

4 ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD DE HEC-RAS PARA LA SIMULACIÓN DE ROTURA DE PRESAS

El objeto de este capítulo es relacionar todas las capacidades que ha de tener el modelo elegido para realizar la modelización de rotura de una presa según [3] y [4], chequeando a la vez que el modelo HEC-RAS cumple con todas ellas.

4.1 Modelos existentes

“Existe un estudio de ICOLD sobre “Dam Break Flood Analysis”, realizado por el Subcomité de “Analysis of dambreak flooding and related parameters normally assumed”, en el que se describen y evalúan 27 modelos existentes en la actualidad, de los cuales únicamente algunos están normalmente extendidos en la práctica y son accesibles comercialmente”

HEC-RAS está incluido dentro de estos 27 modelos (ver punto 2.2.4) por lo que es un modelo válido para la rotura de presas según la ICOLD.

4.2 Tipo de modelo

“El modelo debe ser completo, considerando las características reales del movimiento en régimen variable de la onda de rotura, así como los posibles efectos de las secciones hidráulicas agua abajo en la propagación agua arriba del movimiento”

“En general siempre en las presas clasificadas en categoría A, el modelo a utilizar será hidráulico, completo y dinámico. El modelo debe ser hidráulico en contraposición a hidrológico ya que esta última aproximación no puede considerarse suficiente en la mayoría de los casos para la estimación de niveles de agua, especialmente ante problemas del tipo aquí planteado, en los que el tipo de flujo es complejo y, por tanto, no son válidas las parametrizaciones de las simplificaciones utilizadas. El modelo será dinámico, es decir, teniendo en cuenta como variable el tiempo y en contraposición al análisis en régimen permanente o variado, ya que incluso en aquellos posibles casos (rotura de las compuertas del desagüe de fondo, por ejemplo) en que la previsión de niveles máximos pudiera abordarse mediante análisis más simples es preciso un análisis temporal, derivado de la necesidad de evaluar el tiempo de llegada de la onda. El modelo ha de ser completo en contraposición a simplificado, resolviendo directamente las ecuaciones dinámicas del movimiento, ya que, en general, la aproximación que representan estos modelos simplificados no puede considerarse suficiente para elaborar la zonificación territorial

Como consecuencia de lo expuesto, en general únicamente pueden considerarse como válidos aquellos modelos que resuelven las ecuaciones de Saint Venant de movimiento gradualmente variable mediante métodos numéricos suficientemente contrastados y validados”

HEC-RAS permite el cálculo en régimen variable y resuelve las ecuaciones de Saint Venant completas mediante el método de diferencias finitas implícitas utilizando el esquema de Preissmann, por lo tanto cumple estos requisitos.

4.3 Tipo de régimen

“En general, en el análisis hidráulico de la onda de rotura coexisten simultáneamente tramos en los que los regímenes son subcrítico y supercrítico alternativamente, no manteniéndose constante en el tiempo la posición espacial de la transición. Como consecuencia, el modelo permitirá el análisis simultáneo de los regímenes subcrítico y supercrítico con transición no fija, salvo en casos muy especiales en que pueda establecerse a priori que no existe cambio de régimen o que éste se asocia a una sección determinada, constante en el tiempo”

HEC-RAS permite la alternancia de régimen crítico y subcrítico en la misma simulación. Para ello utiliza el método LPI (Local Partial Inertia), que añade un término a las ecuaciones para reducir los términos de inercia cuando el número de Froude se acerca a la unidad y por tanto habrá un cambio de régimen y una posible discontinuidad. Este método hace posible que el modelo no se vuelva inestable ante una discontinuidad del flujo a costa de una pérdida de precisión de resultados donde ésta se produzca.

