

entrega al Aragón. A la zona común se le llamó “tramo inferior” (que comprende la garganta), a la zona con las dos ramas, “tramo medio”, y a la parte alta de la cuenca, ya sin cauce, “tramo superior”. En el momento de su corrección, la cuenca estaba casi por completo deforestada, como se puede apreciar en la Figura 3.1.

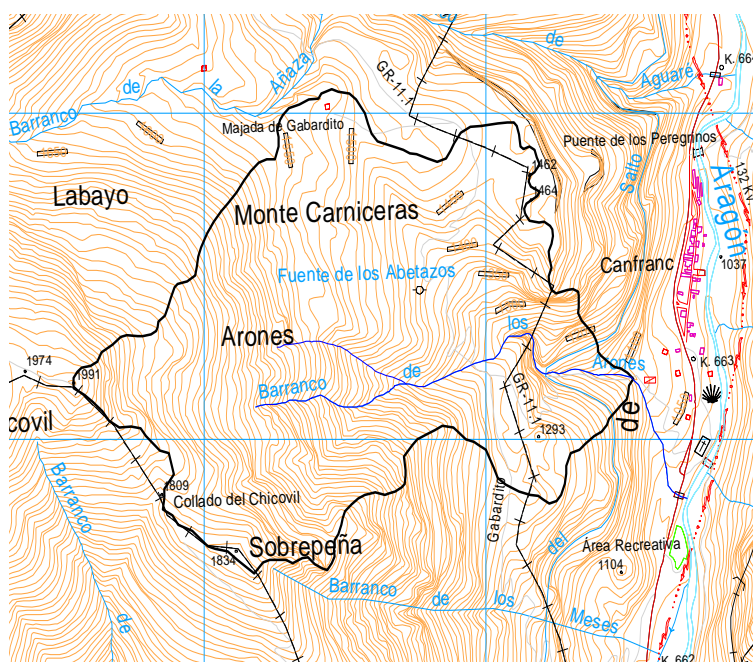


Figura 2. Cuenca del torrente “Los Meses”

La corrección se realizó en las fases siguientes:

- En el tramo inferior se construyó una canalización hidráulica de tramos erosionables y cuatro diques. La canalización, de 11 escalones, 95 m de longitud y 6,5 m de anchura, estaba compuesta por 11 rastrillos de altura variable (1,5-2 m) acompañados por muros longitudinales. La canalización empieza donde acaba el conocido “muro de los vecinos”, y le siguen, antes de la garganta, tres diques más de mampostería hidráulica, de alturas comprendidas entre 5,5m y 9m. Tras la garganta en dirección aguas arriba, se situó el cuarto dique de este tramo, de mampostería en seco, con una altura de 6 m. Todo este tramo se repobló con *Pinus sylvestris*, y con frondosas el cono de deyección y el cauce bajo.
- En el tramo medio se distinguieron dos ramas. Se construyó un dique común al comienzo del tramo, antes de la bifurcación (Figuras 4.2 y 5.2). En la rama izquierda se construyó una canalización de 179 m de longitud, con 32 escalones, de anchura y altura variables (Figuras 3.3, 3.5 y 4.5). Atravesando esta canalización se construyeron 5 diques transversales. A lo largo de la canalización se construyeron 52 aletas transversales, que partían de los muros longitudinales centrales y se empotraban en la base de la ladera, con la misión de sujetarla, es decir a modo de contrafuertes (Figura 5.4).
En la rama derecha se construyó una corta canalización, de apenas 11m de longitud, seguida de tres diques. Los dos primeros de mampostería hidráulica (4,5 y 8 m de altura, separados 33 m) y el último de mampostería en seco (75m aguas arriba, con una altura de 8m). Todo este tramo se repobló con *Pinus sylvestris*.
- En el tramo superior no se hicieron obras y se repobló con *Pinus uncinata*.

Otras obras

En la rama izquierda del torrente de “Los Meses”, por encima del dique que cierra la canalización, se levanta una sucesión de 22 muros o diques de mampostería gavionada, con una técnica constructiva diferente a la que hoy se emplea para la elaboración de los gaviones. Se trata más bien de muros de mampostería en seco, que han sido recubiertos con malla metálica.

