

# Consideraciones prácticas sobre las curvas IFD

## INTRODUCCIÓN

En los países subdesarrollados la situación que existe con la información pluviométrica y pluviográfica no es muy favorable debido a las condiciones económicas y de desarrollo de los mismos. Es muy usual que se encuentren varios pluviómetros instalados y pocos pluviógrafos. Ahora bien, la información que se obtiene de los segundos debe ser interpretada por un especialista.

Esto puede ser un problema debido a que no se cuenta con el personal adecuado para la interpretación de las cartas pluviográficas, por lo que esta valiosa información puede estar almacenada y no siendo utilizada para el estudio de las lluvias máximas, que es de mucha importancia en la determinación del caudal de diseño de diversas obras hidráulicas, o para el pronóstico de inundaciones.

En la República de Cuba se cuenta con una información pluviográfica adecuada o de buena calidad en general, desde los primeros años de la década del 60, cuando a partir de la creación del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH) fue instalada la Red Pluviográfica Nacional, hasta 1985, año a partir del cual esta actividad comenzó un período de dificultades que afectó su gestión y mantenimiento y que se fue acrecentando en el tiempo. En la actualidad existe muchísima información pluviográfica sin procesar debido en parte a la falta de especialistas para la interpretación de las cartas y también debido al tiempo que consume llevar la información del papel a formato digital.

Debido a esto se ha ideado un procedimiento basado en las técnicas informáticas que es capaz de convertir la información pluviográfica en curva de masa, para a partir de aquí comenzar el procesamiento estadístico de las lluvias máximas.

De lo que se trata en esta propuesta es de aprovechar la información pluviográfica almacenada y disponible en todo el país para su procesamiento y transformación en

## Resumen / Abstract

*Se aborda el procesamiento de las lluvias máximas para la confección de las curvas de intensidad, duración y frecuencia de tormentas (curvas IFD). Para ello se utiliza una metodología propuesta por Cruz Gámiz (1998). Las cartas pluviográficas se procesan utilizando técnicas de tratamiento de imágenes empleando un scanner de alta resolución o cámara digital de cuatro megapixels o más y un programa para digitalización de imágenes. Luego se convierte el dato digitalizado a la información de lluvia mediante un programa de cálculo específico para esta aplicación confeccionado en Visual Basic. De esta forma la base de datos almacenada en los soportes originales de papel, procedentes de pluviógrafos tradicionales existentes, es traspasada a soporte digital y postprocesada para obtener de ella toda la información necesaria.*

**Palabras claves:** Curvas IFD, lluvias máximas, cartas pluviográficas.

*Maximum storm rainfall is processed to obtain frequency-intensity-duration (FID) curves. The proposed methodology by Cruz Gámiz (1998) is applied here. Original rain gauge recorder cards are processed by means of image treatment techniques with a high resolution scanner or a digital camera of at least four megapixels and an image digitizer software. Then the digitized data is converted into rain information through a Visual Basic software specifically designed for this application. In this way the databases contained in the original paper supports, coming from existing traditional rain gauge recorders is transformed into digital support and post processed to obtain all the information needed to calculate FID curves.*

**Keywords:** duration curves, maximum rainfall, rain gauge recorder card.Z

herramientas útiles para el desarrollo y la investigación en el campo de los recursos hidráulicos, antes de que se pierda definitivamente.

Con la información recopilada se impone su digitalización y así contar con una base de datos disponible para cualquier estudio hidrológico. Otro aspecto importante y que sería un gran paso de avance en la Hidrología en Cuba sería primeramente obtener las curvas IFD para cada equipo y cuenca hidrográfica finalizando con las regiones. Resultará priorizado el estudio de las curvas para las cuencas hidrográficas de mayor interés.

## **OBJETIVOS**

Mostrar la metodología utilizada convencionalmente para la obtención de las curvas Intensidad, Frecuencia y Duración (IFD), con aclaraciones prácticas.

Proponer un procedimiento basado en técnicas informáticas que posibiliten salvar digitalmente y en un tiempo relativamente breve, la voluminosa y valiosa información pluviográfica de lluvias máximas, que existe en soporte duro (papel) en todo el país.

