las especificaciones y parámetros de diseño, las veces que se quiera, para observar su impacto en el proyecto (análisis de sensibilidad), y en general se podrán realizar todas las operaciones que maneja **SedalPlus:** cambio especificaciones**,** diseño, producción listados, cálculo cantidades de obra, cálculo del presupuesto, etc.

Si se corre la revisión con SWMM, se abandona **SedalPlus, se** carga SWMM directamente y se selecciona el programa simulado (aparecerá en el directorio SWMM especificado en **SedalPlus**), se presentará en pantalla el diseño gráfico del proyecto simulado que puede ahora ser impreso. Una vez activado en SWMM el cálculo del proyecto, se podrán manejar de manera muy sencilla todas las posibilidades de SWMM, tales como ver los reportes, perfiles, tablas, gráficos, etc. Se aclara que, aunque en los proyectos normales se pueden hacer prácticamente las mismas operaciones descritas, no se cuenta con la interfase gráfica del proyecto generada por el proceso de simulación, que simplifica el manejo de SWMM.

La finalidad de los proyectos simulados es permitir de una manera sencilla conocer el impacto de ciertas decisiones técnicas en el proyecto y sus costos tanto desde **SedalPlus** como desde SWMM, por ejemplo, realizar análisis como el detallado en el **ANEXO 1**, para estimar el sobrecosto de una norma, pero ampliando el espectro del análisis a un mayor número de escenarios tales como: distintos tamaños del proyecto, distintas pendientes del terreno, etc.

Realizar análisis de sensibilidad y observar su impacto en los listados, es un proceso que ayuda a tener una mejor compresión de cómo se comportan los alcantarillados en la vida real, conocimiento que ayudara a elaborar cada vez mejores diseños, pues va mucho más allá de lo que significan individualmente las fórmulas matemáticas utilizadas. En cierta forma es como aprender a ver el bosque en lugar de los árboles.

COSTOS CON PROYECTO SIMULADOS - EJEMPLO DE ANALISIS

El cuadro de la página siguiente fue obtenido usando un modelo simulado de 10 x 10 tramos, con una pendiente del terreno (rasante) de 0.25 %, que corresponde a una población bastante plana. Muestra cómo se incrementa el costo estimado con relación a la norma de menor costo (Brasil).

Para la estimación del costo se hizo la hipótesis de que los costos asociados a la profundidad media (Excavaciones, rellenos, tablestacados y pozos de inspección) representan el 60% y los asociados al diámetro medio (tuberías) corresponden al 40%. Se aplicó la mitología explicada en el **ANEXO 1**. El sobrecosto calculado quedará subestimado cuando la profundidad final es muy alta (mayor de 5.00 m) pues no incluye el aumento requerido en el número de estaciones de bombeo.

Las restantes especificaciones no incluidas expresamente en el cuadro siguiente fueron las que por defecto ofrece **SedalPlus.** (Profundidad mínima, máximo llenado del tubo, profundidad máxima, velocidad máxima de diseño, etc. (que tienen poco impacto en los sobrecostos).

A continuación, en el cuadro siguiente, se muestran los resultados obtenido en los siguientes diseños simulados, realizados con **SedalPlus.**

COMPARACION COSTO CON DIFERENTES NORMAS DE DISEÑO
n/N = Variable

Normas Aplicadas (Diseño Sanitario)	Prof. Media	Diam. Medio	Prof. Final	Sobrecosto (%)
Brasil n = 0,013 F. Tractiva = 0,10 Kg/m2	1.50	210.27	2..83	**0.00**
Ten States n = 0,013 Usa Pendientes mínimas	1.83	213.69	3.24	**12.64**
Ras 2000 Titulo D n = 0,009 Evitar Flujo Critico en el Rango 0.90 – 1.10	2.08	208.99	3.49	**22.96**
Ras 2000 Titulo D n = 0,013 Evitar Flujo Critico en el Rango 0.90 - 1.10	3.04	219.57	5.30	**63.37**

Notas:
Las Normas Ras 2000 usaron adicionalmente:
Velocidad. Real = 0,45 m/s y F. tractiva = 0.12 Kg/m2

En el RAS 2016 se introdujo que el Flujo Critico solo se analice
Para llenados de las tuberías (y/D) superiores o iguales a 0.70.
Lo anterior disminuyo de un modo importante los sobrecostos.

Ten States significa en inglés: Recommended Standards for Water Works - 2004 (Illinois, Indiana, Iowa, Michigan, Minnesota, Missouri, New York, Ohio, Ontario, Pennsylvania y Wisconsin).

Con la norma RAS 2000 Titulo A, (que intentaba controlar la autolimpieza con una velocidad real de 0.45 m/s) con n = 0.009 el costo resultó más bajo que el obtenido con la norma de Brasil, pero el número de tramos que no cumplían la autolimpieza (0.10 Kg/m2) llegó al 81%. Esto es una comprobación adicional de porque la velocidad real no es un parámetro adecuado para garantizar la autolimpieza, como la afirma la ASCE. En el RAS 2016 la norma de velocidad real mínima de 0.45 m/s se remplazó por utilizar una fuerza tractiva de 1 Pa. (Aproximadamente 0.10 Kg/m2).

Comentario Importante

En la comparación anterior, el diseño con normas RAS 2000, con n = 0.009 resultó de menor costo que la ejecutada con n = 0.013. En contradicción con el resultado obtenido en el **ANEXO 1.** La razón estriba en la adición, en este caso, de una norma de velocidad real de 0.45 m/s a la fuerza tractiva, que favorece ampliamente a los diseños con n = 0.009, mientras la fuerza tractiva da mejores resultados con "n" mayores.

RACIONALIZACION DE LOS COSTOS EN COLOMBIA

Para mejorar los costos de los proyectos en Colombia, se recomienda utilizar n/N = 1 (el RAS no estipula nada al respecto). La justificación para la utilización de esa norma se encuentra en el manual 60 de la asociación de ingenieros civiles de USA (ASCE), segunda edición del 2007, numeral 5.4.4., que afirma que, para las tuberías parcialmente llenas, la variación de "n" con la altura de lámina (n/N = variable) propuesta desde 1946 por Camp es un error.

Para manejar adecuadamente la autolimpieza se recomienda especificar solo una fuerza tractiva de 0.10 kg/m2 (aproximadamente 1 Pa), como se hace en Brasil, en un amplio número de países latinoamericanos y recomienda la ASCE hacer en EE.UU.

RACIONALIZACION DE LOS COSTOS EN OTROS PAISES

Mientras las normas (o reglamentos técnicos) lo permitan, lo aconsejable es utilizar para el control de autolimpieza solamente la fuerza tractiva con valores no inferiores a 1 pascal (aproximadamente 0.10 kg/m2), tal como lo hace Brasil. En EE. UU. la práctica más utilizada actualmente es emplear pendientes mínimas para cada diámetro, como lo recomienda el estándar Ten States. Sin embargo, el manual 60 de la ASCE, antes mencionado, recomienda que se utilice solamente la fuerza tractiva (como hace Brasil) y predice que gradualmente se cambiara a ese modelo que es el más adecuado y genera los menores costos (numeral 5.5.3.). Cabe recordar que en EE.UU. no hay normas de diseño obligatorias, pues la responsabilidad técnica sobre los proyectos es completamente de los ingenieros.

ANEXO 8 – AUTOLIMPIEZA ¿Fuerza Tractiva, Velocidad real o Velocidad a tubo lleno?

El análisis que se realizará a continuación se sustenta en el manual "Gravity Sanitary Sewer", de la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles (ASCE) – Manual No. 60 – segunda edición (2007). Se recomienda adquirir el manual mencionado, pues contiene elementos tecnológicos de actualidad.

.

Para asegurar la autolimpieza el procedimiento más adecuado es decidir en primera instancia el tamaño de la partícula máxima a remover. Existe la aceptación de que el valor más adecuado es 1.00 mm. En el manual mencionado en el numeral 5.5.4.1 se explica que hay un consenso sobre el tamaño de 1.00 mm, como valor de diseño para las aguas negras típicas, pero advierte que en casos donde se puedan presentar detritos más grandes, puede ser juicios aumentar el tamaño a 1.50 o 2.00 mm.

A partir del tamaño de la partícula máxima a remover se puede calcular la fuerza tractiva necesaria, mediante la fórmula: $T = kd^{0.277}$, en que: T = fuerza tractiva en N/m^2 (Pa), k = 0.867 y d = diámetro de la partícula en mm. En el numeral 5.5.4 del manual mencionado se incluye la formula anterior que fue obtenida mediante un proceso de regresión de valores observados en tuberías de 200 mm con unión de mortero, lo que hace que los valores obtenidos sean conservadores.

Aplicando la fórmula, se obtienen los siguientes valores:

Fuerza Tractiva (Pa)	Diámetro partícula remover (mm)
1.0	1.67
1.1	2.36
1.2	3.23
1.5	7.23
2.0	20.43
2.5	45.74
3.0	88.34

En la tabla anterior, se puede observar que la fuerza tractiva de 1.0 Pascal (aproximadamente 0.10 Kg/m2) resulta suficiente y que el valor máximo recomendable, sería de 1.1 Pa. (0.11 Kg/m2) pues remueve partículas hasta de 2.36 mm.

