

Anejo nº2

BASES DE CÁLCULO

DISEÑO HIDRÁULICO, ESTRUCTURAL Y CONSTRUCTIVO DEL COLECTOR DE CARDENAL BENLLOCH-EDUARDO BOSCA (VALENCIA)

Autores:

HUESO CLIMENT, Guillermo

MOSCARDÓ CASTELLETS, Ignacio

PÉREZ GÓMEZ-FERRER, Alberto

REYES MARTÍNEZ, Carlos

Tutores:

MARCO SEGURA, Juan Bautista

MOYA SORIANO, Juan Francisco

Junio 2015

GRADO EN INGENIERÍA CIVIL

CURSO 2014/2015

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DE CAMINOS CANALES Y PUERTOS

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA





1. OBJETO
2. HIDROLOGÍA
 - 2.1. HIETOGRAMA DE DISEÑO
 - 2.2. DESCRIPCIÓN DEL MODELO DE INFILTRACIÓN: EL SCS
 - 2.3. DESCRIPCIÓN DEL MODELO DE ESCORRENTÍA: EL SWMM
3. HIDRÁULICA
4. DESCRIPCIÓN DE LA HERRAMIENTA DE CÁLCULO: INFOWORKS
 - 4.1. CARACTERIZACIÓN DE POZOS EN INFOWORKS
 - 4.2. CARACTERIZACIÓN DE CONDUCTOS EN INFOWORKS
 - 4.3. CARACTERIZACIÓN DE SUBCUENCAS EN INFOWORKS
 - 4.3.1. VARIABLES DE LA HOJA DE SUBCUENCAS
 - 4.3.2. VARIABLES DE LA HOJA DE USOS DEL SUELO
 - 4.3.3. VARIABLES DEL MODELO DE ESCORRENTÍA
 - 4.4. SIMULACIÓN DE EPISODIOS DE LLUVIA EN INFOWORKS
 - 4.4.1. VALIDACIÓN
 - 4.4.2. SIMULACIÓN

ANEXOS

- ANEXO Nº1. DESCRIPCIÓN DE LAS VARIABLES DE DEFINICIÓN DE LOS POZOS EN INFOWORKS
- ANEXO Nº2. DESCRIPCIÓN DE LAS VARIABLES DE DEFINICIÓN DE LOS CONDUCTOS EN INFOWORKS
- ANEXO Nº3. DESCRIPCIÓN DE LAS VARIABLES DE DEFINICION DE LAS SUBCUENCAS EN INFOWORKS
- ANEXO Nº4. DESCRIPCIÓN DE LAS VARIABLES DE DEFINICIÓN DE LOS USOS DE SUELO EN INFOWORKS
- ANEXO Nº5. DESCRIPCIÓN DE LAS VARIABLES DE DEFINICIÓN DEL MODELO DE ESCORRENTÍA EN INFOWORKS
- ANEXO Nº6. HIETOGRAMA DE $T_r=25$ AÑOS INTRODUCIDO EN INFOWORKS

1. OBJETO

El presente anejo asentará las Bases de Cálculo para la elaboración los anejos nº3 *Diagnóstico de la situación actual* y nº4 *Propuesta de soluciones para la red de saneamiento*.

En primer lugar se trata la Hidrología, donde se explican los modelos de producción y propagación adoptados. A continuación se expone la metodología empleada para la obtención de las subcuencas asociadas a cada pozo, que serán necesarias para la aplicación del modelo *Infoworks*. Por último se realiza una descripción completa de la herramienta de cálculo *Infoworks*.

2. HIDROLOGÍA

2.1. HIETOGRAMA DE DISEÑO

La “*Normativa para obras de saneamiento de la ciudad de Valencia. Año 2004*,” establece que el nivel de protección adoptado para las aguas pluviales es el correspondiente a un periodo de retorno de 25 años. La razón fundamental de este valor, que podría considerarse elevado para una red de drenaje urbano, es la especial característica de los chubascos extremos mediterráneos, con muy bajas intensidades para bajos periodos de retorno, pero muy altas para periodos de retorno medios y altos. Un diseño con un nivel de riesgo tradicional produciría demasiado frecuentemente graves insuficiencias en la red.

A la hora de conformar la tormenta de diseño se utiliza una curva ID para un periodo de retorno de 25 años fijada por la propia normativa:

$$I = 157.2 - 2.645 * d + 0.02662 * d^2 - 0.0001122 * d^3$$

Donde:

d = Duración de la lluvia en minutos.

I = Intensidad de la lluvia en mm/h.

En el presente estudio se ha utilizado un hietograma por bloques alternos de 10 minutos basado en la curva ID de la “*Normativa para obras de saneamiento de la ciudad de Valencia. Año 2004*”.

Hietograma Tr = 25 años

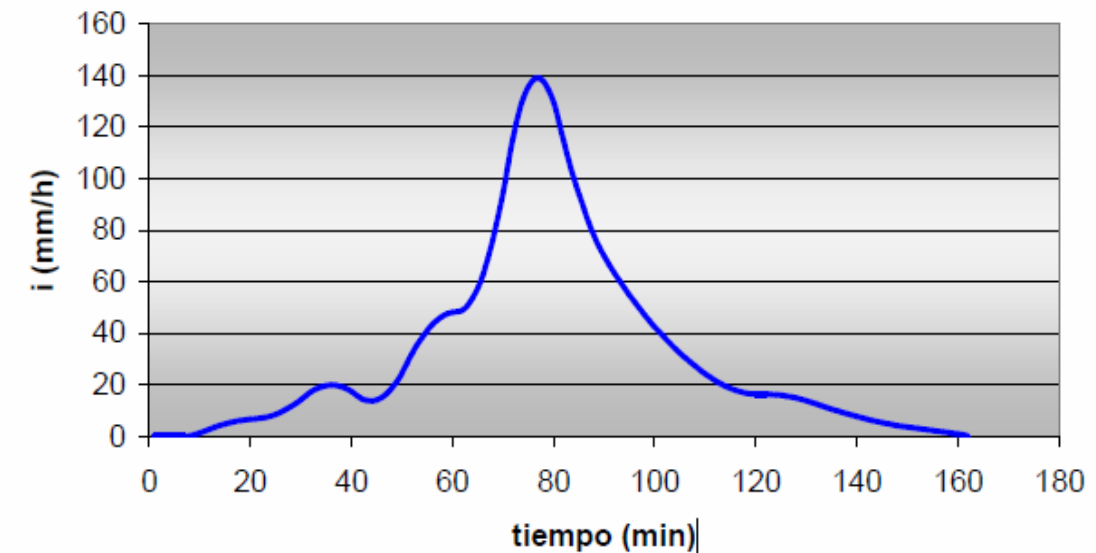


Figura 1. Hietograma Tr=25 años.

