

Aplicación del esquema hidrometeorológico para HEC-HMS en Las Coloradas

MSc. Ing. Valentina Estrada Sifontes

Empresa Raudal. INRH. Carretera vía Bayamo km. 2 ½. Holguín.

email: valentina.estrada@raudal.hlg.hidro.cu

Ing. Rafael Miguel Pacheco Moya

Departamento de Ingeniería Hidráulica. Universidad de Oriente, Sede “Julio A. Mella”,
Facultad de Construcciones, Santiago de Cuba.

email: rpacheco@fco.uo.edu.cu

RESUMEN

En Cuba existe aún poca experiencia en la aplicación del modelo matemático hidrológico HEC-HMS, enfrentándose dificultades por inconvenientes en la observación, conservación y organización de la información hidrometeorológica necesaria. En la modelación hidrológica con HEC-HMS de la cuenca Las Coloradas se aplicó a la información hidrometeorológica existente el “Esquema Hidrometeorológico Integral para HEC-HMS”, creado en el país con el objetivo de paliar dichas dificultades, proceso que posibilitó la recopilación, organización y análisis preliminar de dicha información, y determinar con qué se cuenta realmente para definir las opciones de modelación a utilizar, agilizando y aumentando la calidad de los procesos de búsqueda de información y de modelación, propósito final de esta contribución.

Palabras clave: información hidrometeorológica, modelo hidrológico HEC-HMS, modelación hidrológica.

Application of hydro-meteorological scheme for HEC-HMS at Las Coloradas

ABSTRACT

Not much experience there is in Cuba in applying HEC-HMS hydrologic-mathematical model due to difficulties for inconveniences with observation, conservation and organization of necessary basic hydro-meteorological information. An "Integral Hydro-Meteorological Scheme for HEC-HMS" created in the country with the objective to palliate these difficulties, was applied to the existing hydro-meteorological information in the hydrological modelling with HEC-HMS to Las Coloradas basin. This process allows compilation, organization and preliminary analysis of existing information in order to determine what can be really accounted for to define modeling options to be used. It also speeds up and increases the quality of the information search and modeling processes, which is the final purpose of this contribution.

Keywords: hydrometeorological information, hydrologic model HEC-HMS, hydrological modelling.

INTRODUCCIÓN

El Software HEC-HMS es un programa de simulación hidrológica para estimar los hidrógrafos de salida en una o varias subcuencas a partir de condiciones extremas de lluvia (Nanía 2007). Ha alcanzado gran popularidad en la práctica hidrológica internacional y se prevé ampliar su hasta ahora muy escasa utilización en el país mediante un proyecto del INRH para desarrollar sistemas de alerta temprana con el auspicio de agencias internacionales.

La escasa experiencia nacional en la aplicación del modelo HEC-HMS ha encontrado serios inconvenientes en su desarrollo por variadas dificultades en la observación, conservación y organización de la información hidrometeorológica básica necesaria, lo que obstaculiza su recopilación y análisis. Aspectos estos importantes en los procesos de modelación de las avenidas máximas que ocurren en las cuencas hidrográficas.

El presente artículo constituye un complemento al artículo “Modelación hidrológica con HEC-HMS en cuencas montañosas de la región oriental de Cuba” (Estrada y Pacheco 2012) y aborda el tratamiento aplicado a la información hidrometeorológica utilizada para dicha modelación. Las características del modelo, sus submodelos, métodos de cálculo, parámetros de calibración, etc., se ofrecen en el citado artículo.

Para disminuir en la práctica el efecto de las dificultades arriba expuestas, en la modelación hidrológica con HEC-HMS en la cuenca Las Coloradas se siguieron las recomendaciones del “Esquema Hidrometeorológico Integral para HEC-HMS” (Estrada 2009), creado a partir de la experiencia de su autora en el manejo de información hidrometeorológica nacional y en modelación hidrológica con el objetivo de paliar dichas dificultades. Aunque se propone su desarrollo sobre software EXCEL, el esquema no constituye un algoritmo de cálculo prefijado, sino una guía de los aspectos a analizar, cómo enfocarlos, compararlos y mantenerlos en permanente imbricación. Consta de los siguientes pasos fundamentales:

- Definición de conceptos hidrológicos básicos.
- Estudio de las características de la cuenca y la estación hidrométrica
- Caracterización de la red de observación de lluvia en la cuenca y su periferia
- Tratamiento inicial de avenidas
- Tratamiento de la pluviografía
- Determinación de tiempos característicos
- Tratamiento de las lluvias diarias
- Retorno al tratamiento de avenidas.
- Recomendaciones para la modelación.
 - Cálculo de la lluvia media diaria.
 - Transformación de la lluvia media diaria en lluvia por intervalos.

La información hidrometeorológica existente en la cuenca se recopiló en el departamento de Aprovechamiento Hidráulico de la Delegación Provincial del Instituto de Recursos Hidráulicos en la provincia de Santiago de Cuba (Durand y Armaignac 2000) y las características de los suelos se definieron por el mapa de propiedades de suelos de dicha provincia (Geocuba y MINAGRIC 2000).

A continuación se abordarán una serie de aspectos cuya integración constituyen la aplicación del esquema hidrometeorológico en la cuenca Las Coloradas. Aunque se exponen consecutivamente fue necesario el permanente solape de los mismos, lo que posibilitó el análisis integral de la información y la definición de su calidad y representatividad.

CARACTERÍSTICAS DE LA CUENCA Y LA ESTACIÓN HIDROMÉTRICA.

Características de la cuenca hidrográfica

La presente investigación se enmarca en la cuenca Las Coloradas, definida por la estación hidrométrica homónima, en el río Cauto, aguas arriba del embalse Gilbert. Se localiza en el municipio Palma Soriano, provincia Santiago de Cuba. Limita al norte, este y oeste con el resto de la cuenca del río Cauto, destacando el río Contramaestre por el oeste. Al sur limita con las elevaciones de la Sierra Maestra, nacimiento de los ríos de la vertiente sur de la provincia. La cuenca hidrográfica es ovalo-redonda, el área de captación es de 65 km², el relieve es montañoso con fuertes pendientes cuyo valor promedio es de 0,34 m/m, la altitud varía entre los 846 y 220 msnm con una altura media de 500 msnm.

