

# SISTEMA CORRECTOR DE LA CUENCA DEL TORRENTE ARÁS. PIRINEO ARAGONÉS. HUESCA. ESPAÑA

J. NICOLÁS; J.C. DELGADO

TRAGSATEC, C/Conde de Peñalver 84, 28006 Madrid, España (jnr@tragsatec.es)

## Resumen

*La cuenca del torrente Arás se ubica en la región pirenaica española. En 1996 una excepcional tormenta generó una avalancha que rebasó la capacidad del sistema corrector que se había construido en él, provocando profundas erosiones en los cauces, cuantiosos daños en las infraestructuras de defensa y la irreparable pérdida de 87 vidas humanas.*

*Un nuevo sistema corrector, reforzando y complementando al anterior, fue puesto en marcha inmediatamente, adoptándose un caudal de  $250 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  para el diseño de las estructuras correspondientes, doble del empleado para diseñar el anterior sistema.*

## Summary

*The watershed of Arás torrent is placed at the Spanish Pyrenees region. In 1996, an uncommon rainstorm resulted in a wave of water, mud and debris that run through corrective system built along the watercourse, seriously eroding river banks, causing severe material damage and the irreparable loss of 87 human lives.*

*A brand-new corrective system, in addition to the existing one, was immediately set up on site, assuming a  $250 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  flow for designing purposes, twice as much as it was formerly adopted.*

## INTRODUCCIÓN

La tarde del siete de agosto de 1996, una extraordinaria tormenta descargó sobre el valle de Tena (se denomina así a la cuenca correspondiente al alto Gállego), en el Pirineo aragonés, provocando la crecida de los torrentes y arroyos de la zona, así como del río Gállego.

Particular importancia tuvo la crecida, súbita y violenta y de excepcional magnitud, del torrente Arás. Las aguas, en su implacable descenso hacia el Gállego, dismantelaron el curso medio y bajo del torrente, arruinando la mayor parte del sistema corrector que se había construido en él y movilizándolo gran cantidad de materiales. Al final de la garganta, al llegar a la última curva, la corriente, con un caudal muy superior al que se había previsto para el diseño de las obras, desbordó el dispositivo de entrada al encauzamiento que existía en la generatriz superior del cono de deyección, desviándose en su mayor parte hacia la margen izquierda, lo que produjo que, por un efecto de rebote, incidiera lateralmente sobre el encauzamiento e invadiera, finalmente, el semicono meridional, lugar en el que se asentaba el camping Las Nieves. Así mismo se produjo una importante deposición de los materiales arrastrados, la mayor parte de los cuales, al depositarse en la parte superior del cono de deyección, sepultaron casi completamente el comienzo del encauzamiento disminuyendo sensiblemente su capacidad, lo que acentuó el efecto anterior. Como consecuencia de todo ello, se produjeron importantes daños materiales en infraestructuras, edificaciones, prados y campos de cultivo, resultando así mismo arrasado el camping Las Nieves, con el trágico balance de 87 víctimas mortales.

## DESCRIPCIÓN DE LA CUENCA Y PROBLEMÁTICA

El torrente Arás está situado en el Pirineo aragonés, concretamente en el valle del alto Gállego, río que finalmente afluye al Ebro en Zaragoza. Administrativamente pertenece al

término municipal de Biescas, provincia de Huesca, incluyendo las pedanías de Aso, Yosa y Betés de Sobremonte.

Presenta la morfología típica de un torrente de montaña: cuenca de recepción, garganta y cono de deyección, existiendo en este caso un tramo intermedio entre la garganta y el cono de deyección que participa de las propiedades de ambos. La cuenca de recepción se compone de tres subcuencas principales, las correspondientes a los torrentes de Aso, Betés y la Selva, cuyos cauces atraviesan sendas cubetas glaciares. La garganta, ya torrente Arás propiamente dicho, se forma a partir de la confluencia casi coincidente de estos tres torrentes. La superficie total de la cuenca es de 1.856 ha, ocupando el cono de deyección otras 69 ha.