No existe documentación alguna de las obras de la época en la que se mencione la construcción de

estos gaviones, con lo que se suponen posteriores al primer proyecto. Sin embargo, no pueden ser muy lejanos en el tiempo, pues la guardería de la zona no tiene constancia de obras en el torrente desde los años 40 del pasado siglo. Por lo tanto, se desconocen la datación de dichas obras, su artífice y su propósito, pues artículos especializados de los años 1924 y 1925 alaban el excelente funcionamiento de la primera corrección.

La cuenca actual

La cuenca del torrente Los Meses presenta los siguientes valores de sus principales parámetros:

Parámetro	Valor
Superficie	163,55 (ha)
Perímetro	6,402 (km)
Longitud	1,98 (km)
Altitud media	1500 (m)
Pendiente media	52,75 %
Índice de compacidad	1,41

Tabla 1. Principales características de la cuenca

Geológicamente, se distingue una zona baja (tramo inferior) de calizas y dolomías con alta infiltración, y una zona alta (tramos medio y superior) de flysch, con arcilla y margas, bastante impermeable. Los materiales más grandes presentes en el lecho provienen de la morrena que delimita la cuenca del torrente, y los pequeños del flysch.

El perfil longitudinal del cauce de las aguas ha quedado muy transformado por las obras. El lecho del cauce ha quedado transformado prácticamente en una sucesión de saltos de agua, en una gran canalización escalonada.