## **ANTECEDENTES**

La precipitación constituye la variable del ciclo hidrológico que goza de más atención. En parte se debe a su naturaleza aleatoria, pero también a que es la responsable en mayor peso de la formación de los escurrimientos máximos y con ellos se producen las inundaciones.

Nuestro país a menudo es azotado por ciclones y huracanes que provocan lluvias máximas, lo que implica pérdidas enormes en la economía. Debido a esta situación el organismo rector de la actividad hidráulica en Cuba (INRH), ha tomado como acuerdo llevar a cabo una serie de proyectos de alcance nacional para el estudio de las variables del ciclo hidrológico, de las lluvias máximas, de forma individual, y de las inundaciones en cuencas de máxima prioridad nacional. Esto es sólo un comienzo ya que se piensa, en dependencia de los recursos económicos, extender estos proyectos al resto de las cuencas cubanas.

La precipitación frecuentemente es definida por tres variables, estas son: la magnitud, expresada en lámina, la duración y la frecuencia o probabilidad de ocurrencia que puede también representarse por el periodo de retorno. Una herramienta muy útil para ver la combinación de estas magnitudes son las curvas de Intensidad, frecuencia y duración (IFD).

En Cuba se han realizado diversos estudios para la obtención de estas curvas, pueden destacarse los siguientes:

"Curvas Intensidad Frecuencia Duración de la Ciudad de la Habana" Cernuda, J (1982)

"Metodología para el cálculo de la intensidad-frecuencia-duración de las lluvias en Cuba" Pérez, O (1983)

"Curvas Intensidad-frecuencia-duración, de precipitaciones en Violeta, Ciego de Avila" López, A y Medina, N (1986)

"Curvas Intensidad-frecuencia-duración de la zona de Ciro Redondo, Ciego de Avila" López, A y Medina, N (1987)

"Curvas Intensidad-frecuencia-duración, de precipitaciones en la zona de Falla, Ciego de Avila" López, A y Medina, N (1989)

"Curvas Intensidad-Frecuencia-Duración y métodos de gastos máximos" Cruz, M y Peralta, A (1989)

"Curvas IFD" Carmona, L (1992)

"Curvas IFD" Miranda, J y Sosa, L (1993)

"Obtención de curvas IFD" González, L (1993)

"Curvas IFD en la provincia de Matanzas" Chávez, R (1994)

"Curvas IFD" Vega Ramírez, I (1994)

"Obtención de las curvas IFD en regiones habaneras" Díaz, A y Fernández, N (1995)

"Obtención de curvas IFD" González, L (1996)

"Curvas Intensidad Frecuencia Duración. Pinar del Río. Brito, M y Fernández, I. (1996)

"Obtención de curvas IFD de forma automatizada" González, L (1997 a)

"Obtención de curvas IFD en provincias habaneras" González, L (1997 b)" Obtención de curvas IFD" Cruz, M (1997)

"Análisis de lluvias máximas" Cruz, M (1998)

"Análisis de las lluvias máximas en la Isla de la Juventud" Díaz, O (1998)

Existe un programa elaborado por Cruz (1997) que realiza el procesamiento de los aguaceros para obtener las curvas IFD. Este software tiene el inconveniente que hay que teclear los datos de las cartas pluviográficas para cada uno de los aguaceros procesados durante los años analizados, lo que hace muy lento el trabajo, además que puede incluir errores al entrar los datos.

Debido a lo anteriormente expuesto se necesita de una herramienta informática que permita recuperar los abundantes y valiosos datos de las cartas pluviográficas que están en formato duro (papel), a formato digital para así agilizar el proceso de obtención las curvas IFD en las zonas donde no existen, y poder actualizar las existentes, de manera más sencilla.

## **OBTENCIÓN DE LA INFORMACIÓN**

### **PLUVIOGRÁFICA EN FORMATO DIGITAL**

Para la obtención de la variable precipitación se cuenta con dos equipos: pluviómetros y pluviógrafos. Los primeros brindan la lámina de lluvia acumulada en 24 horas, mientras que los segundos muestran un gráfico de la variación de la lluvia en el tiempo.

Contar con una red pluviográfica densa es de vital importancia para el estudio de la precipitación, sobre todo cuando nos centramos en el estudio de eventos extremos máximos.