La red fluvial está bien distribuida, tiene como río principal al Cauto a partir de su nacimiento en el río La Cubana, el curso más largo hasta el cierre es igual a 21.5 km. Las corrientes más importantes son los ríos La Cubana con una longitud de 10.3 km, El Diamante (afluente de la Cubana) de 4.2 km, el Cauto hasta su confluencia con La Cubana con 6.5 km y Palenque de 10.6 km. Es un sistema fluvial de 4º orden y sus ríos corren mayoritariamente de oeste a este, el coeficiente de sinuosidad es de 1,743 y la densidad de drenaje de 1.05 km/km². La pendiente media del río principal es de 0.0205 m/m.

Geología y suelos

La base geológica de la cuenca está constituida por rocas de la formación Cobre, de edad paleoceno, representadas por tobas, tufitas, andesitas, andesito-basalto y areniscas tobáceas, que son duras, de color oscuro y masivas, aunque a veces aparecen algo agrietadas. Son poco acuíferas. En la zona también aparecen las Hongolosongo (tobas, dacitas) y Cuabitas (calizas, andecitas).

Predominan los suelos pardos sin carbonatos (67.1%), le siguen los suelos esqueléticos sobre material ígneo bien drenado (21.3%), los ferralíticos rojos lixiviados (9.4%) y amarillento típico (1.1%), y por último los aluviales (1.0%). Desde el punto de vista textural los suelos que más abundan son los arcillosos y loam arenoso, sustentado sobre rocas ígneas ultrabásicas. La profundidad edafológica predominante está por debajo de los 20 cm, clasificando como suelos pocos profundos, seguidos de los medianamente profundos (20–50cm). El contenido de materia orgánica está entre el 2 y 4% (medianamente humificados).

Características de la estación hidrométrica

La estación hidrométrica Las Coloradas en el río Cauto, a 21.5 km de su nacimiento en el río La Cubana, mide las descargas de agua y sedimentos de la cuenca y comenzó a funcionar en 1969. Consta de sección de escalas, limnógrafo, 3 secciones de aforo por vadeo, sección de aforos por flotadores y sección de aforos por cable-vía. El cauce está compuesto por arena y cantos rodados y no existe vegetación en el mismo. En niveles bajos los bancos movedizos de arena provocan curvas de gasto transitorias que describen 2 ó 3 periodos en el año. El ancho del río en estiaje es de ± 4m y en avenidas ± 60 m. El gasto nulo o “cero del gráfico” presenta una cota de 216.5 msnm. El nivel máximo medido por la estación es de 676 cm con una cota de 223.26 msnm ocurrido el 25 de abril de 1979 con un caudal de 719 m³/s.

PLUVIÓMETROS Y PLUVIÓGRAFOS EN LA CUENCA Y SU PERIFERIA

En la cuenca y su periferia se cuenta con 5 pluviómetros y 1 pluviógrafo. Su distribución territorial y períodos de observación son muy heterogéneos, concentrándose la mayor parte en el cuadrante suroeste y presentando longitudes entre 2 y 48 años. El pluviógrafo 289, de ubicación aceptablemente representativa a unos 2 km aguas arriba del centro de gravedad de la cuenca, tuvo un funcionamiento muy intermitente y fue dado de baja en 1995. Ver tabla 1.

Tabla 1. Red de información de lluvia

#	No.	Altitud (m)	Año de Inicio	Año de Baja	Años Observados
1	289	360	1960	1995	34
2	1681a	560	1995	1998	2
3	1681b	365	1999	-	11
4	1111	400	1962	-	48
5	1198	800	1964	-	46
6	1586	240	1969	-	40

TRATAMIENTO INICIAL DE AVENIDAS

Se recopilaron todas las avenidas máximas anuales y mensuales observadas en la estación (lectura de escala L.E. y gasto pico), agregando los casos de avenidas en un mismo mes que superaran el valor máximo de cualquier otro, obteniéndose un total de 44 avenidas. Para definir la probabilidad de ocurrencia correspondiente a cada una de ellas, se determinó la curva de probabilidades de los gastos máximos en la estación (0.1, 0.5, 1, 5, 10, 20, 50, 75 y 95%) a partir de la serie de gastos máximos anuales; y la posición de los gastos máximos de estas 44 avenidas en dicha curva.

Teniendo en cuenta que la avenida provocada por el ciclón Flora (octubre de 1963) fue de extrema importancia para toda la región oriental de Cuba, constituyendo el nivel máximo histórico en la inmensa mayoría de las estaciones, y que la misma no fue medida en la estación Las Coloradas, se realizó la determinación aproximada de su gasto y nivel en dicha estación. Para ello se establecieron relaciones regionales del módulo del escurrimiento máximo (q , $m^3/s/km^2$) y de la probabilidad de ocurrencia del evento (p , %) en función del área de la cuenca a partir de los valores del gasto máximo del ciclón Flora determinados por las huellas de la avenida y sus correspondientes probabilidades (Bulat 1964) para 5 puntos de la cuenca del Cauto, con áreas de captación entre 138 y 8620 km^2 . Ver figura 1. A partir de dichas relaciones, expresadas por ecuaciones logarítmicas con coeficientes de correlación (r) de 0.97 y 0.82 respectivamente, se obtuvo un módulo de escurrimiento de 15 $m^3/s/km^2$ para Las Coloradas, lo que corresponde a un gasto de 978 m^3/s con una probabilidad del 1%, un nivel de 872 cm y una cota de 225.22 msnm.

Para determinar la curva teórica de probabilidades de los gastos máximos en la estación, se agregó el gasto máximo provocado por el ciclón Flora a la serie de observación. En el tratamiento estadístico se utilizaron los programas AFMULTY (Paoli et al. 1996) y PQMAX (Serrano 1980) con un total de 14 curvas probabilísticas para valores extremos, resultando la distribución teórica de probabilidad Pearson III como de mejor ajuste a los valores observados. Ver figura 2.

