

METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO AUTOMATIZADO DE LAS AVENIDAS DE DISEÑO EN PROYECTOS VIALES UTILIZANDO EL SOFTWARE AUTOCAD CIVIL 3D

METHODOLOGY FOR THE AUTOMATED CALCULATION OF DESIGN AVENUES IN ROAD PROJECTS USING AUTOCAD CIVIL 3D SOFTWARE

Autores: Orestes López Gómez

Ángel Castellano Paz

Institución: Universidad de Ciego de Ávila Máximo Gómez Báez

Correo electrónico: orestes@unica.cu

RESUMEN

En el documento se realiza un análisis del cálculo de las avenidas de diseño en los proyectos viales del país y la provincia. Se elabora por la necesidad de mejorar las deficiencias existentes en el cálculo automatizado de estos caudales, en programas especializados como el AutoCAD Civil 3D junto con su complemento Autodesk Storm and Sanitary Analysis (SSA), cumpliendo con todas las normalizaciones y regulaciones establecidas. La investigación contiene información acerca de todos los métodos utilizados para la obtención de estos resultados y los programas utilizados total o parcialmente tanto en el ámbito internacional como nacional y provincial. Se logra corroborar los resultados obtenidos por los softwares mediante métodos manuales.

Palabras clave: Proyectos viales, Avenidas de diseño, AutoCAD Civil 3D y Metodología.

ABSTRACT

In this paper it is made an analysis of the estimate about design runoff in road projects of the country and province. Also it is elaborate because it is necessary the improvement of the current deficiency in the automatic estimate of this volume of water in specialize programs as well as AutoCAD Civil 3D and as a

complement Autodesk Storm and Sanitary Analysis (SSA), they carry out with all the normalizations and regulations that they have been establish. This work has information about all the method used for the obtained of this result and program used total or partially in international area and also in national or provincial area. Finally, in this project it was corroborated all the results obtain for the software through manual method.

Keywords: Road projects, Design runoff, AutoCAD Civil 3D and Methodology.

INTRODUCCIÓN

Se limita la parte de la hidrología que se estudia en la ingeniería a una rama que comúnmente se llama ingeniería hidrológica o hidrología aplicada, que incluye aquellas partes del campo de la hidrología que pertenecen al diseño y operación de proyectos de ingeniería para el control y aprovechamiento del agua. (Mijares, F, 1992).

Uno de los objetivos más importantes de la ingeniería hidrológica es la obtención de las avenidas de diseño para la proyección de viales. Las avenidas son escurrimientos que pueden ser naturales, como los que son consecuencia de eventos de tormentas, derretimiento de depósitos de nieve (glaciares) o de lluvias ocasionadas por ciclones, pero también pueden ser inducidas por el hombre, ante una inadecuada operación de una obra hidráulica.

Hoy en día con el crecimiento acelerado de la tecnología surgen software que constituyen una herramienta superior para los estudios hidrológicos, y con ellos determinar las avenidas de diseño, ganando en tiempo y seguridad en los cálculos, tal es el caso del componente Autodesk Storm and Sanitary Analysis del programa AutoCAD Civil 3D.

Este software presenta ventajas sobre otros programas que han sido utilizados con estos fines como son: el AutoCAD Land Development Desktop, el Google Earth, el EPA SWMM, entre otros. Estas ventajas radican sobre todo en el dinamismo o auto-actualización que este presenta ante algunas modificaciones y también en la amplitud de sus potencialidades para determinar muchos de los factores que intervienen en estos cálculos hidrológicos.

En Cuba, como en la provincia de Ciego de Ávila, este software no ha sido explotado con gran fortaleza en las empresas de diseño, debido a la escasez de personal con conocimiento requerido para su uso y por no contar con manuales o videos que faciliten su aprendizaje, de aquí surge la problemática siguiente: En las empresas de la provincia de Ciego de Ávila existe insuficiencia en el cálculo automatizado de avenidas de diseño de los proyectos viales.