El listado de datos de este hietograma puede consultarse en el Anexo nº6 del presente anejo.

2.2. DESCRIPCIÓN DEL MODELO DE INFILTRACIÓN

De los diferentes modelos que ofrece *Infoworks*, se ha escogido el modelo del SCS, *Soil Conservation Service* de Estados Unidos, puesto que frente a los demás, se basa en un número reducido de parámetros. A continuación se exponen brevemente las bases del modelo de infiltración empleado:

El exceso de precipitación o precipitación efectiva es aquella que no se retiene en la superficie terrestre y tampoco se infiltra en el suelo. Después de fluir a través de la cuenca, el exceso de precipitación se convierte en escorrentía directa. La diferencia entre el hietograma de lluvia total y el hietograma de exceso de precipitación se conoce como abstracciones o pérdidas.

El método escogido para la estimación de estas abstracciones ha sido el del SCS. Este método es ampliamente utilizado por la facilidad para estimar sus parámetros a partir de datos edafológicos y de vegetación o usos del suelo.



El SCS asume la existencia de un umbral de escorrentía (P_0), por debajo del cual las precipitaciones no producen escorrentía. Este valor actúa como una interceptación inicial antes de evaluar qué parte de ésta escurre superficialmente (E) y qué parte es retenida (R).

$$P_0 = P + R + E \quad (1)$$

Donde:

P_0 , umbral de escorrentía por debajo del cual las precipitaciones no producen escorrentía (mm).

R , retención total (mm)

E , escorrentía total (mm)

P , precipitación total (mm)

La ecuación básica que define la relación precipitación-escorrentía en este método es la siguiente:

$$\frac{R}{S} = \frac{E}{P - P_0} \quad (2)$$

Donde:

S , máxima retención posible (mm).

De la ecuación 1, la retención en cada instante se define con la expresión:

$$R = (P - P_0) - E$$

Y en definitiva, la relación precipitación-escorrentía se puede expresar combinando las ecuaciones 1 y 2 como:

$$\text{Si } P \leq P_0 \Rightarrow E = 0$$

$$\text{Si } P > P_0 \Rightarrow E = (P - P_0)^2 / (P - P_0 + S) \quad (3)$$

El modelo está implementado en *Infoworks* para poder realizar simulaciones continuas en el tiempo. En éste, la ecuación 3 adopta la forma diferencial siguiente:

$$\frac{dE}{dt} = (P - P_0) \cdot \frac{(P - P_0 + 2 \cdot S)}{(P - P_0 + S)^2} \cdot \frac{dP}{dt} \quad (4)$$

Suponiendo que se simula un evento de duración T y tomando n incrementos de tiempo t de duración $t = T / n$, entonces la resolución numérica se realiza con la siguiente expresión en cada instante:

$$\frac{e}{P} = (P - P_0) \cdot \frac{(P - P_0 + 2 \cdot S)}{(P - P_0 + S)^2} \quad (5)$$

Donde:

e , escorrentía total en el intervalo de tiempo considerado (mm)

p , precipitación total en el intervalo de tiempo considerado (mm)

Donde el término e/p va variando para cada incremento de t durante el episodio simulado. Este término representa, en cada instante, el porcentaje de escorrentía respecto a la precipitación total caída en ese intervalo de tiempo.

Se cumplirá que:

$$E = \sum_{k=1}^n e_k$$

$$P = \sum_{k=1}^n p_k$$

$$T = \sum_{k=1}^n t_k$$

El resultado de los análisis empíricos del SCS proporciona la siguiente relación entre P_0 y S :

$$P_0 = k \cdot S$$

Donde:

$$0 < k \leq 0.2$$

El método original del SCS, recomienda $k = 0.2$. Sin embargo, otros estudios sugieren que valores entre 0.05 y 0.1 pueden ser más apropiados. Internamente, el programa adopta el valor de 0.1, aunque este valor se puede cambiar especificando directamente el valor de P_0 .

La formulación original del SCS está desarrollada a partir del número de curva (**CN**), que es un valor entero entre 0 (no hay escorrentía) y 100 (toda la lluvia genera escorrentía). Estando expresado **S** en mm, se tiene la relación:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254$$

El valor del número de curva en una determinada cuenca es función de:

- Condiciones iniciales de humedad
- El uso y tipo de suelo
- Las características de la cubierta vegetal

Una intensa labor experimental ha permitido al SCS definir el número de curva (**CN**) a partir de las características anteriormente indicadas para condiciones medias de humedad del complejo suelo-vegetación. La tabla de valores medios del parámetro **P₀** (mm) debe modificarse con el factor corrector de humedad para tener en cuenta el estado previo de humedad del suelo.

La aplicación del modelo del SCS a los distintos usos del suelo existentes en Valencia permite obtener los valores siguientes del número de curva y por tanto de la máxima retención S:

Tipo de superficie	CN	S(m)
Viales y grandes áreas pavimentadas	98	0.005
Edificación	92	0.022
Áreas mixtas	74	0.089
Áreas verdes	42	0.351

Tabla 1. Valores de CN y S en función del tipo de superficie.

2.3. DESCRIPCIÓN DEL MODELO DE PROPAGACIÓN SUPERFICIAL: EL SWMM

Partiendo del hietograma neto (obtenido de restar las sustracciones al histograma bruto) el SWMM simula el flujo en superficie, desde que el agua cae o precipita en la cuenca hasta que penetra en la red de saneamiento. Este modelo considera que la escorrentía se genera desde un único depósito de forma no lineal con el tiempo y emplea la ecuación de la onda cinemática para conducir el flujo de cada subcuenca hasta el pozo correspondiente. En él, el coeficiente de escorrentía depende de la rugosidad de la superficie, del área, de la pendiente y del ancho de la cuenca.

Tipo de superficie	n
Viales y grandes áreas pavimentadas	0.01
Edificación	0.02
Áreas mixtas	0.02
Áreas verdes	0.20

Tabla 2. Valores de n en función del tipo de superficie.

3. HIDRÁULICA

Las ecuaciones por las que se rige el modelo de cálculo empleado son las de Saint Venant, es decir, la ecuación de continuidad y de cantidad de movimiento aplicadas al problema del flujo transitorio en lámina libre.