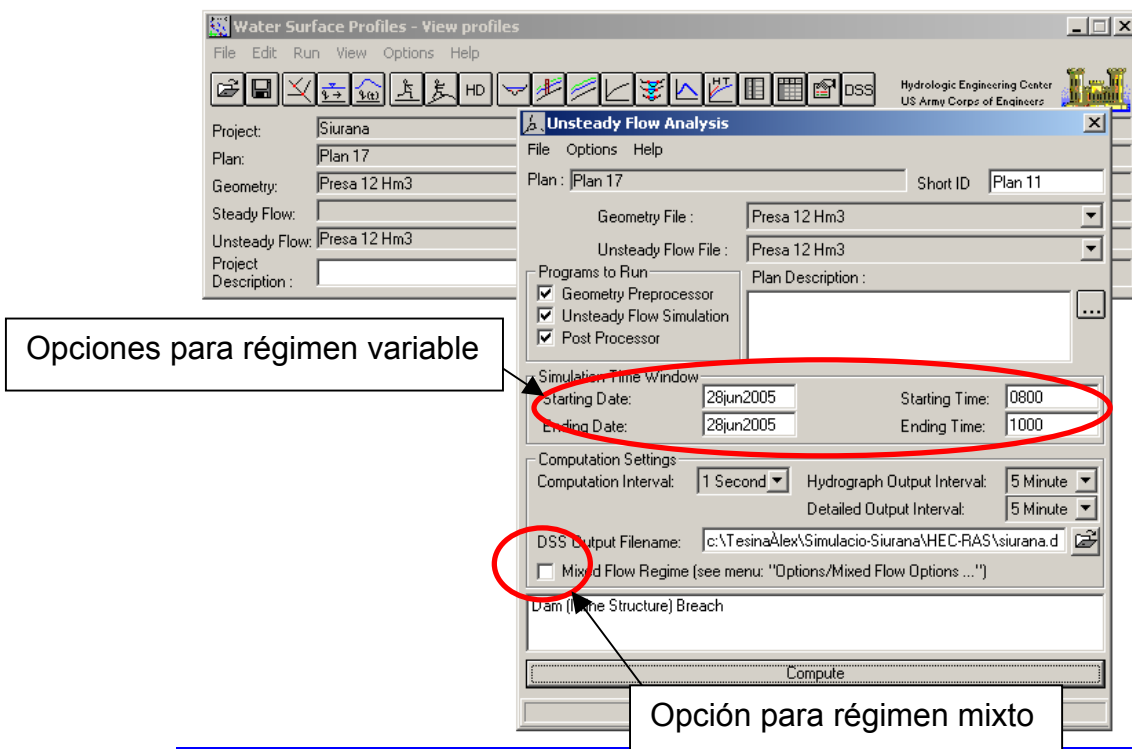


Figura 4.1 Opciones de régimen variable i régimen mixto

4.4 Tratamiento de cauce seco

“En algunas situaciones será preciso analizar casos en que la situación inicial corresponde a cauce seco o desaguando un caudal varios ordenes de magnitud inferior al caudal punta final, lo que da lugar bien a la necesidad de tratar una singularidad (llenado de un cauce seco), bien a problemas numéricos de convergencia que no todos los programas existentes son capaces de resolver. Respecto a esta cuestión no es posible establecer un criterio fijo de requisitos a cumplir por el modelo ya que mientras que en muchas ocasiones es suficiente suponer, sin disminución sensible de la calidad de los resultados, la existencia de un caudal base inicial ficticio suficientemente pequeño para no incidir en los resultados y suficientemente grande para evitar los problemas numéricos, en otros puede no ser válida la hipótesis anterior”

En las distintas simulaciones llevadas a cabo durante el desarrollo de la presente tesina se ha podido comprobar que el modelo es capaz de simular este tipo de situaciones: caudal circulante por el cauce varios órdenes de magnitud inferiores al de la onda de rotura. En concreto se ha realizado una simulación con un caudal inicial de $1 \text{ m}^3/\text{s}$ mientras que el caudal punta resultante de la simulación de la rotura de la presa llega a ser de $29.000 \text{ m}^3/\text{s}$.

4.5 Tipo de flujo

“En general, serán preferibles los modelos unidimensionales o los bidimensionales, ya que aquellos proporcionan precisión suficiente mientras que éstos, aparte de introducir una gran complejidad adicional, no sólo modelística sino también de disponibilidad de datos básicos (topografía, rugosidades direccionales, etc.), suelen obligar a simplificaciones adicionales para tener en cuenta la segunda dimensión.