La fuerza tractiva es indiscutiblemente la mejor aproximación para asegurar la autolimpieza, (ver Numeral 5.5.3. del manual mencionado).

Las demás alternativas para el control de la autolimpieza: tales como especificar velocidades mínimas a tubo lleno, pendientes mínimas para cada diámetro, etc., presentan falencias como seguidamente se señala.

Utilizar la velocidad a tubo lleno o pendientes mínimas para cada diámetro (como el modelo TEN STATES), presenta el inconveniente de no permitir rebajar la pendiente, a medida que el caudal de diseño de los tramos aumenta (como lo hace la fuerza tractiva).

Tal situación conduce a especificar pendientes innecesariamente elevadas, producir mayor enterramiento de las tuberías y en algunos casos a mayores exigencias de bombeo (en resumen, mayores costos).

Predicen la ASCE y la WEP que, aunque durante algún tiempo se continuaran usando la velocidad a tubo lleno o pendientes mínimas para cada diámetro, tales prácticas se irán sustituyendo por el modelo basado en la fuerza tractiva que es el más sólido.

En el mencionado manual, bajo el título “Comment on the CIRIA aproach”, se hace una crítica muy válida al modelo CIRIA, por basarse en velocidades a tubo lleno, que desconoce los caudales de diseño mínimos, con el resultado de incrementar significativamente las pendientes mínimas requeridas cuando disminuyen los caudales de diseño.

VELOCIDAD REAL

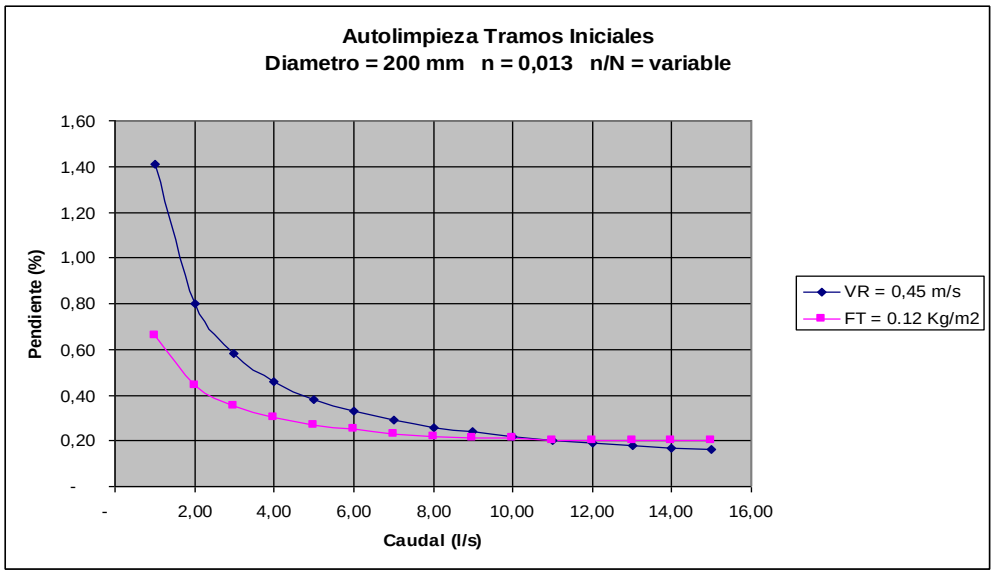


Grafico Velocidad Real vs Fuerza Tractiva

El manual de la ASCE y la WEF no menciona específicamente la velocidad mínima real como parámetro de autolimpieza, por cuanto no se emplea en EE. UU. (y en casi ningún otro país). En consecuencia, el siguiente análisis no se basa en el manual mencionado.

La velocidad mínima real, aunque permite rebajar las pendientes cuando aumenta el caudal, tal como lo hace la fuerza tractiva, no asegura igual autolimpieza para distintos llenados del tubo. Para un mismo diámetro, mientras mayor sea el caudal de diseño, se tendrá menor autolimpieza, mientras los tramos iniciales de bajo caudal quedan muy sobredimensionados.

El gráfico anterior muestra como la velocidad real sobredimensiona las pendientes para los bajos caudales (tramos iniciales) respecto a los valores exigidos por la fuerza tractiva. Para un caudal de 11.00 l/s la pendiente exigida por ambos parámetros (velocidad real y fuerza tractiva) es igual. Para caudales mayores a 11.00 l/s la velocidad real no garantiza la misma autolimpieza que la fuerza tractiva. En resumen, la velocidad real no es un parámetro adecuado para controlar la autolimpieza, e incrementa significativamente los costos, para caudales bajos.

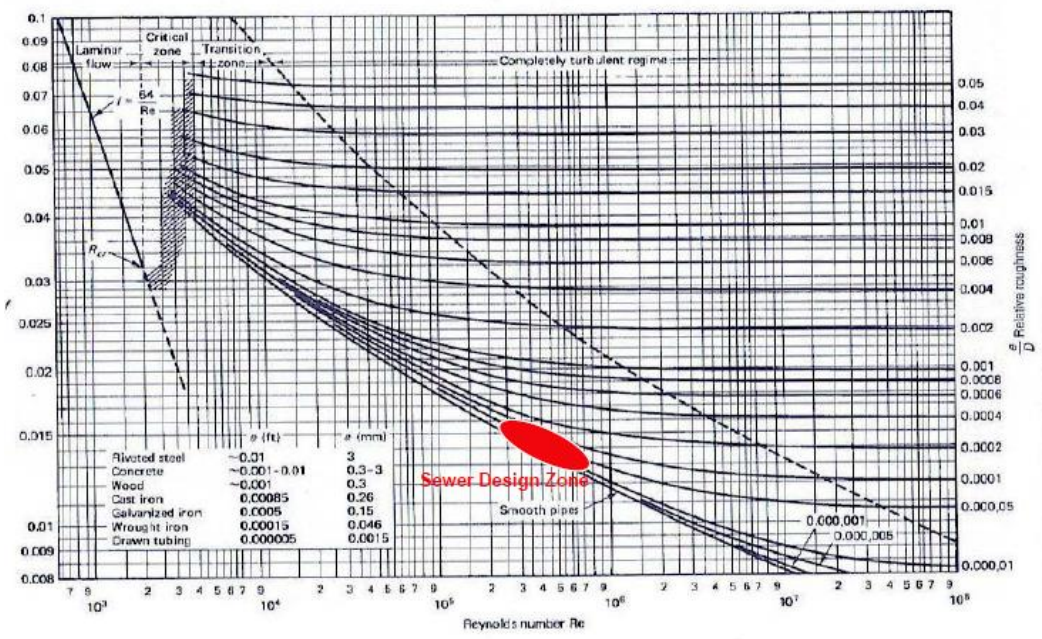
CONCLUSION

Por todo lo anterior, parece recomendable, coger el toro por los cuernos, utilizando para la autolimpieza, solamente la fuerza tractiva, como hizo Brasil desde hace muchos años, tendencia que se empieza a consolidar actualmente en los EE. UU. Brasil emplea una fuerza tractiva de 1.0 pascal que es suficiente para remover partículas de 1.67 mm, y la experiencia indica que no ha tenido problemas en sus alcantarillados. Podría ser preferible usar una tractiva de 0.11 Kg/m2 que remueve partículas de 2.36 mm, con un buen margen de seguridad sobre la partícula de 1.0 mm, que según la experiencia es el mayor tamaño preponderante en los sistemas sanitarios.

ANEXO 9 – VISION RECIENTE DE LA HIDRAULICA DE ALCANTARILLADOS

FORMULA DE MANNING

Algunas personas piensan que la fórmula de Manning se invalida en la zona de transición del diagrama de Moody pues consideran que solo debe aplicarse donde el régimen es completamente turbulento. Parten de la creencia de que los diseños de alcantarillado se localizan típicamente en la zona del régimen de flujo turbulento hidráulicamente rugoso y temen que con el desarrollo de materiales modernos más lisos los diseños se empiecen a ubicar en la zona de transición. Tal como muestra el Profesor "Emérito" LaVere B. Merritt, los diseños de alcantarillado siempre han estado ubicados en la zona de transición. (Ver gráfico siguiente). Aplicando $n^6 (RS)^{1/2} > 1.1*10^{13}$ [Henderson 1966], donde R = radio medio hidráulico y S = pendiente, se puede saber cuándo se está en la zona de flujo turbulento hidráulicamente rugoso pues la desigualdad es cierta. Personalmente aplique la desigualdad a todos los tramos de muchos proyectos elaborados con **SedalPlus** comprobando lo que indica el profesor Merritt. En el diagrama de Moody, a continuación, se ve como una mancha ovalada el sitio donde se ubican los diseños.



Lo que ocurre es que, en la zona de flujo turbulento hidráulicamente rugoso, la fórmula de Manning es exacta, mientras que en la zona de transición es aproximada, a diferencia de la ecuación de Darcy-Weisbach que cubre adecuadamente ambas zonas.