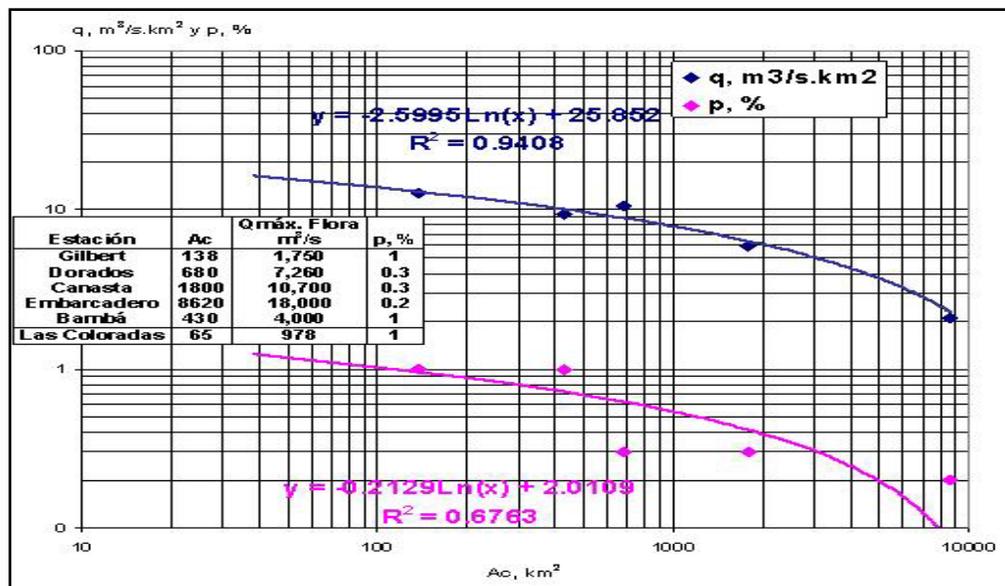


Figura 1. Relación regional del módulo de escurrimiento máximo y su probabilidad en el río Cauto durante el ciclón Flora (oct. 1963).

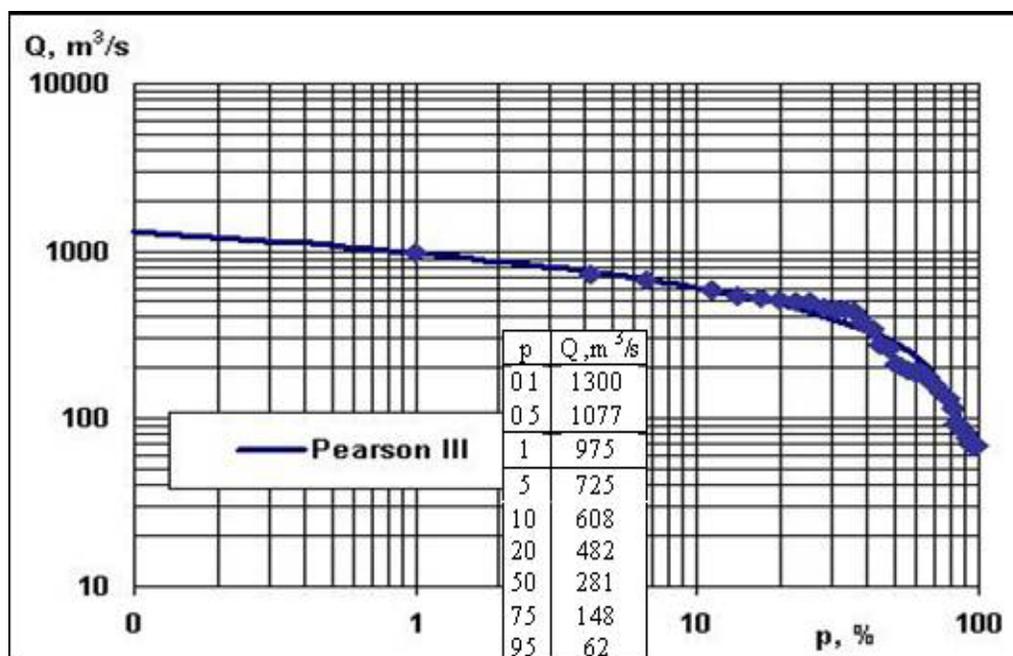


Figura 2. Curva teórica de probabilidades de los gastos máximos.

Para todas las avenidas recopiladas se determinó la existencia o no de sus hidrógrafos y de las observaciones pluviográficas y pluviométricas de las lluvias que las provocaron, definiéndose que para 37 avenidas existe pluviometría, para 27 existen hidrógrafos y sólo para 8 existe información pluviográfica.

De estas avenidas fueron escogidas las 25 más importantes teniendo en cuenta la existencia de la información arriba señalada y la magnitud de sus gastos máximos. La máxima avenida observada el 25/4/79 tiene una probabilidad de ocurrencia próxima al 5%. Ver figura 3. Se trazó para cada una el gráfico de su hidrógrafo expresado en gasto (Q , m^3/s) y nivel (H , cm), se

estableció la curva de relación entre ambos parámetros para descartar posibles errores y se analizó la complejidad de la avenida (existencia o no de varios picos) considerando la posibilidad de su modelación a partir de lluvias diarias. Se determinó que el 68 % de los hidrogramas de las avenidas tiene un carácter simple, del 32% restante sólo 2 presentan 2 picos (25/4/79 y 27/04/03) y una 3 picos (5/6/97) de magnitud comparable entre sí. En ninguno de los tres casos existen observaciones pluviográficas.