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

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + g \cdot A \cdot \left(\cos\theta \frac{\partial v}{\partial x} - S_0 + \frac{Q|Q|}{K^2} \right) = 0$$

Donde:

Q, caudal (m³/s)

A, área transversal (m²)

g, aceleración de la gravedad (m/s²)

θ, ángulo de la rasante respecto a la horizontal (°)

S₀, pendiente de la rasante

K, transporte

El programa Infoworks da la opción de escoger la expresión que resolverá el transporte o la transmisión del flujo entre la de Manning o la de Colebrook-White, habiéndose empleado en este caso la primera:

$$v = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}}$$

Donde:

v, velocidad



n, número de Manning

S, gradiente hidráulico (pendiente de la línea de energía)

R, radio hidráulico

4. DESCRIPCIÓN DE LA HERRAMIENTA DE CÁLCULO: *INFOWORKS*

El dimensionamiento y comprobación de la red de colectores se efectúa con el programa *Infoworks*. Se trata de un modelo que engloba todos los aspectos referentes a saneamiento, desde la resolución de las ecuaciones de flujo, hasta las condiciones referentes a calidad del agua, volúmenes de efluentes generados, etc. El programa presenta una serie de características que facilitan el trabajo. Algunas de las ventajas son:

- Permite compartir los datos del modelo entre distintos usuarios
- Importa y exporta datos desde y hacia otros programas
- Permite trabajar con redes de colectores para así analizar el comportamiento global de toda la red
- Usa un sistema georreferenciado para la representación gráfica de la red en pantalla, es el llamado GeoPlan, que permite superponer a la representación de la red otras capas, Layers, que nos aporten otra información adicional sobre el modelo como puede ser el trazado de las calles o la visualización de los usos del suelo.
- Una vez que se ha creado el modelo, *Infoworks* permite simular el comportamiento de la red ante diferentes episodios de lluvias. De este modo se puede prever el comportamiento del modelo tras una serie de actuaciones sobre la red.
- Dispone de utilidades gráficas que permiten visualizar los perfiles longitudinales de toda la red. Del mismo modo, se pueden visualizar los resultados de las simulaciones de los episodios de lluvia introducidos en el modelo, para así realizar un análisis exhaustivo de su comportamiento.

Infoworks proporciona vistas simultáneas de los datos en un entorno geográfico tanto para los elementos que constituyen el modelo como para los resultados del análisis, incluyendo:

- Secciones longitudinales dinámicas
- Tablas de la base de datos
- Variación gráfica de los datos con el tiempo
- Seguimiento gráfico de los resultados a lo largo de la simulación, con la posibilidad de repetirla tantas veces como se quiera.

Las ecuaciones por las que se rige el modelo son las de Saint Venant, anteriormente descritas. En

Infoworks, los datos se introducen en forma de tablas, tanto para la definición de las redes, como para la caracterización de sus subcuencas asociadas.

Las variables que definen y caracterizan el modelo son las siguientes:

4.1. CARACTERIZACIÓN DE LOS POZOS EN *INFOWORKS*

En el anexo nº1 del presente anejo se tiene una tabla explicativa con las variables necesarias para modelizar los pozos en *Infoworks*. Así mismo se incluye el criterio adoptado en el presente Trabajo de Fin de Grado

4.2. CARACTERIZACIÓN DE LOS CONDUCTOS EN *INFOWORKS*

En el anexo nº2 se incluye una tabla con las variables de la tabla de conductos, añadiendo una explicación de cada variable y en su caso el criterio seguido para completar los datos, en función de su origen (*SIRA*, proyectos u otras fuentes). Las casillas que no se han completado en *Infoworks* (por tratarse de elementos de carácter descriptivo no necesarios para la definición de la red) se han dejado también vacías en la tabla.

4.3. CARACTERIZACIÓN DE LAS SUBCUENCAS EN *INFOWORKS*

En las subcuencas se producen los procesos de infiltración y de flujo en superficie. Para la modelización de la infiltración *Infoworks* cuenta con los siguientes modelos:

- Infiltración fija, dada por un porcentaje de la precipitación, independientemente del volumen caído.
- Green-Ampt, dependiente de la capacidad media de succión, la conductividad del medio saturado y el déficit inicial de humedad
- Horton, expresión empírica con decaimiento exponencial de la capacidad de infiltración.
- New UK, modelo desarrollado por Wallingford, el Water Research Centre y el Institute of Hydrology del Reino Unido. Depende de la impermeabilidad efectiva, de la humedad máxima y de la intensidad neta.
- Wallingford, depende del porcentaje de impermeabilidad, del tipo de suelo y de un índice de humedad.
- SCS, depende de la capacidad de almacenamiento de agua del suelo. El modelo de infiltración seleccionado ha sido el del SCS.

Para el flujo en superficie en *Infoworks* se ha seleccionado el modelo SWMM.

Para caracterizar las subcuencas, al menos se han de completar tres hojas de datos, la de subcuencas (Subcatchments), la de usos del suelo (Land Use) y la necesaria para definir el modelo de escorrentía (Runoff Surface).

4.3.1. Variables de la hoja de subcuencas

Por subcuenca se entiende el área física que desagua en un pozo de la red. En el anexo nº3 se incluye una tabla con las variables de la tabla de subcuencas, añadiendo una explicación de cada variable y en su caso el criterio seguido para completar los datos.

4.3.2. Variables de la hoja de usos del suelo

Los datos de Usos del suelo se pueden introducir directamente en la hoja de Usos de Suelo. Para ver y editar todos los campos del Uso del Suelo es necesario usar la hoja de propiedades. La tabla del anexo nº4 describe todas las propiedades definidas en Usos del Suelo.

4.3.3. Variables del modelo de escorrentía:

Por último la tabla del anexo nº5 describe todas las variables necesarias para definir el modelo de escorrentía en *Infoworks*.

4.4. SIMULACIÓN DE EPISODIOS DE LLUVIA EN *INFOWORKS*

Una vez que se han introducido todos los datos necesarios para caracterizar el modelo, ya es posible realizar simulaciones con episodios de lluvia. El único paso previo consiste en validar la red.

4.4.1. Validación

Infoworks realiza una validación de la red para comprobar que no existen errores que impidan realizar la simulación (errors) y para advertir al usuario de posibles situaciones, que aunque permiten simular la red, puede que no sean correctas en la realidad (warnings).

Tras la validación *Infoworks* muestra una ventana de avisos, en la que en el campo *Code* se muestra el número del error o del warning. Si se trata de un error aparece un círculo sombreado en rojo, en caso de ser una advertencia el círculo es amarillo y las recomendaciones están sombreadas en morado. En la columna *Priority* está el nivel de prioridad, que es 1 en el caso de los errores y es 2 si se trata de un warning. El *Object Type* indica el tipo de objeto del *Network* que presenta el error o warning. El campo *Object* da el identificador del objeto, mientras que *Field* es el campo de ese objeto donde se produce el error o advertencia. El campo *Message* describe brevemente el problema.

