



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE FOMENTO

MINISTERIO
DE AGRICULTURA,
ALIMENTACIÓN
Y MEDIO AMBIENTE

CEDEX
CENTRO DE ESTUDIOS
Y EXPERIMENTACIÓN
DE OBRAS PÚBLICAS



PROBLEMAS DE INUNDABILIDAD DE ANDÚJAR. INFLUENCIA DE LA PRESA DE MARMOLEJO. ESTUDIO SEDIMENTOLÓGICO DEL EMBALSE.

25 de junio de 2015

Laboratorio de Hidráulica
Centro de Estudios Hidrográficos (CEDEX)

CEDEX



1. Evolución histórica del río Guadalquivir.
2. Resumen del estudio hidráulico.
3. Registros batimétricos del embalse.
4. Modelo sedimentológico del embalse.
 - Estimación de la tasa de aporte de sedimento al embalse.
 - Coeficiente de retención y compactación del sedimento.
 - Serie histórica de avenidas.
 - Consigna de explotación del embalse.
 - Calibración
5. Historia sedimentológica del embalse.
6. Influencia de consigna de explotación.
7. Consigna de explotación adaptativa.

Zona de estudio







GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE FOMENTO

MINISTERIO
DE AGRICULTURA,
ALIMENTACIÓN
Y MEDIO AMBIENTE

CEDEX
CENTRO DE ESTUDIOS
Y EXPERIMENTACIÓN
DE OBRAS PÚBLICAS

Construcción de la presa de Marmolejo (1962)



CEDEX



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE FOMENTO

MINISTERIO
DE AGRICULTURA,
ALIMENTACIÓN
Y MEDIO AMBIENTE

CEDEX
CENTRO DE ESTUDIOS
Y EXPERIMENTACIÓN
DE OBRAS PÚBLICAS

Evolución del cauce Vuelo 1977

- En el vuelo del año 1977, se aprecia la corta del meandro a través de una madre vieja, probablemente en la avenida de 1963.



CEDEX



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE FOMENTO

MINISTERIO
DE AGRICULTURA,
ALIMENTACIÓN
Y MEDIO AMBIENTE

CEDEX
CENTRO DE ESTUDIOS
Y EXPERIMENTACIÓN
DE OBRAS PÚBLICAS

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.

CEDEX



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE FOMENTO

MINISTERIO
DE AGRICULTURA,
ALIMENTACIÓN
Y MEDIO AMBIENTE

CEDEX
CENTRO DE ESTUDIOS
Y EXPERIMENTACIÓN
DE OBRAS PÚBLICAS

Evolución del cauce 1998 Actuación confluencia

Acondicionamiento de la confluencia Guadalquivir-Jándula. El fin era conseguir una incidencia del Jándula en el Guadalquivir menos oblicua y se amplía la sección del cauce.





GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE FOMENTO

MINISTERIO
DE AGRICULTURA,
ALIMENTACIÓN
Y MEDIO AMBIENTE

CEDEX
CENTRO DE ESTUDIOS
Y EXPERIMENTACIÓN
DE OBRAS PÚBLICAS

Evolución del cauce 2000 Actuación confluencia





GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE FOMENTO

MINISTERIO
DE AGRICULTURA,
ALIMENTACIÓN
Y MEDIO AMBIENTE

CEDEX
CENTRO DE ESTUDIOS
Y EXPERIMENTACIÓN
DE OBRAS PÚBLICAS

Año 2002. Dragados en margen derecha Puente Romano



CEDEX



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE FOMENTO

MINISTERIO
DE AGRICULTURA,
ALIMENTACIÓN
Y MEDIO AMBIENTE

CEDEX
CENTRO DE ESTUDIOS
Y EXPERIMENTACIÓN
DE OBRAS PÚBLICAS

Año 2009 (noviembre)
Mota margen izquierda





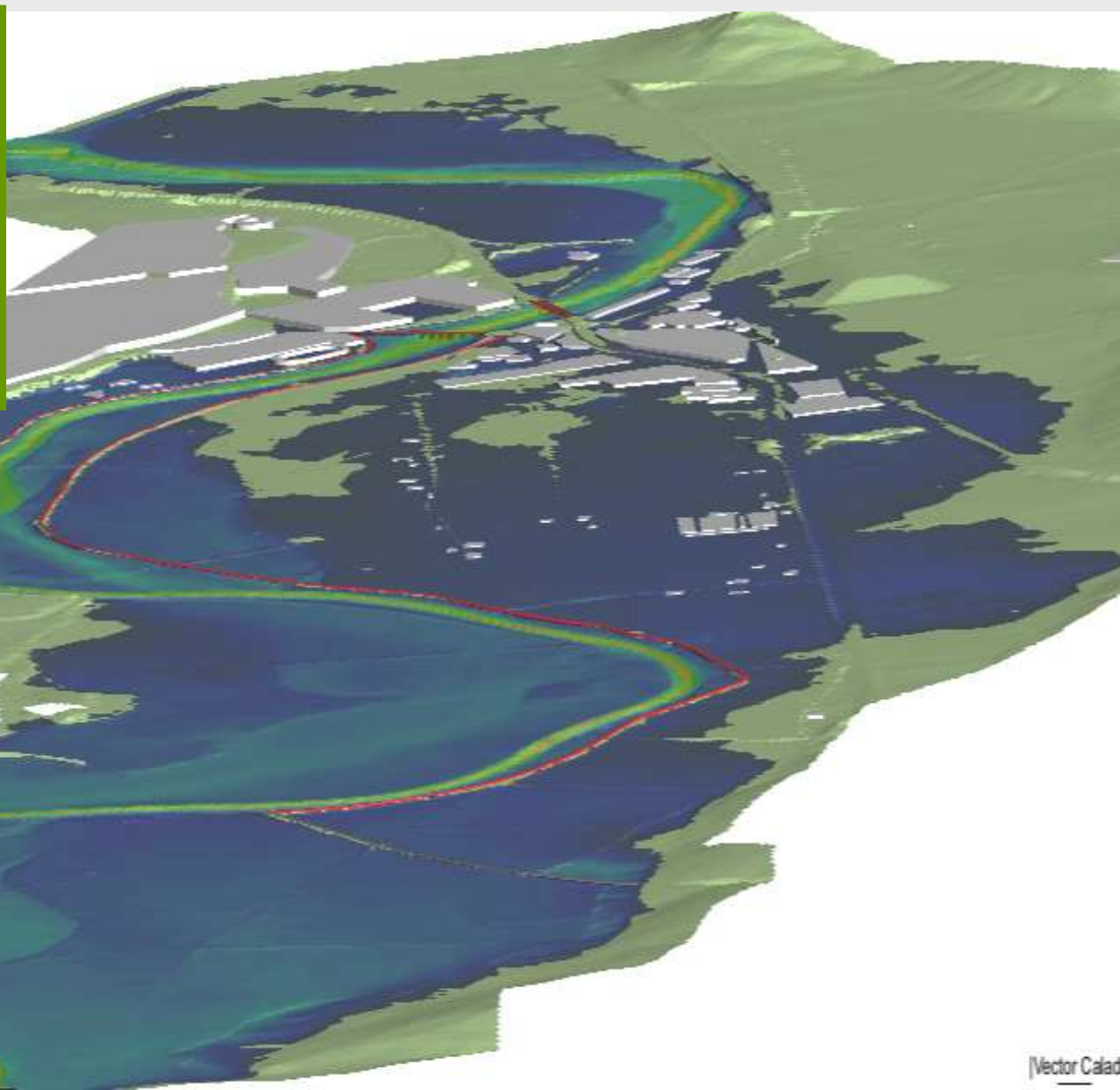
GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE FOMENTO