Esquema del torrente Los Meses Localización de las obras de corrección

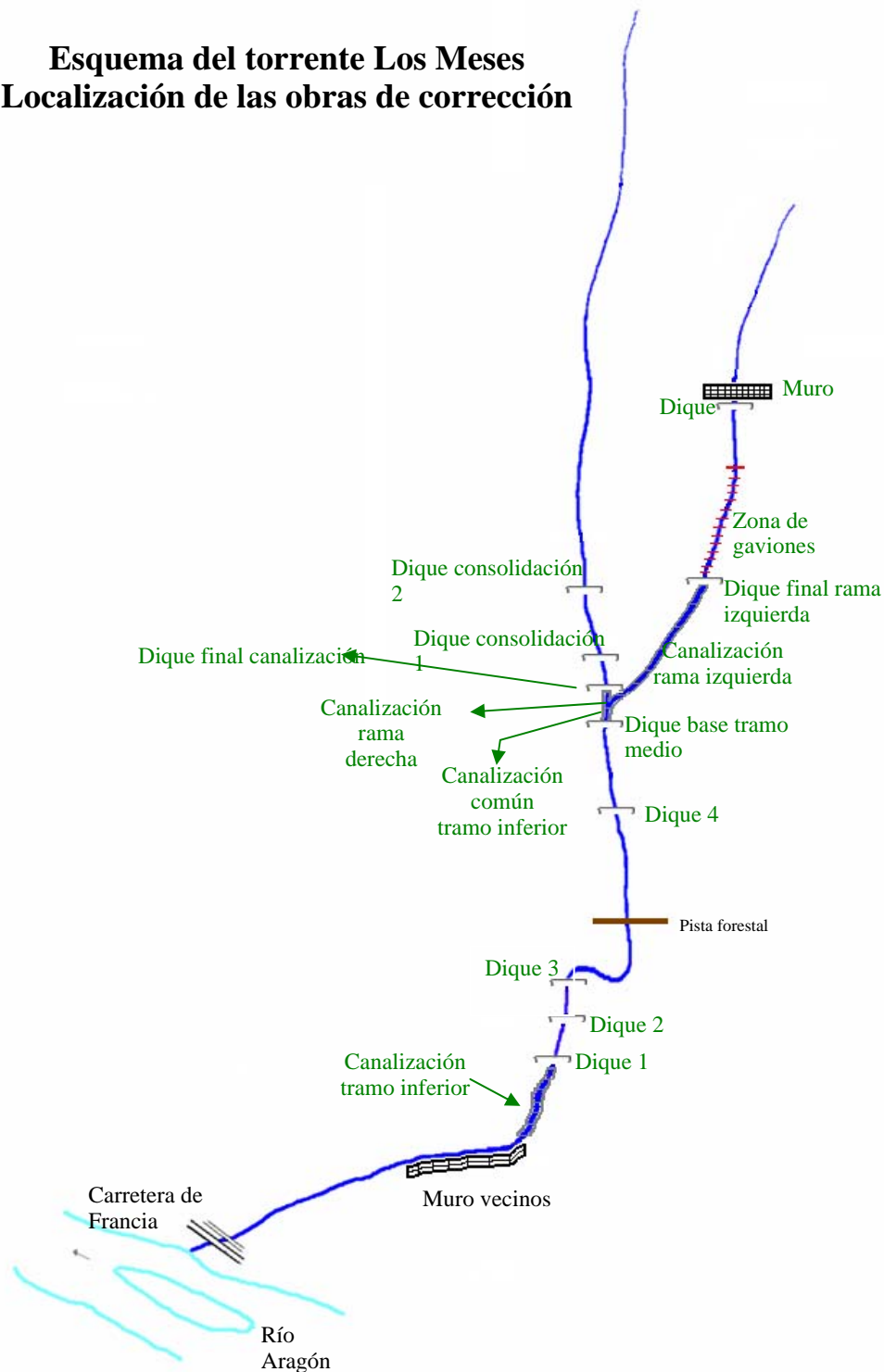


Figura 3. Esquema del torrente Los Meses con la localización de las obras de corrección.

Pero sin duda el gran mérito de esta restauración ha sido el logro de una masa forestal densa en las laderas, producto de las repoblaciones de entonces. Se ha conseguido un cerrado bosque de Pino silvestre en la zona baja y media, con un denso sotobosque y una gran diversidad botánica, protagonizada principalmente por: *Buxus sempervirens*, *Corylus avellana*, *Crataegus monogyna* o *Lonicera xylosteum*. La parte alta de la cuenca está ocupada por pinar de *P. uncinata*, con menos sotobosque, e interrumpido por manchas de césped denso de alta montaña. También son muy abundantes por toda la cuenca *Laburnum anagyroides* y, especialmente a lo largo de todo el cauce,

Alnus glutinosa. Por último, por zonas, se pueden ver numerosos pies de *Acer platanoides*, *Abies alba*, *Sorbus aucuparia* o *Sorbus aria*.

Hidráulica torrencial

Debido a lo abrupto del recorrido, a los continuos saltos y bruscos cambios de sección, no ha sido posible modelizar el comportamiento de las aguas mediante ningún programa informático. Se han calculado los caudales líquidos y los caudales sólidos, y se ha hecho un intenso análisis de los indicadores del comportamiento hidráulico del torrente sobre el terreno.

Para el cálculo de los caudales líquidos se ha aplicado la metodología más común en España para cuencas pequeñas, la fórmula racional, cuya expresión en $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ es la siguiente:

$$q_p = K \cdot \frac{C \cdot I \cdot A}{3,6}$$

donde:

Q, es el caudal punta generado, asociado a un periodo de retorno (m^3/s).

I, es la intensidad máxima de la precipitación en el tiempo de concentración (mm/h).

A, es la superficie vertiente de la cuenca (Km^2).

C, coeficiente de escorrentía, adimensional, que se calcula a partir de la precipitación diaria y el umbral de escorrentía.

K, coeficiente de uniformidad, calculado a partir del tiempo de concentración.

La intensidad en el tiempo de concentración se ha calculado de dos formas. La primera ha sido siguiendo el procedimiento propuesto por la Instrucción de Carreteras 5.2-I.C, en vigor, que adopta la siguiente fórmula:

$$I = \frac{P_d}{24} \cdot \left(\frac{I_1}{I_d} \right)^{\frac{28^{0,1} - D^{0,1}}{28^{0,1} - 1}}$$

donde:

I, es la Intensidad de precipitación asociada a una duración D (mm/hora).

P_d , es la Precipitación diaria a transformar en intensidad en una duración D.

D, es la duración para la que se pretende calcular la intensidad.