En el caso de ser un error de prioridad 1, la simulación no podrá continuar hasta que no se solucione, este podría ser el caso de dos tubos que no tienen continuidad, o una red que no esté conectada a un

punto de desagüe, entre otros. Las advertencias pueden ser ignoradas pero pueden llegar a dar errores en la simulación y conviene comprobar exactamente su naturaleza.

4.4.2. Simulación

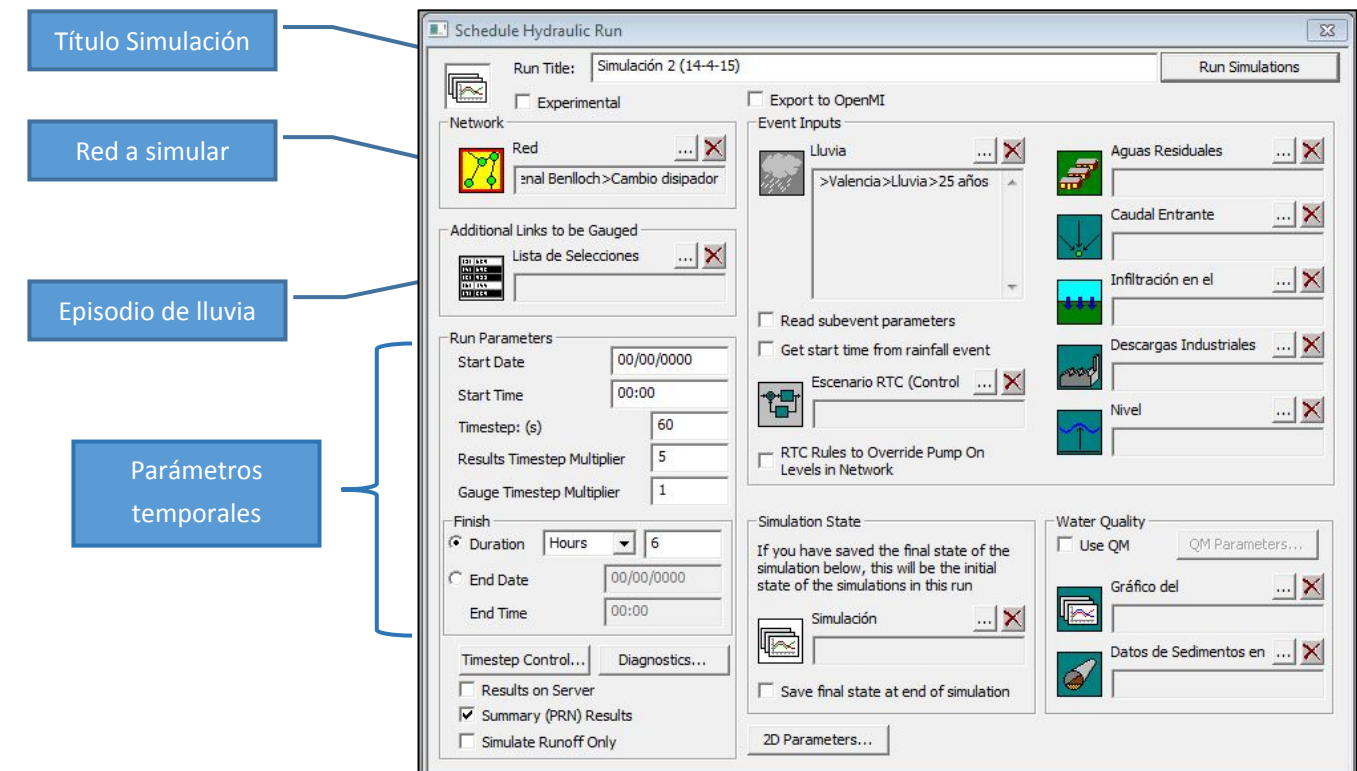


Figura 2. Datos a introducir para iniciar la simulación en *Infoworks*.

En esa ventana gráfica se ha de especificar tanto la red como el episodio de lluvia que se quiere simular. Se permite elegir el tiempo de duración de la simulación así como el diferencial de tiempo en que se obtendrán los resultados. Así mismo también es posible simular un episodio de lluvia a continuación de otro episodio de lluvia ya simulado, esto es que el estado final de una simulación será el que marque el estado inicial de la siguiente simulación. El programa también permite introducir hidrogramas en los pozos e imponer niveles en los mismos.



ANEXOS



ANEXO Nº1:
DESCRIPCIÓN DE LAS VARIABLES DE DEFINICIÓN DE
LOS POZOS EN INFOWORKS



ID Nodo	Es un número o cadena de caracteres que identifica el nodo
Tipo de Nodo	<p>Es el tipo de nodo. <i>Infoworks</i>, posee 4 tipos de pozos:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Manhole Pozo con capacidad de almacenamiento definida por una cámara inferior y una chimenea de acceso. Por un manhole el agua entra en la red. 2. Outfall Pozo de desagüe de la cuenca, donde no se produce almacenamiento. A partir de un Outfall el flujo sale del sistema. 3. Break puede usarse simplemente para introducir un cambio en el longitudinal de la conducción (cambios de pendiente, escalones) y carecen de capacidad de almacenamiento. 4. Storage Pozo con capacidad de almacenamiento, cuya geometría se puede definir particularmente con una curva de almacenamiento en función de la cota. <p>En general todos los pozos serán Manhole, excepto el último pozo en el que desagua toda la red situada aguas arriba, que será Outfall. Los "break" se emplean únicamente a la hora de completar datos para marcar cambios en el longitudinal. Storage se utiliza para modelizar el depósito de retención.</p>
Tipo de Red	<p>Es el tipo de red, y puede ser:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Foul o (Sanitary en EEUU): es el que hay por defecto en <i>Infoworks</i>, aguas residuales 2. Storm: aguas pluviales. 3. Combined: para sistemas mixtos. <p>En este proyecto se considera el tercer caso, que es el predominante en el saneamiento de la ciudad de Valencia.</p>

