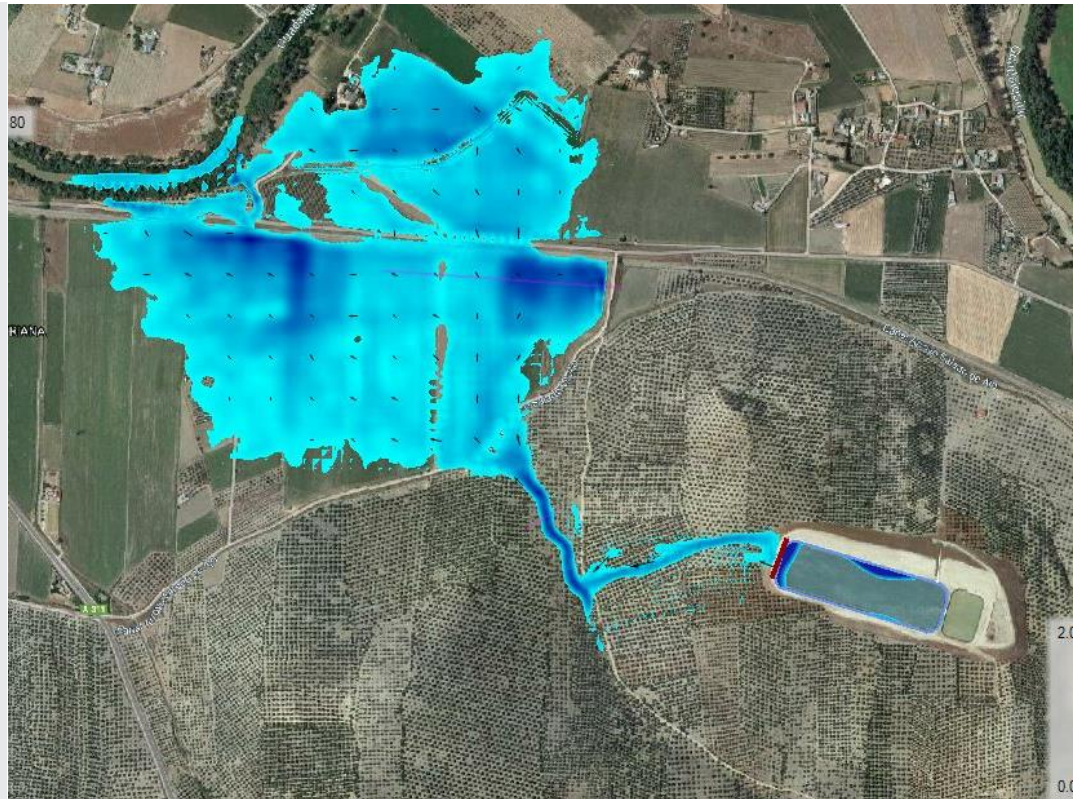


# MODELIZACIÓN DE ROTURAS DE BALSAS DE RIEGO. Un caso práctico

23 octubre 2019



# MODELIZACIÓN DE ROTURAS DE BALSAS DE RIEGO. Un caso Práctico

1

HEC-RAS

2

La malla topográfica. Modelos Digitales Terreno

3

La malla hidráulica: Tablas de Propiedades Hidráulicas

4

Hidrograma de rotura

5

Condiciones de Contorno

6

Condiciones Iniciales

7

Usos de Suelo: Coeficiente de Manning

8

Condiciones de estabilidad en el cálculo

9

Escenarios de rotura

10

Presentación de resultados

- HEC-RAS : Software del Cuerpo de Ingenieros del ejército de EE.UU. (Hydrologic Engineering Center-River Analysis System)
- Análisis 1D flujo permanente
- Análisis 1D y 2D flujo permanente y no permanente
- Transporte de sedimentos, análisis de temperatura y calidad del agua
- Interactúa bien con ficheros vectoriales SHP y ráster TIF y JPG

## 2 La malla topográfica. Modelos Digitales Terreno

- Instituto Geográfico Nacional. Malla de 5 x 5 m. MDT05
- Topografía convencional para completar zonas sensibles
- Visitas a campo. Medición obras de drenaje transversal
- Líneas de rotura en los puntos altos del terreno de tal manera que la malla hidráulica capture los puntos altos, que son las barreras naturales al flujo.