El problema científico de esta investigación es: ¿Cómo mejorar las deficiencias que existen en el cálculo automatizado de las avenidas de los proyectos viales, desarrollados en la provincia de Ciego de Ávila?

Se plantea como objetivo: Elaborar una metodología para el cálculo automatizado de avenidas de diseño en proyectos viales utilizando el software AutoCAD Civil 3D, para lograr mayor eficiencia y calidad en los nuevos proyectos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Estudio y proyecto del drenaje de carreteras

Desde los inicios de la construcción de carreteras quedó plenamente demostrado que la estabilidad de las mismas sólo podrá mantenerse a través del tiempo, si la explanación permanecía en un estado relativamente seco. De lo anterior se desprende la necesidad de que en las construcciones viales se garantice que el agua que caiga sobre la vía y la que puede llegar a ella por los taludes y cauces naturales del terreno, sea debidamente encauzada y sacada fuera del área de afectación, con lo cual se garantizan las condiciones de estabilidad a lo largo de todo el período de vida útil de la carretera. (Valdés, M., 2013).

La proyección de obras de drenajes se divide en dos partes:

- drenaje superficial.
- drenaje, profundo, subdrenaje o drenaje subterráneo.

Metodología de cálculo de las avenidas de diseño en proyectos viales con el AutoCAD Civil 3D y el Autodesk Storm and Sanitary Analysis

La metodología a seguir para la determinación de las avenidas de diseño es:

Se parte de tener un vial proyectado en una superficie en el AutoCAD Civil 3D:

1. Análisis de gota de agua.
2. Creación de cuenca vertiente a partir de superficie.
3. Análisis de cuenca vertiente.
4. Conversión de las cuencas tributarias a parcelas.
5. Exportar y guardar los datos de objetos del AutoCAD Civil 3D al formato de Land XML.
6. Importación del archivo LandXML al SSA.
7. Selección del sistema de unidades, métodos hidrológicos y métodos del tiempo de concentración en el SSA.
8. Introducción de los datos de lluvia al programa según los métodos hidrológicos seleccionados.
9. Puntos de descarga e introducción de características de la cuenca.
10. Configuración de los parámetros de la corrida en el SSA.
11. Realización de la corrida.
12. Análisis de los resultados.

Con esta metodología se obtiene un procedimiento de cálculo de las avenidas de diseño en proyectos viales, utilizando el software especializado AutoCAD Civil 3D, lográndose una secuencia lógica de pasos, además de un lenguaje grato y asequible para el consumidor de este procedimiento.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Desarrollo de la Metodología de cálculo de las avenidas de diseño en proyectos viales usando AutoCAD Civil 3D y el Autodesk Storm and Sanitary Analysis

La siguiente metodología se explica con un ejemplo real, desarrollado sobre la plantilla elaborada por Torres Cobas, (2014). Para esto se cuenta con una hoja cartográfica a escala 1:10000 del poblado de Piedra del municipio de Chambas en la provincia de Ciego de Ávila, una hoja de Excel con el trazado de las curvas de Intensidad-Frecuencia-Duración (IDF) de la zona y se conoce que el terreno es areno-arcilloso. De ahí se parte de una superficie creada de 9 km² y una alineación de eje de un vial en el AutoCAD Civil 3D. Este vial se considera

una carretera de menor importancia en el orden económico-social categoría IV.
Ver Figura 1.

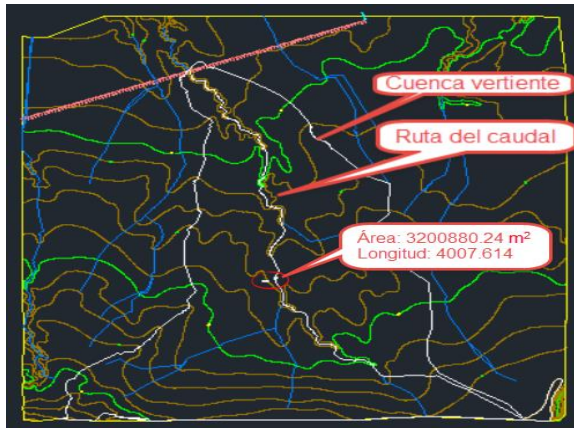



Figura 1. Superficie en el Civil 3D.