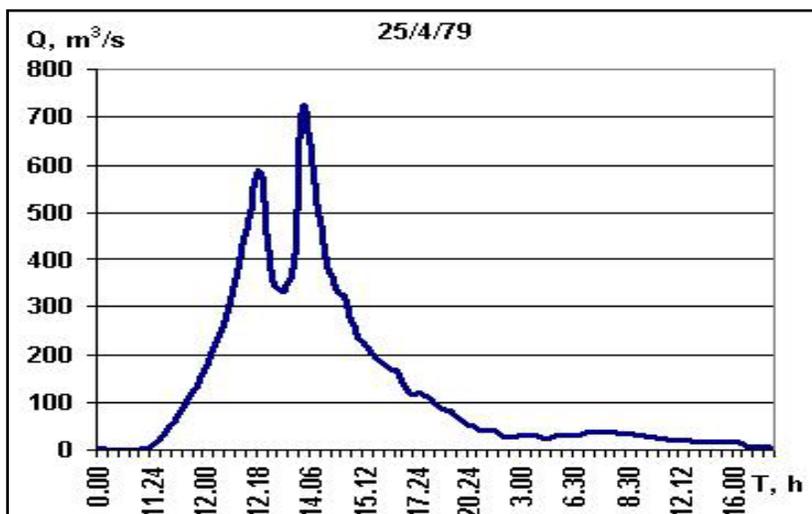


Figura 3. Máxima avenida observada.

TRATAMIENTO DE LA PLUVIOGRAFÍA

En la región oriental de Cuba la pluviografía generalmente es escasa pero la misma es muy importante para la modelación con HEC-HMS al definir la variación temporal de la lluvia. Por ello se recopilaron las descargas de los aguaceros que generaron las avenidas y se buscaron las cartas pluviográficas que estaban aún sin interpretar, realizándose el procesamiento de las mismas. De las 25 avenidas seleccionadas, sólo existen observaciones pluviográficas para 8, de las cuales dos fueron desechadas por estar incompletas y/o desplazadas en el tiempo. Aunque la calidad general de las 6 restantes es relativamente baja por mal funcionamiento del pluviógrafo (cortos períodos sin observación dentro de los aguaceros que fueron restablecidos por tendencia) y pérdida de cartas pluviográficas, fueron utilizadas al no disponerse de otra información.

Dado que la ubicación del pluviógrafo N°. 289 es relativamente cercana al centro de gravedad de la cuenca, permitió determinar el tiempo aproximado de desfasaje de la punta (T_{dp}), diferencia temporal entre el centro de gravedad del hietograma y el pico del hidrógrafo resultante, en cada avenida donde existe pluviografía. Para ello se realizaron gráficos conjuntos como el que se ejemplifica en la figura 4. La pluviografía permitió definir el día real de ocurrencia del mayor volumen de lluvia de cada avenida (determinando el total de 24h, su distribución dentro de éste período y antes del pico de la avenida), lo que facilita el análisis del comportamiento de la lluvia diaria observada en el pluviómetro. Por ejemplo, en la avenida 12/6/79 el gasto pico ocurrió a las 8:00am de ese día, aunque por la coincidencia de horario existe una buena correspondencia entre los totales pluviométricos y pluviográficos (los pluviómetros observaron totales entre 150 y 212 mm y el pluviógrafo observó 189 mm desde las 8:00 am del 11/6/79 hasta las 8:00 am del 12/6/79) se pudo establecer una distribución temporal

donde sólo el 24% del total de lluvia ocurrió el 11/6/79 y el 75% entre las 0:00 h y las 8:00 am del 12/6/79, hora de lectura de los pluviómetros y de ocurrencia del pico de la avenida .

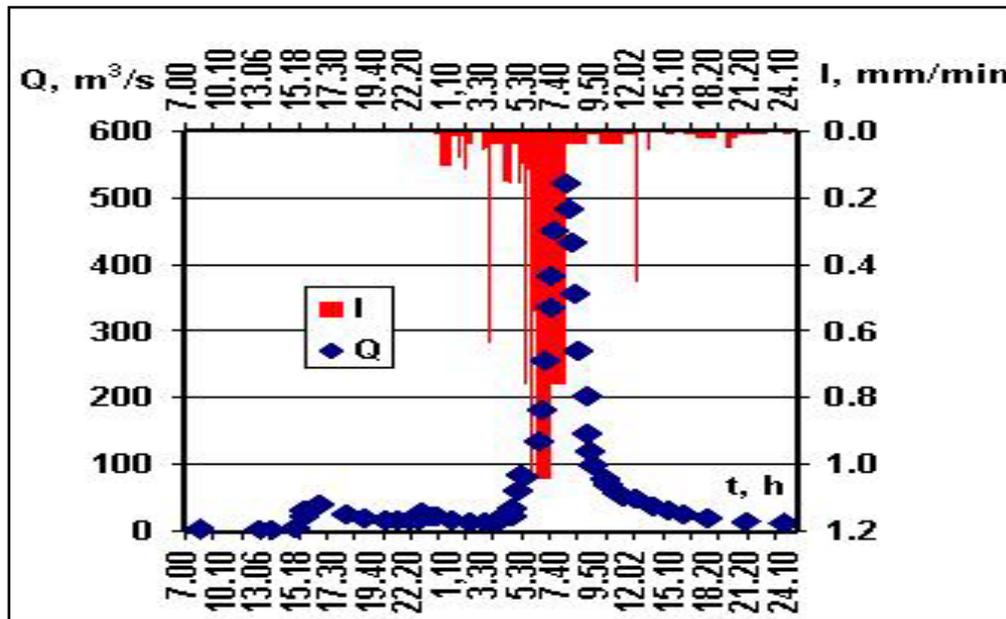


Figura 4. Hietograma e hidrógrafo. Avenida 12/6/79.

Se determinaron, además, las mayores intensidades observadas durante dichas 6 avenidas, que variaron entre 0.97 y 2.9 mm/min, con duraciones entre 6 y 55 min para 5 casos, alcanzando en uno (15/08/81) un valor de 4.5 mm/min pero solo durante 2 min, siendo muy bajas las restantes intensidades del aguacero (esta avenida ocupa, por su gasto máximo, la posición 36 de las 44 observadas). Se definió también la posición temporal más común de la intensidad máxima dentro del aguacero, resultando centrada en los 6 casos.