La carta pluviográfica debe ser interpretada por los especialistas, pues el equipo sólo registra hasta 10 mm de lluvia y se pueden presentar tormentas con una lámina mayor. Para obtener la curva de masa de cada aguacero y con ella empezar el laborioso estudio de las relaciones entre las magnitudes que caracterizan la precipitación, se necesita de un procedimiento más preciso que evite los errores humanos a la hora de extraer la información de las bandas pluviográficas.

Para el procesamiento de las cartas pluviográficas existentes se ha preparado una técnica basada en las posibilidades del procesamiento digital de la información. Para este trabajo se han desarrollado los siguientes pasos:

Un especialista revisa cada carta y ubica en ellas de forma visible los puntos de inflexión de la curva lluvia-tiempo, figura 1a, o sea se interpreta la carta de manera tradicional.

Se obtiene la imagen digital de cada carta empleando un scanner (300dpi o más) o una cámara digital sobre soporte (4 Mpixel o más).

La imagen se digitaliza empleando un programa especializado para tales fines. En este caso se empleó el Surfer de la Golden Software. La digitalización es muy simple ya que solo es necesario precisar los puntos notables de la carta. El fichero con la información digital se salva en un formato texto para poderlo procesar de forma rápida y eficiente en el siguiente paso.

Mediante un programa de cálculo, preparado para esta finalidad, basado en la Hoja de Cálculo Excel y empleando macros en Visual Basic se procesa la información del fichero texto anterior y se obtienen varios parámetros del aguacero interpretado, como la curva de masa y el histograma, figura 1b.

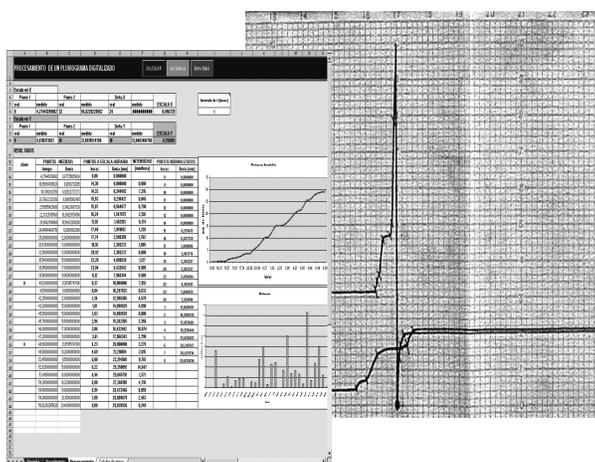


Figura 1.- (a) Carta pluviográfica interpretada(fondo), (b) Hoja Excel que muestra la curva de masa y otros parámetros obtenidos en el procesamiento (delante)

El procedimiento ha posibilitado disponer en muy corto tiempo de una gran cantidad de información acumulada, además poder procesar con facilidad información, que por descuidos en su conservación, ha sufrido deterioro.

## METODOLOGÍA PARA LA CONFECCIÓN DE LAS CURVAS IFD. (CRUZ, GÁMIZ, 1998)

La metodología que se expone a continuación contaba con algunas imprecisiones que han sido corregidas, además ha sido aclarada para la más fácil comprensión de los especialistas.

Pasos a seguir para la confección de las curvas IFD:

### [1] Selección de los aguaceros de interés.

Primeramente se deben seleccionar las estaciones pluviográficas. Se deberán seleccionar aquellas que tengan mayor número de años de registros y periodicidad.

Se plantea que una serie con coeficiente de variación,  $C_v$ , menor de 0.20 indica una longitud aceptable de la serie anual de lluvia, sin embargo si el  $C_v$  supera el valor de 0.25, este resultado arroja la conclusión que la serie de anual de precipitación es muy corta para obtener estimaciones confiables (Campos, 1992). Otro criterio indica que una serie de 25 años de registro en adelante se puede considerar una serie larga de observaciones, no siendo así para las que no alcanzan este valor.

Estudios realizados en las provincias Habaneras demostraron que no se necesita procesar todos los aguaceros, sino aquellos que tengan una lámina acumulada en 24 horas mayor de 30 mm. Se ha demostrado que los resultados de intensidades máximas son iguales, cuando se toman las lluvias mayores de 30 mm que cuando se incluyen todas las lluvias del año. No ocurre lo mismo si se toman sólo las lluvias mayores de 60 mm en cuyo caso se producen importantes imprecisiones para los tiempos pequeños. Sin embargo en la Ciudad de Oruro, Bolivia la lámina límite es de 15 mm. Para la obtención de estos valores es preciso procesar una muestra de aguaceros considerando varios valores límites y comparar los resultados, para así encontrar, por encima de que valor, se consideran lluvias máximas para ser procesadas en la obtención de las curvas IFD.