MINISTERIO
DE AGRICULTURA,
ALIMENTACIÓN
Y MEDIO AMBIENTE

CEDEX
CENTRO DE ESTUDIOS
Y EXPERIMENTACIÓN
DE OBRAS PÚBLICAS

24 de febrero 2010 Episodio de avenida. Calibración





GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE FOMENTO

MINISTERIO
DE AGRICULTURA,
ALIMENTACIÓN
Y MEDIO AMBIENTE

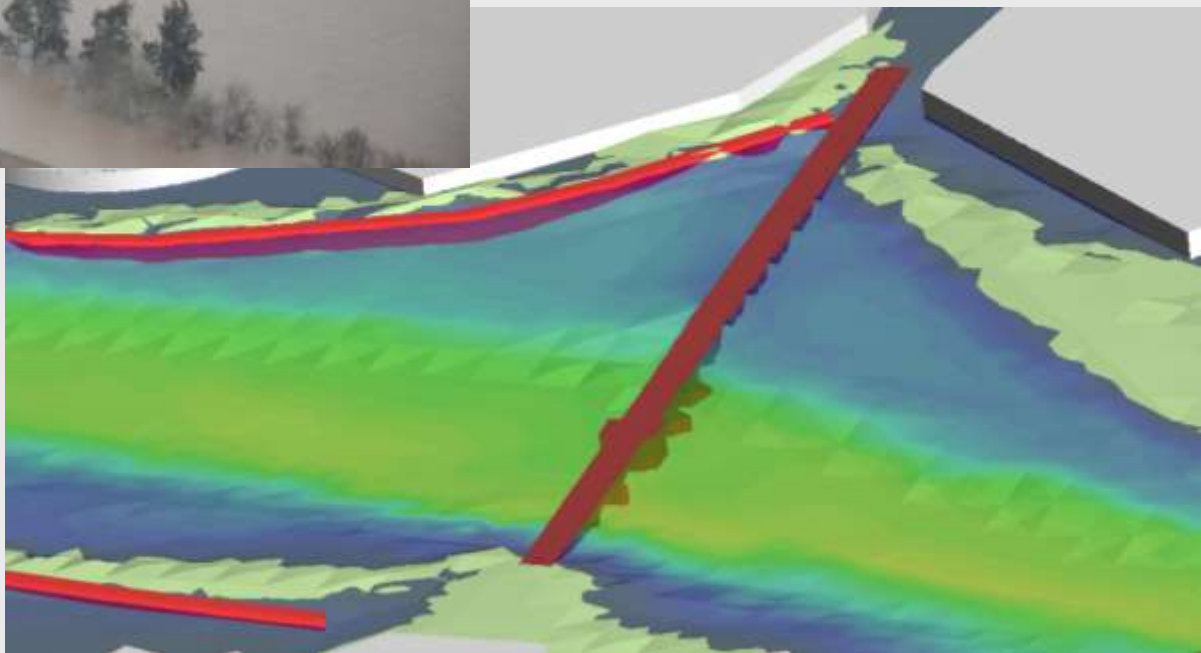
CEDEX
CENTRO DE ESTUDIOS
Y EXPERIMENTACIÓN
DE OBRAS PÚBLICAS

24 de febrero 2010 Episodio de avenida. Calibración.



Puente Romano

$Q=1500 \text{ m}^3/\text{s}$



CEDEX



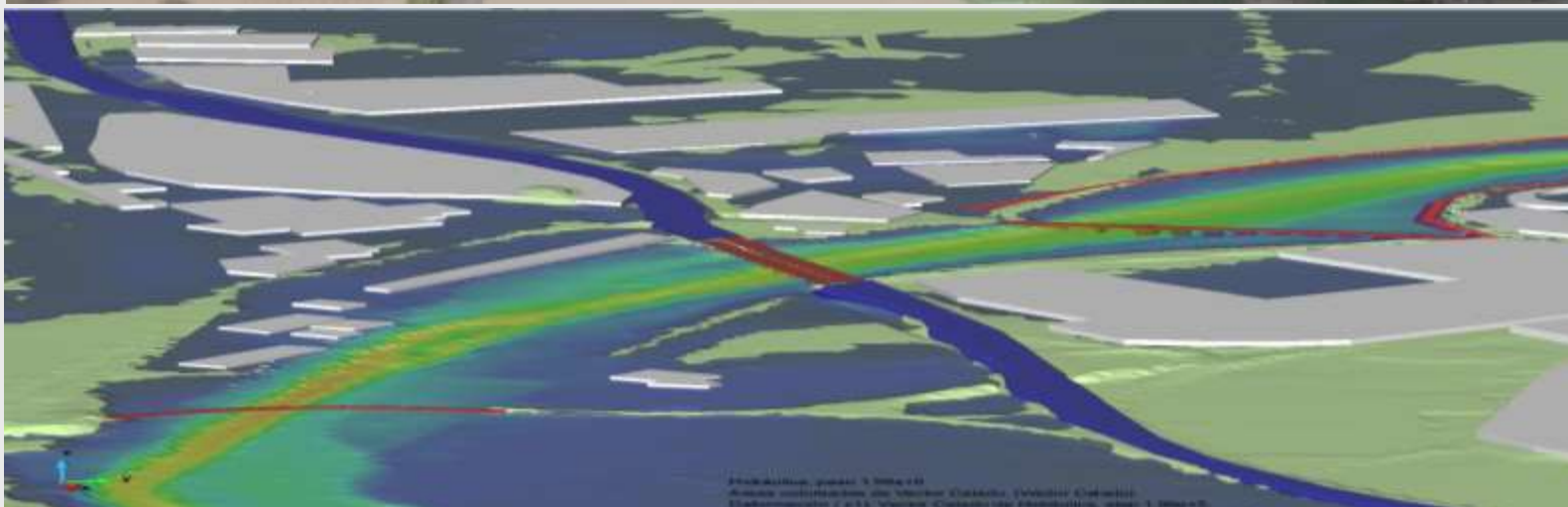
GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE FOMENTO

MINISTERIO
DE AGRICULTURA,
ALIMENTACIÓN
Y MEDIO AMBIENTE

CEDEX
CENTRO DE ESTUDIOS
Y EXPERIMENTACIÓN
DE OBRAS PÚBLICAS

24 de febrero 2010
Episodio de avenida. Calibración.



CEDEX



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE FOMENTO

MINISTERIO
DE AGRICULTURA,
ALIMENTACIÓN
Y MEDIO AMBIENTE

CEDEX
CENTRO DE ESTUDIOS
Y EXPERIMENTACIÓN
DE OBRAS PÚBLICAS

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

CEDEX



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE FOMENTO

MINISTERIO
DE AGRICULTURA,
ALIMENTACIÓN
Y MEDIO AMBIENTE

CEDEX

CENTRO DE ESTUDIOS
Y EXPERIMENTACIÓN
DE OBRAS PÚBLICAS

Modelo Físico Actuaciones Q1 (2200/871.5)



CEDEX



GOBIERNO
DE ESPAÑA

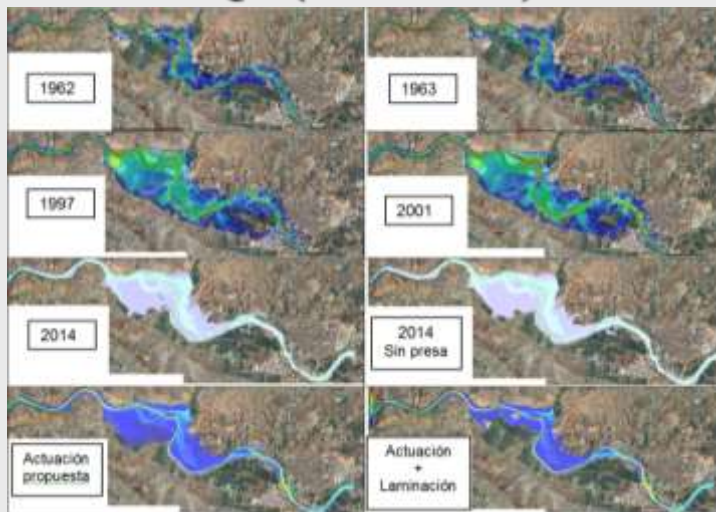
MINISTERIO
DE FOMENTO

MINISTERIO
DE AGRICULTURA,
ALIMENTACIÓN
Y MEDIO AMBIENTE

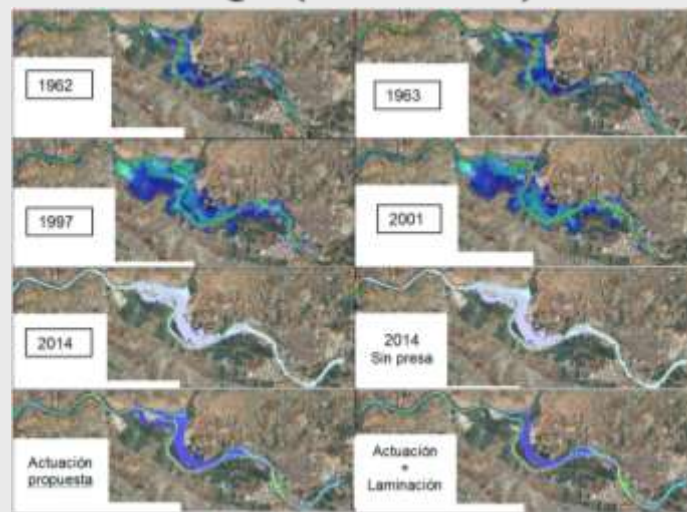
CEDEX
CENTRO DE ESTUDIOS
Y EXPERIMENTACIÓN
DE OBRAS PÚBLICAS

Resumen del estudio hidráulico

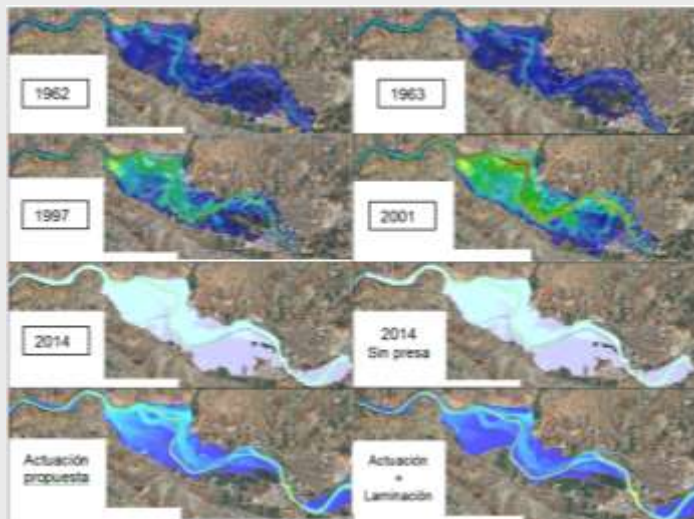
Q4 (400/158.5)