Análisis de gota de agua

El análisis de la gota de agua se realiza con el fin de determinar la ruta del agua en una superficie específica, y así hallar los puntos de intersección entre esta ruta y el vial, donde pudiese ubicarse alguna obra de drenaje vial como alcantarillas o puentes.

1. Haga clic en la ficha Analizar menú desplegable  Rutas de Caudal ► Gota de agua. Aparece el asistente *Gota de Agua* y se da clic en Aceptar.
2. Luego se da varios clic en la superficie lo más alejado posible del eje del vial y por el lado donde se encuentren las curvas de nivel con mayores gotas, hasta determinar los puntos de intersección entre los recorridos de agua y el eje del vial. Ver Figura 2.

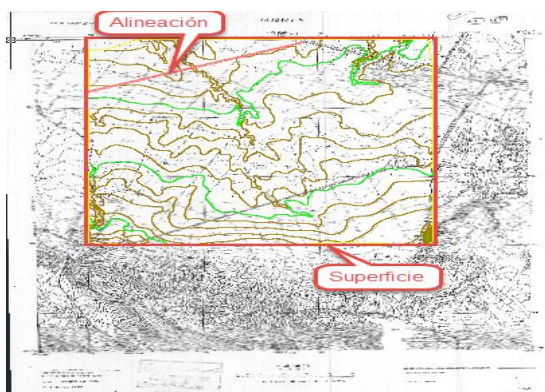



Figura 2. Recorridos del agua.

Nota: En el ejemplo solo se desarrollará el punto de intersección de color azul.

Creación de cuenca vertiente a partir de superficie

Este paso se desarrolla con el objetivo de hallar cual es la cuenca que tributa a el punto de intersección entre el flujo de agua y el vial, así como la longitud de la ruta del caudal determinado.

1. Hacer clic en la ficha Analizar ► menú desplegable  Cuencas vertientes ► Crear cuenca vertiente a partir de superficie.
2. Luego se selecciona el punto de intersección de interés. Aparece el asistente *Crear cuenca vertiente a partir de superficie*, se le asigna el nombre deseado (Cuenca vertiente ejemplo), la superficie de estudio, las etiquetas configuradas de área y segmento, y se presiona Aceptar. Se muestra el trazado de la cuenca con su área y la ruta con su longitud los dos de color blanco. Ver Figura 3.

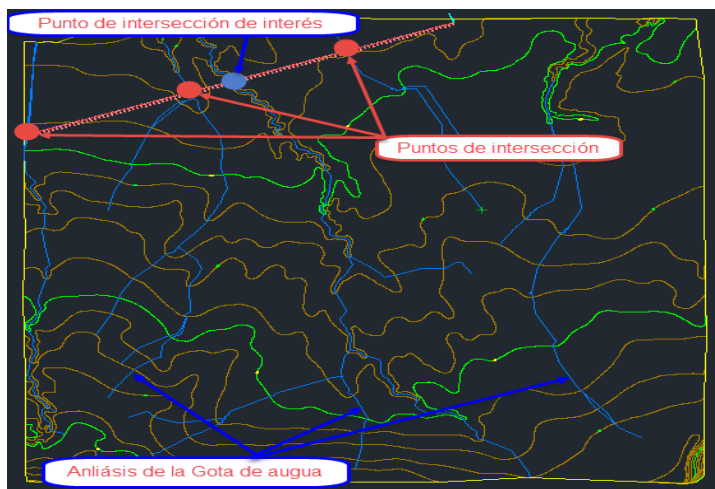


Figura 3. Cuenca y ruta.

Análisis de cuenca vertiente

Este análisis se realiza para crear una polilínea en todo el perímetro de la cuenca anteriormente creada, para luego poder convertirla en parcela y así poder exportarla hacia el SSA.