Para conocer los efectos del carácter aproximado de la fórmula de Manning en la zona de transición, conviene estudiar el Capítulo *5* - Hidraulics of Sewer del Manual 60 de la ASCE, edición de 2007, cuyo contenido sobre el tema será seguidamente expuesto:

Mediante una combinación de las ecuaciones de Manning y de Darcy-Weisbach se obtiene la siguiente fórmula: $\mathbf{n = kR^{1/6} f'^{1/2}}$, en que n = coeficiente de Manning, k = 0.0926 para sistema inglés y 0.1129 para sistema métrico decimal, R = radio medio hidráulico y f = coeficiente rugosidad de Darcy-Weisbach.

Como se trabajará a tubo lleno se remplaza el radio medio hidráulico por D/4 en que D es el diámetro interno de la tubería.

En la fórmula anterior se remplaza el valor de $\mathbf{f = 1.325/[LN\ (e/3.7D + 5.74/R_e^{0.90})\ ]^2}$ - Ecuación de Swamee-Jain, en que e = rugosidad absoluta (Darcy-Weisbach), D = diámetro tubería y R_e = número de Reynolds. Luego se remplaza R_e = DV/v en que D = Diámetro tubería, V = Velocidad a tubo lleno y v = viscosidad cinemática.

La ecuación de Swamee-Jain presenta un error máximo del 1% respecto a la de Colebrook. Con los pasos anteriores se obtiene una ecuación en que "**n**" es una función del diámetro, la rugosidad absoluta, la velocidad y la viscosidad cinemática,

Se utilizará la viscosidad cinemática para una temperatura de agua de 15°C (la temperatura del agua en los alcantarillados varia usualmente entre 10 °C y 23 °C) para que los cálculos de **"n"** resulten conservadores, aunque el efecto de la viscosidad es poco significativo. Conviene hacer los cálculos en sistema inglés para poderlos comparar con el Gráfico 1 y la Tabla 2, de la ASCE.

Con lo anterior se obtiene **n = función (D, e, V),** o sea que **n** es una función del diámetro, la rugosidad absoluta y la velocidad a tubo lleno.

Manning n versus velocity for selected roughness values for a 200 mm pipe

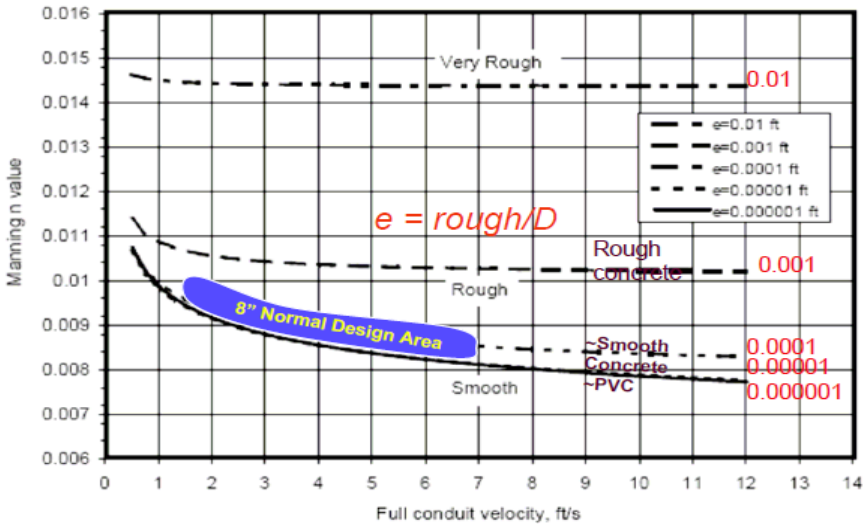


GRÁFICO 1

Para calcular el **Gráfico 1** (para diámetro de 200 mm) se utiliza primero un valor de e = 0.000001 pies (algo más liso que el PVC) y se tabulan los valores de n en función de la velocidad haciéndola variar entre 0.5 y 12 pies por segundo.

Luego se repiten los cálculos para e = 0.00001 pies, luego para e = 0.0001 (Concreto), luego para e = 0.001 y finalmente para e = 0.01. Es decir, cada cálculo nuevo se hace para rugosidades absolutas 10 veces mayores.

Si se desea se puede repetir el proceso para los demás diámetros. Como fue mencionado estos gráficos sirven para demostrar que las diferencias de n entre los distintos materiales de tuberías de acabado fino (PVC y Concreto) son muy pequeñas aun en ausencia de la capa biológica.

Como se puede observar en el **Gráfico 1,** el coeficiente de Manning experimenta cambios muy pequeños con la variación de la rugosidad absoluta "e", para el rango de valores comprendido entre: 0.000001 pies del PVC y el que corresponde a las tuberías de concreto de acabado fino 0.0001 pies, Mientras que, para aumentos en la rugosidad absoluta a partir del concreto, los cambios son más significativos:

Ver en el gráfico de la página anterior la curva Rough (e = 0.001 pies) y Very Rough (e = 0.01 pies). En el gráfico mencionado, causa un poco de confusión los valores de 0.000001 y 0.00001 pies, pues las dos curvas prácticamente se superponen en una sola (la de trazo continuo).

Para la velocidad mayor graficada (12 pies por segundo), la diferencia de "n" está comprendida entre valores de 0.0078 para la tubería de PVC y 0.0083 para la de concreto, o sea que la diferencia es de 0.0005 (5 diezmilésimas) valor que está fuera del límite usual para el coeficiente de Manning (usualmente se expresa en milésimas). Analizando el gráfico se puede deducir que tuberías más lisas que el PVC (rugosidad absoluta de cero) se superpondrían con la curva inferior (trazo continuo) y su comportamiento hidráulico no podrá ser mejor que el que experimenta ese material.

Siendo pequeñas las diferencias del comportamiento hidráulico respecto a la rugosidad absoluta, donde se puede observar la mayor discrepancia respecto a los valores del coeficiente de Manning es con relación a los diámetros Si la formula fuera exacta el coeficiente de Manning debería tener un valor único para cada material, dependiendo de su rugosidad absoluta, cosa que no ocurre.

Values
Calculated from the Darcy-Weisbach Equation

Table 2. Suggested values of Manning's *n* for sewer design calculations

	Pipe Diameters in inches									
Condition.	6.	8.	10.	12.	15.	18.	24.	30.	36.	48.
Extra care:	0.0092	0.0093	0.0095	0.0096	0.0097	0.0098	0.0100	0.0102	0.0103	0.0105
Typical:	0.0106	0.0107	0.0109	0.0110	0.0112	0.0113	0.0115	0.0117	0.0118	0.0121
Substandard	0.0120	0.0121	0.0123	0.0125	0.0126	0.0127	0.0130	0.0133	0.0134	0.0137

Extra care---from Darcy-Weisbach Equation
Typical------15% higher than from the D-W Equation
Substandard--30% higher than from the D-W Equation

TABLA 2

Para calcular la Tabla *2* se hace e = 0.0001 pies (Concreto) y V = 2 pies por segundo por ser valores conservadores que generan los valores más altos de n, aunque la variación sea poco importante, Luego se calcula el valor de n para cada uno de los diámetros comprendidos entre 6 y 48 pulgada, con lo cual resultan los valores "Extra Care".

Si estos valores se incrementan en 15% resultan los valores "Typical" y si se incrementan en 30% resultan los valores "Substandars".

En la **Tabla 3** que se anexa se repiten los cálculos anteriores para e = 0.000001 pies (PVC). Lo anterior no está incluido en el manual de la ASCE que considera que siendo poco importante el efecto de la rugosidad absoluta pueden usarse los valores anteriores para cualquier tipo de material de acabado fino (Concreto o PVC).

Valores del coeficiente de Manning para tuberías de PVC en función del diámetro en pulgadas

Condition.	**6.**	**8.**	**10.**	**12.**	**15.**	**18.**	**24.**	**30.**	**36.**	**48.**
Extra Care:	0.0090	0.0091	0.0093	0.0094	0.0095	0.0096	0.0098	0.0100	0.0101	0.0104
Typical:	**0.0103**	**0.0105**	**0.0106**	**0.0108**	**0.0109**	**0.0111**	**0.0113**	**0.0115**	**0.0117**	**0.0119**
Substandard:	0.0117	0.0119	0.0120	0.0122	0.0124	0.0125	0.0128	0.0130	0.0132	0.0135

TABLA 3

La diferencia porcentual entre los valores Typical entre Concreto y PVC varía entre 2.49% para los diámetros pequeños 6 pulgadas y 1.61 % el mayor tabulado 48 pulgadas. Para diámetro de 3.00 metros que corresponde a la mayor tubería fabricada la diferencia sería de apenas 1.43%

El valor de la rugosidad absoluta que usa la ASCE para el concreto de 0.03 mm (0.0001 pies) es distinto al que incluyen otras normas de 0.3 mm. Hay mucha discrepancia sobre tal valor, por ejemplo, en su Hidráulica General el profesor Sotelo indica un valor aún más bajo que el de la ASCE de 0.025 mm.

Para no entrar en polémica sobre cuál es el valor correcto lo más razonable es indicar un rango comprendido entre 0.03 y 0.3. mm. Si el valor adecuado fuese 0.3 no sería tan válida la decisión de la ASCE de aplicar la tabla 2 para cualquier tipo de material relativamente liso (PVC o Concreto). Para tampoco entrar en polémica sobre ese punto lo pertinente es incluir un modelo que genere los valores de "**n**" a partir de cualquier rugosidad absoluta (como el que se adoptó en el programa SedalPlus).