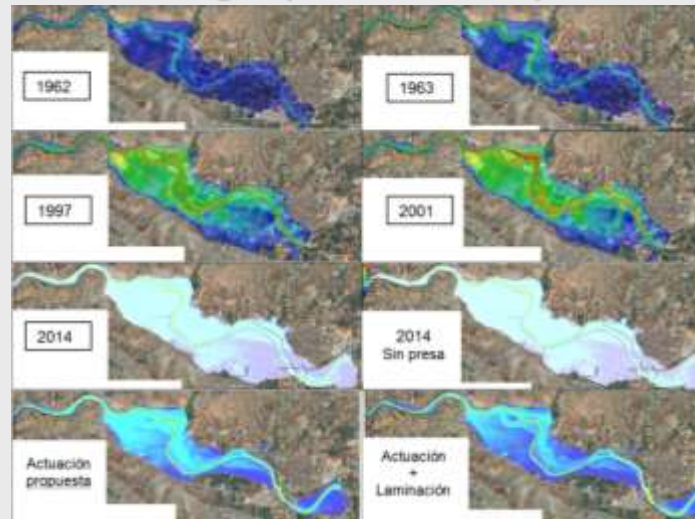
Q3 (800/316.9)



Q2 (1500/594.2)



Q1 (2200/871.5)



CEDEX



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE FOMENTO

MINISTERIO
DE AGRICULTURA,
ALIMENTACIÓN
Y MEDIO AMBIENTE

CEDEX
CENTRO DE ESTUDIOS
Y EXPERIMENTACIÓN
DE OBRAS PÚBLICAS

Resumen del estudio hidráulico

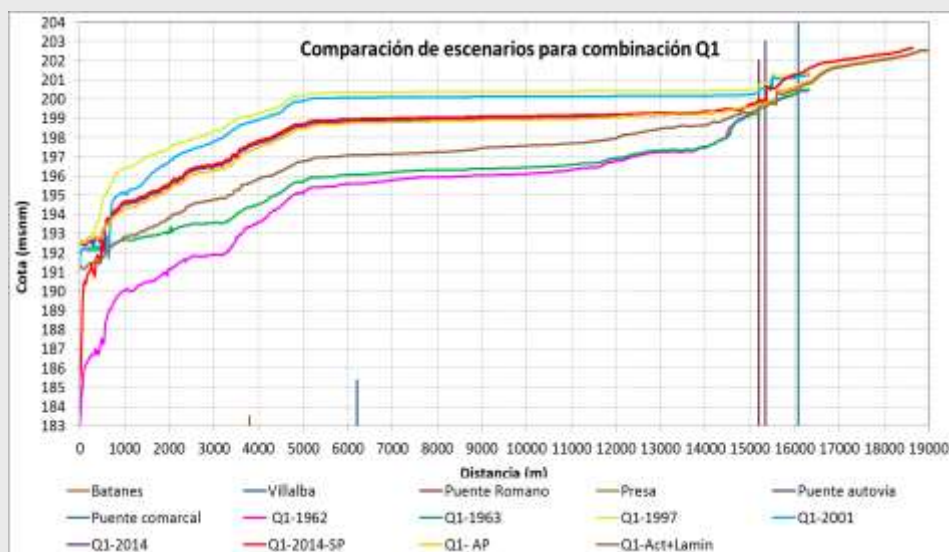
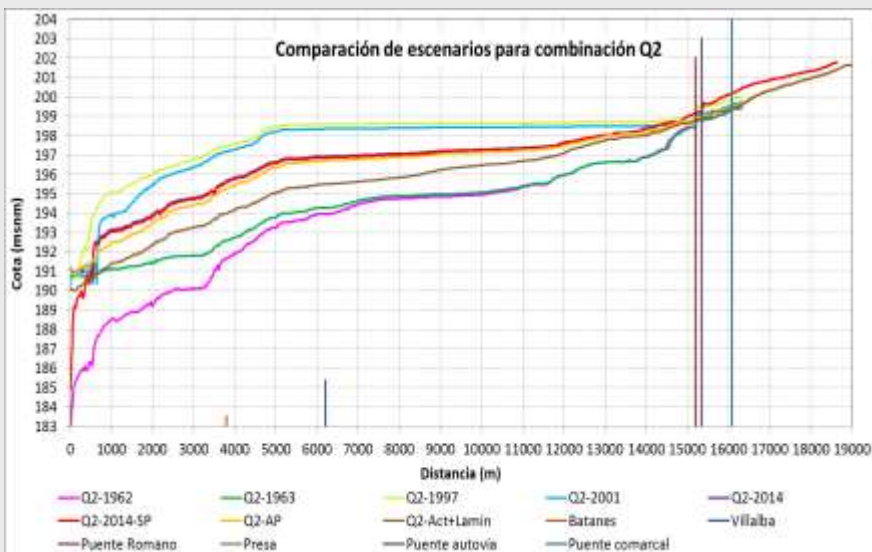
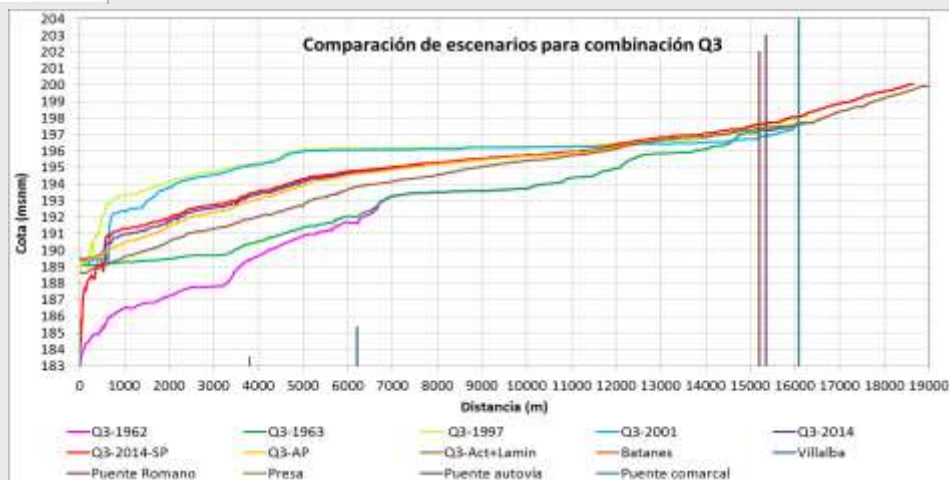
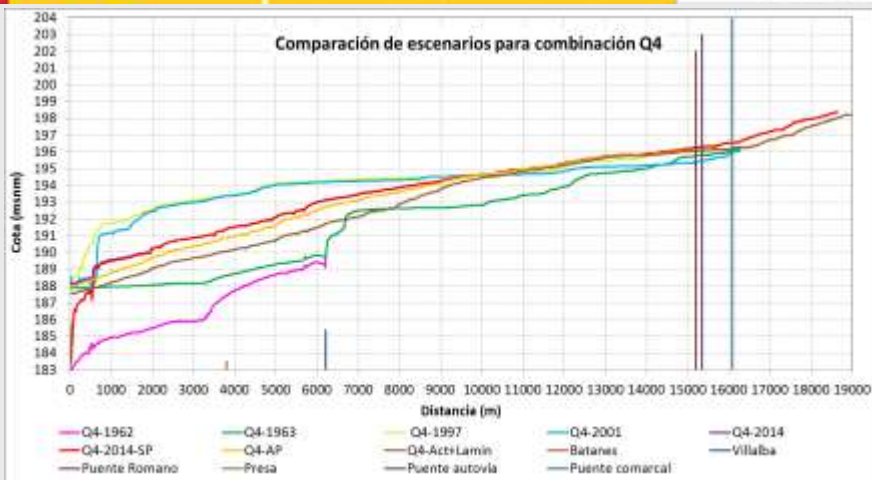