TIEMPOS CARACTERÍSTICOS

Entre los especialistas aún existen divergencias en cuanto a los conceptos y aplicación de los tiempos característicos. Los más comunes son Tiempo de recesión (T_r), de demora (T_d), de viaje (T_v), de punta (T_p), de desfase de la punta (T_{dp}) y mediano (T_m). Sin embargo, el más utilizado es el Tiempo de concentración (T_c) que suele definirse como (Ferrer Polo 1993): el tiempo necesario para que, con una lluvia neta uniforme, la totalidad de la cuenca contribuya al hidrograma de escorrentía superficial.

Para el caso de estudio se determinó el tiempo de concentración (T_c) para la cuenca unitaria y por subcuencas de manera empírica por 4 métodos de cálculo: los conocidos como de California y de Ramser-Kirpich (Dorticós 1984), el propuesto por J.R. Témez (Ferrer Polo 1993) y el propuesto por Chow et al. (1994), tomándose como definitivo el promedio de los resultados concordantes con las características de la cuenca. Los valores de T_c correspondientes al método de Témez resultaron excesivamente altos para la cuenca en estudio y fueron desechados. El T_c para la cuenca total se obtuvo igual a 2.8 h y para el centro de gravedad de la misma igual a 1.8 h. La determinación de dicho centro de gravedad se realizó por el camino más largo del flujo y para el área total de la cuenca, adoptando el segundo como definitivo.

A partir de la escasa pluviografía existente y el análisis de los gráficos conjuntos de hietogramas e hidrógrafos (Ver ejemplo en la figura 4) se determinó el Tdp obteniendo, para las 6 avenidas utilizadas, un valor promedio de $Tdp=1.4$ h, que varió entre 1.7 y 0.9 h.

TRATAMIENTO DE LAS LLUVIAS DIARIAS

Como ya se expuso, la común escasez de observaciones pluviográficas obliga a acudir a las lluvias diarias observadas en la red pluviométrica para la modelación de las avenidas. Se recopilaron las series de lluvia máxima diaria anual para cada equipo y se determinaron los valores de las bajas probabilidades para conocer la probabilidad de las lluvias diarias que originaron las 25 avenidas seleccionadas. En el tratamiento estadístico se utilizaron los programas AFMULTY (Paoli et al. 1996) y PQMAX (Serrano 1980), aplicando un total de 14 curvas probabilísticas para valores extremos, resultando la distribución teórica de probabilidad Tipo I de Gumbell como de mejor ajuste a los valores observados.

La lluvia diaria se lee a las 8 am y debe anotarse el día que se leyó, así, hay que dilucidar en que día cayó la mayor parte de la lluvia que provoca una avenida (tabla 2), para ello es necesario analizar la pluviometría de conjunto con la pluviografía cuando existe, el tiempo de concentración de la cuenca (T_c), el tiempo promedio de desfasaje del pico (T_{dp}) en caso que se conozca, y el tiempo de ocurrencia del pico del hidrógrafo (T_p).

En la región oriental existen dificultades con la fecha de anotación de la lluvia debido a:

- El observador la anota el día anterior a la lectura por considerar que fue cuando llovió (lo que puede ser real o no pero no responde a lo normado).
- Mala interpretación, del personal técnico que llena los expedientes pluviométricos, de orientaciones recibidas para ejecutar otros trabajos con lluvia, por lo que también la desplazan al día anterior (habrá casos en que ya quede desplazada 2 días).
- Intentos mecánicos de corregir estos errores que provocan otros (desplazamiento hacia delante de lluvias bien anotadas).
- Por error humano puede desplazarse en cualquier dirección.
- Todo este manejo se realiza individualmente para cada pluviómetro y no por cuencas o regiones, en diferentes momentos de tiempo y por diferente personal, lo que provoca una gran heterogeneidad del fenómeno.

Para mitigar las consecuencias de estas dificultades se recopiló la lluvia diaria varios días antes y después (5 y 3) de los días que duró cada avenida, se realizó un análisis lógico particularizado por equipo del comportamiento de los parámetros T_p , $T_c=2.8$ h y $T_{dp}=1.4$ h; y se realizó la adecuación temporal de la lluvia diaria que provocó cada avenida estableciendo aproximadamente el día real de ocurrencia de dicha lluvia y corriéndola a la fecha correspondiente.

Se ofrecen algunos ejemplos en la tabla 2. Como se observa, el corrimiento de la lluvia diaria no siempre fue homogéneo para todos los equipos de la cuenca en cada avenida y en algunos casos no fue necesario hacerlo, también se eliminaron algunos datos por mala calidad. Del total recopilado fueron desechados 2 casos por su complejidad: uno con avenidas consecutivas imposibles de delimitar entre sí y otro con un hidrógrafo de 3 picos en una avenida de 30 h de duración, en ambos casos se haría muy difícil la modelación a partir de lluvias diarias. Para las restantes avenidas, colocada la lluvia diaria con su posición del tiempo pico real, se determinó su promedio aritmético como se muestra en la tabla 2.

RETORNO AL TRATAMIENTO DE AVENIDAS.

Realizado el análisis de todos los elementos, se eliminaron las avenidas que no pueden ser usadas por no contarse con hidrógrafo o con pluviometría, o ser muy complejas y no contarse con pluviografía.

Se estableció la correlación entre los gastos máximos y las lluvias promedio que los generaron. La misma se caracteriza por no tener altos coeficientes de correlación debido a la disímil naturaleza de ambos elementos pero se aprecia una tendencia que posibilita definir aproximadamente la representatividad de la lluvia total de 24 h observada en los pluviómetros (eliminandose las avenidas que resultan no representadas) y el grado de humedad antecedente. Ver figura 5.