### [2] Selección de las duraciones de interés.

Las duraciones recomendadas son las siguientes: 5, 10, 20, 40, 60, 90, 120, 150, 300, 720, 1440, 2880 y 4320 minutos. Se amplían estas duraciones con el objetivo de utilizar las curvas IFD para el diseño de diversas obras hidráulicas.

[3] Obtención de las intensidades de lluvias máximas para las duraciones seleccionadas en los aguaceros registrados.

3.1. Se construye la curva de masa para cada tor-

menta.

Se plantea (Campos, 1992) que existen dos tipos de series estadísticas a utilizar en el procesamiento de las lluvias máximas diarias. La primera es la serie anual de máximos, que está formada por los valores máximos diarios en cada año. La segunda es la serie de duración parcial que se divide en la serie de excedentes anuales y la de duración parcial, ambas formadas por los valores de precipitación que superan una cierta magnitud.

La serie de excedentes anuales la constituyen aquellos valores cuya magnitud es mayor que un cierto valor base, que se determina de manera tal que el número de eventos sea igual al número de años de registro. Lo anterior implica que en esta serie pueda haber más de un valor para un mismo año. En cambio la serie de duración parcial la conforman todas las lluvias mayores que el menor valor de la serie anual de máximos, obteniéndose series de una longitud mayor que el número de años de registro.

En este trabajo se analizan todos los aguaceros de cada año (teniendo en cuenta que se considera un aguacero desde que empieza a llover hasta que escampa) cuya lámina acumulada sea mayor o igual a un cierto valor límite. De esta manera se aprovecha toda la información pluviográfica, ya que inclusive pueden ser analizados más de un aguacero por día. El procedimiento para obtener la intensidad máxima de la lluvia para diferentes duraciones de tormenta por cada año procesado es significativamente mucho más trabajoso que el requerido para obtener, por ejemplo, la lámina de lluvia máxima diaria anual y se explica detalladamente en los siguientes pasos de la metodología que se analiza. Finalmente se conforman diferentes series anuales de máximos (en este caso intensidades máximas), según sus duraciones, para los períodos de retorno seleccionados. Existen otras metodologías que en cierto sentido desperdician la variación de la lluvia con el tiempo cuando se cuenta con numerosas tormentas.

De cada aguacero procesado debe obtenerse la curva de masa, que no es más que la representación de la altura de precipitación acumulada a través del tiempo, desde el inicio de la tormenta hasta su terminación. Se obtienen los datos directamente del registro pluviográfico. Los puntos extraídos de la interpretación de la carta del pluviógrafo deben ajustarse mediante rectas. A continuación se muestra un ejemplo de curva de masa:

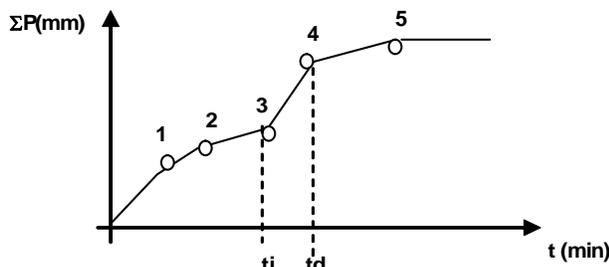


Figura 2: Ejemplo de curva de masa

Los puntos 1, 2, 3, 4 y 5 representan las variaciones de

las láminas de lluvia con respecto al tiempo de duración del aguacero. El intervalo 3 – 4 es la recta de mayor pendiente, la cual tiene asociada un tiempo inicial ( $t_i$ ) y un tiempo final ( $t_d$ ).

Las cartas pluviográficas pueden ser procesadas utilizando técnicas de tratamiento de imágenes con el empleo de un Scanner de alta resolución o cámara digital de siete Mega pixels o más y un programa para digitalización de imágenes. Su procesamiento ulterior, para la conversión del dato digitalizado a la información de lluvia, se realiza mediante un programa de cálculo específico para esta aplicación confeccionado en Visual Basic. De esta forma la base de datos almacenada en los soportes originales de papel, empleados por los pluviógrafos tradicionales existentes, es traspasada a soporte digital y postprocesada para obtener de ella toda la información necesaria. Este método agiliza el procesamiento de la información y permite la obtención directa de la curva de masa de cada aguacero.