TABLA 27

Id	Tr años	1962	1963	1997	2001	2014	Actuación	Actuación + Laminación
		Superficie inundada (Has)	Superficie inundada (Has)	Superficie inundada (Has)	Superficie inundada (Has)	Superficie inundada (Has)	Superficie inundada (Has)	Superficie inundada (Has)
Q4	2.34	455.8	473.37	919.48	902.32	413.09	292	255.833
Q3	4.52	640.82	664.12	1248.56	1235	804.29	789	589.205
Q2	14.28	1091.61	1033.58	1625.74	1583.24	1400.46	1116.14	985.355
Q1	45.1	1360.38	1405.15	1792.87	1768.57	1713.1	1240.61	1192.24

TABLA 28

Escenario	PK m	Fondo msnm	Lámina Q1 msnm	Lámina Q2 msnm	Lámina Q3 msnm	Lámina Q4 msnm
1962	15350	190.57	199.76	198.8	197.21	195.8
1963	15350	190.5	199.79	198.8	197.23	195.81
1997	15350	191.03	200.85	199.46	197.61	196.34
2001	15350	191.16	200.55	199.03	196.9	195.47
2014	15350	190.68	199.86	199.18	197.61	196.26
2014-SP	15350	190.68	199.87	199.17	197.61	196.26
Act..Propuesta	15350	190.49	199.8	198.93	197.41	196.11
Act.Propuesta+Laminación	15350	190.53	199.61	198.85	197.38	196.08



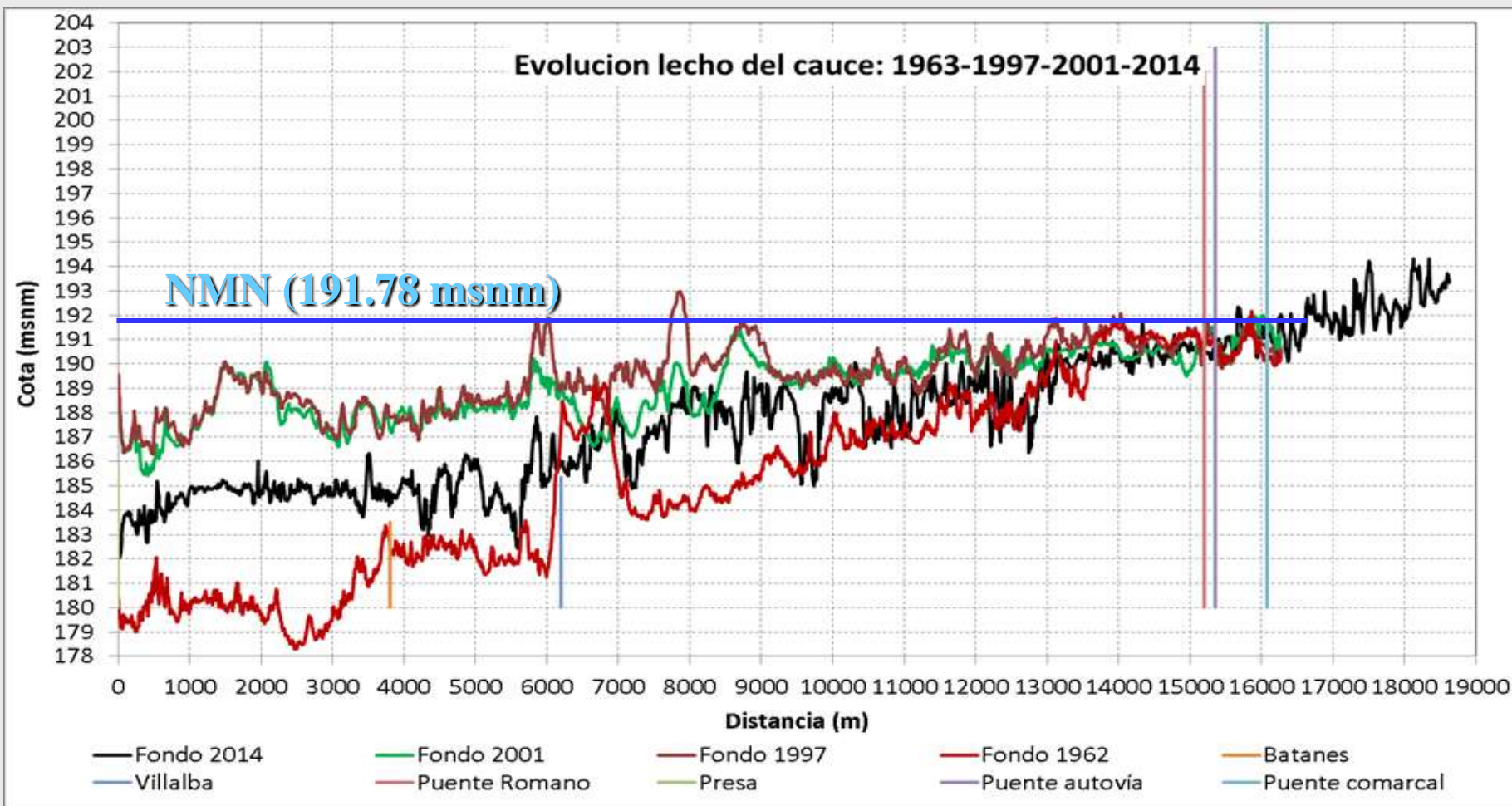
GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE FOMENTO