Tabla 2. Adecuación temporal de la lluvia

Mes y Año	Día	Tp h:min	Lluvia en fecha anotada (mm)					Lluvia en fecha real (mm)					
			Pluviómetros										
			289	1681a	1198	1111	1586	289	1681a	1198	1111	1586	Ppr.
4/79	25	14:0		Sin Obs.				300	Sin Obs.	286	350	350	322
	26		300		286	350	350	98		51	50	39	
	27		98		51	50	39						
6/79	11		7	Sin Obs.	8		19	7	Sin Obs.	8		19	
	12	8:0	150		212	150	202	150		212	150	202	178
	13		56		12		5	56		12		5	
6/97				Sin Obs.	117	14	9	Sin Obs.	5	Sin Obs.		9	
	4		308		143	146	58		117		146	58	
	5	9:1	165		24	155	247		308		155	247	237
	6		65		25	96	122		165		96	122	

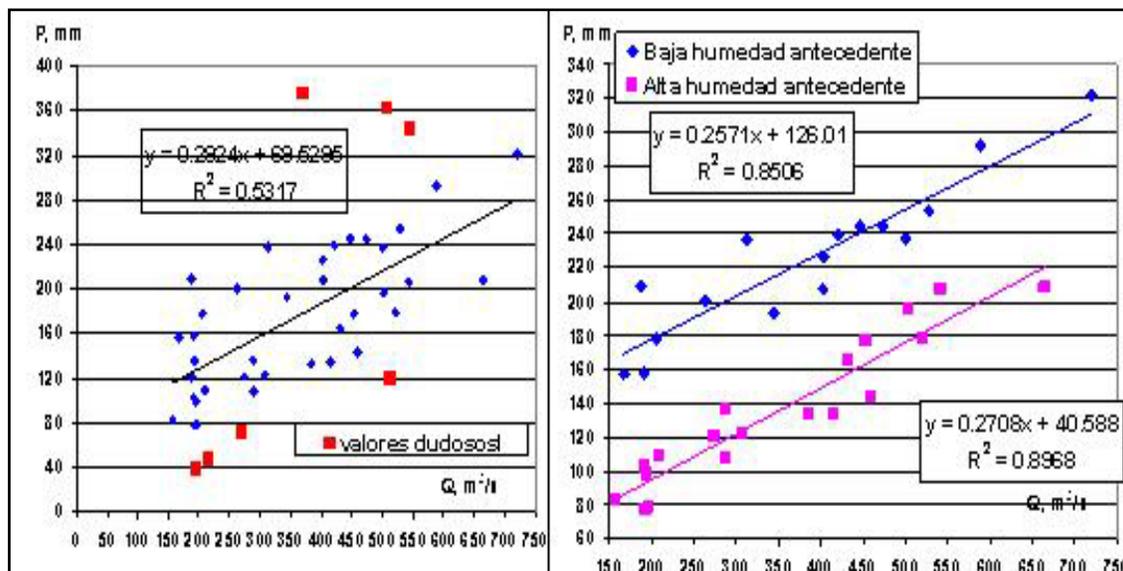


Figura 5. Correlación entre el gasto máximo y la lluvia promedio

Luego de este proceso quedaron 15 avenidas con posibilidades de ser modeladas incluyendo las 6 que cuentan con observación pluviográfica. De ellas se escogen dos que se consideran las más representativas, a partir de la información existente y sus probabilidades de ocurrencia, para la modelación de avenidas en la cuenca de la estación hidrométrica Las Coloradas y comenzar el desarrollo de experiencias en la modelación con HEC-HMS en cuencas montañosas de la región oriental de Cuba.

Las avenidas seleccionadas fueron:

1. La ocurrida el 12 de junio de 1979 que reporta el mayor gasto máximo de las 6 avenidas que cuentan con pluviogramas. Tiene una probabilidad aproximada del 20% (figura 4) y está condicionada por una alta humedad antecedente. Aunque es una avenida de corto período de retorno (5 años) la existencia de pluviografía posibilitará establecer comparaciones entre las modelaciones a partir de pluviogramas y lluvias diarias y adquirir experiencias de aplicación del modelo en las condiciones comunes de ausencia de los primeros.
2. La que reporta el mayor gasto máximo observado en la estación el 25 de abril de 1979, con una probabilidad de ocurrencia del 5% (figura 3) y condicionada por una baja humedad antecedente. La misma presenta 2 picos y solo cuenta con observaciones de lluvia diaria por lo que será modelada su tendencia general. Posibilitará modelar una avenida de baja repetición (20 años) y aplicar las experiencias obtenidas del caso anterior.

CÁLCULO DE LA LLUVIA MEDIA DIARIA.

Para la obtención de la lluvia media diaria en dichas avenidas se empleó la extensión Thiessen Polygons v.2.6 del Arcview 3.3, la cual, luego de introducir los pluviómetros en la cuenca, realiza el trazado de los polígonos por el método de Thiessen. Una vez definidos los polígonos se obtuvieron los coeficientes de ponderación de cada pluviómetro en la cuenca y con ello se determinó la lluvia media ponderada para cada avenida (tabla 3).

Tabla 3. Coeficientes de ponderación de los pluviómetros

pluviómetros	289	1111	1198	1586	25-04-79	12-06-79
					Pmed.(mm)	
Pesos por equipos (%)	40	28	7	25	326	167

TRANSFORMACIÓN DE LLUVIA MEDIA DIARIA EN LLUVIA POR INTERVALOS.

La transformación de la lluvia media diaria ponderada en la cuenca para cada avenida, en lluvia no acumulada para intervalos de 1 h, se realizó con aplicación del programa TableCurve 2D v 5.01.05 (Systat Software Inc. 2002) a partir de la Curva de Acrecentamiento de la Lámina para la Región Montañosa de Oriente (Trusov 1986) en función de la probabilidad de la avenida (figura 6).

Los hietogramas descendentes obtenidos fueron reordenados en función de la ocurrencia de la intensidad máxima al centro de aguacero, tal como se determinó en la sección anterior “Tratamiento de la pluviografía”, e introducidos al HEC-HMS para la modelación de dichas avenidas.

