ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA

PCSWMM: Herramienta informática para la Evaluación y Diseño de un Sistema de Alcantarillado Sanitario

Gloria Balarezo Morales, Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra
David Matamoros, Instituto de Ciencias Químicas y Ambientales
Escuela Superior Politécnica del Litoral
Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 vía Perimetral
Apartado 09-01-5863. Guayaquil, Ecuador
gloriabalarezo@hotmail.com , dmata@espol.edu.ec

Resumen

La construcción de sistemas de alcantarillados se remonta a la época del Imperio Romano. Muchos de dichos sistemas siguen en servicio, debido a que fueron realizados sobre roca. Los sistemas del Alcantarillado son importantes debido a que influyen significativamente en la salubridad de los asentamientos humanos.

El presente artículo resume la investigación de una tesis de grado donde se evalúa el diseño de un sistema de alcantarillado para una población rural usando la herramienta informática PCSWMM. Se describe el proceso de búsqueda de la información, limitaciones encontradas en el modelo, proceso de calibración y resultados obtenidos por dicha herramienta.

Palabras Claves: *Alcantarillado Sanitario, PCSWMM, Modelo matemático.*

Abstract

The sewer system construction goes back to the time of the Roman Empire. Many of these systems continue in service, because they were built in rock. Sewer systems are important because they influence significantly in the health of the human settlements.

The current article summarizes a thesis research where a sewer system design is evaluated for a small rural town using the informatics tool PCSWMM. It is described the information seeking process, limitations found in the model, calibration process and results obtained by such tool.

1. Introducción

San Pedro y Valdivia son dos comunas que no cuentan con sistemas de alcantarillados, lo que impide su desarrollo económico. Por lo tanto, la presente investigación ayuda a solucionar parte del problema de dichas comunas.

Para dicho propósito, se realizaron varias visitas de campo a las comunas para realizar la topografía del lugar y tomar muestras de suelo. Adicionalmente, se entrevistó a varias personas y directivos de cada una de las comunas, quienes muy gentilmente colaboraron con los datos necesarios relacionados a los aspectos sociales de la zona.

2. Objetivos

La ESPOL tiene por objetivo ayudar a las comunas de San Pedro y Valdivia a contar con el diseño del sistema de alcantarillado sanitario. Adicionalmente, este trabajo es un incentivo a los estudiantes para el uso de herramientas informáticas en el diseño de redes de alcantarillado.

3. Descripción General del sitio de estudio

Las comunas de San Pedro y Valdivia pertenecen a la Parroquia Manglaralto, Cantón Santa Elena, Provincia del Guayas.

La comuna San Pedro limita al norte con la comuna Valdivia, al sur y al este con el Cerro San Pedro y al oeste con el Océano Pacífico.

La comuna Valdivia tiene por limites, al norte el río Valdivia al sur la comuna San Pedro al este el cerro San Pedro y al oeste el Océano Pacífico.

Ambas comunas están ubicadas en la vía Santa Elena – Montañita en la denominada Ruta del Sol.

Figura 1. Ubicación.

3.1. Comuna San Pedro

Esta comuna fue fundada en 1950. La directiva de la comuna funciona en la casa comunal y esta encabezada por el presidente de la comuna. En la actualidad la comuna cuenta con un subcentro de salud, una academia, tres escuelas, y el seguro social campesino. Desde el año 2000 la mayor parte de la población cuenta con servicio de agua potable. Sin embargo no tienen alcantarillado ni calles pavimentadas. Se ha iniciado la reforestación del cerro para ayudar a su estabilización.

Entre las Instituciones que apoyan a esta comuna tenemos al MIDUVI, CENAIM - ESPOL, Plan Internacional, Consejo Provincial y La Alcaldía de Santa Elena.

Su cercanía al mar hace que gran parte de los moradores se dediquen a la pesca además de la artesanía. Sus manzanas no son ordenadas lo que muestra la falta de planificación de las autoridades.

3.2. Comuna Valdivia

Valdivia fue fundada en el año 1937. En la actualidad, se estima que la población es de 4500 habitantes. Desde 1951 funciona la escuela “Francisco de Miranda”, y el colegio “Valdivia” fue fundado en 1978. La comuna tiene un subcentro de salud (desde 1984) dando servicio médico 3 días a la semana. La comuna cuenta con un parque, el acuario (desde 1966), el museo (creado en 1978) y la playa.