La forma óvalo-redonda de la cuenca, junto a las elevadas pendientes de las laderas (46% de media), la geometría radial-convergente de la red principal de cauces, la alta densidad de la red secundaria de drenaje (1,28 km.km<sup>2</sup>) y la fuerte pendiente de la garganta (15,6%), favorecen la rápida evacuación de las escorrentías para aguaceros intensos, definiendo un tiempo de concentración corto (40 minutos). Estas características morfológicas e hidrográficas indican también una alta potencialidad erosiva, tanto en superficie como sobre la red de drenaje, agravada como consecuencia de la frecuencia e intensidad con que tienen lugar las tormentas en el área.

El substrato geológico de base en la cuenca es la formación conocida como Flysch eoceno, constituida por una alternancia de estratos delgados de areniscas y margas, en general bastante estable y resistente. En la zona baja, coincidiendo en gran medida con el tramo de garganta, esta formación se encuentra parcialmente cubierta por depósitos morrénicos, de escasa o nula cohesión.

En cuanto a los usos del suelo, el 43% de la superficie está ocupada por sistemas forestales arbolados; el 25%, por pastizales de alta montaña; el 19%, por prados; y el 13% restante, por una mezcla de matorral con arbolado o pastizales. Esta distribución de usos del suelo se acerca mucho a lo recomendable desde los puntos de vista de la regulación natural de las escorrentías superficiales y del control de los procesos de erosión laminar y en regueros.

A pesar de ello, históricamente el estado torrencial y erosivo, tanto de la cuenca como de la red de drenaje del torrente Arás, alcanzaba dimensiones y efectos que repercutían directa y negativamente en los intereses económicos y sociales de la comarca, superando la mera incidencia medioambiental. Dichos procesos se manifestaban con especial intensidad sobre la red de drenaje, sobre todo en la zona baja, debido a que en ella los cauces transcurren sobre substratos inconsistentes, como son los depósitos glaciares. Así, tras los distintos eventos tormentosos, se sucedían los cortes de la carretera a Francia, la cual atraviesa la parte baja del cono del torrente. La necesidad de garantizar el tránsito y la comunicación de esta carretera fue el principal motivo por el que se acometió, desde principios del siglo XX, el tratamiento corrector y controlador del torrente.

### PRIMER SISTEMA CORRECTOR

En diversas publicaciones del sector aparecen referencias escritas y gráficas acerca de las citadas obras. De dicha información se desprende que las mismas comenzaron hacia el año 1902, continuándose durante más de sesenta años sin más interrupciones que las debidas a la guerra civil y sus consecuencias. Desde el punto de vista técnico se pueden considerar dos períodos fundamentales en su ejecución.

Durante el primero de ellos, hasta el final de los años veinte, se construyeron una serie de diques en el tramo inferior de la garganta del torrente, así como un encauzamiento en el cono de deyección y tramo de transición de la garganta al cono. Este orden de ejecución, no muy ortodoxo, se explica por la necesidad urgente de fijar con suficiente seguridad el paso de la citada carretera por la parte baja del cono del torrente, donde las aguas divagaban en una zona de un kilómetro.

El segundo período se inició a raíz de sendos aguaceros que descargaron sobre el torrente los días 28/09/1928 y 11/06/1929, los cuales produjeron importantes daños en las obras ejecutadas hasta la fecha. Durante este segundo período, además de repararse las obras anteriores, se continuó la labor de corrección de cauces, tanto de los principales como de los barrancos laterales, mediante nuevos diques, además de efectuarse la repoblación de alrededor de 500 ha con resinosas y unas 20 ha con frondosas, apoyadas en fajinadas y muretes de mampostería en las laderas más erosionadas y con mayor pendiente.