MINISTERIO
DE AGRICULTURA,
ALIMENTACIÓN
Y MEDIO AMBIENTE

CEDEX
CENTRO DE ESTUDIOS
Y EXPERIMENTACIÓN
DE OBRAS PÚBLICAS

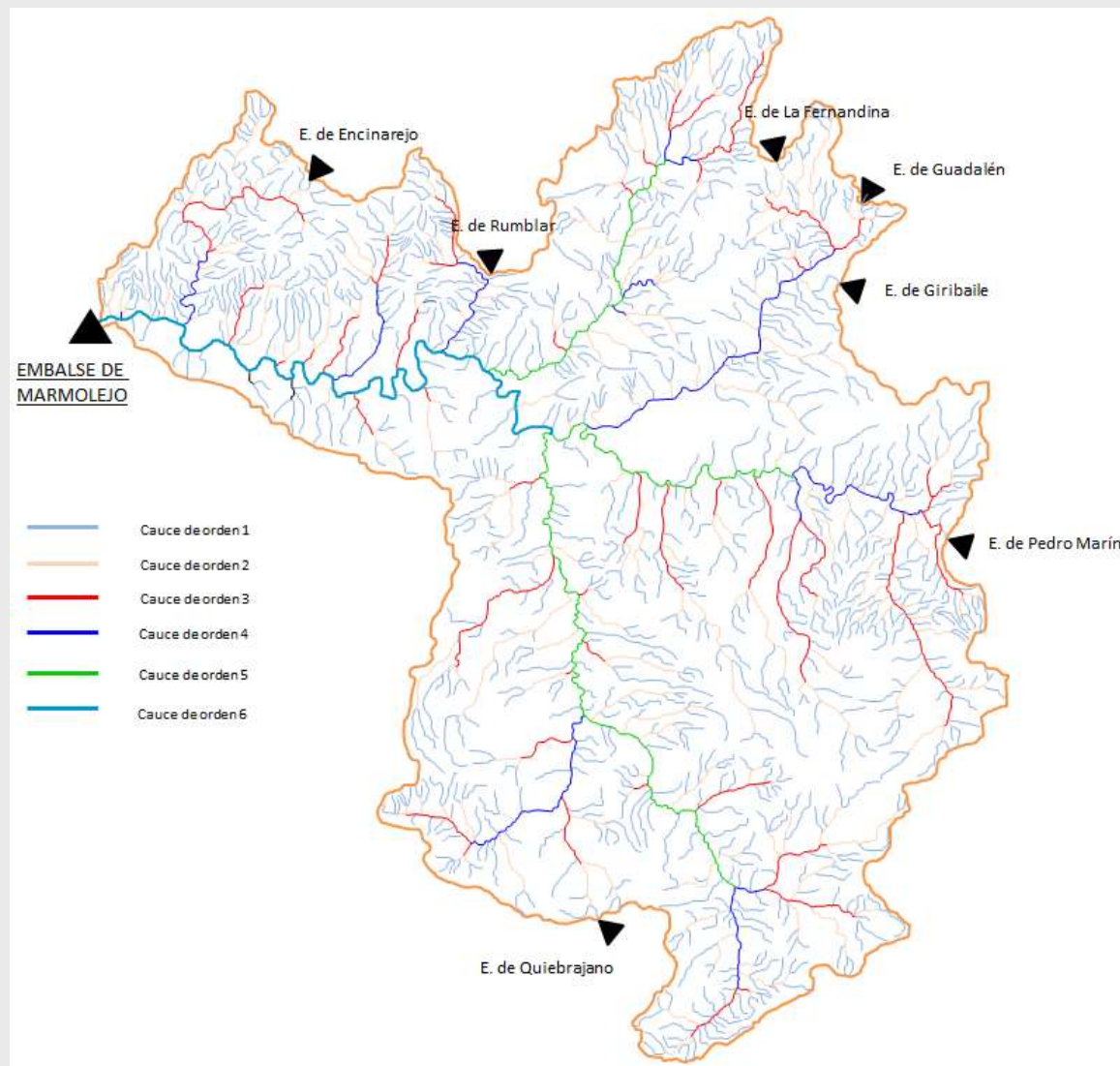
Registros batimetricos



Estimación teórica del aporte de sedimentos al embalse

1.- Definición de la cuenca de drenaje del embalse

2.- Establecimiento de la red hidrográfica de la cuenca



Estimación teórica del aporte de sedimentos al embalse

3.- 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

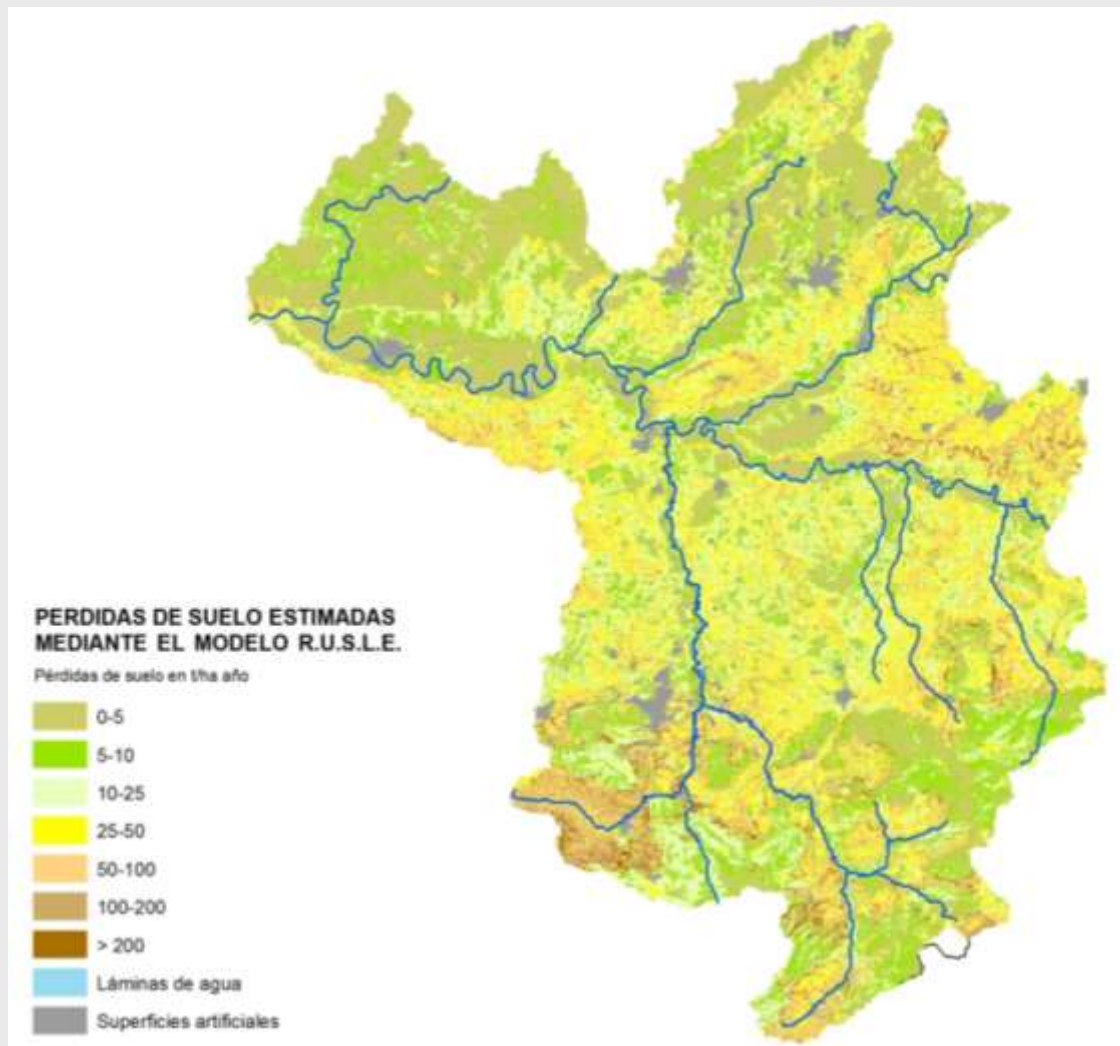
5.417.500 t/año - 12.277.500 t/año.

4.- Coeficiente de entrega de sedimentos (CES).

Calibración CEDEX

$$CES = 36 A^{-0.2} - (2/\lg P) + \lg (cb)$$

$$CES = 8.84\%$$



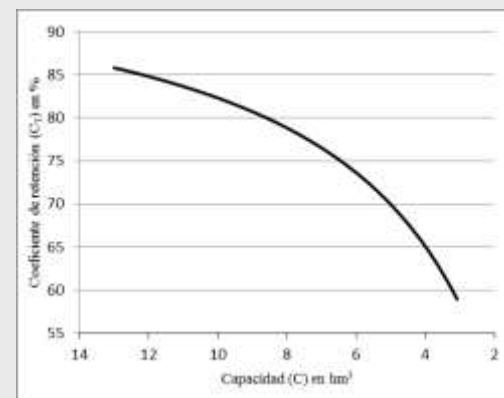


Modelo de sedimentación

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:

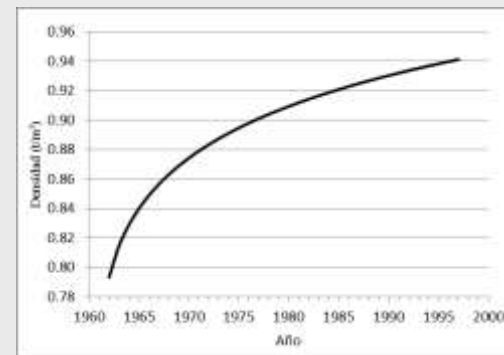
- Tasa de retención $CT = 100 \left[1 - \frac{1}{1 + 1,43 \frac{C}{3.072}} \right]$,
que varía con la capacidad del embalse.



- Evolución de la densidad del sedimento

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

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





GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE FOMENTO

MINISTERIO
DE AGRICULTURA,
ALIMENTACIÓN
Y MEDIO AMBIENTE

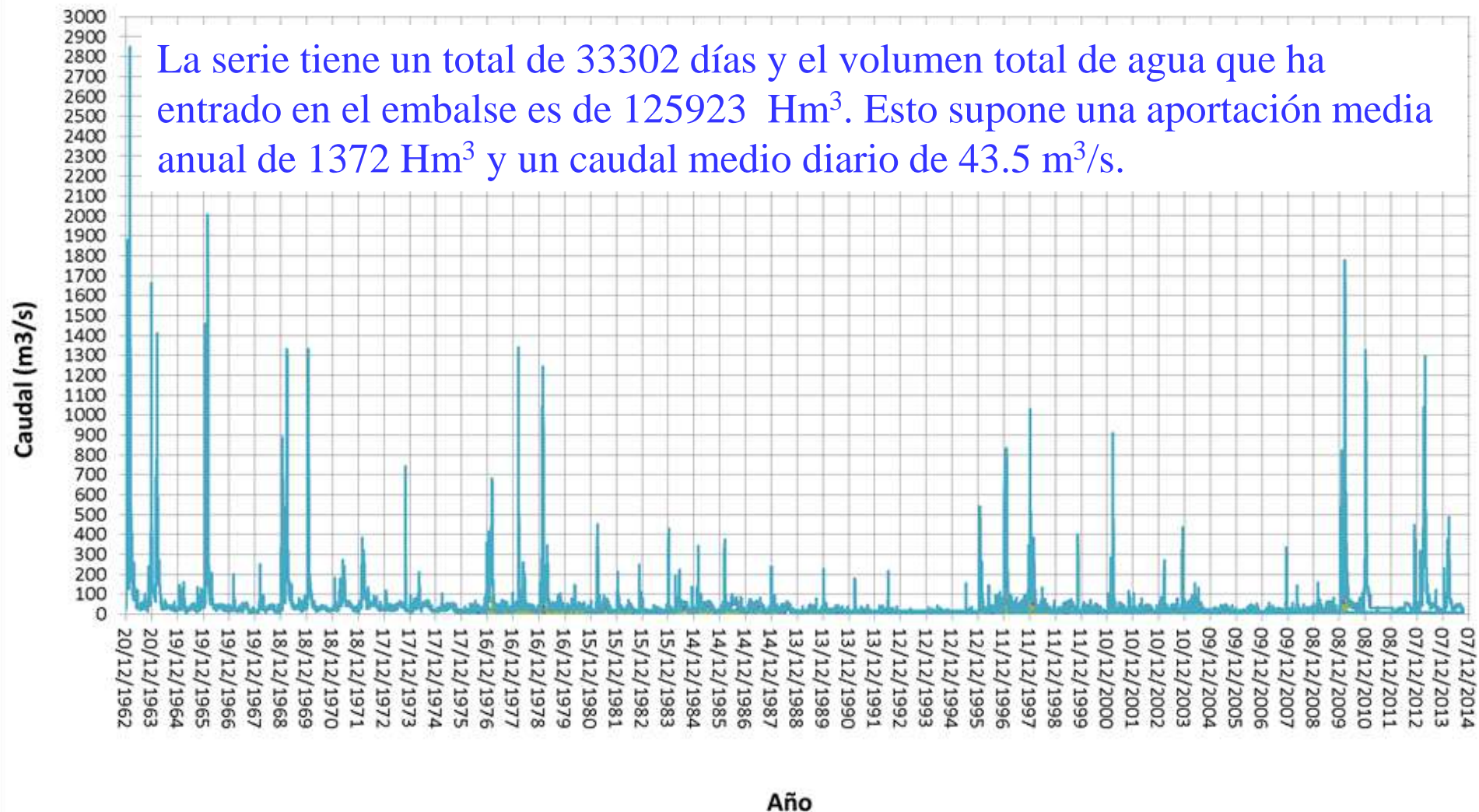
CEDEX
CENTRO DE ESTUDIOS
Y EXPERIMENTACIÓN
DE OBRAS PÚBLICAS

MODELO SEDIMENTOLÓGICO.