Generalmente la gente se dedica a la artesanía y a la pesca. La comuna tiene un síndico y su respectiva directiva. Las calles no son pavimentadas, pero sus manzanas son organizadas a diferencia de San Pedro. El suelo es por lo general arenoso y en época de lluvia se inunda sobre todo las partes bajas. Al igual que en la sección anterior, se muestra a continuación un cuadro comparativo de las fortalezas y las debilidades que caracterizan a Valdivia.

4. Hidráulica, criterios y métodos de diseño de sistemas de alcantarillado

Las alcantarillas sanitarias rara vez trabajan a tubo lleno; y para cualquier alcantarilla circular, el área, la velocidad de flujo, y la descarga varían con la altura del agua en el interior de la tubería.

Por lo general la tubería se diseña como flujo a canal abierto, en condiciones parcial o totalmente llena. El diseño contempla condiciones de flujo uniforme. Adicionalmente el criterio de velocidad de diseño considera condiciones de autolimpieza.

Según normas del IEOS (1993, aún vigente), en ningún caso se proyectará obras definitivas con periodos menores que 15 años. Además las obras complementarias de los sistemas de alcantarillado se diseñaran en lo posible, para sus periodos óptimos de diseño. El periodo óptimo de una obra de ingeniería es una función del factor de economía de escala. Generalmente, las redes colectoras se proyectan para un periodo de duración o vida útil de 20 a 30 años. En el presente proyecto, se considera un periodo de diseño de 30 años.

5. Herramienta informática usada en el diseño de la red de saneamiento ambiental básico.

Existen en el mercado muchas herramientas informáticas (programas de computadora) que son muy útiles para el diseño de redes de saneamiento ambiental básico. Las mismas que difieren entre sí por su costo, capacidad y facilidad de uso. En el presente trabajo se usó la herramienta PCSWMM: Program Computer Storm Water Management Model. Dicha herramienta posee ocho módulos de cálculo.

PCSWMM 2003

El PCSWMM 2003 simula eventos reales de lluvia con la ayuda de los hietogramas, además, modela la red de forma detallada y predice su comportamiento con la ayuda del editor grafico GIS permite hacer un análisis de la situación de la cuenca y de la red de alcantarillado de forma rápida e intuitiva, ya que trabaja desde el entorno Windows a diferencia de las otras versiones.

El PCSWMM comprende 4 módulos de servicio (sus datos de salida pueden ser usados como datos de entrada en los módulos hidráulicos) y 4 módulos de hidráulica e hidrología (estos módulos son para diseño ya sea de aguas lluvias, servidas, o plantas de tratamiento).

El principal módulo para el diseño sanitario de redes es el EXTRAN. Este modulo(o subrutina) usa como datos de entrada los datos de salida del modulo RUNOFF, ya que consiste en la entrada de agua de escorrentía en la red de alcantarillado y se encarga de modelar el flujo del agua a través de los conductos, nodos. Debido a que la tesis solo trata de la red de alcantarillado para aguas servidas solo se utilizará el modulo EXTRAN, por lo cual se procederá a describir con mayor detalle dicho módulo.

EXTRAN es una mejora del modulo TRANSPORT que permite considerar las condiciones del flujo aguas arriba, resolviendo las ecuaciones completas de Saint Venant para flujo gradualmente variado.

- Ecuación de la conservación de la cantidad de movimiento:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial (Q^2 / A)}{\partial x} + g * A \frac{\partial H}{\partial x} + g * A * S_f = 0$$

- Ecuación de continuidad:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0$$

EXTRAN combina las ecuaciones de continuidad y conservación de cantidad de movimiento en una sola, que resuelve para todos los conductos en cada intervalo de tiempo:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} - 2 * v \frac{\partial A}{\partial t} - v^2 \frac{\partial A}{\partial x} + g * A \frac{\partial H}{\partial x} + g * A * S_f = 0$$

Existen dos formas de ingresar los datos al modelo. La primera es usando el menú ***Edit Input File*** con 3 modos de ingreso de datos, o por el menú ***Edit Gis*** que es un editor grafico para ingresar datos.