El caudal de avenida máxima empleado en el proyecto de las obras del segundo período se fijó en  $125 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , deduciéndose a partir de los perímetros mojados correspondientes a la crecida del 11 de junio de 1929 (“la mayor conocida hasta la fecha”) medidos en varias secciones del cauce. Este caudal de cálculo es perfectamente aceptable teniendo en cuenta la similitud obtenida aplicando las sencillas fórmulas de los métodos empíricos que determinan tales máximos de crecida, así como otras metodologías más modernas que dan para dicho caudal una recurrencia muy superior a la habitualmente empleada en este tipo de obras. Además, estableciendo la correlación entre la capacidad del aliviadero de 12 presas de embalse, localizadas en la cabecera de la cuenca del río Gállego, y la respectiva superficie de la cuenca aportante, la posición de la cuenca del torrente Arás se sitúa casi en la misma curva de regresión obtenida. Esto indica lo acertado del caudal de cálculo adoptado, teniendo en cuenta que las capacidades de los aliviaderos de presa se dimensionan generalmente para avenidas de 500 años de período de recurrencia.

Hay que añadir que, varios años después de finalizado el segundo período, concretamente entre 1980 y 1985, todavía se construyeron dos diques más, continuando en sentido ascendente la labor correctora de los torrentes de la Selva y de Aso.

Para describir con detalle el sistema corrector emplazado en los cauces durante todo ese tiempo hubo que recurrir en muchos casos a la documentación existente, dado el elevado grado de deterioro sufrido por las estructuras como consecuencia de la tormenta. Siguiendo un orden ascendente en la cuenca, que coincide aproximadamente con la cronología de su construcción, los elementos del sistema son los siguientes:

- \* Encauzamiento recto para la evacuación de los caudales a lo largo de la generatriz superior del cono de deyección, constituido por 32 escalones de longitudes y alturas variables que salvan una longitud total de 775 m y un desnivel de 50 m; rastrillos con arista redondeada, diseñados para efectuar el vertido en caída libre y dotados de cubeta de disipación al pie; muretes longitudinales de acompañamiento, de mampostería hidráulica (como prácticamente la totalidad de las obras), y solera rígida de piedra con mortero. La solera primitiva era ligeramente trapecial, aunque después de la tormenta del año 29 se reconstruyó dejándola horizontal. Cabe señalar que al inicio del encauzamiento existía un aliviadero lateral, con el objeto de evacuar los posibles caudales sobrantes de las avenidas extraordinarias hacia un cauce secundario situado en el borde meridional del cono.

- \* Dispositivo de conducción de los caudales hacia el encauzamiento a lo largo del tramo de transición. Estaba constituido por un total de 10 estructuras transversales de entre 1,5 y 3 m de altura unidas entre sí por sendos muros longitudinales, salvando una distancia de 170 m y un desnivel de 35 m.

- \* Consolidación del tramo bajo de garganta mediante una sucesión de 17 diques separados entre sí entre 10 y 25 m y con alturas variables de hasta 9 m. El tramo tiene una longitud de unos 270 m y un desnivel de 50 m.

- \* El tramo alto de garganta, de 110 m de desnivel y 640 m de longitud, está situado por encima del anterior, llegando hasta la confluencia con el torrente de Betés. Corresponde prácticamente con el tramo de obras nuevas del segundo período, corrigiéndose el cauce mediante una serie escalonada de 17 obras, entre diques de 1<sup>er</sup> orden, contradiques y diques de 2<sup>o</sup> orden, de alturas comprendidas entre 2 y 9 m.

\* En el torrente de Aso, entre el perfil de salida de su cubeta glaciar y la confluencia del torrente de Betés, se construyeron 3 diques: dos de ellos, para fijar el perfil longitudinal del cauce aguas arriba de dicha confluencia, garantizando así la estabilidad de las laderas sobre una de las cuales se asienta la población de Yosa; el tercero, para estabilizar el cauce a la salida de la cubeta glaciar.