En muchas ocasiones aparece en el análisis unidimensional la necesidad de tomar en consideración, aun cuando sea de manera aproximada, efectos bidimensionales. Los programas actuales suelen abordar este problema mediante dos técnicas diferentes: la consideración específica de llanuras de inundación y las denominadas aproximaciones quasibidimensionales”

HEC-RAS tiene la capacidad tanto de considerar llanuras de inundación mediante la creación de zonas “ineffective flow” (zonas donde el agua es almacenada pero no fluye) como de considerar aproximaciones quasibidimensionales mediante estructuras laterales (“lateral structure”), áreas de almacenamiento de agua (“storage areas”) y conexiones entre éstas áreas (“storage area connection”).

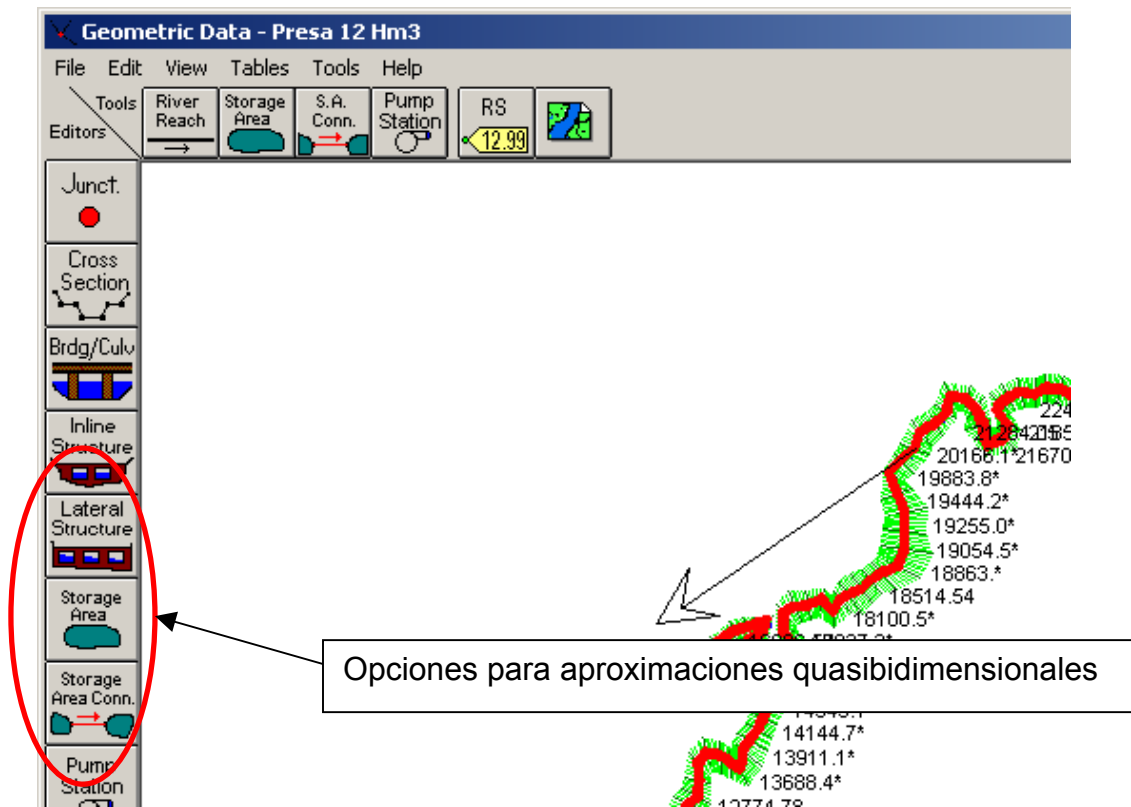


Figura 4.2 Opciones para aproximaciones quasibidimensionales

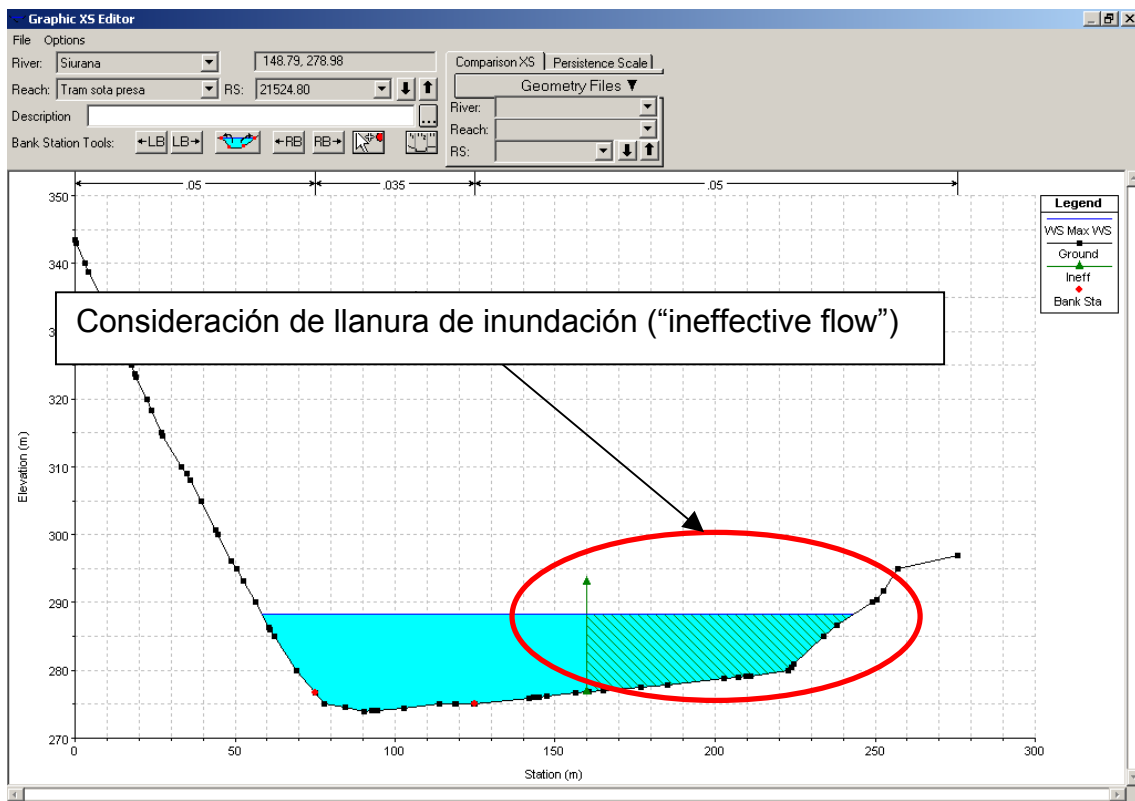


Figura 4.3 Opciones para simular llanuras de inundación

4.6 Tratamiento de régimen rápidamente variable

“Típicamente, en los casos de análisis de rotura rápida de presas (presas bóveda y gravedad), el frente de la onda de rotura está caracterizado por un régimen rápidamente variable en contraposición al gradualmente variable que se expresa mediante las ecuaciones de Saint Venant. Existen asimismo otros casos en que se presenta el régimen rápidamente variable, en general asociados a fenómenos locales (estructuras transversales al cauce o estrechamientos muy bruscos de éste)”

HEC-RAS incorpora el tratamiento de la onda de choque (régimen rápidamente variable) en su formulación mediante el método LPI (Local Partial Inertia).

4.7 Tratamiento de lecho móvil

“Aún cuando la consideración de los procesos de erosión-sedimentación asociados a la onda de rotura debe representar una mayor aproximación al análisis hidráulico respecto a la consideración de un análisis con lecho fijo, este último tipo de análisis es a menudo conservador y, por otra parte, los modelos de lecho móvil son todavía excesivamente complejos, de difícil aplicación a situaciones reales y no están implementados en los programas de cálculo accesibles.