EDIT INPUT FILE

Tal como se mencionó anteriormente, este modo de ingreso de datos posee 3 maneras de hacerlo

Forms y Fields: son dos modos de ingreso de datos muy similares entre sí. Sin embargo, solo se diferencian en que el modo FORMS es más didáctico y más amigable para ser usado. Por lo tanto fue elegido como modo de ingreso en esta investigación. En el modo FIELDS, se puede escribir directamente en cada fila de datos a ser ingresado. Sin embargo, la principal limitación es que se debe conocer bien el formato de ingreso, ya que un espacio de más o un asterisco menos harán que el programa no corra. Un aspecto fundamental en el ingreso de datos, es que se debe fijar previamente en el computador el punto como signo de puntuación de decimales.

Cuando se diseñan sistemas de aguas lluvias, hay 11 datos que deben ser ingresados; por el contrario, en el caso de agua servidas, el último dato a ser añadido, *HYDROGRAPHS*, debe ser llenado con valor cero.

ASCII, Este modo es recomendable para usuarios expertos, ya que no posee ninguna ayuda para realizar el ingreso. Básicamente, se deben ingresar los datos en un archivo de texto escribiendo directamente cada comando por fila. Siempre la fila empieza con un asterisco; luego, va el nombre del modulo (en nuestro caso Extran) y en la siguiente fila va el nombre del proyecto. Cada fila debe empezar con la letra que representa cada uno de los datos requeridos. Para mayor información, se debe consultar el manual del programa respectivo.

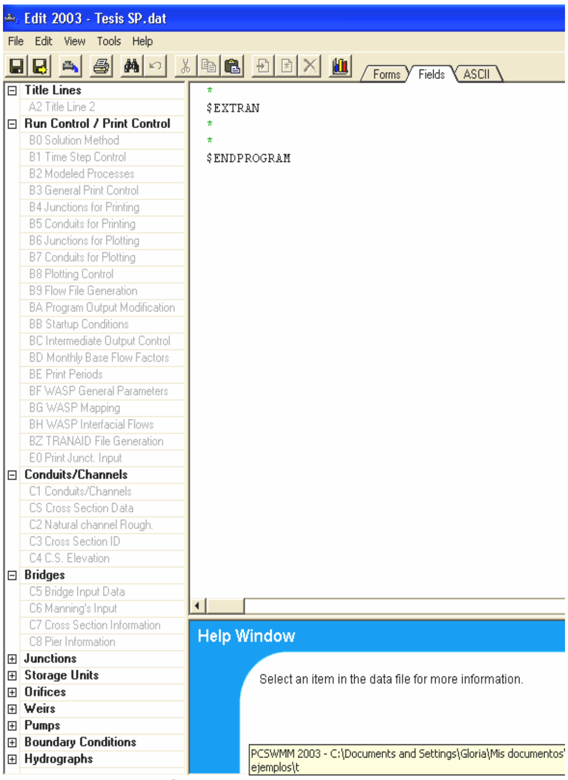

Figura 2. Menú ***EDIT INPUT FILE***

<u>EDIT GIS</u>

Este editor se ayuda con un grafico, generalmente el plano de implantación del sistema de alcantarillado. En la izquierda están los títulos de los datos que se necesitan ingresar. Se va dando los nombres respectivos a los pozos, las tuberías, así como las longitudes, cotas de terreno e invert, tipo de tubería, rugosidad, caudal inicial, tal como se puede apreciar en el figura 3 que es un ejemplo de la red de San Pedro.

Una vez que se ha ingresado todos los datos vamos al icono Run SWMM para que corra el programa, se cierra el archivo y si desaparece la bandera roja del icono del archivo entonces los datos han sido ingresados correctamente. Pero que corra el programa no quiere decir que todo esta bien, pues luego debe realizar la simulación de los colectores para ver el gradiente hidráulico y su comportamiento

