International Association for Hydro-Environment Engineering and Research

Hosted by Spain Water and IWHR, China

SPAIN WATER

GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA

VICEPRESIDENCIA CUARTA DEL GOBIERNO

MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO

Dirección General del Agua

Dirección General de la Costa y el Mar

CEDEX CENTRO DE ESTUDIOS Y EXPERIMENTACIÓN DE OBRAS PÚBLICAS

AGENDA 2030

JORNADA IAHR-SPAIN WATER

LA DINÁMICA SEDIMENTARIA EN LA GESTIÓN SOSTENIBLE DE RÍOS Y COSTAS

Problemas de sedimentación en el Embalse de Marmolejo. Hacia una gestión sostenible.

David López Gómez.
Centro de Estudios Hidrográficos (CEDEX).

Vista aérea del año 1956

El olivar aumenta la carga de sedimento en supensión

Diciembre de 2019

Escenario de 1963
NMN (191.78 msnm) Capacidad=13 Hm³
Cota (msnm)
204
203
202
201
200
199
198
197
196
195
194
193
192
191
190
189
188
187
186
185
184
183
182
181
180
179
178
0
1000
2000
3000
4000
5000
6000
7000
8000
9000
10000
11000
12000
13000
14000
15000
16000
Distancia (m)
Batanes
Villalba
Puente Romano
Presa
Puente autovía
Puente comarcal
Fondo 1962

Río Guadalquivir

Vista aérea del año 1956

Vista aérea del año 1977

Evolución del cauce
Vuelo 1980

- Construcción del estadio de Andújar sobre la plataforma de la margen derecha de la primera terraza de inundación activa, aguas abajo del puente romano.
- Vertido de tierras y escombros en la margen derecha aguas arriba del puente romano.

Evolución de Andujar
1956 vs. 2015

La ocupación actual del cauce de avenidas para uso industrial y deportivo es mucho mayor que previamente a la construcción de la presa.

1997 Ocupación de llanura de inundación

Evolución del fondo desde 1962 hasta 1997
NMN (191.78 msnm)
Capacidad=4.7 Hm³
Sedimentación=8.3 Hm³
Cota (msnm)
204
203
202
201
200
199
198
197
196
195
194
193
192
191
190
189
188
187
186
185
184
183
182
181
180
179
178
0
1000
2000
3000
4000
5000
6000
7000
8000
9000
10000
11000
12000
13000
14000
15000
16000
17000
18000
19000
Distancia (m)
Fondo 1997
Fondo 1962
Batanes
Villalba
Puente Romano
Presa
Puente autovía
Puente comarcal

Comparativa 1963/1997

Perfiles de lámina

1998 Actuación confluencia

2000 Actuación Puente Romano

Sotillo
Isla
Año 2001
Avenida de 1000 m³/s
(Zona Isla y Sotillo)

Año 2001 Avenida de 1000 m³/s (Zona Andújar y Lagunillas)

Año 2002. Dragados en margen derecha
Puente Romano

Año 2003. Dragados en margen derecha Puente Romano

Año 2005. Restauración ambiental.

Año 2008. Actuaciones ene le cauce.

Año 2009 (julio)
Actuaciones en el cauce. Mota Isla

Año 2009 (noviembre)
Mota margen izquierda

24 de febrero 2010
Episodio de avenida

24 de febrero 2010
Episodio de avenida

24 de febrero 2010
Episodio de avenida

24 de febrero 2010
Calibración

IAHR AIRH
International Association for Hydro-Environment Engineering and Research
Hosted by Spain Water and IWHR, China

SPAIN WATER

GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA
VICEPRESIDENCIA CUARTA DEL GOBIERNO
MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO
Dirección General del Agua
CEDEX CENTRO DE ESTUDIOS Y EXPERIMENTACIÓN DE OBRAS PÚBLICAS
AGENDA 2030

24 de febrero 2010
Calibración.

Puente Romano

Q=1500 m³/s

24 de febrero 2010
Calibración.

Evolución del cauce Diciembre 2011.

Diciembre 2011.

Sedimentación ente motas y densificación de vegetación

Avenida de 2 Abril de 2013
1300 m^3/s.

Fuente: Google Earth

Situación (2014)

- En verano de 2014 se obtuvo una topografía de la zona de estudio y la batimetría actual del fondo del cauce.

- Se ha comprobado la geometría actual del cauce es mucho más favorable que en 1997.
  - Existe mucho menos sedimentación en todo el tramo comprendido entre la presa de Marmolejo y Andújar.
  - El antiguo salto de Batanes se ha removido arrastrado por las avenidas de 2010 y 2013.
- Explicación:
  - Período hidrológico favorable con varias avenidas que han arrastrado el sedimento del cauce y embalse.

Evolución Batimétrica

Comparativa 1963/1997/2014

Escenarios de 1963,1997 vs. 2014
Cota (msnm)
PK- eje (m)
Q1-1963
Q3-1963
Q4-1963
Q2-1963
Fondo 1962
Fondo 2014
Q1-2014
Q2-2014
Q3-2014
Q4-2014
Fondo 1997
Q3-1997
Q4-1997
Q1-1997
Q2-1997
Batanes
Villalba
Puente Romano
Presa
Puente autovía
Puente comarcal

Modelo Físico

Nave de ensayos del Laboratorio de Hidráulica. CEH. CEDEX

Futura actuación

Has inundación	E001	E002	E003	E004
2014	1893,56	1535,17	850,23	447,91
Soluc propuesta	1418,13	1244,13	850,23	447,91

Comparativa 2014/Actuación

Evolución Batimétrica 2014-2018

Periodo hidrológico bastante seco.