Al usar valores de "n" derivados de la rugosidad absoluta, que como fue mencionado se apoyan en la fórmula de Darcy-Weisbach, se corrige la principal desviación que presenta la fórmula de Manning y los resultados obtenidos se aproximan mucho más a la realidad.

< Espacio dejado intencionalmente en blanco>

< Cálculo con hoja electrónica >

Los cuadros siguientes muestran los cálculos del n de Manning para diferentes rugosidades absolutas y diámetros de las tuberías. Los cálculos en Hoja Electrónica, se hicieron a partir de la formula de Darcy - Weisbach, según el procedimiento explicado anteriormente.

V(pies/s)	V(m/s)	v a 15°C			e(mm)	
2	0.609	1.15			0.03	
		Extra Care	Typical	Substandard		
D(pulg)	D(mm)	n	n	n	f	Re
6	152.4000	0.0092	**0.0106**	0.0119	0.0197	80,705.7391
8	203.2000	0.0093	**0.0107**	0.0121	0.0185	107,607.6522
10	254.0000	0.0095	**0.0109**	0.0123	0.0176	134,509.5652
12	304.8000	0.0096	**0.0110**	0.0124	0.0169	161,411.4783
15	381.0000	0.0097	**0.0112**	0.0126	0.0162	201,764.3478
18	457.2000	0.0098	**0.0113**	0.0128	0.0156	242,117.2174
24	609.6000	0.0100	**0.0115**	0.0130	0.0147	322,822.9565
30	762.0000	0.0102	**0.0117**	0.0132	0.0141	403,528.6957
36	914.4000	0.0103	**0.0119**	0.0134	0.0137	484,234.4348
48	1,219.2000	0.0105	**0.0121**	0.0137	0.0130	645,645.9130
60	1,524.0000	0.0107	**0.0123**	0.0139	0.0124	807,057.3913
		-				-
	3,000.0000	0.0113	**0.0130**	0.0147	0.0111	1,588,695.6522

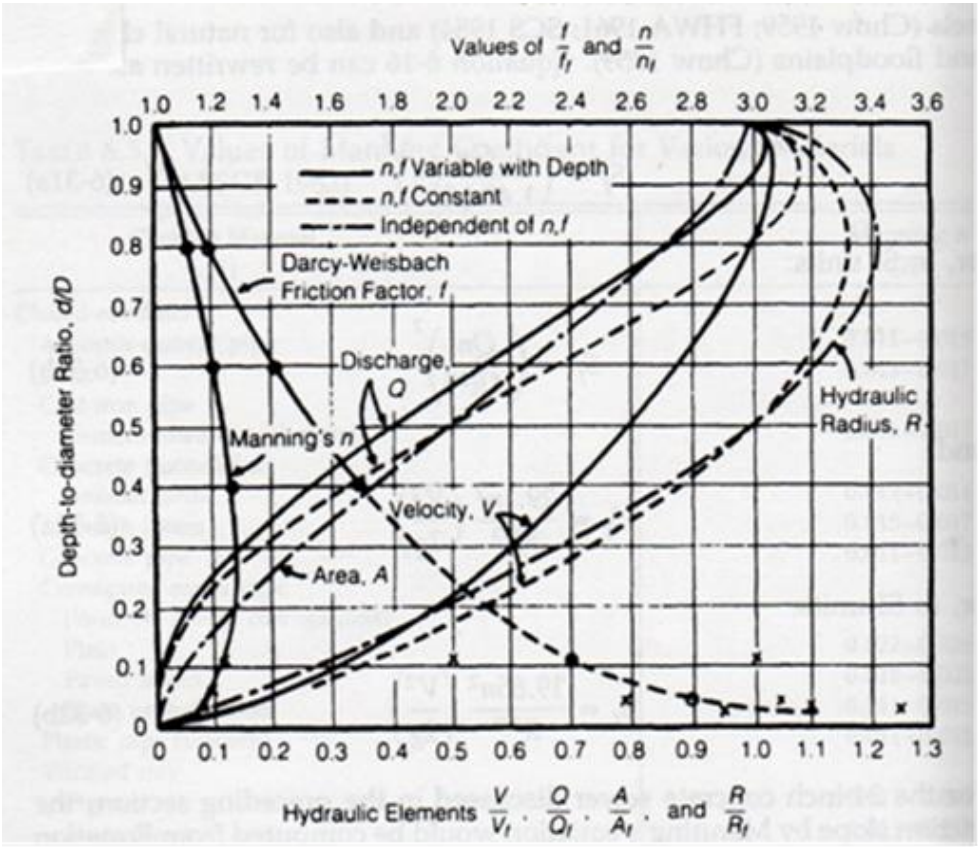
V(pies/s)	V(m/s)	v a 15°C			e(mm)	
2	0.609	1.15			0.0015	
		Extra Care	Typical	Substandard		
D(pulg)	D(mm)	n	n	n	f	Re
6	152.4000	0.0090	**0.0103**	0.0117	0.0187	80,705.7391
8	203.2000	0.0091	**0.0105**	0.0119	0.0176	107,607.6522
10	254.0000	0.0093	**0.0106**	0.0120	0.0168	134,509.5652
12	304.8000	0.0094	**0.0108**	0.0122	0.0162	161,411.4783
15	381.0000	0.0095	**0.0109**	0.0124	0.0155	201,764.3478
18	457.2000	0.0096	**0.0111**	0.0125	0.0150	242,117.2174
24	609.6000	0.0098	**0.0113**	0.0128	0.0142	322,822.9565
30	762.0000	0.0100	**0.0115**	0.0130	0.0136	403,528.6957
36	914.4000	0.0101	**0.0117**	0.0132	0.0132	484,234.4348
48	1,219.2000	0.0104	**0.0119**	0.0135	0.0125	645,645.9130
60	1,524.0000	0.0106	**0.0121**	0.0137	0.0121	807,057.3913
						-
	3,000.0000	0.0112	**0.0128**	0.0145	0.0108	1,588,695.6522

		Concreto Typical	PVC Typical	DIF %
D(pulg)	D(mm)	n	n	
6	152.4000	**0.0106**	**0.0103**	**2.49%**
8	203.2000	**0.0107**	**0.0105**	**2.35%**
10	254.0000	**0.0109**	**0.0106**	**2.25%**
12	304.8000	**0.0110**	**0.0108**	**2.17%**
15	381.0000	**0.0112**	**0.0109**	**2.08%**
18	457.2000	**0.0113**	**0.0111**	**2.01%**
24	609.6000	**0.0115**	**0.0113**	**1.90%**
30	762.0000	**0.0117**	**0.0115**	**1.83%**
36	914.4000	**0.0119**	**0.0117**	**1.77%**
48	1,219.2000	**0.0121**	**0.0119**	**1.68%**
60	1,524.0000	**0.0123**	**0.0121**	**1.61%**
	3,000.0000	**0.0130**	**0.0128**	**1.43%**

< Fin del cálculo >

EFECTO LLENADO DEL TUBO (TUBERÍAS PARIALMENTE LLENAS

Otro punto muy interesante, del manual de la ASCE, es la afirmación de que, para tuberías parcialmente llenas, la variación de "n" con la altura de lámina propuesta desde 1946 por Camp es un error y debe usarse n/N = 1. Esto tiene un gran impacto en los costos, porque el diseño resulta con pendientes más moderadas. El programa SWMM usa n/N = 1.



En el gráfico anterior, se muestran las relaciones hidráulicas para tuberías parcialmente llenas. Se puede observar la variación con la altura de lámina del "n" de la fórmula de Manning, según Camp, afirmación que a la postre resultó errónea. Investigaciones posteriores señalan que conviene usar n/N = 1, con lo cual desaparece la curva de corrección, situada en la parte izquierda del gráfico. También puede observarse la curva del factor de fricción "f" de la ecuación Darcy-Weisbach que indica una corrección relativamente acentuada a medida que disminuye la altura de lámina. Lo anterior permite concluir que, para el caso de tuberías parcialmente llenas, como es usual en los alcantarillados, se comporta mejor la fórmula de Manning.

CONCLUSIONES

Las conclusiones que se pueden sacar del estudio del Capítulo *5* del reciente manual de la ASCE y la WEP, son las siguientes:

- La fórmula de Manning, aunque sea aproximada es suficientemente adecuada para el diseño de alcantarillados.

- En ese mismo sentido la Asociación de Fabricantes de Tuberías de Hormigón (ATHA) afirma: "El proyecto de la Norma Europea de Cálculo Hidráulico, en el que participan 18 países, recomienda el uso de la Fórmula de Manning-Strickler, para las conducciones en lámina libre.

- El valor del coeficiente de Manning a usar en el diseño es similar para todos los materiales lisos (PVC o Concreto), pues la diferencia debida a la mayor o menor rugosidad absoluta no es significativa para valores en el rango entre e = 0.0015 mm (PVC) y e = 0.03 mm (Concreto). Las pequeñas diferencias prácticamente se emparejan por efecto de la presencia de la capa biológica.