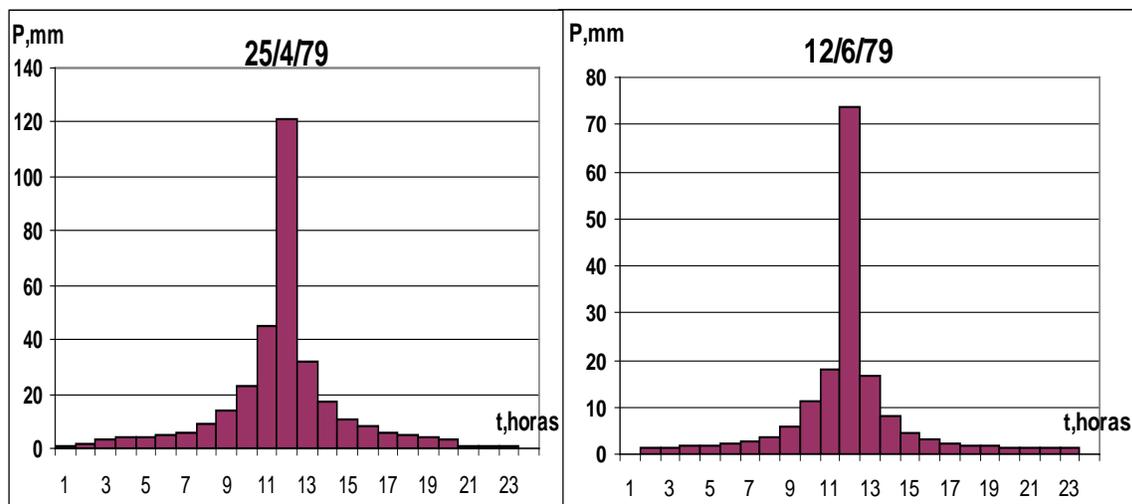


Figura 6. Pluviogramas en intervalos de 1h.

MODELACIÓN

El tratamiento aplicado a la información hidrometeorológica posibilitó realizar la modelación hidrológica de la cuenca Las Coloradas con el modelo HEC-HMS cuyas características, submodelos, métodos de cálculo, parámetros de calibración, etc., como se planteó en la introducción, se ofrecen en el artículo “Modelación hidrológica con HEC-HMS en cuencas montañosas de la región oriental de Cuba” (Estrada y Pacheco 2012), al cual es complementario el presente artículo.

A modo ilustrativo se ofrecen a continuación las variantes del submodelo meteorológico del HEC-HMS aplicadas a las 2 avenidas seleccionadas y 2 ejemplos gráficos de las calibraciones realizadas (figura 7).

Avenida 12/6/79

Variantes y subvariantes aplicadas en el submodelo meteorológico:

1. Hietograma especificado.
 - 1.1. Hietograma real observado en el pluviógrafo.
 - 1.2. Hietograma de la lluvia diaria promedio.
 - 1.2.1. Hietograma distribuido en las 24h de la fecha de ocurrencia de la avenida.
 - 1.2.2. Desplazado con respecto al pico en un tiempo igual al $T_c=2.8$ h.
 - 1.2.3. Desplazado en un tiempo igual al T_{dp} promedio=1.4h.
2. Pluviómetros con peso.
3. Tormenta de frecuencia.
4. Tormenta del SCS Tipo III (correspondiente a la península de la Florida).

Avenida 25/4/79

Variantes aplicadas en el submodelo meteorológico:

1. Hietograma especificado de la lluvia diaria promedio desplazado en un tiempo igual al T_{dp} promedio =1.4h.
2. Tormenta de frecuencia.
3. Tormenta del SCS Tipo III.

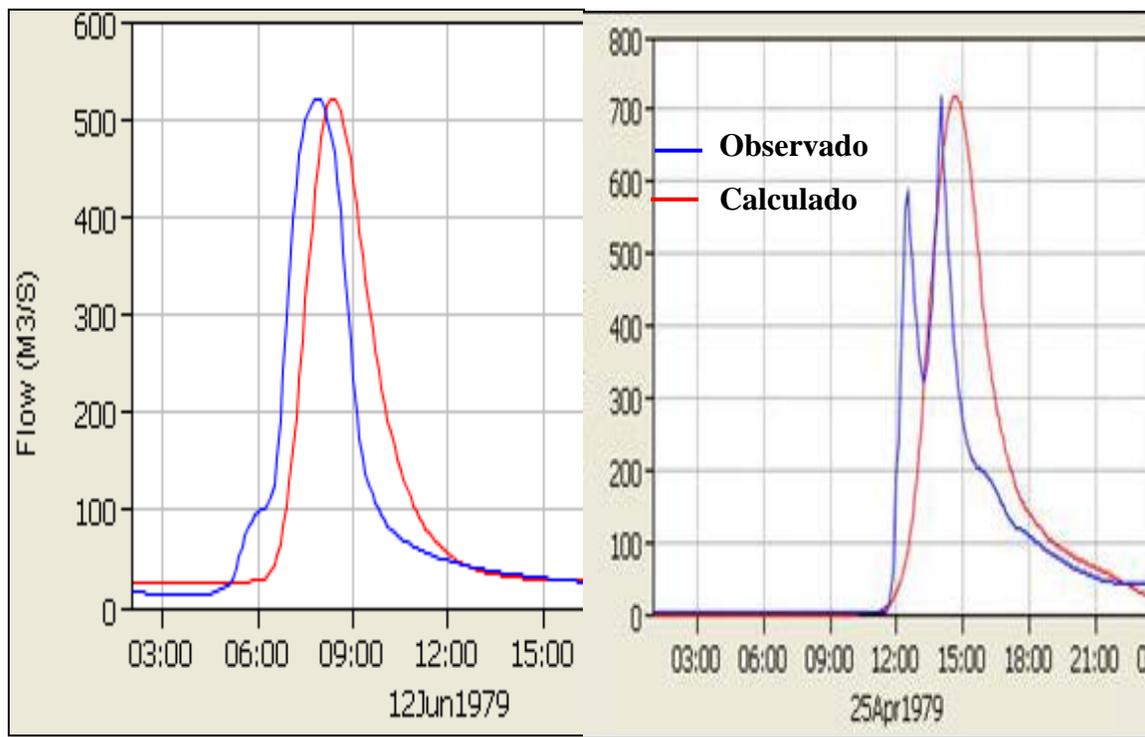


Figura 7. Gráficos comparativos.