\* En el torrente de la Selva se construyeron dos diques, uno de cierre y otro de estabilización del cauce a la salida de la correspondiente cubeta glaciar.

\* En el torrente de Betés únicamente se propuso la construcción de un pequeño dique de cierre, por considerarse que apenas presentaba riesgo, según puede leerse en el proyecto de las obras del segundo período, si bien no se ha conseguido averiguar si tal dique llegó a construirse o no.

Además de las obras citadas, se construyeron otros diques pequeños en algunos barrancos laterales, con objeto de adecuar su entrega al cauce principal.

El conjunto de las obras descritas logró desactivar durante las últimas décadas el torrente, como lo prueba el magnífico aspecto que presentaban su cauce y laderas adyacentes, en contraste con las imágenes de principios de siglo, no teniéndose noticia de nuevos cortes o daños en la carretera de Francia hasta el suceso de agosto de 1996.

## LA TORMENTA DEL 7 DE AGOSTO DE 1996: EL FENÓMENO Y SUS EFECTOS

La tormenta que tuvo lugar en la zona de Biescas la tarde del siete de agosto de 1996 descargó de forma irregular sobre la cuenca del torrente Arás, según testimonios de los lugareños, corroborados posteriormente por el registro del radar del Instituto Nacional de Meteorología (I.N.M.), alcanzándose, según dicha fuente, una precipitación total máxima en torno a los 253 mm por encima de la población de Betés y mínima de 57 mm en la cabecera del torrente de Aso. No obstante, lo más destacado fue que dicho aguacero tuvo una distribución en el tiempo también muy irregular, según los mismos testimonios, nuevamente comprobados por el radar meteorológico, alcanzándose una intensidad superior a los 150 mm.h<sup>-1</sup> durante algo más de media hora. (Compárese esta intensidad con las registradas en la misma zona en las tormentas de septiembre de 1928 y junio de 1929: 58,2 mm en dos horas y 50,1 mm en hora y media, respectivamente)

Sobre la excepcionalidad de la intensidad de dicho aguacero poco se puede argumentar de modo objetivo, dada la ausencia de registros pluviográficos en la cuenca y la brevedad de las series de observaciones de los existentes en la zona. Sin embargo, debido a la existencia de estaciones pluviométricas, tanto dentro de la misma cuenca como en sus proximidades, se puede analizar la recurrencia del aguacero completo por comparación con las series de precipitaciones diarias máximas (P<sub>24</sub>), con las limitaciones que impone la extensión de aquéllas.

Así, según la estación de Aso, el valor medio ponderado de la precipitación total caída sobre la cuenca el siete de agosto de 1996 (176 mm, según el mapa de isoyetas del radar del I.N.M.) no se alcanza para períodos de recurrencia milenarios. Por el contrario, según la estación de Biescas (estación ficticia compuesta por las estaciones de Biescas E.I.A., con observaciones de 1941 a 1980, año en que dejó de funcionar, y Biescas “Central II”, con observaciones de 1971 a 1995; esta composición se considera que tiene suficiente validez debido a la similitud de los datos de los años comunes), con 55 años de observaciones y, por tanto, en principio más fiable, dicha precipitación se corresponde con un período de recurrencia de alrededor de 250 años. Conviene insistir en que esta estimación de recurrencia se refiere a la precipitación total, y no a la intensidad máxima alcanzada.

Con objeto de estimar el caudal máximo instantáneo que semejante precipitación pudo provocar, se realizaron numerosos estudios e informes. Los resultados obtenidos en cada caso

difieren bastante, lo que no es de extrañar, dada la complejidad que conlleva la interpretación de un episodio como el ocurrido, en el que el caudal sólido tuvo tanta o más importancia que el caudal líquido, y teniendo en cuenta la ausencia de registros pluviográficos y fononómicos en la cuenca. Así, se obtuvieron valores que oscilan en el rango de 100 a 500  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Sin entrar a discutir sobre lo acertado de cada versión, y sin pretender aquí exponer los cálculos precisos para dicha estimación, cosa que debería ser objeto de una ponencia específica, conviene destacar ciertas consideraciones de cara a formar una opinión acerca del orden de magnitud de dicho caudal:

- La precipitación media total caída sobre el conjunto de la cuenca, obtenida a partir del mapa de isoyetas del I.N.M., es de 176 mm, por lo que aplicando un coeficiente de escorrentía de 0,5 (muy conservador), resulta una escorrentía total de 1.633.280  $\text{m}^3$ . Considerando que la duración de la avenida se puede estimar en 8 horas (duración que puede calcularse aplicando distintos modelos de cálculo de caudales y que coincide aproximadamente con los relatos de los que vivieron el episodio), dicha escorrentía implica un caudal medio de 56,7  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , y si se supone un hidrograma triangular sencillo, simplificando al máximo, se obtiene un caudal punta de 113,4  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .

- Debido a las características del aguacero y de la cuenca, descritas anteriormente, es incuestionable que se produjo una avenida con un hidrograma muy apuntado, lo que resulta coherente con el testimonio de las personas que se encontraban en el camping. Consecuentemente, el caudal punta anterior debe considerarse como un mínimo muy alejado de la realidad.

- En los diques que resistieron el paso de la avenida se midieron secciones mojadas de superficie muy variable (entre 75 y 150  $\text{m}^2$ , aproximadamente), como consecuencia de distintos fenómenos entre los que puede citarse la diferente carga instantánea de acarreo que pudo presentarse en la corriente, la cual llegó a adquirir características de lava torrencial, como lo evidencia la forma de los depósitos que se encontraron después en varios tramos del cauce. Dichas secciones mojadas implican que los calados alcanzados sobre los diques llegaron a triplicar e incluso cuadruplicar la altura de los vertederos correspondientes (diseñados para evacuar 125  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ).

- A su paso por el camping, la corriente, ya libre de los acarreo más gruesos, alcanzó un calado de al menos 60 cm, como media (en el interior del centro de recepción, que apenas sufrió daños, se observa la marca del nivel alcanzado por el agua a una altura de 80 cm). Teniendo en cuenta la longitud total del frente del camping (180 m), esto supone una sección mojada de aproximadamente 100  $\text{m}^2$ , sin contar las correspondientes al encauzamiento y al cauce auxiliar, si bien es lógico pensar que no todas las secciones debieron evacuar al máximo simultáneamente.

- La velocidad que el flujo alcanzó en el tramo de garganta en el momento de máxima avenida resulta muy difícil de calcular, por tratarse de un flujo turbulento cargado con gran cantidad de materiales que se fueron incorporando más o menos violentamente a medida que la corriente iba erosionando el lecho y márgenes o produciendo el colapso de las estructuras de corrección. Esta circunstancia, unida al resto de los factores que condicionaron el flujo, hizo que la velocidad oscilara sensiblemente, pudiendo admitirse en todo caso valores de alrededor de 6  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ . En cuanto a la velocidad que el flujo alcanzó en el cono de deyección, existe un documento gráfico de incalculable valor: las imágenes tomadas por un videoaficionado que se encontraba en el camping. Si bien resulta difícil medir en ellas la velocidad de las aguas, puede verse que ésta es relativamente elevada, posiblemente alrededor de 3  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ , a pesar de tratarse de la fase de agotamiento de la avenida.

Prescindiendo de la cuantía del caudal máximo instantáneo que pudo generarse, y haciendo abstracción de la dolorosa tragedia humana que tuvo lugar, como consecuencia de la avenida se produjeron importantes daños materiales, tanto en la cuenca como en

infraestructuras, edificaciones y campos de cultivo ubicados en ella. En este sentido es interesante señalar que la tormenta apenas produjo erosiones de importancia en la cuenca, lo que confirma la bondad de la cubierta vegetal que la cubre. No ocurrió lo mismo en la red de drenaje, sobre la que provocó alteraciones de importancia variable según los tramos. Así, en las subcuencas de Aso y de la Selva, la red de drenaje se vio poco afectada. Por el contrario, el cauce del torrente de Betés quedó completamente arrasado, sobre todo en su tramo inferior, como consecuencia de registrarse en su cuenca la mayor intensidad y cuantía de la precipitación; el desmantelamiento del lecho y vegetación que sustentaba fue generalizado, produciéndose variaciones importantes de su traza, así como descensos de nivel del mismo.