ID del Activo	Es un indicador de pozo que se puede emplear cuando se quiere señalar alguna singularidad del pozo
X(m), Y(m)	Son las coordenadas UTM del pozo
Nivel del Terreno (m AD)	Cota de la tapa de registro del pozo, o cota del terreno
Nivel de Inundación (m AD)	Cota por encima de la cual cualquier calado se considera de inundación. Se ha tomado por defecto el valor de Ground Level, pero podría ser, por ejemplo, la cota de aceras.
Cota de la Solera de la Cámara (m AD)	Cota de solera del pozo. Por defecto es la mínima cota de solera de las tuberías que entran o salen del pozo.
Cota del Techo de la Cámara (m AD)	Cota del "techo" del pozo. Por defecto es el valor máximo de las cotas de clave de los conductos conectados al pozo.
Área de la Cámara (m²)	Es la sección transversal de la cámara del pozo. Define el volumen de almacenamiento del pozo entre la solera y el "techo" del mismo. Sus dimensiones están condicionadas por las tuberías que se conectan a los pozos. Como SIRA no contiene esta información se utilizan, en este caso, las opciones por defecto de <i>Infoworks</i> , que deducen este valor para cada pozo en función del tamaño de las conducciones que conectan con él. Cuando se ha dispuesto de planos de secciones tipo se ha introducido el valor real.
Área del Cono de Acceso (m²)	Área de almacenamiento del pozo entre el "techo" de la cámara y el nivel del suelo (tapa de registro). Cuando no se dispone información se deja que <i>Infoworks</i> infiera el valor por defecto.



<p>Tipo de Inundación</p>	<p>Tipo de inundación de los pozos, puede ser:</p> <p>Sealed: el nivel del agua puede subir indefinidamente sin salir del sistema. Pretende simular la existencia de un cierre del pozo. Estos pozos no permiten la inundación en superficie y por ellos el agua no puede abandonar la red.</p> <p>Lost: al subir el nivel en el pozo, el agua que sale a la superficie se pierde del sistema. El agua no se almacena tras dejar la red, de forma que el agua que abandona la red se pierde y no vuelve a ella.</p> <p>Stored: Al subir el nivel de agua y salir a la superficie, ésta se almacena en la cuenca de modo que cuando disminuyen los caudales se produce el drenaje de esta agua por la red. Para simular el nivel al que llegaría el agua, Infoworks define la geometría espacial de la subcuenca como un doble cono con distintas pendientes.</p> <p>Todos los pozos se consideran como “stored” excepto aquellos que en el SIRA se denominan como “conexión sin pozo” o los pozos tipo “break”, que se consideran como “sealed”. Las cinco variables siguientes describen la superficie de inundación de un pozo tipo “stored”. Se adoptan los valores por defecto.</p>
<p>Área Inundable (ha)</p>	<p>Es el área total que puede almacenar agua de inundación para el nudo en cuestión. Por defecto, es la suma de áreas contribuyentes de todas las subcuencas que drenan a ese nudo. El resto de variables por defecto son las siguientes:</p>

<p>Altura de Inundación 1 (m)</p>	<p>El calado de inundación que alcanza el agua para el área de inundación 1 (cono de inundación inferior). El valor por defecto es de 1 m.</p>
<p>Área de Inundación 1 (%)</p>	<p>Porcentaje del “floodable area” que se inunda tal como se representa en el primer cono o cono inferior. Este primer cono se extiende pues desde el pozo a cota de terreno hasta esta área a cota igual al calado 1. El valor por defecto es el 10%.</p>
<p>Altura de Inundación 2 (m)</p>	<p>El calado de inundación que alcanza el agua para el área de inundación 2 (cono de inundación superior). El valor por defecto es de 99 m.</p>
<p>Área de Inundación 2 (%)</p>	<p>Porcentaje del “floodable area” que se inunda tal como se representa en el segundo cono o cono superior. Este segundo cono se extiende pues desde el área 1 a cota igual al flood level 1 hasta esta área 2 a cota igual al calado 2. El valor por defecto es el 100% del “floodable area”.</p>
<p>Número de Usuario 1</p>	<p>Campo libre</p>
<p>Número de Usuario 2</p>	<p>Campo libre</p>
<p>Texto de Usuario 1</p>	<p>Campo libre</p>
<p>Texto de Usuario 2</p>	<p>Campo libre</p>

Tabla 3. Descripción de las variables de definición de los pozos en *Infoworks*.



ANEXO Nº2:
DESCRIPCIÓN DE LAS VARIABLES DE DEFINICIÓN DE
LOS CONDUCTOS EN INFOWORKS



ID Nodo Aguas Arriba/Abajo	Identificación del pozo aguas arriba y aguas abajo de la conducción respectivamente.
Sufijo	Es un único carácter que completa la nomenclatura de la conducción (se han utilizado números empezando desde el 1). El sufijo permite que un nudo tenga hasta 36 conexiones que nazcan de él. Así la nomenclatura de cada conducción está constituida por el nombre del pozo en el que nace, una barra y el sufijo correspondiente
Tipo de Red	Puede ser: 1. Foul o (Sanitary en EU): es el que hay por defecto en <i>Infoworks</i> , aguas residuales 2. Storm: aguas pluviales. 3. Combined: para sistemas mixtos. En este estudio se ha considerado el tercer caso, que es el predominante en el saneamiento de la ciudad de Valencia.
ID del Activo	Código identificativo adicional
Referencia del Alcantarillado	Código identificativo adicional
Longitud (m)	Longitud de la conducción entre pozos. Si no introducimos ningún valor, <i>Infoworks</i> la calculará por defecto mediante las coordenadas UTM de los pozos de aguas arriba y aguas abajo
ID de la Forma	Forma del conducto. Puede ser una forma predefinida (ya existente en <i>Infoworks</i>) o requerir una nueva definición (caso de las secciones definidas manualmente, a las que se ha hecho ya referencia)
Ancho (mm)	Ancho del conducto

Altura (mm)	Altura del conducto
Tipo de Rugosidad	Tipo de rugosidad adoptada para el cálculo (Colebrook-White o Manning). Por defecto se ha adoptado el número de Manning N.
Rugosidad del Fondo	Rugosidad para el tercio inferior de la tubería. Actúa como rugosidad por defecto de toda la conducción si no se da ningún valor en la columna Top Roughness. Se ha adoptado en el estudio misma rugosidad para toda la sección
Rugosidad de la Clave	Rugosidad para los dos tercios superiores de la tubería
Altura de Sedimento (mm)	Altura de sedimentos permanentes y consolidados en la tubería. Se ha adoptado un valor nulo para esta variable
Tipo de Sedimento	Tipo de sedimento, en el caso de que exista
Solución del modelo	Método empleado para la modelización, puede ser "full" o "pressure" (para redes a presión o permanentemente sobrecargadas). En nuestro caso será "Full" (a sección llena), que aplica las ecuaciones de Saint Venant. Pressure se utilizaría para secciones cerradas que vayan a funcionar siempre en presión.
Cota de Fondo Aguas Arriba/Abajo (m AD)	Cota de solera aguas arriba y aguas abajo respectivamente