- Aunque la fórmula de Darcy-Weisbach es indiscutiblemente la mejor desde el punto de vista conceptual, su complejidad matemática hace más difícil su manipulación, especialmente para la elaboración de programas de diseño. La problemática es más manejable en programas de revisión. La gran fortaleza de esta fórmula la hace muy deseable para las tuberías trabajando a presión, pues en el caso de tuberías parcialmente llenas exige ajustes empíricos al factor de fricción "**f"** que debilitan su elevada precisión teórica.

Conviene informar que el mencionado manual 60 de la ASCE y la WEP fue elaborado por una "Task Forcé" De 30 ingenieros con las más altas calificaciones, lo que le otorga gran credibilidad.

RECOMENDACIONES:

1. Abandonar la creencia de que la ecuación de Manning solo puede utilizarse en la zona de flujo turbulento hidráulicamente rugoso, pues equivale a proscribir totalmente tal formula, en consideración a que los diseños de alcantarillado se encuentran siempre en la zona de transición como afirma el profesor Merritt.

2. Emplear n/N = 1 como recomienda la ASCE.

3. Para garantizar la autolimpieza, no deben usarse modelos basados en velocidad a tubo lleno, como Ciria 3. Aunque este modelo garantiza la autolimpieza con n = 0.013, para tuberías con n = 0.009 el 67% de los tramos presentan fuerzas tractivas inadecuadas por ser inferiores a 0.10 Kg/m2, que obviamente no aseguran la autolimpieza. Parecería que el modelo Ciria 3 se diseñó para trabajar con n = 0.013.

4. Para aumentar la precisión al usar la fórmula de Manning conviene aceptar la recomendación de la ASCE de utilizar "n" variable con el diámetro (según la Tabla 2 presentada anteriormente), por ser este el punto donde es más débil la aproximación.

   Para **SedalPlus** se desarrolló la siguiente fórmula:

   $n = 1.15\ (0.0065\ D^{0.0659)}) + 0.0001.$

   En que D = diámetro interno en mm. Esa fórmula ofrece un ajuste casi perfecto para los diámetros mostrados en la tabla (valores típicos).

5. Utilizar las siguientes rugosidades absolutas en mm: Para concreto, valores de 0.03 mm y para PVC usar 0.0015 mm.

El efecto de las perturbaciones en el flujo, por: juntas en las tuberías, desalineamientos tanto los horizontales como los verticales, los caudales laterales de las conexiones domiciliarias, han sido tomados en cuenta al definir los valores de “n” que incluyen un margen de seguridad del 15%.

ANEXO 10 - EVALUACION DE LOS DISEÑOS

A partir de la versión 11.00, para facilitarle al consultor, la interpretación de los resultados, en los listados de diseño hidráulico, se resaltó en negrilla (o en color rojo en la pantalla), la variable cuyo valor fue el que decidió el diseño de cada tramo nuevo (los tramos existentes no dan lugar a decisión alguna pues se dejan como estén). Se pueden presentar 2 casos en el parámetro que gobierna el diseño de un tramo:

CUANDO ALGUNA ESPECIFICACIONES DEFINE EL DISEÑO DEL TRAMO

- El parámetro que pueden decidir el diseño de un tramo puede ser alguno (o algunos) de los siguientes: (i) La pendiente de la tubería (diseño basado en pendientes mínimas para cada diámetro o cuando se usa la pendiente mínima minimorum permisible), (ii) la velocidad a tubo lleno (Ciria 3 o también la velocidad máxima permisible), (iii) el llenado máximo del tubo y/D, (iv) la velocidad mínima real en los diseños sanitarios o la velocidad máxima real para diseños que incluyan aguas pluviales (no hay caudal mínimo), (v) la fuerza tractiva, y (vi) el número de Froude (cuando se especifica “evitar el flujo crítico”). Los parámetros solo se resaltarán cuando haya una especificación que determine un valor máximo o mínimo de la variable en cuestión.

- Un caso especial se presenta en tramos cortos cuando el descenso entre la clave superior y la inferior resultaría teóricamente inferior a 1 cm. Como el valor mínimo a rebajar no puede ser inferior a 1 cm, la pendiente puede quedar algo mayor que la estrictamente necesaria, generando valores de diseño mayores que los estrictamente exigidos por las especificaciones. En tal evento parecería que ninguna especificación decidió el diseño, y en esas circunstancias **SedalPlus** indicara que el parámetro que decidió el diseño fue la pendiente del terreno.

- Otro caso especial es cuando el diseño está definido por el llenado del tubo (q/Q = 1). Como el valor de q/Q no está incluido en el listado, se resalta el valor del caudal de diseño, para indicar que es igual (salvo pequeñas diferencias de redondeo) con el caudal a tubo lleno, o sea que q/Q = 1.

CUANDO LA PENDIENTE DEL TERRENO DEFINE EL DISEÑO DEL TRAMO

- En los casos restantes, diferentes de todos los anteriores, la pendiente del terreno gobierna el diseño y permite que se cumplan con algún exceso todas las demás especificaciones. Cuando la pendiente es relativamente alta y el tramo no viene excesivamente enterrado, la profundidad mínima de la clave inferior gobernará el diseño. Tal pendiente puede ser la mínima especificada o estar rebajada en el diámetro mínimo, cuando el pozo de inspección se comparte con un tramo inicial (para facilitar la introducción de los equipos de limpieza al tramo inicial). También puede ser una profundidad mínima especial definida expresamente en la entrada de tramos.

- Otro caso en que el terreno gobierna el diseño es cuando la clave inferior del tramo que llega a un pozo de inspección empalma en lo estrictamente necesario con el tramo de salida del pozo (empalme con tramos existentes y similares).

- Cuando la pendiente del terreno gobierna el diseño, en los cuadros de diseño, en observaciones se incluirá el siguiente símbolo <**> debidamente resaltado.

- La razón de lo anterior es que la profundidad mínima no aparece en los cuadros de "Diseño Hidráulico sino en otro diferente denominado "Diseño Físico", y se desea que todas las variables que definen el diseño de los tramos aparezcan en el mismo cuadro, para poder comprobar que no hay ninguna omisión.

- En los tramos Existentes y similares (Restringidos, No investigados y Empalmados), se resaltarán las abreviaturas: T.E., T.R., N.I., E.E., que los identifican en el área de observaciones. Tales tramos no cumplen necesariamente las especificaciones y en el caso de los empalmados pueden tener valores comprendidos entre la especificación mínima y la mínima minimorum.

El objetivo de los datos resaltados es informar al usuario de cuál fue el factor crítico en el diseño de cada tramo, para darle una mejor comprensión de la funcionalidad del proyecto, especialmente necesaria cuando se quieran hacer modificaciones mediante tramos restringidos, es decir definidos en su diámetro y cotas por el consultor.

Lo anterior también sirve para demostrar sin lugar a dudas, que el diseño se basa justo en lo estrictamente necesario para cumplir la norma más crítica, sin caer en excesos en los diámetros o pendientes seleccionados. O sea, garantizar que el proyecto obtenido es realmente de costo mínimo.

ANEXO 11 – HIDROGRAMAS SWMM

DISEÑO CON HIDROGRAMAS

A partir de la versión 12.00 **SedalPlus** además del tradicional método racional (basado en flujo uniforme), para los proyectos que incluyan aguas lluvias (pluvial y combinado), agregó el diseño basado en hidrogramas según el modelo SWMM. Se parte del hietograma del aguacero que se considere adecuado para el diseño. El hietograma es un gráfico, típicamente de barras, que permite representar la precipitación de un lugar a través del tiempo de la tormenta. Verticalmente las barras señalan la intensidad del aguacero en mm/hr y horizontalmente cada barra tendrá un ancho correspondiente al tiempo (típicamente en minutos) de duración de cada intervalo sucesivo. Tal histograma (en mm/hr) se denomina de intensidad. A partir del hietograma, el SWMM usa las ecuaciones de Saint Venant (en nuestro caso el modelo de Onda Dinámica) durante el proceso de conversión de la precipitación en escorrentía. Para el cálculo de la infiltración se escogió el método de Horton. La escorrentía se representa como un hidrograma que muestra los caudales en función del tiempo. Tales caudales (los valores máximos) serán los que se utilizarán para el diseño del alcantarillado.

Para el diseño **SedalPlus** permite dos alternativas: (i) Cuando se conocen las ecuaciones de aguas lluvias definidas por las curvas IDF (intensidad, duración, frecuencia), **SedalPlus** calculará, de manera totalmente transparente para el usuario, el hietograma que requiere SWMM, empleando el procedimiento de los bloques alternados desarrollado por Chow et Al. Para el usuario bastará señalar en Especificaciones/Configuración General del Proyecto/Clase de diseño, alguna de las opciones: Combinado o Pluvial (bloques alternados) para que el programa aplique la lógica pertinente, (ii) Cuando el proyectista conoce el hietograma del aguacero de diseño, le basta introducir en la opción: Especificaciones/Hietogramas SWMM, los valores, después de haber seleccionado en Especificaciones/Configuración General del Proyecto/Clase de diseño, alguna de las opciones: Combinado o Pluvial (Hidrogramas SWMM) según sea el caso.