### 3 La malla hidráulica: Tablas de propiedades hidráulicas

- Tamaños de malla hidráulica mayores que las mallas de terreno
- Cálculo por volúmenes finitos
- Solución de las ecuaciones de Saint Venant (onda dinámica) y/o Onda Difusiva para aguas someras en 2D. Se promedia la velocidad vertical(Z). Poca profundidad.

Términos de la ecuación de conservación de *momentum*<sup>1</sup>

| Aproximación    | $\frac{1}{A} \frac{\partial Q}{\partial t}$ | $+\frac{1}{A} \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{Q^2}{A} \right)$ | $+g \frac{\partial y}{\partial x}$ | $-gS_0$                         | $+gS_f$                       | = 0  |
|-----------------|---|---|------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|------|
|                 | Término de aceleración local                | Término de aceleración convectiva                                       | Término de fuerza de presión       | Término de fuerza gravitacional | Término de fuerza de fricción |      |
|                 | <i>Términos inerciales</i>                  |   |                                    |                                 |                               |      |
| Onda dinámica   | ✓ Sí  | ✓ Sí  | ✓ Sí                               | ✓ Sí                            | ✓ Sí                          | ✓ Sí |
| Onda difusiva   | ✗ No  | ✗ No  | ✓ Sí                               | ✓ Sí                            | ✓ Sí                          | ✓ Sí |
| Onda cinemática | ✗ No  | ✗ No  | ✗ No                               | ✓ Sí                            | ✓ Sí                          | ✓ Sí |

- Tablas hidráulicas (calado vs elevación, perímetro vs elevación ...).

### 3

## La malla hidráulica: Tablas de propiedades hidráulicas

- Las ecuaciones de la Onda Difusa es la opción por defecto
- Se hacen las pruebas con las ecuaciones de Onda Difusiva (más rápido) y se acaba con las ecuaciones de Saint Venant
- Las ecuaciones completas de Saint Venant suelen requerir menores intervalos de tiempos de cálculo
- La rotura de balsas requieren la aplicación de las ecuaciones completas de Saint Venant ya que hay grandes cambios de velocidad(aceleración) tanto espacialmente como en el tiempo y las ecuaciones de Onda difusiva no tienen en cuenta la aceleración local (cambio velocidad con respecto al tiempo) ni la aceleración convectiva (cambios velocidad con respecto a la distancia)

### 3

## La malla hidráulica: Criterios para generarlas

- El tamaño de las celdas, la forma y la orientación debe ser adecuadas al terreno subyacente.
- Asegurarse que las partes altas que limitan la dirección del flujo sean un lado de la malla hidráulica (líneas de rotura)
- Tamaño adecuado para describir la pendiente y los cambios de pendiente. Se puede y debe cambiar el tamaño de la malla de cálculo dependiendo de las condiciones topográficas
- Paso gradual de tamaños grandes a pequeños de malla y viceversa.
- Selección de tiempo

> Ecuación Saint Venant :  $Courant = \frac{V*\Delta t}{\Delta x} \leq [1-3]$

> Ecuación Onda Difusa:  $Courant = \frac{V*\Delta t}{\Delta x} \leq [2-5]$

## ■ Relaciones entre ancho de brecha, tiempo de rotura y volumen embalsado

## ■ Formulación Guía Técnica: presas de materiales sueltos

- > Tiempo de formación de la brecha:  $t = \frac{4,8 * V^{0,5}}{h}$
- > Ancho medio de la brecha:  $b = 20 * V * h^{0,25}$ 
  - t = tiempo en horas
  - V = volumen de la balsa en Hm<sup>3</sup>
  - h = Altura del dique en m.
  - b = ancho medio de la brecha m