Tipo de Pérdida de Carga Aguas Arriba/Abajo	<p>Tipo de pérdidas localizadas en cambios de alineación y pozos aguas arriba y aguas abajo respectivamente. Las pérdidas se expresan como un porcentaje de la altura de velocidad, definiendo una serie de curvas que relacionan este porcentaje con el nivel de sobrecarga (nivel del flujo respecto de la altura del conducto). Estableciéndose 4 tipos diferentes:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. High, recomendable para pozos mal contruidos 2. None, no se contabilizan las pérdidas 3. Normal, recomendable para pozos bien contruidos <p>Fixed, la pérdida de carga es un porcentaje fijo, definido por el usuario, respecto de la altura de velocidad También permite definir una curva en función del estado de sobrecarga .</p> <p>4. En el estudio se han empleado pérdidas de tipo "normal"</p>
Coefficiente de Pérdida de Carga Aguas Arriba/Abajo	Coefficiente de pérdidas de carga localizadas aguas arriba y aguas abajo de las
Eficacia de Sedimentación Aguas Arriba/Abajo	
Categoría Crítica de la Red de Saneamiento	(clasificación según normas británicas)
Referencia de "Take off"	(clasificación según normas británicas)
Material de la Tubería	
Grupo de Diseño	
Estado del Emplazamiento	(compatibilidad con versión anterior del programa) Road
Estado del Terreno	(compatibilidad con versión anterior del programa) Suburbs
Número Mínimo de Nodos de Cálculo	Se han empleado 5 en el estudio

Caudal Entrante (m³/s)	Caudal adicional. Es 0 por defecto
Pendiente (m/m)	Pendiente de la conducción. La calcula el programa dados los datos de
Capacidad de la Tubería Llena (m³/s)	Capacidad del conducto a sección llena y régimen uniforme. La obtiene el programa
Está Unido	Informa sobre si la conducción ha sido "merged", es decir, combinada
Número de Usuario 1	Campo libre
Número de Usuario 2	Campo libre
Texto de Usuario 1	Campo libre
Texto de Usuario 2	Campo libre

Tabla 4. Descripción de las variables de definición de los conductos en *Infoworks*.



ANEXO Nº3:
DESCRIPCIÓN DE LAS VARIABLES DE DEFINICIÓN DE
LAS SUBCUENCAS EN INFOWORKS



ID Subcuenca	Identificación de la subcuenca. Coincide con la identificación del pozo en que desagua la subcuenca y por lo tanto la codificación es la correspondiente a los pozos
Tipo de Red	Es el tipo de red, y puede ser: 1. Foul o (Sanitary en EU): es el que hay por defecto en Infoworks, aguas residuales 2. Storm : aguas pluviales. 3. Combined : para sistemas mixtos En este estudio se ha considerado el tercer caso, que es el predominante en el saneamiento de la ciudad de Valencia.
ID Nodo	Identificación del pozo al que drena la subcuenca; coincide por tanto con el Subcatchment ID.
Área Total (Ha)	Área total de la cuenca, en Ha, incluso las áreas que no drenen al alcantarillado
Área de Contribución (ha)	Area de la cuenca, en Ha, que genera escorrentía. En la práctica se ha considerado que ambas áreas coinciden, habiéndose despreciado las posibles partes de las cuencas que no contribuyan
X (m), Y (m)	
ID Uso del Suelo	Es el nombre del Land Use que se aplica a la subcuenca. La definición del Land Use incluye valores por defecto de varios parámetros que caracterizan la subcuenca y una lista de Superficies de Escorrentía disponibles. En el estudio, el Land Use que se emplea es el que se ha llamado Combinación, que queda caracterizado en el apartado siguiente de este anejo.
Población	Población civil presente en las subcuencas
Conectividad (%)	Porcentaje de la población residente efectivamente unida a la red.
Perfil de Aguas Residuales	
Caudal Base (m³/s)	

Caudal de Aguas Fecales Adicional (m³/s)	
Caudal Industrial (m³/s)	
Perfil de Caudal Industrial (m³/s)	
Perfil de Lluvia	Para variaciones espaciales de lluvia en caso de disponer de varios registros. No es el caso en este estudio.
Tipo de Medida del Área	Puede ser en Porcentaje o en valor absoluto habiéndose elegido este segundo tipo para dar las superficies de cada uso del suelo de la subcuenca en hectáreas.
Tipo de Suelo	Sólo se emplea en caso de escoger el modelo de escorrentía Wallingford Procedure UK, por lo tanto esta casilla queda vacía en nuestro estudio.
Pendiente (m/m)	Pendiente media con la que la cuenca drena el agua de escorrentía hacia el pozo. Por defecto el programa la obtiene como diferencia de cotas del terreno dividido por la longitud de tubería entre pozos.
Dimensión (m)	En el caso de haber escogido el modelo de escorrentía del SWMM, por <i>dimension</i> se entiende el ancho de subcuenca (catchment width). El programa obtiene este valor por defecto
Área de Escorrentía (%/ha)	Define qué parte de la subcuenca pertenece a cada tipo de superficie de escorrentía. Es un valor de superficie medido en hectáreas. De acuerdo con la definición dada para el Land Use, en el caso de nuestro estudio el Runoff Area: 1. corresponde al uso del suelo 95 Vial; 2. corresponde al uso del suelo 80 Edificación; 3. corresponde al uso del suelo 50 Mixto; 4. corresponde al uso del suelo 20 Verde. 5. corresponde al uso del suelo 70 Medio (este tipo de suelo solo lo usamos en algunas situaciones especiales



	<p>en que no se dispone de suficiente información sobre el uso del suelo y se le asumen unas propiedades medias similares a la media de la ciudad de Valencia).</p> <p>El resto de casillas de Runoff Area (de la 6 a la 12) no se han completado por haberse definido solamente 5 tipos de usos del suelo distintos.</p>
ID Infiltración	Relaciona la subcuenca con parámetros descritos en la tabla "Ground Infiltration".
Número de Usuario 1	Campo libre
Texto de Usuario 1	Campo libre

Tabla 5. Descripción de las variables de definición de las subcuencas en *Infoworks*.