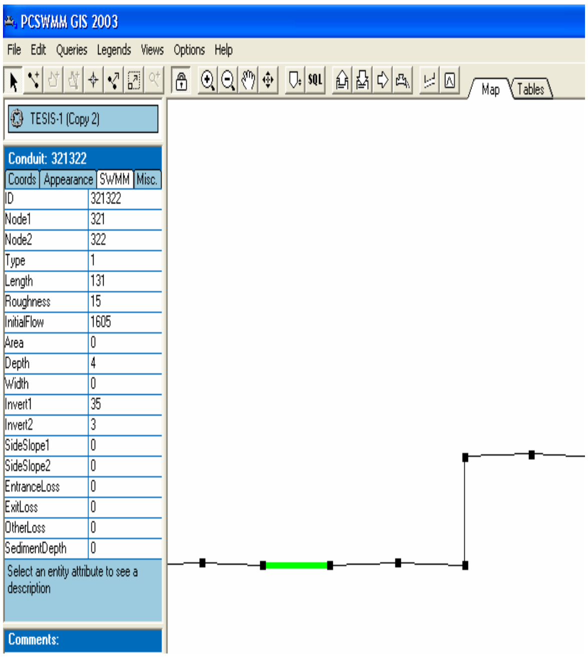

Figura 3. Menú ***EDIT GIS***

.

6. Diseño del sistema de aguas servidas utilizando el programa PCSWMM 2003

Una vez ingresado todos los datos se procede con el diseño de la red de aguas servidas. A partir del plano topográfico se realiza el trazado de la red siguiendo en lo posible la pendiente del terreno con el objeto de tener excavaciones mínimas. Se procede a localizar los pozos de visita en todos los cruces de calles.

<u>San Pedro,</u>

El diseño de la red de la comuna de San Pedro se realizó con la ayuda de ramales terciarios debido a la distribución de las casas y calles. La distribución de las calles de San Pedro por lo general es a lo largo del mar y siguiendo la pendiente. Además, el colector principal se lo implantó en dirección sur – norte hasta un punto donde se planificó una estación de bombeo.

<u>Valdivia,</u>

Como en esta comuna las manzanas son ordenadas fue más fácil implementar el trazado de la red. Con el mismo criterio implementado en la comuna de San Pedro se trazaron los ramales terciarios alrededor de todas las manzanas. En cada esquina se colocó un pozo de revisión, los mismos que fueron conectados por las tuberías de mayor diámetro.

Dificultades encontradas en la ejecución

Al igual que cualquier programa que se ejecuta por primera vez, se tiene problemas que van desde el formato de los datos hasta el modo en que se ingresan como por ejemplo: colocar un espacio de más, la falta de un asterisco, la coma en vez de punto o que falte un dato. Esto hará que salga error al momento de correr el programa. Ayuda mucho el hecho de que las comunas son pequeñas por lo que no son muchos los tramos que hay que ingresar al programa. En esta investigación, la mayoría de los datos fue ingresada con el editor grafico. Antes de correr el programa se procedió a la validación de los datos para así no obtener un mensaje de error. Después de la ejecución del programa, la información se agrupa en múltiples archivos de extensiones tales como *.out, *.dat, *.int, *.pfl y *.mdb. Estos archivos se los puede abrir en hojas electrónicas así como en Plataformas GIS.

Una vez que los datos han sido ingresados, se ejecuta el programa para después realizar una simulación del comportamiento de las tuberías. Esto se lo hace porque puede ser que en algunos de los tramos el gradiente hidráulico sea muy alto o que se estén rebosando los pozos y se tenga que hacer algún cambio en el diseño. Una vez que se está de acuerdo con la simulación, se procede a purgar los archivos antes mencionados para presentar las tablas de resultados, gráficos de caudal, velocidad, perfiles, y los planos de diseño.

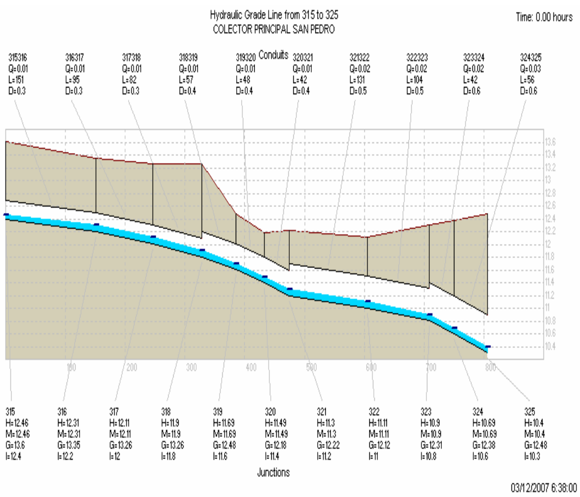

Figura 4. Línea del Gradiente Hidráulico

9. Conclusiones y Recomendaciones.

Conclusiones

Después de varios días de estadía en las dos comunas y haber dialogado con los moradores de las mismas, se logro establecer los aspectos sociológicos que ayudaron a entender las diferentes necesidades que tienen ambas comunas por las falta de los servicios básicos.