Serie histórica de Avenidas.

Caudal de entrada al embalse de Marmolejo

La serie tiene un total de 33302 días y el volumen total de agua que ha entrado en el embalse es de 125923 Hm³. Esto supone una aportación media anual de 1372 Hm³ y un caudal medio diario de 43.5 m³/s.





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 m³/s en la rama ascendente del hidrograma y cierre para 300 m³/s en rama descendente.
- Desde 1997: Apertura total de compuertas para cuando el caudal supera los 150 m³/s en la rama ascendente del hidrograma y cierre para 300 m³/s en rama descendente.

Calibración

EXPLOTACIÓN NORMAL: Proceso de sedimentación.

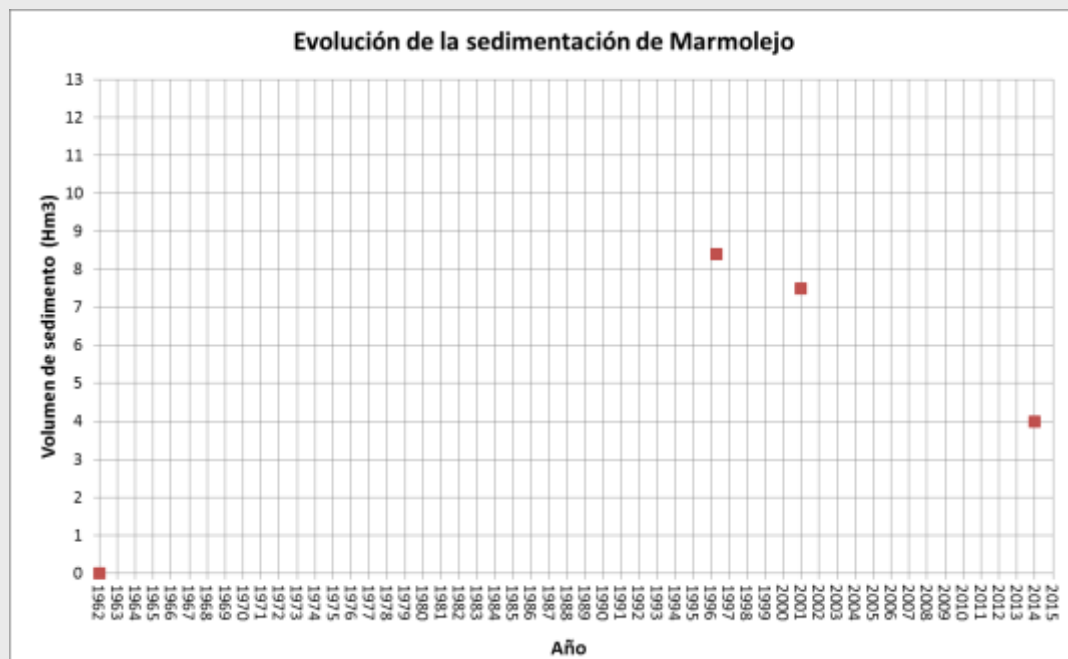
Volumen sedimentado = ϕ (Tasa Aporte, Retención)

TASA DE APORTE: 555.000 t/año.

EXPLOTACIÓN EN AVENIDAS: Proceso de erosión.

TASA DE EROSIÓN: 1280 ppm

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





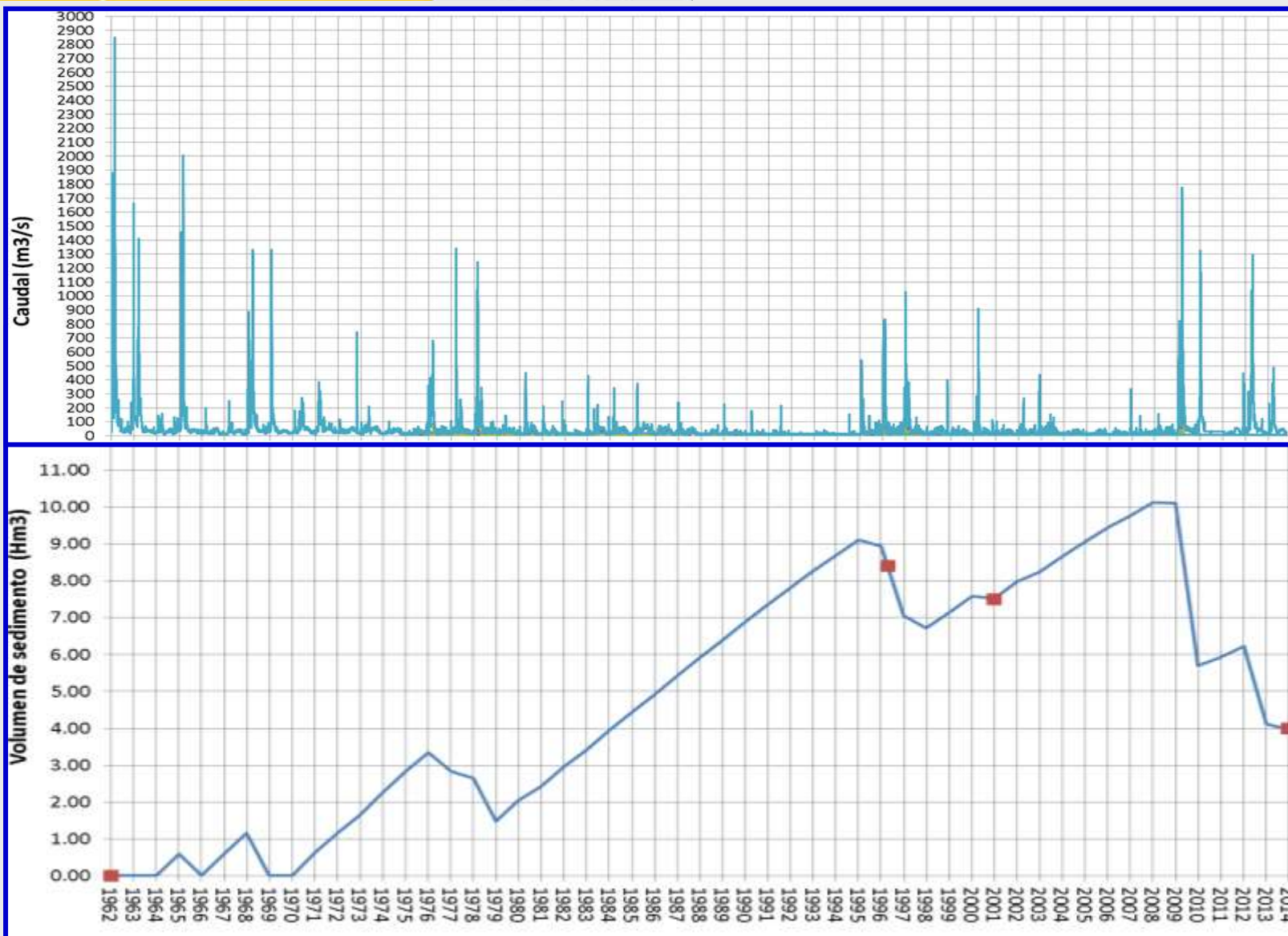
GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE FOMENTO