ANEXO Nº4:
DESCRIPCIÓN DE LAS VARIABLES DE DEFINICIÓN DE
LOS USOS DE SUELO EN INFOWORKS



ID Uso del Suelo	Es la referencia por la que identificamos los usos del suelo. Se le ha llamado COMBINACIÓN
Densidad de Población (personas/ha)	Número de personas por hectárea. El programa usa este valor para calcular una población en el caso que no se introduzca un valor para la población en el campo correspondiente de la hoja de subcuencas. No se considera en nuestro caso, poniendo 0.
Perfil de Aguas Residuales	
Conectividad (%)	
Índice de Contaminación	
Descripción	Breve descripción del uso del suelo. Con un máximo de 80 caracteres.
Superficie de Escorrentía 1	En este campo se escoge la referencia para el tipo de superficie que se quiera añadir al Land Use, desde el menú desplegable. Previamente se debe introducir en el Runoff Surface Data Fields.
Área de Escorrentía por defecto 1	Porcentaje del área para cada tipo de superficie. Por ejemplo, si se introduce 50% para la superficie 10, el 50% de la superficie de cada subcuenca será de este tipo por defecto. Sin embargo, el área que se introduzca en las subcuencas tendrá prioridad sobre los valores por defecto.
Superficie de Escorrentía 2	
Área de Escorrentía por defecto 2	

Tabla 6. Descripción de las variables de definición de los usos del suelo en *Infoworks*



ANEXO Nº5:
DESCRIPCIÓN DE LAS VARIABLES DE DEFINICIÓN DEL
MODELO DE ESCORRENTÍA EN INFOWORKS



Superficie de Escorrentía ID	Número entero que identifica a este tipo de superficie. Cada identificador de superficie debe ser único. En este caso son los siguientes: 1. 20 2. 50 3. 85 4. 95
Descripción	Descripción, con un máximo de 80 caracteres, del tipo de superficie empleado. Son las siguientes: 1. Zona Verde 2. Mixto; 3. Edificación y 4. Vial
Tipo de Tránsito de Escorrentía	Hay dos posibles valores, Rel y Abs, que determinan el tipo de valor que se introduce en <i>Runoff Routing Value</i> Si se selecciona Rel , el <i>Runoff Routing Value</i> es un factor que multiplica al valor por defecto del Routing Factor. Seleccionando Abs (es lo que se selecciona en el modelo) el <i>Runoff Routing Value</i> es el Routing Factor
Valor de Tránsito de Escorrentía	Si en <i>Runoff Routing Value</i> tenemos Rel , ahora introducimos el valor que multiplica al valor por defecto del Routing Factor. En este caso, como se había seleccionado Abs , ahora se pone el Routing Factor. Este valor coincide con el número de Manning: 1. n = 0.02 Verde 2. n = 0.02 Mixto; 3. n = 0.02 Edificación y 4. n = 0.01 Vial
Tipo de Volumen de Escorrentía	Permite seleccionar entre los siguientes: 1. Fixed 2. Wallingford 3. NewUK 4. SCS 5. Horton 6. Green-Ampt 7. ConstInf Se adopta el modelo del SCS
Tipo de Superficie	Se pueden seleccionar tres valores diferentes: 1. Impervius (impermeable) por ejemplo para carreteras 2. Pervius (permeable) por ejemplo para zonas verdes 3. Unknown Se toma en este caso: 1. Pervius para Verde 2. Impervius para Mixto; 3. Impervius para Edificación e 4. Impervius para Vial
Pendiente del Terreno (m/m)	El programa usa este valor para calcular el <i>Runoff Rate</i> y las <i>Detracciones iniciales (P₀)</i> . Si no se introduce ningún valor, el programa la calcula como: ((nivel del terreno del pozo conectado a la subcuenca)-(nivel del terreno del nodo de aguas abajo del conducto .1 (ver link Suffix en la tabla de conductos) que sale desde el nodo al que se conecta la subcuenca))/(longitud del conducto anterior) Si la subcuenca no está conectada a ningún nodo del sistema, o no hay un conducto .1

	que salga desde el nodo, el valor por defecto será 0 En el modelo se deja que <i>Infoworks</i> calcule este valor
Tipo de Pérdida Inicial	Se pueden seleccionar 3 valores diferentes para este campo: 1. Abs (Absoluto) 2. Slope 3. SCS Este valor determina la naturaleza del valor del campo siguiente. En nuestro caso se selecciona Abs
Valor de la Pérdida Inicial	Se asume que en el inicio de una lluvia, el primer volumen de agua caído no produce escorrentía, es lo que llamamos umbral de escorrentía (<i>Initial Loss Value</i>). En función del Tipo de Umbral de Escorrentía que se haya seleccionado en la casilla anterior, el <i>Initial Loss Value</i> representa: <input type="checkbox"/> Type = Absolute entonces Value es el valor en m del umbral de escorrentía P_0 . <input type="checkbox"/> Type = Slope entonces el umbral de escorrentía en la subcuenca está relacionado con la pendiente del terreno (<i>Ground Slope</i>) por la expresión: $D = \text{Value} / \sqrt{s}$ Donde D es la profundidad de la depresión (<i>depression storage depth</i>) y s es la pendiente del terreno (<i>Ground Slope</i>) <input type="checkbox"/> Type = SCS entonces Value es k. $k = P_0/S$ donde: P_0 = umbral de escorrentía (m) S = Volumen máximo de retención (m) = SCS Depth Los valores que recomienda <i>Infoworks</i> , en caso de Type = Absolute, son los siguientes: Impervius superficies 0.000071 Pervius superficies 0.00028 En nuestro caso se adopta Abs y 0. $P_0 = 0$ m Esto queda del lado de la seguridad
Modelo Tránsito	Se elige uno de los siguientes: Wallingford - Wallingford Procedure . Considera que la escorrentía se genera desde dos depósitos iguales en serie de forma lineal con el tiempo (ecuación de doble embalse lineal). El valor del Coeficiente de escorrentía depende de la intensidad de la lluvia, del área contributiva y la pendiente de la subcuenca. Large Catchment - Large Catchment Model Mismas ecuaciones que el modelo anterior, pero con distinto ajuste pues el programa también le aplica un tiempo de respuesta y un factor multiplicador al coeficiente de escorrentía. Éstos son función del área pendiente y longitud de la subcuenca. Adaptado para