Evolución Batimétrica 2014-2018

MODELO SEDIMENTOLÓGICO.

Estimación teórica del aporte de sedimentos al embalse

- Obtención de los valores del modelo RUSLE de la cuenca:

$$A = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P$$

A = pérdida de suelo/ Ud. superficie para el periodo de tiempo considerado.
R = índice de erosión pluvial de Wischmeier.
K = factor de erosionabilidad del suelo
L = factor de longitud de la ladera
S = factor de pendiente
C = factor de cubierta vegetal y manejo
P = factor de prácticas de conservación del suelo

Aportación

5.417.500 t/año - 12.277.500 t/año.

- Coeficiente de entrega de sedimentos (CES).

Calibración CEDEX

$$CES = 36\ A^{-0,2} - (2/\lg P) + \lg (cb)$$

CES=8.84%

TASA APORTE SEDIMENTO (479.449 t/año y 1.086.559 t/año).

Modelo de sedimentación

Se aplica cuando el embalse se explota con aperturas parciales de compuerta o cierre total. (Modo normal de explotación).

- Estima el volumen de sedimento retenido en el embalse atendiendo a :
  - Tasa de retención(Brown)

$$CT = 100\left[1 - \frac{1}{1+1{,}43\,\frac{C}{3.072}}\right],$$

que varía con la capacidad del embalse.

  - Evolución de la densidad del sedimento (Miller)

$$D = D_i + 0{,}4343\,K\left[\frac{T}{T-1}\,(\ln T) - 1\right]$$

Siendo T el tiempo de sedimentación y K un coeficiente de compactación

Modelo de erosión
Serie histórica de Avenidas.

La serie tiene un total de 33302 días y el volumen total de agua que ha entrado en el embalse es de 125923 Hm^3. Esto supone una aportación media anual de 1372 Hm^3 y un caudal medio diario de 43.5 m^3/s.

Modelo de erosión

Consigna de explotación del embalse

EXPLOTACIÓN NORMAL del embalse de Marmolejo: Se mantiene el nivel máximo normal (NMN), que corresponde con la cota superior de las compuertas del aliviadero (191.78 msnm), con aperturas parciales de compuerta para desaguar los excedentes no turbinables.

EXPLOTACIÓN EN AVENIDAS:

- Hasta 1997: Apertura total de compuertas para cuando el caudal supera los 300 m^3/s en la rama ascendente del hidrograma y cierre para 300 m^3/s en rama descendente.

- Desde 1997: Apertura total de compuertas para cuando el caudal supera los 150 m^3/s en la rama ascendente del hidrograma y cierre para 300 m^3/s en rama descendente.

Calibración del modelo

EXPLOTACIÓN NORMAL: Proceso de sedimentación.

Volumen sedimentado= φ (Tasa Aporte, Retención)

TASA DE APORTE: 555.000 t/año.

EXPLOTACIÓN EN AVENIDAS: Proceso de erosión.

TASA DE EROSIÓN: 1280 ppm

Volumen erosionado = φ (Vol. Avenida, Tasa erosión)

DATOS DE CALIBRACIÓN: Volumen de sedimento en 1962, 1997, 2001 y 2014

Evolución de la sedimentación del embalse

Influencia de la explotación

Explotación adaptativa

Objetivos de la consigna:

- Mantener el nivel de sedimentación por debajo delos 4 Hm^3 (Situación 2014)
- Rendimiento hidroeléctrico de la instalación.

Parámetros de control:

- Volumen de sedimentación existente.
- Caudal circulante por el río.
- Evolución sedimentológica.

Consigna adaptativa:

- Mantener consigna actual (150 apertura y 300 cierre) en años normales y con niveles de embalse bajo.
- En años secos: Apertura total de compuertas aunque no existan avenidas.
  - En un año seco sin apertura de compuertas se sedimenta 0.5 Hm^3
  - Se estima que en un mes de apertura a caudal medio se erosiona 0.14 Hm^3.

Ejemplo consigna adaptativa

Consigna de explotación:

- Actual.
- Consigna adaptativa: consigna actual+ apertura total de 2 meses en años secos

SOLUCIONES DEL PROBLEMA

- Reducción de la carga de sedimentos en el Guadalquivir, haciendo una explotación sostenible del olivar.
- Es necesario una reordenación urbanística en Ándujar destinándo las zonas inundables a usos compatibles.
- La CHG ha proyectado una mejora de las actuaciones de defensa cuya utilidad queda condicionada al estado de sedimentación del cauce. Las motas se emplean como medida extraordinaria para la defensa de zonas urbanas, y se retranquean para dar amplitud al valle y aumentar el espacio de libertad fluvial.
- En la medida en que la sedimentación debida al embalse de Marmolejo afecta a terceros, su explotación debe quedar condicionada a su grado de sedimentación.
- Los nuevos estudios deberán responder a la pregunta de si es posible realizar una explotación sostenible de la central de Marmolejo.

Muchas gracias por vuestra atención