1. En el menú Analizar ► menú desplegable  Cuenca vertientes ► Cuenca vertiente. Aparece el asistente *Cuenca vertiente*, se selecciona la capa anteriormente creada y se da clic en Aceptar.
2. Luego se da clic en el mismo punto de intersección, y aparece enmarcada toda la cuenca del color magenta. Ver Figura 4.



Figura 4. Cuenca enmarcada.

Conversión de las cuencas tributarias a parcelas

Este paso se hace necesario para poder exportar la cuenca enmarcada en el paso anteriores a un archivo con formato LandXML, y así posteriormente importar este hacia el Autodesk Storm and Sanitary Analysis (SSA).

1. Se va al menú Inicio ► grupo Crear diseño ► Parcela  ► Crear a partir de objetos, luego se selecciona la cuenca enmarcada anteriormente y se da Enter en el teclado.
2. Aparece el asistente *Crear parcelas - A partir de objetos*, se selecciona el estilo de etiqueta de área Parcel Name y se da Aceptar.

Exportar y guardar los datos de objetos del AutoCAD Civil 3D al formato de LandXML




Exportar a
LandXML

En el menú Salida ► grupo Exportar ► Exportar a LandXML. Sale el asistente *Exportar a LandXML*, se presiona Aceptar. Sale el asistente *Exportar a LandXML* para guardar el fichero. Se especifica el lugar donde se va a guardar, se pone el nombre y se da Guardar. Luego se minimiza el AutoCAD Civil 3D.

Importación del archivo LandXML al SSA

Para importar el archivo primero se abre el SSA.

1. Se va a la barra de herramientas de la computadora, se da clic en la ficha Inicio  ► Autodesk ► Autodesk ► Storm and Sanitary Analysis.
2. Luego de abierto se da clic en la ficha de la parte superior izquierda del programa File (Archivo) ► Import (Importar) ► LandXML File... (Archivo LandXML...). Sale el asistente *Import LandXML File (Importar archivo LandXML)* se busca el archivo anteriormente guardado y se da Abrir. En en SSA se muestra la cuenca de estudio creada en el AutoCAD Civil 3D. Ver Figura 5.

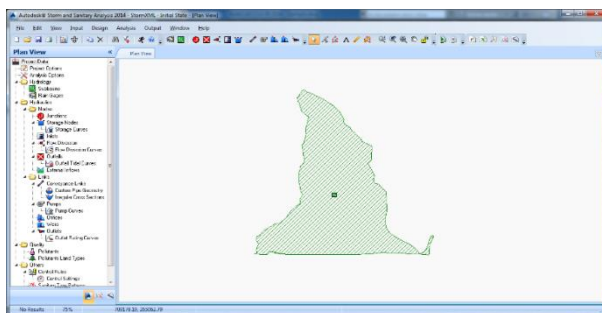


Figura 5. Cuenca en el SSA.

Selección del sistema de unidades, métodos hidrológicos y métodos del tiempo de concentración en el SSA

El SSA trae consigo varios sistemas de unidades, diferentes métodos hidrológicos y métodos del tiempo de concentración, pero el ejercicio se desarrolla según los métodos y unidades empleadas en el país y cumpliendo

con todas las regulaciones cubanas que se involucran con este tema de estudio. Por eso se decide utilizar:

- El Sistema Internacional de Unidades (Metric Unit).
- Las unidades de caudal de agua, metros cúbicos por segundo (CMS).
- El método hidrológico Racional (Rational).
- El método del tiempo de concentración de Kirpich.
- Las tablas de las normas cubanas para el coeficiente de escurrimiento se encuentra en la NC 48-26, 1984.

En el SSA , en la barra Plan View (Vista del plan) se da doble clic en Project Options (Opciones de Proyecto), se muestra la ventana *Opciones de Proyecto*. En la ficha General, el menú desplegable Unit sistem (Sistema de unidades) se selecciona Metric Unit (Unidades Métricas). En el menú desplegable Flow unit (Unidades del flujo) se selecciona CMS. Se da clic en el menú desplegable Hydrology method (Método hidrológico) y se selecciona Rational (Racional). Luego en el menú Time of concentration (TOC) method (Método del tiempo de concentración) se selecciona Kirpich, se presiona OK. Ver Figura 6.