	<p>subcuencas de mayor extensión. Sprint Este modelo considera que la escorrentía se genera desde un único depósito de forma lineal con el tiempo. El valor del Coeficiente de escorrentía depende del área y pendiente de la subcuenca y del porcentaje de superficie impermeable. Desbordes. Este modelo considera que la escorrentía se genera desde un único depósito de forma lineal con el tiempo. El valor del Coeficiente de escorrentía depende del área, pendiente y longitud de la subcuenca, del porcentaje de superficie impermeable, de la duración de la tormenta y el llamado volumen de la tormenta (depth storm). SWMM. Este modelo considera que la escorrentía se genera desde un único depósito de forma no lineal con el tiempo y emplea la ecuación de la onda cinemática para conducir el flujo de cada subcuenca hasta el pozo correspondiente. El coeficiente de escorrentía depende de la rugosidad de la superficie, el área de la misma, la pendiente del terreno y la anchura de la subcuenca,. El modelo de escorrentía que se ha empleado en nuestro caso es el SWMM</p>
Altura de SCS (m)	<p>Es la máxima profundidad de almacenamiento, S (en metros) para esta superficie. El rango válido para este valor es >0 - 999.99 metros En este caso:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 0.351 m para Verde 2. 0.089 m para Mixto; 3. 0.022 m para Edificación 4. 0.005 m para Vial (valores tomados del PFC de Javier González Pérez, página 42)

Coefficiente de Pérdidas por Infiltración (mm/hr)	
Porosidad Inicial para Pérdidas	<p>Este valor puede usarse para simular una superficie donde el volumen de almacenamiento inicial (que viene definido por los campos Initial Loss Type y el Initial Loss Value) realmente esté formado por materiales de relleno tipo arena, grava o rocas. Estos materiales de relleno reducen la capacidad máxima de almacenamiento de agua. Un valor (Initial Loss Porosity) de 0.3 representa un 30% de volumen de aire en la estructura (entonces el restante 70% del volumen estará ocupado por el material de relleno y tan sólo se podrá aprovechar un 30% del volumen para almacenar agua antes de que empiece la escorrentía). Este aspecto es especialmente útil cuando se usa para simular un pavimento permeable. En este caso no se supone ninguna reducción y supone igual a 1.</p>

Tabla 7. Descripción de las variables de definición del modelo de escorrentía en *Infoworks*



ANEXO Nº6:
HIETOGRAMA DE $T_r=25$ AÑOS INTRODUCIDO EN
INFOWORKS



A continuación se muestra una tabla en la que se observan los datos correspondientes al hietograma de
Tr= 25 años introducido en *Infoworks*

Tiempo (días::horas:minutos)	Intensidad (mm/h)
00::00:00	0.00
00::00:01	0.00
00::00:02	0.00
00::00:03	0.00
00::00:04	0.00
00::00:05	0.00
00::00:06	0.00
00::00:07	0.13
00::00:08	0.64
00::00:09	1.28
00::00:10	2.04
00::00:11	2.83
00::00:12	3.55
00::00:13	4.20
00::00:14	4.79
00::00:15	5.30
00::00:16	5.74
00::00:17	6.11
00::00:18	6.41
00::00:19	6.64

00::00:20	6.81
00::00:21	7.01
00::00:22	7.37
00::00:23	7.88
00::00:24	8.54
00::00:25	9.35
00::00:26	10.32
00::00:27	11.44
00::00:28	12.71
00::00:29	14.13
00::00:30	15.71
00::00:31	17.19
00::00:32	18.36
00::00:33	19.20
00::00:34	19.71
00::00:35	19.90
00::00:36	19.76
00::00:37	19.30
00::00:38	18.52
00::00:39	17.41
00::00:40	15.97
00::00:41	14.66



Tiempo (días::horas:minutos)	Intensidad (mm/h)
00::00:42	13.90
00::00:43	13.72
00::00:44	14.09
00::00:45	15.03
00::00:46	16.53
00::00:47	18.60
00::00:48	21.23
00::00:49	24.42
00::00:50	28.18
00::00:51	32.02
00::00:52	35.45
00::00:53	38.48
00::00:54	41.11
00::00:55	43.33
00::00:56	45.15
00::00:57	46.56
00::00:58	47.58
00::00:59	48.19
00::01:00	48.39
00::01:01	48.97
00::01:02	50.68

00::01:03	53.54
00::01:04	57.55
00::01:05	62.69
00::01:06	68.97
00::01:07	76.40
00::01:08	84.97
00::01:09	94.69
00::01:10	105.54
00::01:11	115.99
00::01:12	124.49
00::01:13	131.04
00::01:14	135.64
00::01:15	138.29
00::01:16	138.99
00::01:17	137.74
00::01:18	134.54
00::01:19	129.38
00::01:20	122.28
00::01:21	114.45
00::01:22	107.12
00::01:23	100.29
00::01:24	93.96



Tiempo (días::horas:minutos)	Intensidad (mm/h)
00::01:25	88.13
00::01:26	82.79
00::01:27	77.96
00::01:28	73.62
00::01:29	69.78
00::01:30	66.44
00::01:31	63.40
00::01:32	60.45
00::01:33	57.60
00::01:34	54.84
00::01:35	52.18
00::01:36	49.61
00::01:37	47.13
00::01:38	44.75
00::01:39	42.47
00::01:40	40.27
00::01:41	38.17
00::01:42	36.14
00::01:43	34.20
00::01:44	32.34
00::01:45	30.55

00::01:46	28.85
00::01:47	27.22
00::01:48	25.68
00::01:49	24.22
00::01:50	22.83
00::01:51	21.56
00::01:52	20.42
00::01:53	19.43
00::01:54	18.57
00::01:55	17.84
00::01:56	17.26
00::01:57	16.82
00::01:58	16.51
00::01:59	16.35
00::02:00	16.32
00::02:01	16.32
00::02:02	16.26
00::02:03	16.12
00::02:04	15.91
00::02:05	15.62
00::02:06	15.27
00::02:07	14.84



Tiempo (días::horas:minutos)	Intensidad (mm/h)
00::02:08	14.34
00::02:09	13.77
00::02:10	13.13
00::02:11	12.45
00::02:12	11.80
00::02:13	11.16
00::02:14	10.54
00::02:15	9.93
00::02:16	9.34
00::02:17	8.77
00::02:18	8.21
00::02:19	7.67
00::02:20	7.14
00::02:21	6.64
00::02:22	6.16
00::02:23	5.71
00::02:24	5.29
00::02:25	4.89
00::02:26	4.52
00::02:27	4.17
00::02:28	3.85

00::02:29	3.56
00::02:30	3.29
00::02:31	3.04
00::02:32	2.79
00::02:33	2.53
00::02:34	2.27
00::02:35	2.01
00::02:36	1.75
00::02:37	1.48
00::02:38	1.21
00::02:39	0.94
00::02:40	0.67

Tabla 8. Hietograma de Tr = 25 años introducido en *Infoworks*