3.2. Se selecciona una duración de interés ( $d$ ).

En función del alcance que se quiera lograr con el estudio se escogerán las duraciones.

3.3. De la curva de masa se define el tramo de mayor pendiente.

Cualquier tangente a la curva de masa representa la intensidad de la lluvia para ese instante y se define como:

$$i = \frac{\Delta p}{\Delta t} \quad (1)$$

donde:  $i$  – intensidad

$\Delta p$  – incremento de la lluvia en el intervalo  $t$  en mm.

$\Delta t$  – incremento del tiempo en minutos.

3.4. Se compara la  $d$  escogida con respecto a  $(t_d - t_i)$  en la recta de mayor pendiente y:

· Si  $d < (t_d - t_i)$ , se evalúa esta duración en la ecuación de la recta, obteniéndose directamente la máxima lámina ( $\Delta P_{im\acute{a}x}$ ) de esa tormenta para la duración escogida.

$$\Delta P_{im\acute{a}x} = \frac{\Delta P}{(t_d - t_i)} * d \quad (2)$$

· Si  $d > (t_d - t_i)$ , se evalúa  $d$  en la curva de masa, empezando por el origen, para calcular las diferencias de precipitación,  $\Delta p_i$ , correspondientes a todas las parejas de puntos separadas entre sí un tiempo igual a  $d$  y se selecciona la diferencia de precipitación máxima  $\Delta P_{im\acute{a}x}$ .

3.5. Se divide la  $D_{pim\acute{a}x}$  entre la duración seleccionada para encontrar la intensidad máxima correspondiente a dicho intervalo.

$$I_{max} = \frac{\Delta pi_{max}}{d} \tag{3}$$

[4] *Se repite el proceso para otras duraciones a partir del paso 3.*

Hasta aquí se obtiene una serie de intensidades máximas para cada una de las duraciones para ese aguacero procesado.

[5] *Procesar otro aguacero, repetir el paso [3].*

Hasta aquí se obtienen 13 series intensidades máximas (porque son 13 las duraciones) para cada una de las duraciones para cada uno de los aguaceros procesados.

[6] *Seleccionar para cada duración en cada año la máxima intensidad.*

De cada año de registro y para cada duración se determina el mayor valor de intensidad máxima de entre los obtenidos en el paso anterior. Por lo que se obtienen 13 series de intensidades máximas de lluvias para las 13 duraciones analizadas con una longitud igual al número de años procesados. Este resultado puede verse reflejado en la siguiente tabla:

Año	D			
	10	20	30	Etc.
1960	Intensidades Máximas por años para las diferentes duraciones.			
1963				
.				
.				
.				
Etc.				

**Tabla 1:** Representación de las series de intensidades máximas para cada una de las duraciones analizadas

Con las 13 series formadas se realiza lo siguiente:

[7] *Se analiza la homogeneidad.*

Existen dos causas fundamentales por los cuales puede estar presente la no homogeneidad en las series. La primera es de carácter físico, estado implicando en ella: el traslado de lugar del equipo, mal funcionamiento del equipo, etc. La solución pudiera ser, no procesar el equipo o escoger la parte de la serie que a entender del especialista fuera la correcta y continuar el procesamiento. La otra es que exista un evento extremo de gran magnitud que esté afectando la homogeneidad de la serie, en este caso se continúa el procesamiento.

Se pueden utilizar varios procedimientos para comprobar la calidad de los datos de mediciones y observaciones de las lluvias.

Haciendo un resumen de estos trabajos, las técnicas y métodos recomendados para el análisis de los datos hidrológicos máximos son: pruebas paramétricas: Student, Fischer, Cramer y pruebas no paramétricas: Spearman, Kruskal-Wallis, Helmer, Secuencias.

[8] *Se ajustan las series a varias funciones de distribución de valores extremos.*

Se ajustan las series a varias funciones de distribución de valores extremos (log – normal , log – normal de tres parámetros, Pearson tipo III, log – pearson, Gumbel, etc.), con lo cual se logra relacionar la magnitud de la intensidad con el período de retorno correspondiente (2, 5, 10, 25, 50, 100, 250, 500 y 1000 años).