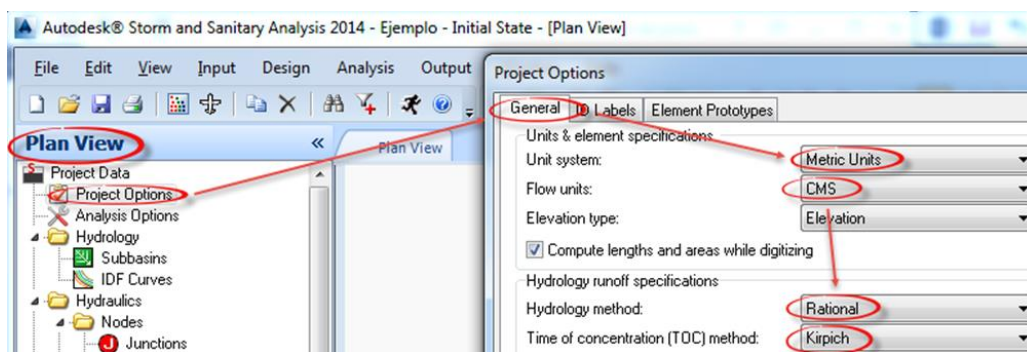




Figura 6. Selección de unidades y métodos hidrológicos

Introducción de los datos de lluvia al programa según los métodos hidrológicos seleccionados

Los datos de lluvia que requiere el programa es según el método hidrológico que se utilice, solo existe dos formas de introducirle este dato mediante Rain Gages  (Pluviómetro), esto es con la altura de las precipitaciones, y

mediante IDF Curves  (Curvas IDF). Para el ejemplo en desarrollo al emplearse el Método Racional los datos de lluvia que se requiere son las curvas IDF.


1. En el panel Plan View ► menú desplegable Hydrology ► se da doble clic en IDF Curves  dándole salida al asistente *IDF Curves*.
2. En el asistente *IDF Curves* existe un menú llamado Rainfall (Ecuaciones de lluvia) donde se da varias opciones de introducir parámetros de la curva IDF para poder conformarla. Ver Figura 7.








Figura 7. Parámetros de la curva equation.

En el ejemplo se selecciona la fórmula de intensidad de Sherman ($i = \frac{B}{(t_c+D)^E}$), pues los datos de lluvia con los que se cuenta contiene los parámetros de la fórmula. Se selecciona en el menú desplegable Period (Período) el período de retorno deseado, para este ejemplo según la importancia del vial es de 10 años. Luego se introducen las variables de la fórmula (BDE) y se da clic en Close (Cerrar).

Puntos de descarga e introducción de características de la cuenca

Inicialmente se enlaza la cuenca con el punto de descarga para enrutar el escurrimiento hacia donde va a drenar, pero para esto, primero es necesario crear este punto en el SSA.

1. Se va a la barra de herramienta superior del SSA y se selecciona el comando Add Junction  (Adicionar uniones), luego se marca dentro de la cuenca, en el punto de descarga deseado un elemento Junction  y se da escape en el teclado. Ver Figura 8.
2. Para enlazar el punto y la cuenca se da clic derecho sobre el icono Subbasin  (Subcuenca) que se encuentra encima la cuenca y se selecciona Connect To (Conectar a). Sale un asistente llamado *Connect To* donde se presiona OK. Luego se une el icono Subbasin  con el icono Junction  marcado anteriormente.