Cabe advertir que el método Racional se basa en caudales máximos de diseño que solo dependen del tiempo y son relativamente independientes (salvo el tiempo) del diseño que se adopte posteriormente en el alcantarillado (diámetros, cotas y pendientes), circunstancia que lo hace muy adecuado para el diseño.

El modelo SWMM basado en hidrogramas (caudales variables en el tiempo), requiere conocer previamente un diseño (diámetros, cotas y pendientes) para poder utilizar las ecuaciones de Saint Venant, lo que lo convierte en un programa de revisión y exige una metodología de ajustes sucesivos que puedan converjan a una solución que evite inundaciones y mantenga las sobrecargas (tramos trabajando a presión) en niveles aceptables. En ausencia de programas de computador, el proceso anterior resulta muy dispendioso de realizar, especialmente en sistemas de cierto tamaño.

Para el diseño basado en los Hidrogramas SWMM, **SedalPlus** aplica una metodología iterativa, como sigue: Inicialmente realiza el diseño con el método racional y luego revisa el diseño con el SWMM. Con los datos obtenidos en SWMM rediseña el proyecto, apoyándose nuevamente en el método racional.

Seguidamente se vuelve a revisar el diseño con SWMM, luego se rediseña con **SedalPlus** y así sucesivamente hasta que el procedimiento iterativo converja a una solución que no produzca inundaciones y que mantenga las sobrecargas, si éstas se presentan, en valores muy moderados.

Cabe anotar que el modelo adoptado intenta que la mayoría posible de los tramos llegue a llenados de caudal, en términos de q/Q, con valores alrededor de 1, lo que asegura un diseño de mínimo costo. En una primera aproximación **SedalPlus** intento que y/D tuviese valores próximos a la unidad (como conviene hacer con el método racional), pero en este evento SWMM mostraba demasiadas inundaciones, lo que llevo al cambio de parámetro para la optimización del modelo. Cabe advertir que cuando el diseño llega hasta el ducto cuadrado más grande, se pueden presentar inundaciones que indican que el diseño es inadecuado y debe ser modificado, mediante interceptores que lleven los caudales altos directamente hasta los vertimientos sin recibir nuevos caudales en su recorrido.

Los sitios donde se presenta la dimensión máxima sirven de indicadores de puntos críticos que no pueden recibir más caudales y exigen ser aliviados.

En las condiciones límites de la capacidad de los colectores (ductos cuadrados) se prefirió que el modelo mostrara inundaciones, en vez de aumentar demasiado exageradamente las pendientes para permitir mayores caudales, pues la alerta de las inundaciones es más clara que la de pendientes excesivas.

En todo caso se recomienda que se revise el diseño siempre que se llegue al ducto máximo. Durante la etapa iterativa del diseño, se pueden mostrar el número de nodos con inundación y/o sobrecarga que se vayan presentando. En los diseños que no llegan al ducto máximo tales indicadores normalmente disminuyen en cada iteración, aunque a veces transitoriamente aumenten y hacia el final suelen desaparecer. Algunos diseños nunca muestran nodos con inundación o sobrecarga en las iteraciones.

FACTOR DISEÑO

Se utiliza durante el proceso iterativo para el diseño con hidrogramas para asegura la convergencia hacia una solución que no produzca inundaciones en los pozos de inspección. El mejor valor es 1.00. Cuando terminado el proceso iterativo se presentan inundaciones, debe subirse un poco el factor de diseño. Se recomienda subir el valor de 0.05 en 0.05 hasta que desaparezcan las inundaciones. Cuando esto ocurre se recomienda bajar el valor en 0.01 y así sucesivamente hasta que reaparezcan las inundaciones y luego subir nuevamente 0.01, y dejar las cosas ahí. El mejor valor es el más próximo a 1.00 que no produzca inundaciones. En la mayoría de los casos un factor de diseño de 1.00 no producirá inundaciones ni sobrecargas.

AJUSTE DEL MODELO

En general se utilizan para los cómputos los parámetros que por defecto emplea SWMM, excepto en el caso de las SUBCATCHMENTS, donde a los parámetros WIDTH y SLOPE se le redujeron los valores por defecto para las áreas pequeñas, para conseguir que el diseño por el método racional y con los hidrogramas calculados por los bloques alternados resultaran relativamente similares. Antes del ajuste, los hidrogramas presentaban valores ciertamente exagerados.

En otras palabras, a falta de mejor información, se utilizó el Método Racional, como un elemento de calibración, para el diseño basado en los hidrogramas SWMM. La decisión anterior, se fundamenta en el hecho de que la experiencia ha demostrado que el método racional consigue diseños adecuados cuando las áreas no superan las 80 hectáreas.

Comparación de resultados entre el método racional y el modelo SWMM ajustado

Pro-	Area	Numero	Diseño Metodo Racional - Pluvial				Diseño Hidrogramas (Bloques) - Pluvial				Sobre-
yecto	Has.	Tramos	Prof.Med	Diam.Med	Prof. Max.	Caudal	Prof.Med	Diam. Med	Prof.Max.	Caudal	Costo (%)
1	230,36	631	2,25	703,28	6,73	32.441,57	2,30	709,90	7,65	47.436,61	1,71
2	24,74	64	2,50	558,59	4,71	4.245,00	2,31	546,09	4,36	4.519,88	-5,46
3	389,54	1.231	2,55	639,58	15,47	53.820,66	2,45	651,71	15,97	62.310,99	-1,59
4	29,19	101	1,90	400,00	5,61	5.061,60	1,87	407,42	3,57	5.991,79	-0,21
5	369,12	658	2,33	854,72	7,65	28.228,57	2,03	670,78	6,23	29.150,50	-16,33
6	347,55	290,00	2,64	519,83	12,71	47.729,23	2,49	496,39	11,47	35.202,23	-5,21
7	240,04	901	2,15	552,69	5,26	35.034,48	2,21	573,20	5,73	60.887,51	3,16
8	110,50	221	1,96	479,85	3,53	18.530,00	1,64	469,45	3,31	19.287,44	-10,66

En los 8 proyectos analizados, el valor absoluto del sobrecosto entre los dos modelos varió entre 0.21% y 16.33%. Si se tiene en cuenta las diferencias fundamentales que existen entre ambos modelos, los valores obtenidos se pueden considerar similares, siendo imposible obtener resultados iguales. Las profundidades medias y los diámetros medios en general son del mismo orden de magnitud. Se estudiaron otros valores para los ajustes, pero el adoptado resulto ser el mejor obtenido.

Cabe advertir que los caudales que resultan en los diseños son bastante sensibles a los parámetros WIDTH y SLOPE de SWMM antes mencionados. Salvo que se tenga información adecuada de tales valores para cada tramo (lo que se estima bastante difícil de obtener), resulta preferible emplear el modelo de ajuste utilizado por **SedalPlus** que calibra el diseño para hacerlo lo más similar posible al obtenido por el Método Racional.

PROXIMA VERSION

En una próxima versión se permitirá que el usuario desde **SedalPlus** pueda modificar la totalidad de los parámetros de SWMM, en vez de limitarse a utilizar los propuestos por defecto, situación que, para ser usada, exigirá un buen conocimiento del tema y de los valores más adecuados a utilizar.

ANEXO 12 – ENTRADA GRAFICA DE PROYECTOS MEDIANTE SWMM

PROCESO DE DISEÑO

A partir de la versión 14.00 se añadió a **SedalPlus**, la posibilidad de usar la interfase grafica del programa SWMM para la captura de los datos, cuando no se desee utilizar la denominada: 'ENTRADA DE TRAMOS SEGUN SENTIDO DE FLUJO' (Ver capitulo III).

DIFERENCIAS OPERATIVAS ENTRE SEDALPLUS Y SWMM.

Conviene resaltar algunas diferencias operativas que existen entre ambos programas, como se indica a continuación:

- En general los proyectos Swmm conviene que tengan una estructura arborescente que impide compartir en los pozos de inspección los tramos iniciales. Swmm también permite usar una estructura mallada, donde realmente no existen tramos iniciales, siendo similar a la conformada por las mallas de acueducto, aunque no trabajen a presión.

  Este último modelo, aunque no es, el más adecuado para el diseño de alcantarillados, se puede utilizar en la captura de datos de la interfase gráfica para que el programa **SedalPlus** tenga la opción de analizar automáticamente las mejores topologías. Si la topología gráficamente capturada es arborescente, resulta única y no permite analizar otras topologías.

- Como Swmm no está realmente diseñado para permitir compartir los tramos iniciales, con otros tramos en los pozos de inspección, como si lo hace **SedalPlus,** se utiliza un truco para no confundir a Swmm, que consiste en renombrar los tramos iniciales, añadiendo al nombre del nodo un guión (-) y luego alguno de los números 1, 2, etc., para cada uno de los tramos iniciales que haya en el mismo pozo.