Por las razones anteriores, se considera suficiente la utilización de modelos con lecho fijo, si bien en los casos en que sea de prever una incidencia importante de los procesos de erosión-sedimentación deberán analizarse cualitativamente y de forma aproximada sus efectos”

HEC-RAS no considera lecho móvil (transporte de sedimentos), pero como se ha detallado esta capacidad no es necesaria, al menos tal como se encuentra hoy en día el desarrollo de los modelos que incorporan esta capacidad.

4.8 Rotura encadenada de presas

HEC-RAS tiene la posibilidad de combinar la rotura de diferentes presas en la misma simulación, incluso pueden situarse en cauces diferentes, establecer diferentes regímenes de funcionamiento de compuertas y diferentes modalidades de rotura para cada una de las presas (según el nivel del agua, a una hora concreta o una combinación altura de agua durante cierto tiempo).

Por tanto el modelo es capaz de simular situaciones complejas en las que intervengan diferentes presas y diferentes cauces.

4.9 Forma y dimensiones de la brecha. Tiempos de rotura

En las distintas Guías Técnicas se proponen unas formas y dimensiones de las brechas de rotura a considerar en la simulación de roturas de presas así como el tiempo en que éstas tardan en desarrollarse completamente. De forma

implícita se está exigiendo que el modelo utilizado tenga la capacidad de simular distintas brechas y diferentes tiempos de rotura.

HEC-RAS cumple con este requisito y es capaz de simular distintas geometrías de brecha y tiempos de rotura, tal como se muestra en las imágenes siguientes:

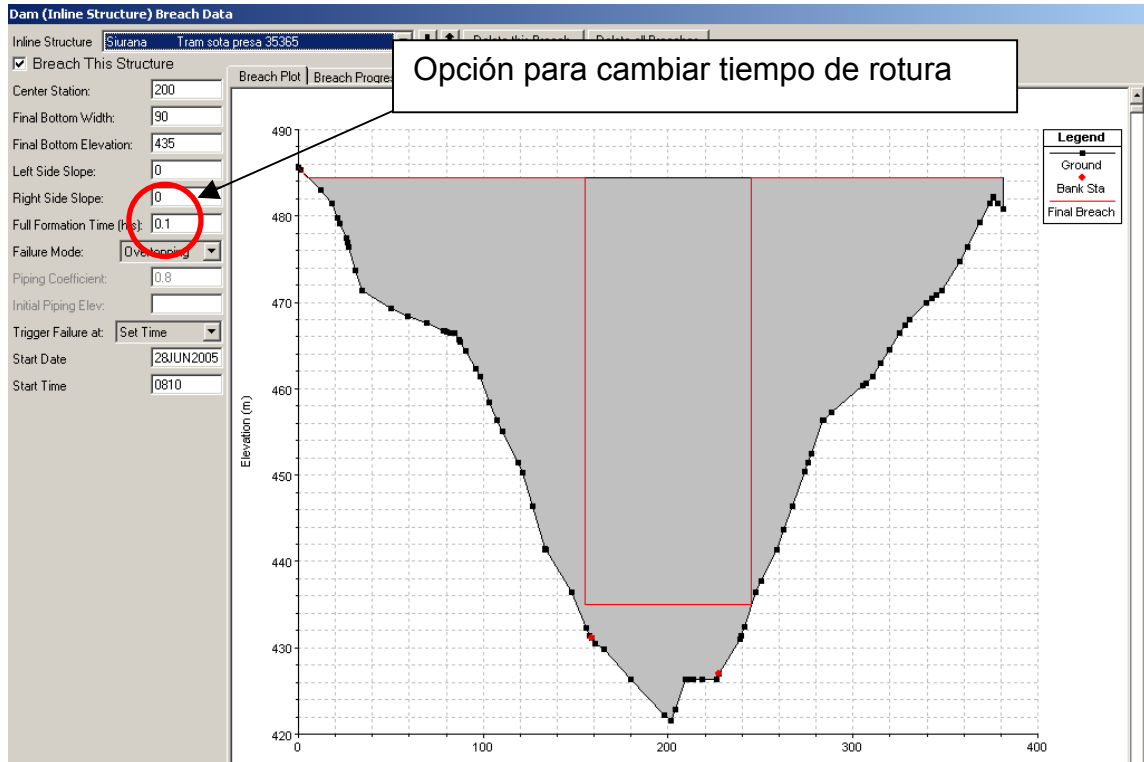


Figura 4.4 Opción para cambiar tiempo de rotura

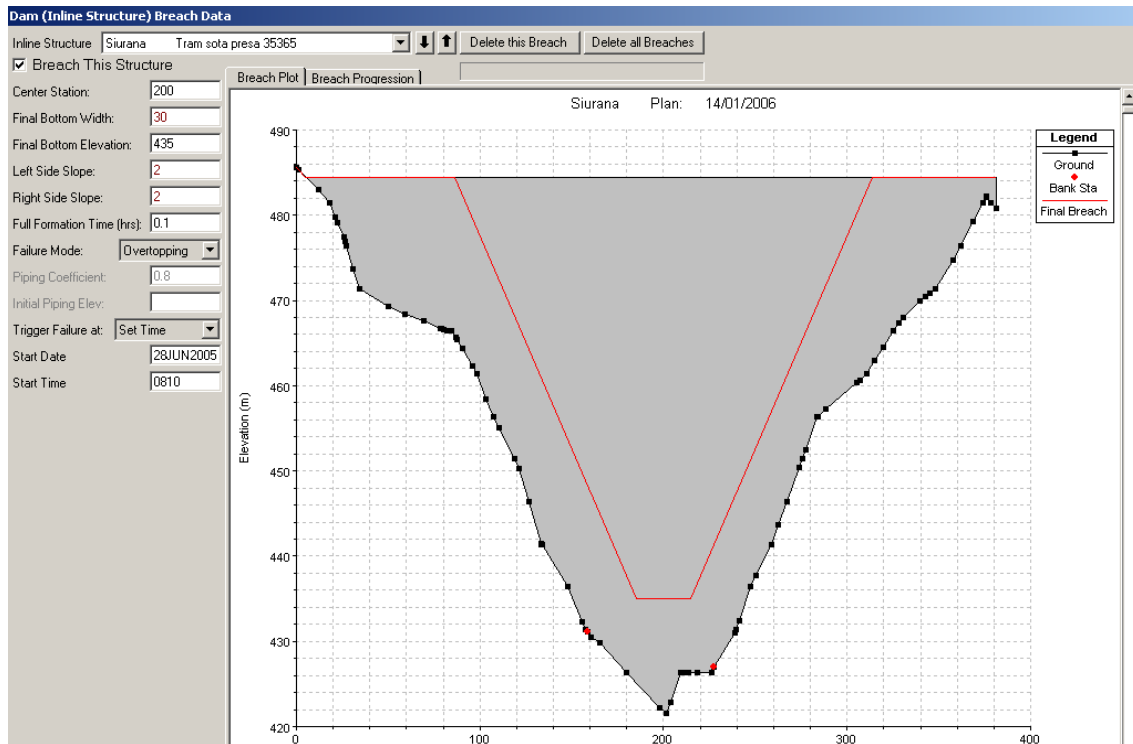


Figura 4.5 Diferentes geometrías de brecha

4.10 Otros aspectos

“Aun cuando aparentemente no tengan incidencia en la calidad de los resultados, existen otros factores a tener en cuenta, relativos a la facilidad del manejo del programa, que, en la práctica, inciden de una manera apreciable. Desde este punto de vista, se tendrán en cuenta, a la hora de seleccionar el programa, criterios tales como lo amigabilidad, el tipo y forma de introducción de datos, la potencia de los posibles preprocesadores, las posibilidades de comprobación de datos y de seguimiento del proceso de cálculo, la potencia de los posibles postprocesadores y la forma de presentación de los resultados”

Desde este punto de vista HEC-RAS es una herramienta especialmente potente ya que su funcionamiento en entorno Windows lo hace muy amigable y facilita mucho todas las operaciones de introducción de datos.