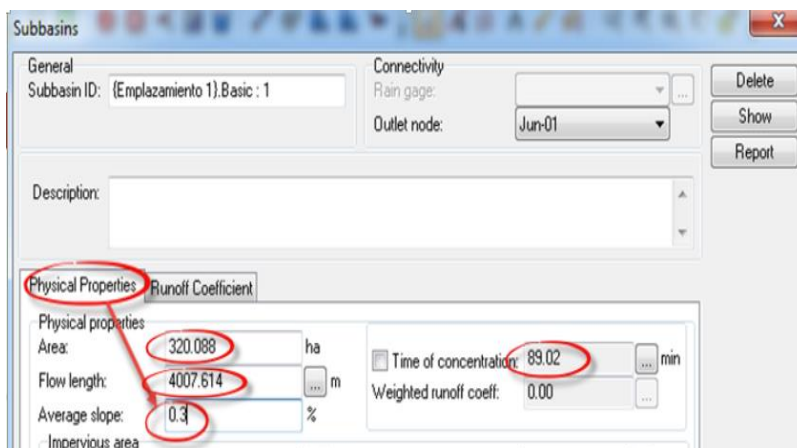



Figura 8. Creación del punto de descarga.

3. Para ajustar los parámetros de la cuenca se da doble clic sobre el icono Subbasin  que se encuentra encima de la cuenca. Sale un asistente llamado *Subbasins*. En este asistente es donde se configuran las características físicas de la cuenca. Para esto se va al menú Physical Properties (Propiedades Físicas) dentro del asistente, donde aparecen datos calculados como el tiempo de concentración y el área de la cuenca. Luego se modifican parámetros como Flow length (Longitud del flujo) y Average slope (Pendiente promedio) sacados del AutoCAD Civil 3D. Ver Figura 9.

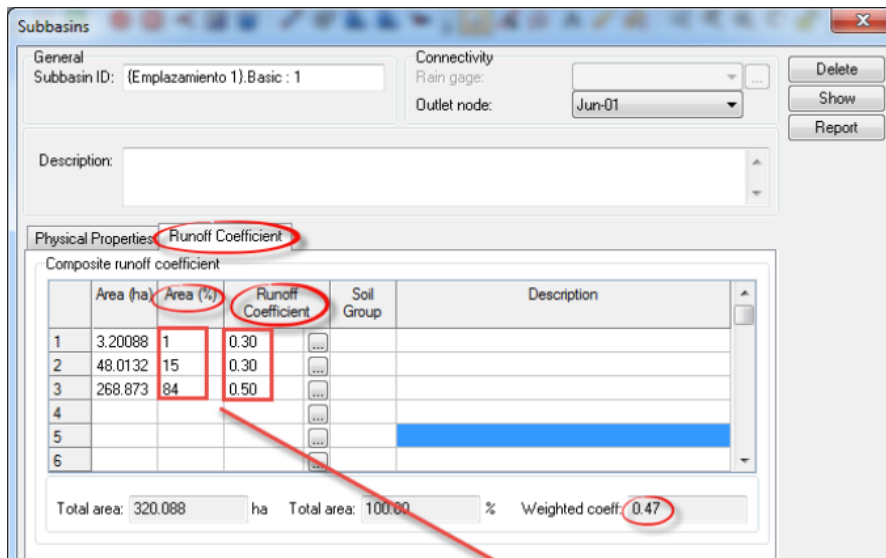


Figura 9. Asistente de propiedades físicas.

- Se termina con la página Physical Properties del asistente y se pasa a la página Runoff Coefficient (Coeficiente de escurrimiento), ahí se introduce el coeficiente de escurrimiento junto con el porcentaje que estos representan del área total de la cuenca, todo esto auxiliándose del AutoCAD Civil 3D. Ver Figura 10.

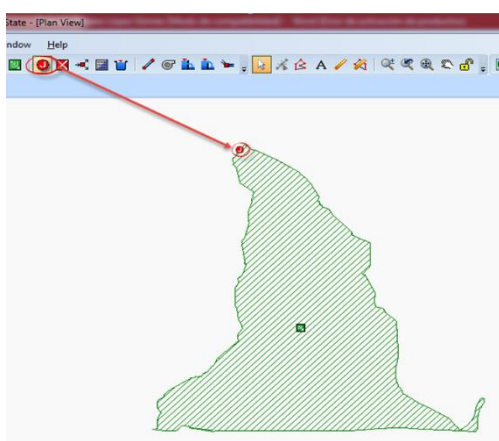


Figura 10. Página del coeficiente de escurrimiento

Configuración de los parámetros de la corrida en el SSA

1. Para establecer las configuraciones de la corrida se va a la barra Plan View, se da doble clic en Analysis Options (Opciones de Análisis) y se muestra la barra de asistencia *Analysis Options*. Dentro se selecciona la ventana General ► recuadro Date (Dato), se despliega el icono End analysis on: (Finalizar el análisis en:) y se toma una fecha de forma que el tiempo de duración de la corrida sea lo suficientemente amplio como para dejar que pase la lluvia, preferentemente un día. Ver Figura 11.