I_1/I_d : Parámetro regionalizado, que según el mapa propuesto por la Témez (XXXX), vale 10 en Canfranc.

El otro procedimiento es el propuesto por Salas (2005) que hace una revisión de la fórmula, y propone nuevos mapas, más detallados, de la expresión siguiente:

$$I = K \frac{24^a - D^a}{24^a - 1}$$

donde, K, es el parámetro regionalizado de arriba, que en el nuevo mapa toma el valor 6 para Canfranc, y a es un nuevo parámetro regionalizado, que toma el valor, $a=0,075$, en Canfranc.

El número de curva, para el cálculo del umbral de escorrentía y el coeficiente de escorrentía, fue fijado en 75 para la condición hidrológica II, y el 87,5 para la III.

El tiempo de concentración se calculó mediante las fórmulas propuestas por Kirpich, Témez y Giandiotti. Por otro lado, de acuerdo con la pendiente y longitud de los tramos del cauce y su rugosidad, aplicando Manning, se ha estimado un tiempo de recorrido del agua en cauce, y se le ha sumado una estimación del tiempo de escurrimiento por las laderas, a partir de nomogramas. El resultado ha sido una estimación más o menos empírica del tiempo de concentración concreto de la cuenca corregida, y que ha resultado ser más o menos coincidente (un poco superior) al obtenido mediante la fórmula de Giandiotti.

Fórmula empleada	Tiempo de concentración
Kirpich	0,176 h
Giandioti	0,35 h
Témez	0,66 h

Tabla 2. Tiempos de concentración

Las precipitaciones máximas asociadas diferentes periodos de retorno fueron estimadas a partir de las funciones de distribución de máximos de Gumbel y SQRT-ET_{MAX}. Los valores de los periodos de retorno más altos (a partir de 500 años) son superiores para la segunda. El resto son muy parecidos:

Periodo retorno (años)	Gumbel (mm)	SQRT-ET _{MAX} (mm)
50	148,40	152,82
100	161,28	171,09
500	191,04	217,38

Tabla 3. Valores de precipitaciones máximas para las dos funciones de distribución

Para los caudales sólidos, en primer lugar se ha tratado de determinar el umbral del caudal para el inicio del movimiento, aplicando un conjunto de fórmulas conocidas y basadas en la tensión crítica de arrastre (Schkolitsch, Shields, Miller, Meyer-Peter) y otras que proponen una estimación directa del caudal crítico, siempre en función de la pendiente, el radio hidráulico, los tamaños de los materiales... (Bathurst, Rickenmann, Wittaker y Jaeggi, Lafort). El resultado obtenido no ofreció resultados coherentes con lo observado sobre el terreno, ya que los caudales críticos obtenidos eran muy pequeños para movilizar los enormes materiales encontrados en el cauce. De hecho, en alguna visita al torrente se observaron caudales superiores a los obtenidos, y el agua circulaba limpia. Esto es así porque las fórmulas empleadas fueron obtenidas mediante ensayos de laboratorio normalmente para pendientes más bajas que las del torrente, y sobre todo, para tamaños de materiales inferiores a uno o dos órdenes de magnitud.

No obstante, y a modo de ensayo, se calculó también el caudal sólido en tres secciones representativas, una de cada tramo, a partir de la fórmula de Smart y Jaeggi, que diversas experiencias la han considerado como la más apropiada para cauces de fuerte pendiente y encajonados.

$$q_s = \frac{4}{(S-1)} \cdot \left(\frac{d_{90}}{d_{30}}\right)^{0,2} \cdot j^{1,6} \cdot q \cdot \left[1 - \frac{\theta_{cr} \cdot (S-1) \cdot d_m}{h_m \cdot j}\right]$$

Ha sido aplicada para las tres secciones, según los caudales de T100 Y T500 años, y para dos casos: condiciones de extrema adversidad (tc de Kirpich, NCIII y q, caudal obtenido por el procedimiento clásico) y para condiciones normales (tc de Giandioti, NCII y q, caudal obtenido según Salas)

Los resultados obtenidos de precipitaciones y caudales son los siguientes:

T (años)	Precipitaciones Gumbell			Precipitaciones SQRT-ET _{MAX}		
	tc = 0,176	tc = 0,35	tc = 0,66	tc = 0,176	tc = 0,35	tc = 0,66
50	45,2	32,3	23,4	47,3	33,7	24,5
100	51,3	36,6	26,5	55,9	39,9	28,9
500	65,5	46,7	33,9	78,4	55,9	40,5

Tabla 4. Según el procedimiento clásico, con NC_{II}

T (años)	Precipitaciones Gumbell			Precipitaciones SQRT-ET _{MAX}		
	tc = 0,176	tc = 0,35	tc = 0,66	tc = 0,176	tc = 0,35	tc = 0,66
50	61,2	43,7	31,7	63,5	45,3	32,8
100	67,7	48,3	35,0	72,7	51,8	37,6
500	82,7	59,0	42,8	96,0	68,5	49,6

Tabla 5. Según el procedimiento clásico, con NC_{III}

T (años)	Precipitaciones Gumbell			Precipitaciones SQRT-ET _{MAX}		
	tc = 0,176	tc = 0,35	tc = 0,66	tc = 0,176	tc = 0,35	tc = 0,66
50	24,2	17,9	13,6	25,3	18,8	14,2
100	27,4	20,3	15,4	30,0	22,2	19,5
500	35,0	26,0	19,7	41,9	31,1	23,5

Tabla 6. Según el procedimiento de Salas, con NC_{II}

T (años)	Precipitaciones Gumbell			Precipitaciones SQRT-ET _{MAX}		
	tc = 0,176	tc = 0,35	tc = 0,66	tc = 0,176	tc = 0,35	tc = 0,66
50	32,7	24,3	18,4	33,9	25,2	19,1
100	36,2	26,9	20,3	38,8	28,8	21,8
500	44,2	32,8	24,8	51,3	38,1	28,8

Tabla 7 Según procedimiento de Salas, con NC_{III}

Sección	$t_c=0,176; I_1/I_d=10; NC_{III}$	$t_c=0,35; K=7; NC_{II}$
Rama derecha	T(100): 3,57 m ³ /s T(500): 4,66 m ³ /s	T(100): 0,95 m ³ /s T(500): 1,58 m ³ /s
Sobre pista	T(100): 14,16 m ³ /s T(500): 18,51 m ³ /s	T(100): 4,43 m ³ /s T(500): 5,99 m ³ /s
Final cuenca	T(100): 2,70 m ³ /s T(500): 3,57 m ³ /s	T(100): 0,81 m ³ /s T(500): 1,13 m ³ /s

Tabla 8. Caudales líquidos

Diagnóstico sobre el terreno y conclusiones

Los caudales líquidos obtenidos son bajos, y coherentes, con los obtenidos de acuerdo a unas condiciones medias y al procedimiento propuesto por Salas, con lo que se observa sobre el terreno. La sucesión de diques, perfectamente integrados en el perfil del cauce y en el paisaje, no sólo provoca una pendiente de compensación, sino que sobre el aterramiento de cada dique la sección se ensancha, y actúa como una zona de laminación de la avenida. Por ello, y por el tamaño tan elevado de los materiales y el suelo y el musgo que sobre ellos crece, no parecen muy creíbles los valores de los caudales sólidos. No parece probable que se puedan movilizar esos materiales, pero además, si lo hicieran, es aún menos probable que alcanzaran la salida de la cuenca. Hay numerosas estructuras que los detendrían, amén de una profusa vegetación. Es fácil observar que sobre algunos diques el cauce divaga, como en un pequeño cono de deyección, sobre materiales depositados.

También es fácil observar la incisión del cauce en la zona del muro de desviación que construyeron los vecinos. El agua circula sobre una incisión de 4 m sobre la coronación del muro. Según los artículos de la época, los materiales llegaban hasta allí cuando se empezó la corrección, y en 1925 ya había incidido 2 m el agua. Eso significaría que en 80 años sólo ha incidido otros 2, lo cual es indicativo de que el agua que ha estado bajando desde entonces lo ha hecho sin arrastres de importancia, y en poca cantidad, pues la incisión anual es pequeña.