Si se combina la potencia de HEC-RAS con la de programas GIS mediante la aplicación HEC-GeoRAS el tratamiento de datos, tanto de entrada como de salida del programa, resulta muy amigable y intuitivo consiguiendo resultados con una alta calidad de presentación.

4.11 Estabilidad del modelo

En un caso como el que estamos tratando –rotura de presa- donde el tipo de flujo será con toda seguridad rápidamente variable, es muy útil conocer qué factores son los que podemos modificar en el modelo HEC-RAS, normalmente

con pérdida de precisión o bien con aumento del coste computacional, para intentar que nuestro modelo se estabilice.

En el capítulo 8 del Manual del Usuario de HEC-RAS [10] pueden consultarse en detalle todos los factores que intervienen en la estabilidad del modelo. A continuación se relacionan algunos de ellos y se resalta la importancia de aquellos que durante la elaboración del presente trabajo se han revelado como especialmente importantes:

1. Distancia entre secciones transversales: a menor distancia entre secciones mayor estabilidad del modelo a costa de más tiempo de cálculo.
2. Intervalo de cálculo: a menor tiempo mayor estabilidad y mayor tiempo de cálculo, en el caso que se ha tratado en esta tesina ha sido necesario reducir el intervalo hasta 1 segundo.
3. Periodo de “Warm up” (*Run→Unsteady Flow Analysis→Options→Calculation Options and Tolerances*): consiste en una aproximación a la solución final mediante una simulación previa en régimen permanente. Se ha podido comprobar que esta es una herramienta muy útil para conseguir un modelo estable.
4. Local Partial Inertia (LPI): HEC-RAS incorpora el tratamiento para resolver inestabilidades provocadas por la onda de choque en su formulación mediante el Local Partial Inertia (LPI); este método incluye en su formulación el factor “*Exponent for Froude number reduction factor*” (factor m), un valor de $m=1$ nos dará resultados lo más estables posible, para modificarlo hemos de seguir la siguiente ruta: *Run→Unsteady Flow Analysis→Options→Mixed Flow Options*. Este factor es muy importante para conseguir un modelo estable.
5. “*Theta weighting factor*”→ Es un factor de ponderación que se aplica a las ecuaciones en diferencia finitas usadas para el cálculo en régimen variable para conseguir un modelo más estable. Podemos fijar el valor de este factor entre 0,6 y 1. Un valor de 1 nos dará unos resultados lo más estables posible y un valor de 0,6 nos dará unos resultados lo más precisos posible. Podemos realizar nuestra simulación con factor de 1 y luego ir bajando; si el resultado no varía es mejor dejar el valor de 1 para que nuestro modelo sea lo más robusto posible.
6. “*Weir and Spillway stability factors*”→ Los vertederos y aliviaderos pueden ser una fuente de inestabilidades. Esto se puede solucionar disminuyendo el tiempo de cálculo o usar los *Weir and Spillway stability factors*, que pueden suavizar las inestabilidades reduciendo los caudales de cálculo en estos puntos. El uso de estos factores puede reducir la precisión de los resultados. Si fijamos el valor de estos factores a 1 no estaremos reduciendo el caudal y la solución será la más precisa. Si aumentamos el valor de este factor hasta un valor máximo de 3 estaremos aumentando la

estabilidad del modelo a base de una reducción de caudal y disminuyendo por tanto la precisión.