- Con lo anterior Swmm interpreta los tramos iniciales como pozos separados. Dentro de **SedalPlus** se conserva la nomenclatura original. Cuando en SWMM se introducen los tramos como si fuese una estructura mallada (para facilitarle a **SedalPlus,** el análisis topológico), también se utiliza la nomenclatura: *nodo*-#, en el mapa gráfico de Swmm, donde se muestran los resultados del diseño (denominado archivo SWMM-*nombre proyecto.*inp). Además, los tramos iniciales se dibujan con un pozo ficticio independiente (*nodo*-#), para facilitar la manipulación de tales nodos de manera gráfica. No se recomienda incluir guiones (-) en la nomenclatura de los tramos introducidos gráficamente en SWMM, para evitar confusiones en los tramos iniciales, a pesar de que tal situación se maneja sin problemas.

- Como consecuencia de lo anterior, en **SedalPlus,** se puede incluir un diseño topológico manual y automático para que el programa adicione uno o más diseños automáticos en orden a seleccionar el mejor.

- En Swmm, o se introduce un diseño topológico manual (captura arborescente) o se da la opción de realizar los diseños automáticos (captura mallada), pero no se pueden manejar ambas opciones a la vez.

- **SedalPlus** no maneja algunos conceptos que utiliza Swmm, tales como [STORAGE], [DIVIDERS], [ORIFICES], [WEIRS], [OUTLETS], muchos de ellos poco usuales en diseño de alcantarillados. [DIVIDERS] que podría utilizarse para las cámaras de alivio como no se incluye en el modelo de onda dinámica, se remplaza por el Factor de Alivio de **SedalPlus**, que se puede emplear en los alcantarillados combinados para decidir que caudales continuarán en la red y cuáles serán aliviados.

- En consecuencia, no se deben incluir tales estructuras durante la captura de datos en la interfase gráfica pues serán rechazadas durante las validaciones de **SedalPlus.**

- Para **SedalPlus,** las estaciones de bombeo se diseñan manualmente, con base en los caudales de los tramos finales del proyecto que las requieran. Cuando se trata de estaciones elevadoras que entregan el agua a otros pozos de la red, la solución consiste en incluir en el pozo correspondiente de la red un caudal puntual con el valor del caudal máximo horario correspondiente. En Swmm las estaciones de bombas [PUMPS] pueden incluirse en el diseño, aunque sean elevadoras, es decir que entreguen a otro pozo de la misma red. En consecuencia, la estructura [PUMPS] no debe capturarse en la interfase gráfica pues sería rechazada durante las validaciones.

- Durante la captura de datos usando la interfase gráfica de SWMM, lo más conveniente es limitarse a localizar los pozos de inspección (Nodes) y los tramos (Links), sin introducir más información. Luego desde **SedalPlus,** en Tramos, se pueden introducir de manera muy sencilla: las cotas de rasante superior e inferior, la longitud del tramo, el área, y los datos de las tuberías existentes. Sin perjuicio de lo anterior las cotas de terreno de los nodos y la longitud de los tramos se pueden introducir durante la captura gráfica con SWMM y **SedalPlus** interpretará, e incluirá los valores correspondientes. Los demás datos deben necesariamente capturarse manualmente.

- Lo señalado en el párrafo precedente obedece a las formas diferentes como ambos programas manejan algunos datos. Por ejemplo, en SWMM las áreas (se incluyen en [SUBCATCHMENTS]) se aplican a los nodos y no a los tramos como hace **SedalPlus.** Por otra parte, por ser SWMM un programa de revisión debe conocer previamente los datos de todas las tuberías (diámetro, cotas, pendientes), mientras que **SedalPlus** por ser un programa de diseño determina automáticamente los parámetros anteriores durante el proceso de diseño, y solo requiere conocer tales datos para los tramos existentes.

- Cuando los tramos se han capturado con la interfase gráfica de SWMM y los datos se han trasladado a **SedalPlus**, la opción "Tramos" no permite modificar la nomenclatura de los nodos, ni agregar tramos adicionales al proyecto, ni se ofrece la opción: "Reordenar'" los tramos, pues las modificaciones deben hacerse nuevamente desde SWMM.

- Al volver a trasladar la información capturada en SWMM a **SedalPlus** se pierden los datos que hayan sido previamente adicionados a los tramos con este último programa.

- El programa de captura de datos, identificado con la nomenclatura *nombre proyecto.*inp., conviene que solo sirva para contener los datos básicos de entrada, sin necesidad de incluirles la totalidad de la información necesaria para realizar cálculos. Cuando SedalPlus realiza el diseño del caso, la información se contiene en otro archivo denominado SWMM-*nombre proyecto.*inp. que es el que puede analizarse desde SWMM. Este último es el que contiene la totalidad de la información.

Para más información se recomienda leer **el ANEXO 11. DISEÑO BASADO EN HIDROGRAMAS SWMM.**

EJEMPLO DE DISEÑO

A continuación, se muestra un resumen de un proyecto que uso la interfase grafica de Swmm para capturar la información. Luego el diseño se realizó con **SedalPlus,** y finalmente se manipulo nuevamente con SWMM.

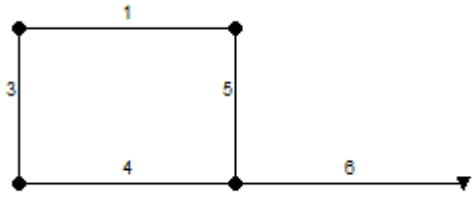


Figura 1 - Ejemplo de proyecto.inp – captura inicial en Swmm

(Modelo Mallado capturado inicialmente)

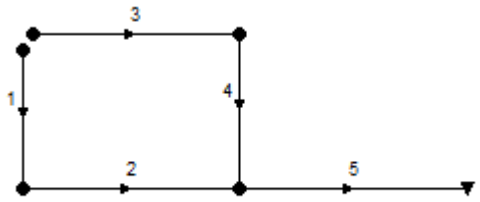


Figura 2 - Ejemplo de SWMM-proyecto.inp - diseñado por SedalPlus

(Modelo arborescente generado por SedaPlus)

En los gráficos anteriores puede observarse como quedan los nodos y tramos durante la captura en SWMM (Figura 1) donde se usó el modelo mallado para que **SedalPlus** pudiese definir la Topología. En la (figura 2) el modelo aparece como arborescente, con pozos de los tramos iniciales separados, aunque en realidad comparten los pozos de inspección. En esta última figura los pozos iniciales usan la nomenclatura: *nodo-#* (Vgr. 1-1), para indicar que comparten el pozo con 1-2)

La separación aparente de los nodos iniciales se realiza automáticamente para facilitar el manejo gráfico de los pozos con el Mouse, pues haciendo Click con el puntero se traslada el valor del nodo al campo de captura (por ejemplo, para mostrar los perfiles). Cuando los nodos no comparten los pozos usan la nomenclatura sin guión (no la necesitan).

OBSERVACIONES IMPORTANTES

La estructura mallada que se recomienda usar para la captura gráfica de datos en Swmm solo es compatible con el modelo de onda dinámica. Para los otros modelos, onda cinemática o flujo uniforme debe usarse la estructura arborescente. Por lo anterior se recomienda como primer paso seleccionar la onda dinámica en la pestaña “Datos”, “Opciones”, “General”. Si no se hace lo anterior, al intentar calcular para que revise los datos entrados se pueden generar errores espurios.

Luego desde **SedalPlus**, debe completarse la información de los tramos, definir las especificaciones, ejecutar el diseño, y finalmente correr la opción (desde **SedalPlus**): “Revisar con Swmm”. Si utiliza los hidrogramas de Swmm no es necesario correr la opción: “Revisar con Swmm”, pues esto ha sido hecho implícitamente durante el diseño.

Se puede luego regresar a Swmm y cargar de nuevo el proyecto, cuyo nombre ha cambiado a SWMM-Nombre_proyecto.inp. Al momento de cargar nuevamente el proyecto, podrá mostrarse una **ventana de presuntos errores que son espurios**. No los tenga en cuenta y continúe y verá en la pantalla en forma gráfica el proyecto, aunque SedalPlus lo modificó del modelo mallado al arborescente.

Con el botón en forma de rayo, corra el programa Swmm, y podrá luego ver los perfiles, mover el tiempo para ver la variación de caudales y realizar las variadas evaluaciones que ofrece Swmm. En la opción “Estado” se recomienda verificar que el diseño no presente inundaciones ni sobrecargas.

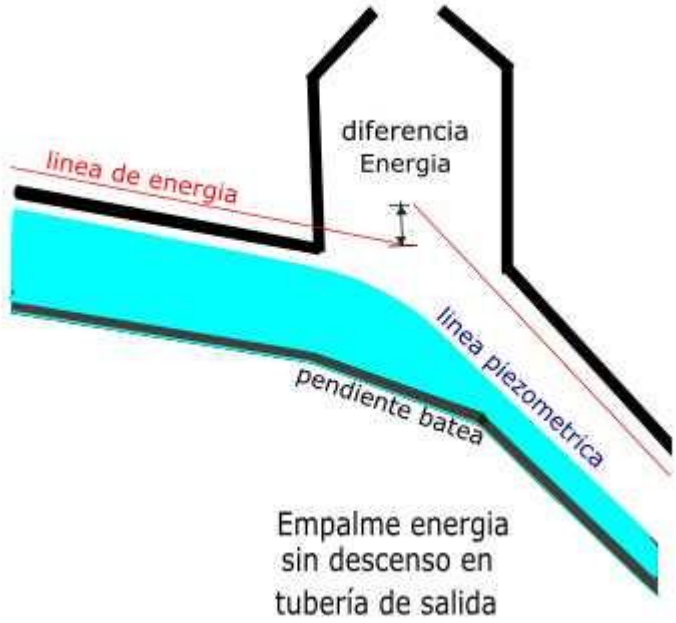
Swmm ofrece consultas para las cuencas, nudos (pozos) y líneas (tramos), sobre los rangos de valores de las variables más típicas del diseño que se presentan en la red, utilizando gamas de colores para diferenciarlos. Estas opciones se ofrecen en la pestaña “Mapa” en un área demarcada como “Temas”.