MINISTERIO
DE AGRICULTURA,
ALIMENTACIÓN
Y MEDIO AMBIENTE

CEDEX
CENTRO DE ESTUDIOS
Y EXPERIMENTACIÓN
DE OBRAS PÚBLICAS

Historia sedimentológica del embalse



CEDEX



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE FOMENTO

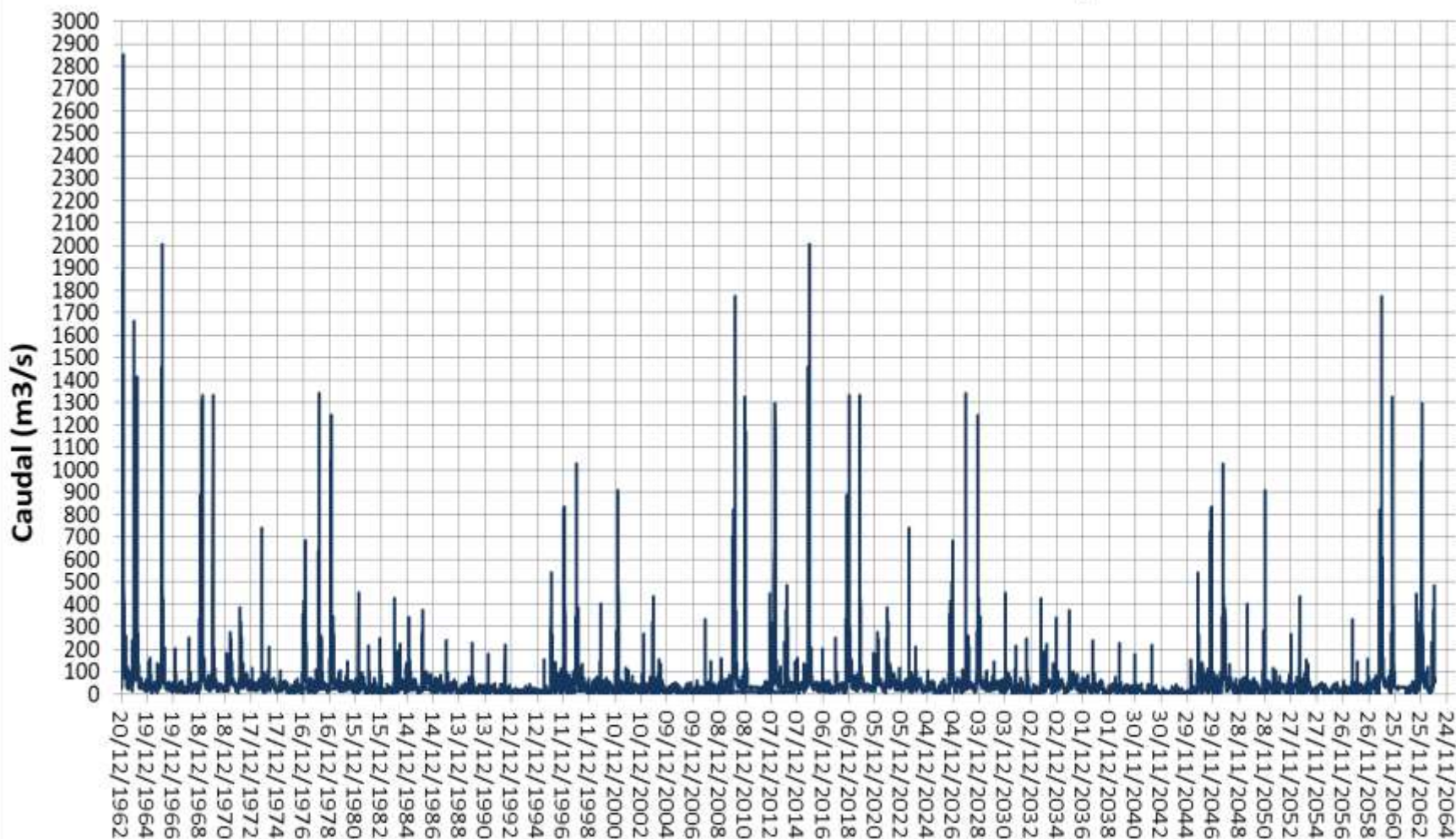
MINISTERIO
DE AGRICULTURA,
ALIMENTACIÓN
Y MEDIO AMBIENTE

CEDEX
CENTRO DE ESTUDIOS
Y EXPERIMENTACIÓN
DE OBRAS PÚBLICAS

Influencia de consigna de explotación

Evolución futura del embalse

Caudal de entrada al embalse de Marmolejo





GOBIERNO
DE ESPAÑA

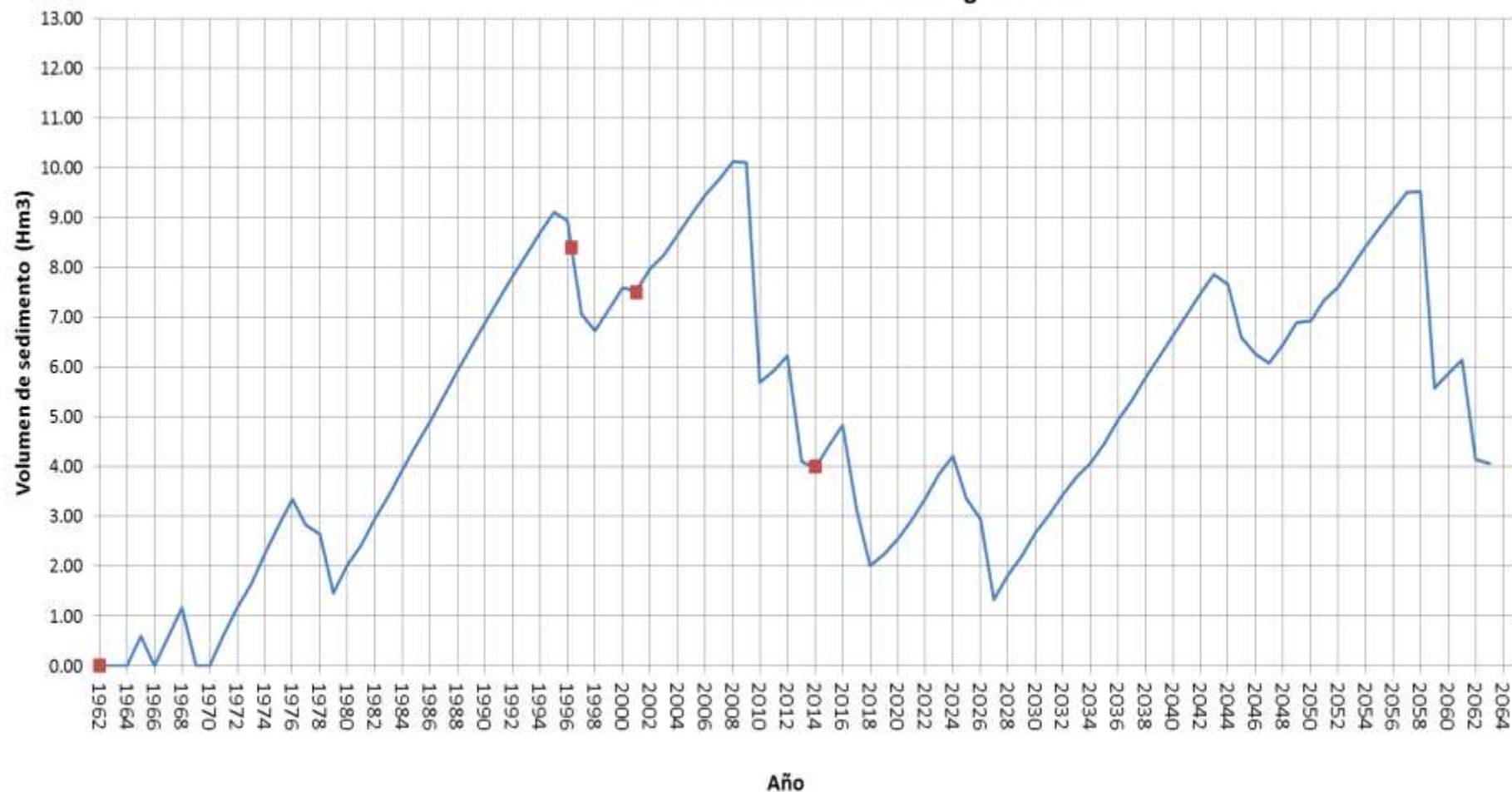
MINISTERIO
DE FOMENTO

MINISTERIO
DE AGRICULTURA,
ALIMENTACIÓN
Y MEDIO AMBIENTE

CEDEX
CENTRO DE ESTUDIOS
Y EXPERIMENTACIÓN
DE OBRAS PÚBLICAS

Influencia de consigna de explotación

Evolución futura con la consigna actual





GOBIERNO
DE ESPAÑA

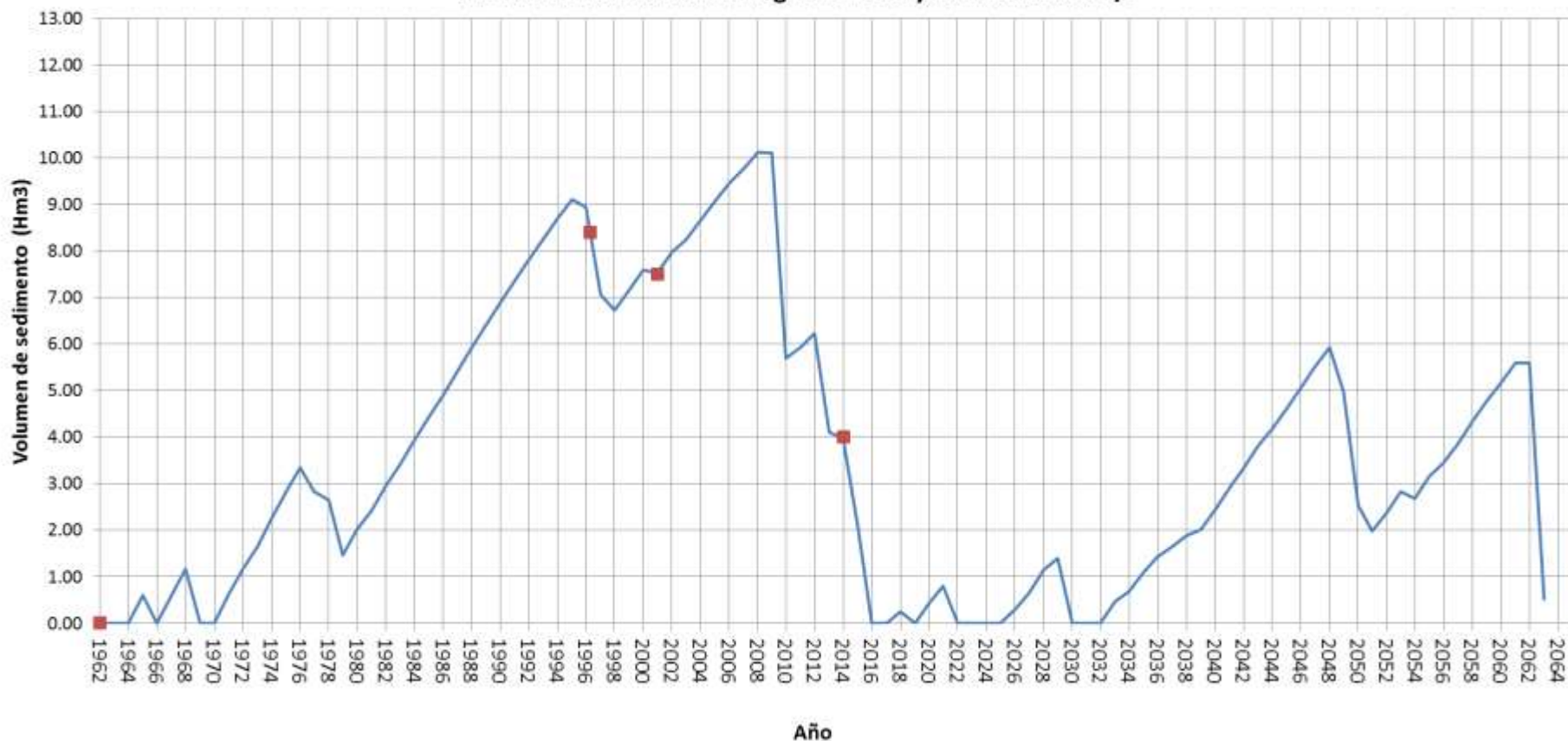
MINISTERIO
DE FOMENTO

MINISTERIO
DE AGRICULTURA,
ALIMENTACIÓN
Y MEDIO AMBIENTE

CEDEX
CENTRO DE ESTUDIOS
Y EXPERIMENTACIÓN
DE OBRAS PÚBLICAS

Influencia de consigna de explotación

Evolución futura con consigna de alza y cierre a 100 m³/s



Objetivos de la consigna:

- Mantener el nivel de sedimentación por debajo de los 4 Hm³ (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 Hm³
 - Se estima que en un mes de apertura a caudal medio se erosiona 0.14 Hm³.



GOBIERNO