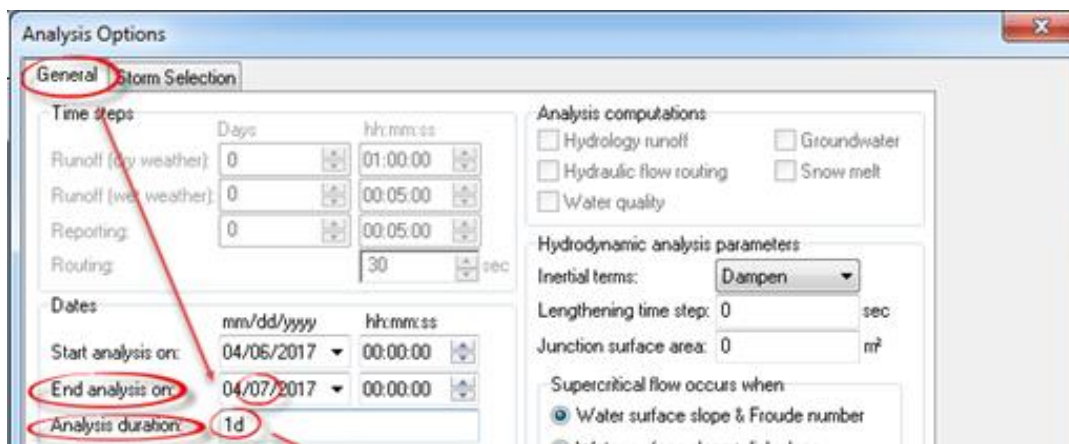




Figura 11. Duración del análisis.

Realización de la corrida

1. Para realizar la corrida, en la barra de herramienta superior del programa, se selecciona el icono Perform Analysis  (Realizar Análisis). Aparece el asistente Perform Analysis y se presiona OK.

Análisis de los resultados

1. Para obtener los resultados se va a la barra de herramienta superior del programa, se selecciona el icono Time Series Plot  (Trazar la serie del tiempo). Luego se abre una ventana llamada Time Series Plot donde aparece un gráfico del comportamiento del caudal durante todo el tiempo de la corrida, donde el punto superior de la gráfica indica el caudal máximo o avenida de diseño. En el ala derecha del software aparece una barra llamada Sistem

Runoff (Sistema del caudal), donde se muestran los valores del caudal a medida que pasa el tiempo de la corrida. Ver Figura 12.

Runoff Summary Table	
Element ID	{Emplazamiento 1}.Basic : 1
Maximum Runoff (cms)	19.32
Minimum Runoff (cms)	0.00
Event Mean Runoff (cms)	1.45
Duration of Exceedances (hrs)	N/A
Duration of Deficits (hrs)	N/A
Number of Exceedances	N/A
Number of Deficits	N/A
Volume of Exceedance (m³)	N/A
Volume of Deficit (m³)	N/A
Total Runoff (m³)	125605.64
Detention Storage (m³)	N/A

Figura 12. Gráfico de resultado .

- Para obtener el resultado definitivo se da clic derecho encima de la ventana Time Series Plot recién abierta, se abre una ventana donde se selecciona Show Summary Information (Resumen de la Información). Luego se crea en la parte inferior una tabla llamada Runoff Summary Table (Tabla Resumen del Esguerrimiento), donde se muestra el resultado deseado como el Maximum Runoff (CMS) (Máximo esguerrimiento). También se muestran otros resultados como el Event Mean Runoff (CMS) (Condición del evento de esguerrimiento o caudal a partir del cual comienza el esguerrimiento), y el Total Runoff (m³) (Esguerrimiento total o Volumen de agua total). Ver Figura 13.