Si no es experto en el manejo de Swmm, en Internet se ofrecen desde YouTube diversos videos en español sobre su manejo. Para la captura gráfica se recomienda en la página Web de **SedalPlus**, en el botón tutorial, ver el video “Ejemplo de Captura Gráfica”.

ANEXO 13 – PERDIDAS MENORES

PERDIDAS MENORES - EMPALMES POR ENERGIA

Los empalmes por energía, que se utilizan en el RAS 2000, para estimar las perdidas menores en los pozos de inspección, obligan a usar descensos en las cámaras de inspección que terminan enterrando el sistema. Cuando se dejan de usar los empalmes por energía el autor de **SedalPlus,** no ha podido encontrar ningún problema en los muchos proyectos analizados, durante las revisiones hechas con SWMM**.**



En la figura precedente se puede observar un empalme por energía típico, en un pozo de inspección, en que el tramo de llegada por su menor pendiente tiene menos nivel de energía que el de salida. Según el modelo para el empalme de energía habría necesidad de rebajar la clave de la tubería de salida en la diferencia de la cabeza de energía.

Lo que ocurre en la realidad es que el régimen es gradualmente variado y dentro del pozo de inspección habrá una transición tanto en la línea piezométrica como en la de energía que hace innecesario el descenso de la clave. Eso explica porque SWMM**,** no detecta problemas, cuando se omiten los empalmes por energía, en el caso anterior.

Como la norma de empalmes por energía no son obligatorias, la recomendación es no utilizarlas, salvo en el caso hipotético que la revisión con SWMM muestre que se presenten represamientos, que lleguen al extremo de producir trabajo a presión de alguna tubería. Lo anterior nunca ha ocurrido en numerosos proyectos analizados.

De todas maneras, **SedalPlus,** conserva la opción de seguir manejando el empalme por energía para estimar las perdidas menores en los pozos de inspección, para los usuarios que lo consideren conveniente.

PERDIDAS MENORES – METODO ESTANDAR

Analicemos ahora el método estándar que se incluyó en el RAS 2016. Para estimar las pérdidas menores se calcula la cabeza de energía en la tubería de salida ($V^2/2g$), se multiplica por un coeficiente que depende del ángulo entre la tubería de entrada y salida o del número de tuberías que concurren al pozo y de una tabla se saca un valor que varía entre 0.5 y 1.0 (los valores son 0.5 0.8, 0.9 y 1.0). Se multiplica tal valor por la cabeza de energía y resulta la cifra en que debe descenderse el pozo entre su entrada y salida.

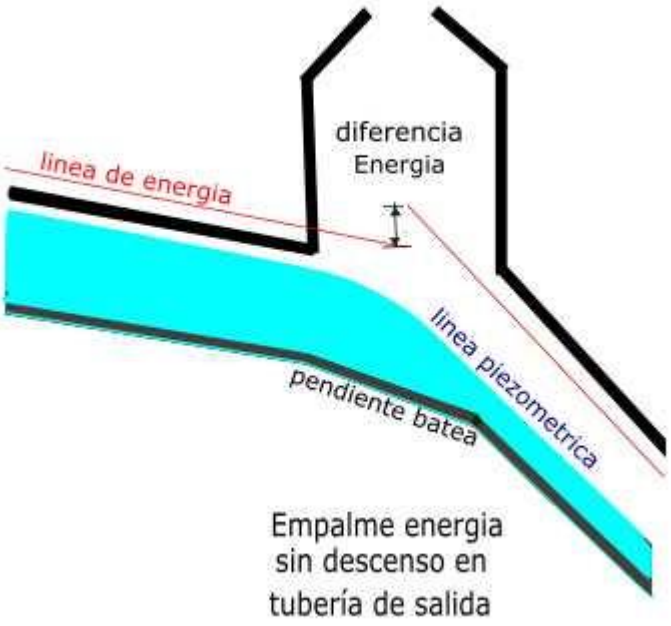
Para velocidades altas en la tubería de salida, por ejemplo 5.0 m/s, la cabeza de energía resulta de 1.27 m. Tal valor debe multiplicarse por el coeficiente que para el caso de múltiples tuberías de entrada (3 o más) es 1.0, o sea que el descenso, en este caso, quedaría en los mismos 1.27 m, valor ciertamente significativo en comparación con los 0.02 m, en que usualmente, se descienden muchos tramos.

El método estándar tiene cierta similitud con el de empalmes por energía del RAS 2000. Este último siempre utiliza un coeficiente de 1.0, aplicable a la diferencia entre la cabeza de energía de salida respecto a la de entrada, sin importar el ángulo entre la tubería de entrada y salida o el número de tuberías que concurran al pozo.

Aunque el coeficiente es mayor en el empalme por energía (RAS 2000), este solo se aplica a la diferencia de energía entre la salida y la entrada (cuando es mayor de cero), en vez de aplicarse a la cabeza de energía total de la tubería de salida (RAS 2016).

El método para estimar las perdidas menores que ofrecía SedalPlus en el RAS 2000, basado en el empalme por energía, visto anteriormente, en principio parece más adecuado que el del RAS 2016, aunque se recomienda no utilizarlos.

Tomando prestada como referencia la figura del empalme por energia, mostrada anteriormente, no es dificil imaginar otra situación donde la tubería de salida tuviese la misma pendiente baja de la tubería de entrada, y en consecuencia el descenso por perdidas menores sería también muy bajo.



Qué pasará si de pronto se aumenta exageradamente la pendiente de salida, manteniendo la batea de la tubería de salida en el mismo sitio. Se considera que lo único que ocurrirá es que se habrá aumentado la capacidad de la tubería de salida y el caudal que no ha variado, después de una transición gradual, circulara con un tirante menor.

Sin embargo, el método estándar y en general todos los modelos para perdidas menores insistirán en que debe profundizarse la salida del pozo de inspección, lo que aumenta los costos de construcción.

En el caso, del método estándar, al igual que en el de los empalmes por energía, el régimen real es gradualmente variado y tanto la línea piezométrica como la de energía presentaran un cambio gradual que no tendrá ningún problema. El empalme por energía y el método estándar para las perdidas menores son dos expresiones de un mismo concepto.

Inicialmente en **SedalPlus** se proponía que se calcularan las pérdidas menores según el modelo que incluía el RAS 2000. Como este procedimiento puede incrementar exageradamente los costos, sin beneficio aparente, la recomendación actual es no utilizarlo. Por las consideraciones expuestas, se recomienda dejar el descenso de la cañuela, con empalme de claves a nivel. Cuando no hay diferencia de diámetros se utiliza, para el descenso de la clave un valor predeterminado, usualmente de 0.02 m.

Cuando se incorporó a **SedalPlus** la verificación con Swmm, onda dinámica, se corrieron numerosos proyectos con todos los tipos de topografía y tamaños. En todos los casos la verificación demostró que en ningún caso se presentaron problemas de sobrecargas. Posteriormente se hizo una revisión de los perfiles generados con Swmm y en ningún caso se observó nada raro.

Como todos los perfiles indicaban un funcionamiento normal, desde ese entonces se recomendó eliminar definitivamente el cálculo de las perdidas menores y nunca se han encontrado problemas en los diseños,

De todas maneras, se sigue ofreciendo la opción el de Perdidas menores basado en empalmes por energía especificado en el RAS 2000 para quienes la quieran utilizar, Por todo lo anterior no se incorporo para las perdidas menores el modelo llamado Método Estándar que ahora recomienda el RAS 2016

Lo que ocurre es que el modelo de flujo uniforme basado en la consideración de tramos independientes, por su sencillez ha sido muy útil para el diseño de los colectores y pendientes de los alcantarillados, situación que se puede comprobar verificando los diseños con los modelos más avanzados de flujo no permanente, que puede comprobar que todo funcionará bien, aunque los valores de algunas variables sean algo diferentes a las calculadas inicialmente por el flujo uniforme.

Sin embargo, el modelo de flujo uniforme no es adecuado para estimar lo que realmente sucede en las estructuras de unión, donde solo los modelos más sofisticados como el flujo gradualmente variado, o las ecuaciones de Saint Venant, explican adecuadamente cómo funcionarán las cosas.

Muchas veces los ingenieros, elaboran modelos muy sofisticados, basados en conceptos teóricos que no aplican para el caso en cuestión. Este es el caso de las estructuras de unión (pozos de inspección), que requieren apoyarse en modelos más avanzados (flujo gradualmente variado) y que de ninguna manera deben analizarse como tramos independientes como lo hace el flujo uniforme.