7. “*Weir and Spillway submergence factors*”→ Cuando un vertedero o aliviadero esta sumergido puede dar problemas de estabilidad, especialmente si estamos trabajando con grandes caudales. Si fijamos el valor de estos factores a 1 la solución será la más precisa. Si aumentamos el valor de este factor hasta un valor máximo de 3 estaremos aumentando la estabilidad del modelo y disminuyendo la precisión.
8. En el menú que nos aparece si entramos en *Run*→*Unsteady Flow Analysis*→*Options*→*Calculation Options and Tolerances* se encuentran el resto de parámetros que podemos modificar para intentar estabilizar el modelo, de entre ellas se ha comprobado la gran influencia de la precisión en el perfil de lámina de agua que queremos obtener. En los casos más extremos de roturas muy rápidas de presa con gran cantidad de agua esta precisión llega a ser de tan solo 1 metro, si bien cabe destacar que los calados que adquiere la lámina de agua son del orden de 15,5 metros. En general para las diferentes roturas de presa que se han simulado la tolerancia en la cota de lámina de agua se ha situado entre el 5% y el 10% del calado del frente de onda obtenido en la simulación.

A continuación se adjunta una imagen del citado menú con todos los parámetros fijados a un valor para permitir la máxima estabilidad:

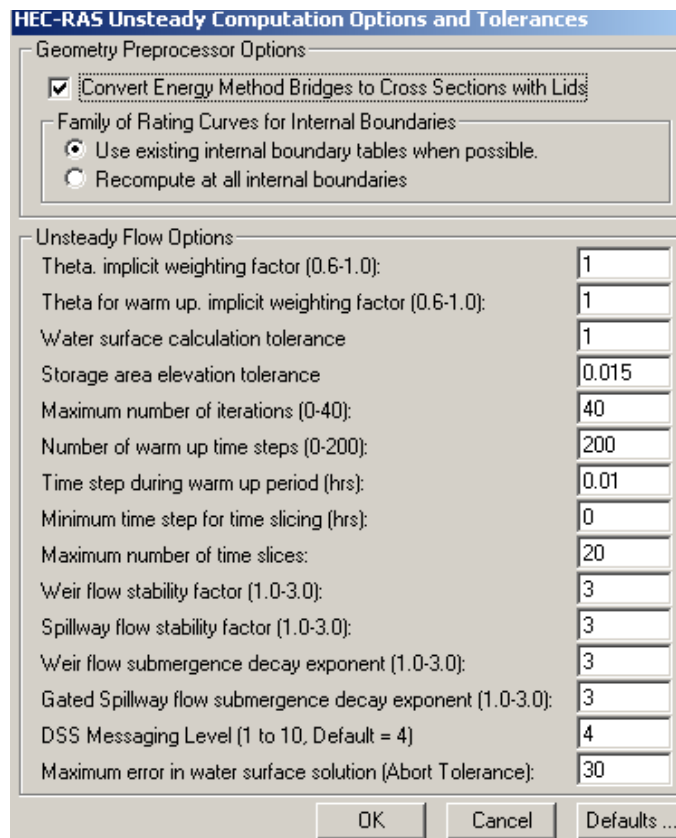


Figura 4.6 Parámetros y tolerancias de cálculo

4.12 Limitaciones de HEC-RAS

Las limitaciones de HEC-RAS para el estudio de inundaciones debidas a la rotura de presas, tal como se ha expuesto en el apartado 2 de este trabajo, son básicamente las siguientes:

- HEC-RAS es un modelo unidimensional, por lo tanto, todo y que incorpora entre sus capacidades la posibilidad de realizar modelizaciones quasibidimensionales bien sea con zonas donde se considera que no hay flujo o con zonas de almacenamiento de agua, los resultados que se obtengan en zonas donde el flujo sea marcadamente bidimensional (grandes llanuras de inundación) no serán todo lo rigurosos que sería deseable.
- Como todos los métodos que utilizan esquema de diferencias finitas implícitas (en este caso el de Preissmann) éstos tienen problemas de estabilidad donde el flujo sea rápidamente variable. HEC-RAS resuelve este problema mediante el método LPI (ver 2.2.2) pero hay que tener en cuenta que esto resta precisión a la solución que obtengamos.
- La precisión de resultados que obtengamos de una simulación de rotura de presa con HEC-RAS será más grande cuanto menor sea la cantidad de movimiento que queramos simular. A mayor volumen de agua y menor tiempo de rotura tendremos soluciones menos rigurosas ya que tendremos que fijar tolerancias altas para conseguir un modelo estable.