Mediante los diferentes ensayos realizados en el Laboratorio de Suelos de la Facultad, se determinó que los tipos de suelo que predominan en las comunas corresponden a arcillas y arenas.

Para calcular la población futura se utilizó el método geométrico ya que produjo los resultados más verosímiles.

El PCSWMM 2003 esta creado para el diseño de aguas lluvias. Sin embargo, se pudo adaptar al diseño de aguas servidas al asignarle un valor de cero a los histogramas requeridos para el cálculo.

Ya que el módulo EXTRAN tiene distintas formas de editar los datos hay que tener mucho cuidado al elegir su ingreso. Una equivocación puede hacer que el programa no corra.

Se creó un manual resumido para el usuario, que sirve de gran ayuda para aquél que por primera vez va a utilizar el programa.

Se tuvo que aumentar los diámetros del colector principal de San Pedro ya que al hacer la simulación del gradiente hidráulico con el diseño original, se rebosaron los pozos.

Se decidió utilizar tuberías de tipo NOVAFORT y NOVALOC en el diseño porque tienen una vida útil de 50 años, mayor capacidad de conducción hidráulica, fácil limpieza y menor peso lo que hace que su instalación sea mas fácil sin necesitar equipo pesado.

El modulo EXTRAN del PCSWMM 2003 es una herramienta informática que resultó ser de gran ayuda en el diseño sanitario. Se pudo visualizar las partes criticas del comportamiento del caudal, el comportamiento de los tramos de tubería, la acción de rebose de los pozos y la línea del gradiente hidráulico. Hay que tener muy en cuenta que este modulo resuelve las ecuaciones de Saint Venant, es decir que considera el flujo gradualmente variado que es lo contrario a los diseños tradicionales que consideran el flujo uniforme, razón por la que este programa se acerca más a la realidad. Además se puede obtener los resultados en tablas y gráficos exportándolas a EXCEL.

Terminado el diseño de alcantarillado de las comunas se procede a realizar la tabla de cantidades y precios para así obtener el presupuesto del proyecto.

Recomendaciones

Se debe configurar apropiadamente el computador para que los decimales se escriban con punto y no con la coma. De ese modo, se evitará errores en los valores de los datos.

Para usuarios principiantes, se recomienda usar el modo grafico para ingresar los datos ya que es más didáctico y se entiende mejor. Luego con la ayuda de la tecla F7 se exporta los datos ingresados al input data file.

Es muy importante leer el manual del usuario que viene el programa, ya que así se entenderá mejor los conceptos básicos que usa este programa.

Si al correr el programa se presenta una bandera roja, es recomendable abrir el menú VIEW OUTPUT FILE. Este menú abre un archivo de texto (*.out) en el que se puede leer en donde esta el error y ayuda a orientarse en la ubicación de dicho error y en la explicación de su generación.

Es recomendable usar programas en el diseño de alcantarilladlo ya que ayuda a visualizar el comportamiento del colector.

7. Agradecimientos

Mis agradecimientos infinitos a Máster Kléber Moran por su gran colaboración, ya que el me facilito las visitas a las comunas las veces que fue necesario para recabar la información. También a mi director de tesis Doctor David Matamoros, por su tiempo y paciencia.

8. Referencias

[1] Fair Gordon - Geyer John - Okun Daniel, Abastecimiento de aguas y remoción de aguas residuales Volumen I, Edición 1968

[2] Metcalf- Eddy, Ingeniería de Aguas Residuales Redes de alcantarillado y bombeo, Segunda edición

[3] Montañes José Liria Ing., Canales hidráulicos, Edición 2001

[4] Montoya Ángel Ing., Apuntes de Hidráulica

[5] Saldarriaga Juan Ing., Diseño de tuberías

[6] IEOS, Normas para estudio y diseño de sistemas de Agua Potable y Disposición de aguas residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes, Edición 1993(aún vigente)