Se propone utilizar más de una distribución de probabilidad para realizar el tratamiento estadístico de las series de intensidades máximas para cada duración escogida. El análisis de las series por separado pudiera dar algunos valores que resulten incongruentes, es decir, en algunas ocasiones en la evaluación de un determinado período de retorno los valores, por ejemplo, de una serie de 10 minutos resultan mayores que los de una de 5 minutos; en ese caso, hay que escoger otra distribución teórica.

[9] *Determinar mediante pruebas de bondad de ajuste cuál es la distribución teórica de probabilidad de mejor ajuste.*

El análisis de homogeneidad y el ajuste de las series a varias distribuciones teóricas de probabilidad pueden hacerse mediante el programa PECAmáx (2000), que es de factura nacional y está al alcance de nuestros especialistas.

[10] *Se ajustarán las intensidades y duraciones para diferentes periodos de retorno mediante ecuaciones semejantes a la siguiente expresión:*

$$I = \frac{A}{(B + t)^n} \tag{4}$$

donde:

I – intensidad de la lluvia en mm/h

t – tiempo de duración de la lluvia en minutos.

A, B y n – parámetros que se obtienen al hacer el ajuste y dependen de factores regionales y climatológicos. Para un mismo periodo de retorno estos parámetros permanecerán constantes.

## CONCLUSIONES

La implementación de este procedimiento contribuye de manera significativa al objetivo esencial de un proyecto de colaboración de alcance nacional entre el Centro de Investigaciones Hidráulicas (CIH) y el INRH: poner a disposición del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos y de las delegaciones provinciales de este organismo, la metodología a seguir para la obtención de las curvas IFD o PFD para las regiones y cuencas hidrográficas de la República de Cuba.

El procedimiento para la conversión de las cartas pluviográficas que se encuentran en formato tradicional (papel) a formato digital, se ha estado aplicando en la Ciudad de la Habana y en la provincia Habana, con excelentes resultados. En la perspectiva inmediata está su introducción a nivel de país como una vía segura de resguardar en soportes seguros, almacenar y procesar la información almacenada durante varios años.

Con la propuesta de procesamiento digital de las cartas pluviográficas se logra preservarlas, en un período de tiempo relativamente corto, de la destrucción o pérdida a que siempre están sometidos los documentos soportados en papel.

Como es conocido, contar con una curva o ecuación que relacione las variables que caracterizan las lluvias máximas es de muchísima utilidad para el estudio de una zona, ya sea para el diseño de una obra o para el pronóstico de las inundaciones.

A partir del levantamiento de la situación que existe en las provincias cubanas, se logrará la unificación de los conocimientos y procedimientos para la obtención de las curvas IFD en toda la isla.

## RECOMENDACIONES

Es necesario capacitar a un grupo de profesionales y técnicos por provincia lo que permitiría homogeneizar el conocimiento hidrológico en el país.

Seguir implementando el procesamiento de las cartas pluviográficas con ayuda de las técnicas informáticas, con el propósito de rescatar esta información para su futuro uso en la obtención de las curvas IFD.

Lograr contar con una curva o ecuación que relacione las magnitudes que caracterizan las lluvias máximas para el estudio de cada una de las zonas del país.

## REFERENCIAS

- [1] **Campos Aranda, D. F** (1992). «Procesos del ciclo hidrológico». *Segunda reimpresión. Universidad Autónoma de San Luis Potosí*. México. pp. 4-46—4-66
- [2] **Cruz Gámiz, M** (1999). «Obtención de curvas IFD». *Forum municipal de Ciencias Técnicas. Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría (ISPJAE.) Habana. Cuba.*
- [3] **González, L, Jorge, M del C, Martínez y J. B, N, Marrero** (2001). «Hidrología Superficial para Ingenieros». *Centro de Investigaciones Hidráulica, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría (ISPJAE.) Habana. Cuba*
- [4] **León Méndez, Alcides J** (2007). «Tecnología de traspaso a formato digital de cartas pluviográficas». *Revista Ingeniería Hidráulica y Ambiental* (en proceso de publicación). CUJAE, La Habana.

Diciembre de 2009