Por tanto, la conclusión es que la gran restauración llevada a cabo (combinación de repoblación y obras) mantiene después de 80 años, no sólo un torrente inactivo que no ha vuelto a crear problemas al pueblo, sino un paisaje hermoso y puramente pirenaico, en el que no se pueden adivinar ni el estado en el que se encontraba hace menos de un siglo, ni la inteligente ingeniería que ha sido necesaria para recuperarlo.

Referencias

- AZPEITIA, F., 1924. "El torrente Los Meses y su corrección hidrológico-forestal" *España Forestal*, nº 95, pp. 46-47.
- AZPEITIA, F., 1924. "El torrente Los Meses y su corrección hidrológico-forestal (Conclusión)"

España Forestal, nº 97, pp. 69-72.

CHAUVELIER, F., 1990. *La repoblación forestal en la provincia de Huesca y sus impactos geográficos*. Instituto de Estudios Altoaragoneses, Huesca.

DEYMIER, C.; TACNET, J.M. y MATHYS, N., 1995. *Equipaments pour l'eau et l'environnement*. Études de Ceagref, Série Equipaments pour l'eau et l'environnement nº 18. Grenoble.

DVORÁK, J. y NOVÁČEK, L. (Eds.), 1994. *Soil Conservation and Silvicultura. Development in Soil Science 23*. Elsevier Science Publishers. Praga

ERGENZINGER, P. y SCHMIDT, K.H. (Eds.), 1994. *Dynamics and Geomorphology of Mountain Rivers*. Springer-Verlag. Berlin

GARCÍA NAJERA, J.M. y AYERBE VALLÉS, J.M., 1962 *Principios de hidráulica torrencial: su aplicación a la corrección de torrentes. Corrección de aludes*. Ministerio de Agricultura. Dirección General de Montes, Caza y Pesca Fluvial. Instituto forestal de Investigaciones y Experiencias. Madrid.

GARCÍA, J., 2001. *Manual de cálculo de diques de corrección torrencial*. Servicio de publicaciones de la E.T.S.I Montes. Madrid.

MEUNIER, M., 1991. *Elements d'hydraulique torrententielle*. Études de Cemagref, Série Montagne, nº 1. Grenoble.

SALAS, L. de, 2004. *Regionalización de leyes IDF para el uso de modelos hidrometeorológicos de estimaciones de caudales*. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid.

TEMEZ, J.R. 1993. *Cálculo hidrometeorológico de caudales máximos*. CEDEX. Ministerio de Obras Públicas



Figure 2.1. View of torrent in 90's



Figure 2.2. Check dam base to correction of left branch (November 2004).



Figure 2.3. Actual state of "Neighbours wall"



Figure 2.4. Actual state of masonry in the left bank



Figure 2.5. Channelization in the left bank



Figure 2.6. Check dam in 2005



1.1. Cono de deyección tras una avenida (1910)



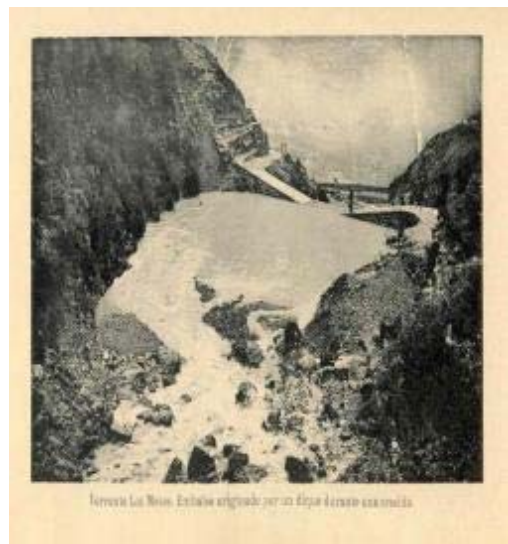
1.2. Corrección de la rama izquierda



1.3. Rama izquierda, final de la canalización



1.4. Encespedamiento para posterior repoblación



1.6. Dique 2 del tramo inferior, tras una avenida