DE ESPAÑA

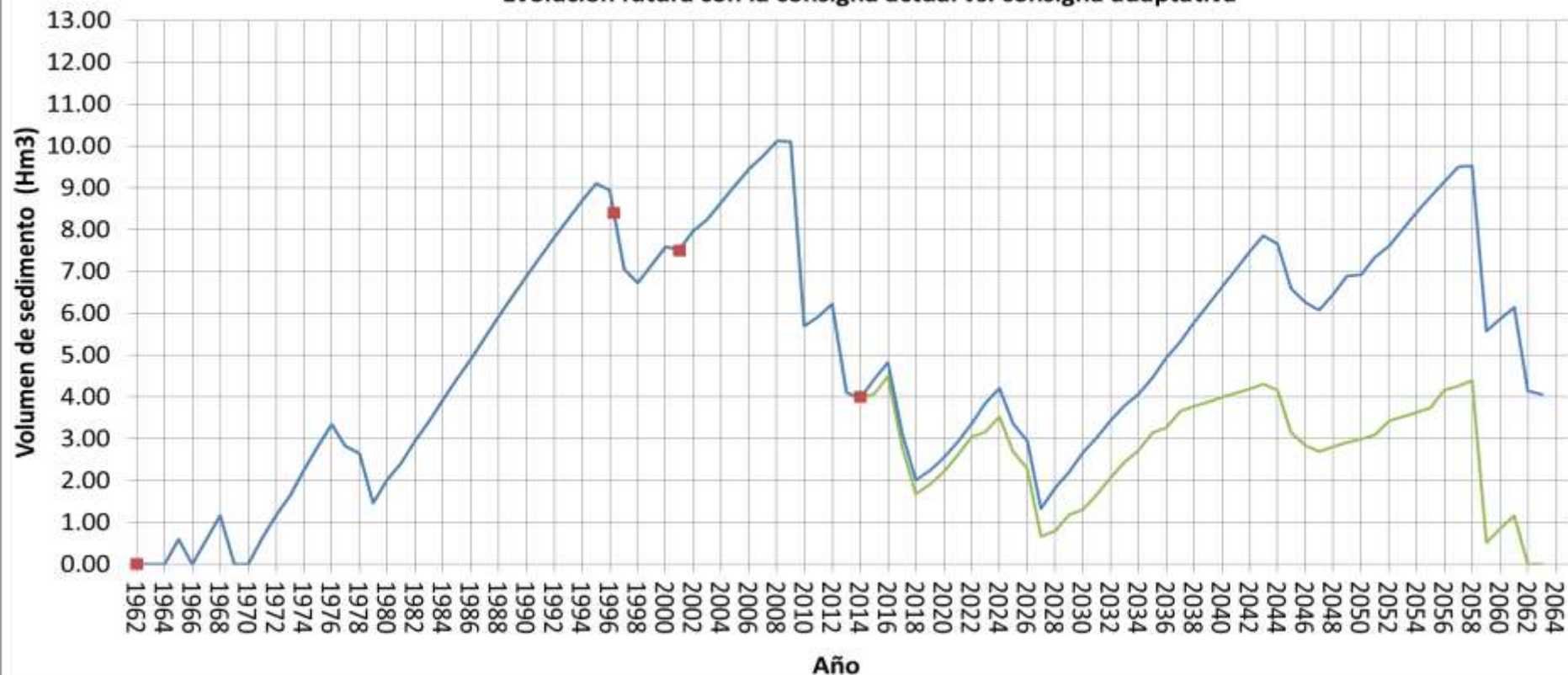
MINISTERIO
DE FOMENTO

MINISTERIO
DE AGRICULTURA,
ALIMENTACIÓN
Y MEDIO AMBIENTE

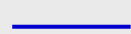
CEDEX
CENTRO DE ESTUDIOS
Y EXPERIMENTACIÓN
DE OBRAS PÚBLICAS

Ejemplo consigna adaptativa

Evolución futura con la consigna actual vs. consigna adaptativa



Consigna de explotación:



Actual.



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



1. Modificar la consigna de explotación del embalse para mantener el embalse en niveles de seguridad de Andújar($< 4 \text{ Hm}^3$).
2. Realizar nuevos estudios sedimentológicos para afinar el modelo sedimentológico:
 - Campañas batimétricas periódicas y tras episodios de avenida.
 - Campaña de aforos sólidos.
3. Los dragados que se forman en el entorno de los puentes de Andújar son consecuencia del remanso de la cola del embalse. Por tanto:
 - Será necesario realizar dragados periódicamente si no se altera la forma de explotación del embalse.
 - Podría reducirse la cota de explotación de Marmolejo. Un descenso de un metro liberaría de la necesidad de repetir los dragados.



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE FOMENTO

MINISTERIO
DE AGRICULTURA,
ALIMENTACIÓN
Y MEDIO AMBIENTE

CEDEX
CENTRO DE ESTUDIOS
Y EXPERIMENTACIÓN
DE OBRAS PÚBLICAS

**Muchas gracias
por vuestra atención**

CEDEX