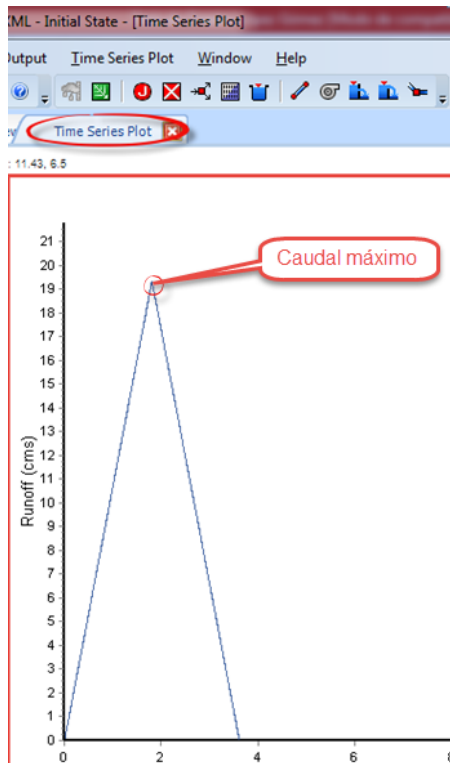


Figura 13. Resultados definitivos.

Mediante el desarrollo de esta metodología se ratifican algunas ventajas que esta brinda con respecto a los métodos tradicionales. Además, se observan cualidades de ella como la rapidez en los análisis, la vinculación entre sus objetos, la facilidad que brindan para hallar las incógnitas involucradas y además la seguridad en los cálculos. Todas estas ventajas nos aportan eficiencia, calidad y seguridad en los proyectos elaborados.

CONCLUSIONES

En Cuba existen un gran número de cuencas sin estaciones hidrométricas lo que provoca mayores errores e incertidumbres a la hora de emplear los métodos de cálculos de las avenidas de diseños. En la provincia no se utiliza ningún software que realice un proceso integrado de cálculo de las avenidas de diseños, sino que se utilizan programas de computación aislados para el cálculo de elementos específicos de los métodos involucrados. La metodología

propuesta permite al usuario de esta determinar avenidas de diseños en proyectos viales con mayor rapidez y seguridad.

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

AutoCAD Civil 3D 2014: *Aprendizajes*, Autodesk, Abril de 2013.

Autodesk Stormwater y Wastewater Solutions. Disponible en <http://usa.autodesk.com/adsk/servlet/pc/index?id=17973450&siteID=123112>

Visitado el 12 de marzo del 2017.

Design Traing Expo Storm and Sanitary Analysis in Civil 3D. Disponible en <http://www.fdot.gov/cadd/downloads/presentations/Files/BrianMorseStormAndSanitaryAnalysisInC3D.pdf>. Visitado el 16 de junio del 2017.

ESTEBAN, D.M.: *Metodología de Diseño Automatizado de Intersecciones a Nivel Usando Autocad Civil 3d*, Universidad de Ciego de Ávila Máximo Gómez Báez, 2016.

FERNÁNDEZ, H.: *Hidrología e Hidráulica para ingenieros civiles*, Ed. Universitaria Félix Valera, Ciudad de la Habana, 2012.

FIGUEREDO, L.: *Multimedia de apoyo didáctico para el aprendizaje del software Civil 3D*, Universidad de Ciego de Ávila Máximo Gómez Báez, 2014.

MIJARES, F.: *Fundamentos de Hidrología de Superficie*, México, D.F. Limusa, 1992.

TORRES, L.: *Diseño de Plantilla del Software Autocad Civil 3d para Proyectos viales configuradas según Normas Cubanas*, Universidad de Ciego de Ávila Máximo Gómez Báez, 2014.

VALDÉS, M.: *Compilación para Diseño Geométrico de Carreteras el Plan de Estudio D*, 2013.