**Avenida 12/6/79 Resultado de la calibración con la variante 1.1,
Avenida 25/4/79 Resultado de la calibración con la variante 1.**

La aplicación de todas estas variantes del submodelo meteorológico a la avenida 12/6/79, con hietograma real observado (var. 1.1), posibilitó definir que, en ausencia del mismo, el submodelo meteorológico más representativo es el hietograma obtenido a partir de la transformación de la lluvia diaria promedio en lluvia por intervalos y desplazado en un tiempo igual al Tdp promedio (var. 1.2.3). La modelación de avenidas de varios picos, como la de 25/4/79, es muy difícil en ausencia de hietogramas reales. Sólo unas pocas combinaciones de los métodos ofrecidos por los diferentes submodelos del HEC-HMS son capaces de representar su comportamiento general de manera satisfactoria. Los modelos Tormenta de frecuencia y del SCS pueden ser utilizados en la modelación de avenidas de cálculo de una probabilidad determinada o donde no exista un interés específico en la definición del tiempo de ocurrencia del gasto pico.

CONCLUSIONES

1. Los serios inconvenientes existentes en la observación, conservación y organización de la información hidrometeorológica básica pueden ser reducidos con la aplicación del “Esquema Hidrometeorológico Integral para HEC-HMS”.
2. Las relaciones regionales del módulo del escurrimiento máximo y la probabilidad para el ciclón Flora (oct. de 1963) arrojaron que, para la cuenca Las Coloradas, el gasto máximo aproximado fue de 978 m³/s, con una probabilidad del 1%.

3. De las 25 avenidas más importantes se determinó que el 68 % de las mismas tiene un carácter simple, del 32% restante sólo 2 presentan 2 picos (25/4/79 y 27/04/03) y una (5/6/97) 3 picos con gastos de magnitud comparable entre sí.
4. El análisis de la pluviografía permitió definir el día real de ocurrencia del mayor volumen de lluvia de cada avenida para los casos con dicha observación, las mayores intensidades observadas y, en general, la posición temporal más común de la intensidad máxima dentro del aguacero y el Tdp promedio.
5. Ante la escasez de pluviografía es definitorio el tratamiento de la lluvia diaria observada en 24 h con un análisis lógico de la misma, particularizado por pluviómetro, para establecer la fecha real de ocurrencia del mayor volumen de lluvia que provoca la avenida.
6. La relación de gastos máximos y lluvias promedio que los generaron, aunque aproximada, es importante para analizar la calidad del dato y posibilita calificar la humedad antecedente.
7. En ausencia de hietogramas observados, éstos pueden ser reconstruidos a partir de la lluvia media diaria por cuencas o subcuencas y deben ser desplazados con respecto al pico del hidrógrafo en un tiempo igual al Tdp de la avenida, si este se desconoce se puede utilizar el Tc calculado a partir del centro de gravedad.
8. Del análisis realizado fueron seleccionadas las dos avenidas más representativas para la modelación con HEC-HMS en la cuenca Las Coloradas dada la información existente y sus probabilidades de ocurrencia. Estas fueron la del 12/6/1979 con un $Q= 521 \text{ m}^3/\text{s}$ y una probabilidad del 20%, la de mayor magnitud de las que cuentan con pluviograma; y la del 25/4/1979 con un $Q= 719 \text{ m}^3/\text{s}$ y una probabilidad de ocurrencia del 5%, la de mayor magnitud observada en la estación.
9. El tratamiento aplicado a la información hidrometeorológica posibilitó realizar la modelación de la cuenca Las Coloradas con aplicación del submodelo meteorológico del HEC-HMS en diversas variantes que aportaron experiencias a la aplicación del mismo en una cuenca montañosa de la región oriental de Cuba.

REFERENCIAS

- Bulat, B. G.** (1964). "Avenidas catastróficas en las provincias orientales de Cuba del 4 al 8 de octubre de 1963", EIPH Raudal, Holguín, Cuba.
- Chow, V. T.; Maidment, D. R. and Mays, L. W.** (1994). "Hidrología Aplicada." McGraw-Hill, Bogotá, Colombia.
- Dorticós, P.** (1984). "Consideraciones acerca de los cálculos hidrológicos para pequeñas cuencas. Utilización del método en las condiciones de Cuba", Voluntad Hidráulica, No. 63, La Habana.
- Durand, M. T. y Armaignac, A. D.** (2000). "Estudio hidrológico de la cuenca Las Coloradas", Departamento de Hidrología, INRH, Santiago de Cuba.
- Estrada, V.** (2009). "Esquema Hidrometeorológico Integral para HEC-HMS". Ponencia XVI Fórum de Ciencia y Técnica. EIPIH Raudal, Holguín, Cuba.

- Estrada, V y Pacheco, R.** (2012). “Modelación hidrológica con HEC-HMS en cuencas montañosas de la región oriental de Cuba”, *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, Vol. 33, No. 1, pp. 94-105, La Habana.
- Ferrer Polo, F. J.** (1993). “Recomendaciones para el Cálculo Hidrometeorológico de Avenidas”, Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas, Madrid.
- Geocuba y MINAGRIC.** (2000). “Mapa de propiedades del suelo de la provincia de Santiago de Cuba.” Delegaciones provinciales de Santiago de Cuba de Geocuba y el Ministerio de la Agricultura .
- Nanía, L. S.** (2007). “Manual Básico de HEC-HMS 3.0 y HEC-GEO-HMS 1.1.” Universidad de Granada, Dpto. de Mec. de Estructuras e Ingeniería Hidráulica, Área de Ingeniería Hidráulica. España.
- Paoli, C.; Cacik, P. y Bolzicco, J.** (1996). “Análisis de frecuencia de variables hidrológicas.” Maestría de Ingeniería en Recursos Hídricos y curso para graduados. Hidrología Estadística, Universidad Nacional del Litoral, Santa Fe, Argentina.
- Serrano, J. L.** (1980). “Programa PQMAX para la determinación de lluvias o gastos máximos”, Dpto. de Estudios Hidrológicos, INRH, La Habana.
- Systat Software Inc.** (2002): “Help Topics”. TableCurve 2D version 5.01.
- Trusov, I.** (1986). “Intensidades máximas de las precipitaciones en las regiones naturales de Cuba.” Instituto de Geografía, La Habana.