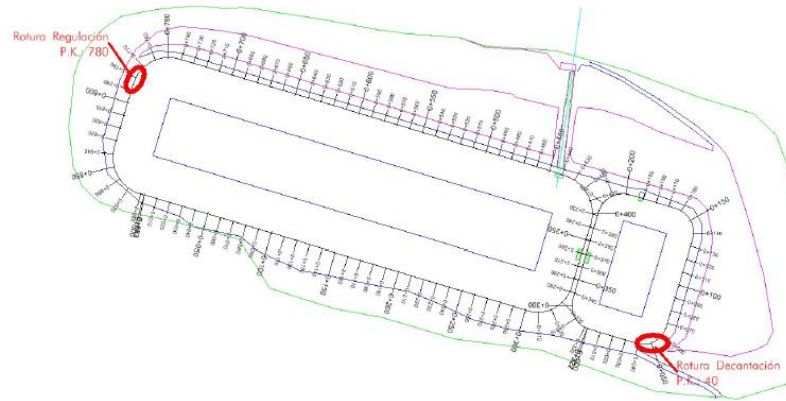
## ■ Otras formulaciones de Hec-Ras

- > MacDonal y Langridge-Monopolis (1984)
  - Fórmula obtenida por regresión donde se utilizaron 42 conjuntos de datos predominantemente de presas de tierra, presas de tierra con núcleo de arcilla y de escollera
  - $V_{erosinado} = 0,0261 * (V_{out} * h_w)^{0,769}$
  - $T_f = 0,0179 * (V_{erosinado})^{0,364}$ 
    - $V_{out}$  = Volumen de agua que pasa a través de la presa (m<sup>3</sup>). En nuestro caso el volumen de agua susceptible de salir por la brecha ya que al no estar en un cauce no existen aportaciones.
    - $V_{erosinado}$  = Volumen de material erosionado en la presa (m<sup>3</sup>)
    - $h_w$  = Altura de agua por encima de la parte inferior de la brecha(m)
    - $T_f$  =Tiempo de formación de la brecha (h)
- > Otras fórmulas: Froehlich (1995), Froehlich(2008), Von Thun & Gillete, Xu & Zhang

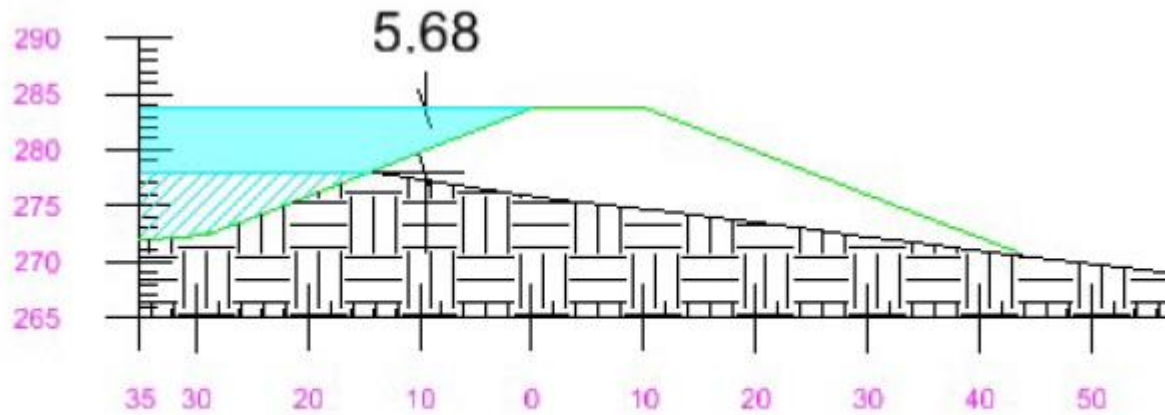


## 4 Hidrograma de rotura

- Sólo considerar la altura de terraplén que movilice agua



Situación de las Roturas



Balsa Regulación PK: 780

## 5 Condiciones de contorno y Condiciones Internas

- Hidrogramas de caudales (Q vs t)
  - > Caudales positivos entran en el área 2D y negativos salen del área 2D
- Hidrogramas de nivel de agua (nivel agua vs t)
  - > Niveles mayores que la cota del terreno/lámina de agua entran en el área 2D, menores que la cota de terreno sacan agua del área 2D. Simulación de marea.
- Calado normal. Sólo caudales de salida.
- Curvas de gasto (nivel vs caudal ). Sólo caudales de salida.
- Precipitación
  - > Actualmente no hay posibilidad de interceptar o infiltrar caudales. Sólo simulación de excesos de lluvia.

- Inicialmente seco
  - > Esta es la opción por defecto
- Elevación de la lámina de agua
  - > Las celdas con menor altura que la lámina de agua estarán mojadas
- Simulación anterior.
- Después de un periodo de inicialización.
  - > La simulación empieza con unas condiciones iniciales que se mantienen constantes durante un periodo de tiempo (inicialización).

- Se puede incorporar tanto información vectorial como ráster para asignar un coeficiente de Manning en función de los usos de suelo.
- Se utiliza la ecuación de Manning para valorar la fuerza de fricción y por lo tanto se necesita dar al menos un valor de Manning
- Se puede dibujar en RasMapper y asignarles los valores correspondientes o importarlo de un Shapefile.

- Siempre testar la consistencia del tamaño de malla y el paso de tiempo elegido.
- El principio de consistencia requiere la reducción tanto de espacio como del tiempo en orden a garantizar la convergencia de la solución. Si el tamaño de celda se reduce al mismo tiempo que se reduce el paso del tiempo de cálculo, deberá converger la solución.
- Se deberán comprobar varios tamaños de celda y varios tiempos por cada tamaño de celda para entender como se comporta el modelo.
- La elección de un  $\Delta x$  y un  $\Delta t$  es un equilibrio entre conseguir una buena precisión minimizando el tiempo de cálculo.
- En las nuevas versiones el intervalo de tiempo de cálculo puede ser variable dentro de una simulación

- Rotura no coincidente con avenidas.
  - > Embalse lleno hasta su máximo nivel de explotación
- Rotura coincidente con la avenida de proyecto (en general periodo de retorno 500 años)
  - > Embalse lleno hasta coronación
  - > Evaluación de los daños incrementales a los producidos únicamente con la avenida
- Roturas encadenada de presas/balsas
- Daños incrementales a la avenida de 500 años

# 10 Resultados. Mapa de riesgos potencial vidas humanas

- HEC-RAS Genera salidas Shapefiles (SHP) de puntos y formatos ráster. Un punto con valor de velocidad o calado por celda de la malla de cálculo hidráulico.
- Mapas de riesgo potencial a vidas humanas. Población en riesgo
  - > Grave
  - > Indeterminado
  - > Leve

RIESGO PARA VIDAS HUMANAS EN FUNCION DEL CALADO Y LA VELOCIDAD  
A) EN AREAS DE VIVIENDAS/NUCLEOS URBANOS

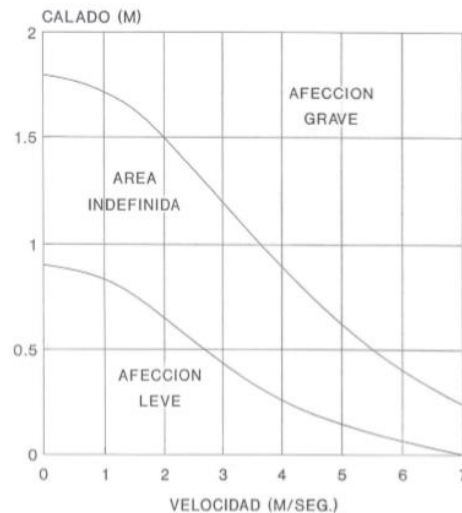


FIGURA II-1

RIESGO PARA VIDAS EN FUNCION DEL CALADO Y LA VELOCIDAD  
B) EN CAMPO ABIERTO

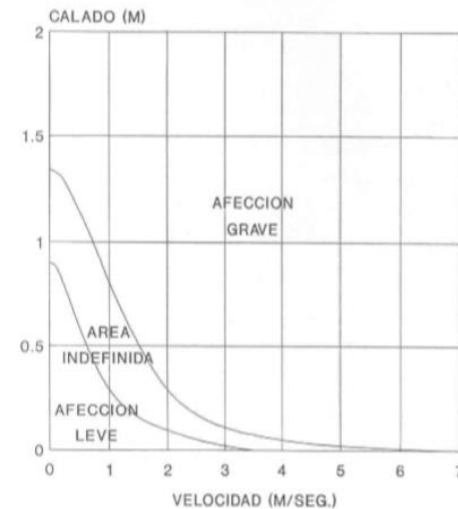


FIGURA II-2

## 10 Resultados: Otras afecciones

- Afecciones a servicios esenciales
- Daños materiales
  - > Moderados
  - > Importantes
  - > Muy importantes
- Daños medioambientales
- Tiempos de llegada de la onda de avenida. (Plan de Emergencia)





## Contacto

Tirso Olalquiaga Aranguren  
J.Dpto. Infraestructuras  
E-mail: [tolalqui@tragsa.es](mailto:tolalqui@tragsa.es)  
Tel.913963645



**OBJETIVOS**  **DE DESARROLLO SOSTENIBLE**