En cuanto al cauce del torrente Arás propiamente dicho, los efectos sufridos están íntimamente relacionados con los sufridos por el sistema corrector asentado en él. En todo caso, el desmantelamiento fue prácticamente generalizado, produciéndose el vaciado de la mayor parte de los diques construidos, además de fuertes erosiones de lecho y márgenes, así como variaciones de la traza, como la que tuvo lugar en el tramo de transición al incidir la corriente contra la margen izquierda en la última curva.

En sentido descendente, se describe seguidamente el estado en que quedaron los elementos del sistema corrector construido.

\* Torrente de Aso: los diques aguantaron correctamente el paso de la avenida, con ligeros desperfectos.

\* Torrente de la Selva: el dique superior, de los dos construidos en él, sufrió socavación y hundimiento del estribo izquierdo, vaciándose su aterramiento casi completamente. En cambio, la obra de cierre quedó en bastante buen estado, si bien con una importante abrasión en el vertedero.

\* Tramo alto de garganta (torrente Arás): de las 17 estructuras que existían, únicamente 7 quedaron funcionalmente válidas inicialmente, aunque con daños de diversa consideración. Posteriormente, una de ellas, que había sufrido serios daños, terminó por desplomarse en su mitad derecha durante el invierno siguiente, produciéndose el vaciado casi completo de su aterramiento. Como anécdota cabe señalar el caso de un dique cuyo estribo derecho se desplomó, lo que forzó a la corriente a cambiar de dirección, rodeando el cuerpo central de aquél y la obra siguiente. Como consecuencia de ello, a pesar de quedar estas dos estructuras en bastante buen estado, quedaron inservibles, debido a que el cauce sufrió una variación muy importante, tanto en planta como de nivel.

\* Tramo bajo de garganta (torrente Arás): este tramo es el que resultó más seriamente afectado. De los 17 diques construidos, solamente quedó uno, con una importante abrasión descendente en su mitad derecha que lo dejó a la altura de la fila inferior de mechinales, dejándolo prácticamente inservible. Del resto apenas quedaron los estribos anclados en las márgenes.

\* Tramo de transición: los daños sufridos por las obras situadas en este tramo fueron muy importantes, siendo lo más destacado el hecho de quedar, además, prácticamente sepultadas por la deposición de acarreo.

\* Encauzamiento: la cuantía de los daños sufridos fue, lógicamente, inversamente proporcional a la distancia al origen, si bien éstos no fueron demasiado importantes en su conjunto. Los daños consistieron en abrasión de rastrillos y soleras, rotura de los muros de acompañamiento, en menor medida, y deposición de materiales, llegándose a encontrar algún bolo incluso cerca de la desembocadura en el Gállego.

El resto de las obras de corrección construidas en las laderas y barrancos laterales, salvo algunos deterioros puntuales, soportaron aceptablemente los efectos de la tormenta.

Como causas de la ruina de las obras, pueden citarse las siguientes: socavación de la base, sobrecarga, abrasión, o una combinación de ellas. En cualquier caso, la eficacia de las obras está fuera de toda duda, aun en el caso de las que quedaron totalmente arruinadas, pues

la energía gastada por la corriente en su destrucción fue en detrimento de otros efectos destructivos sobre el propio cauce.

#### ACTUACIONES POSTERIORES. ACTUAL SISTEMA CORRECTOR

Inmediatamente después de la tormenta se adoptaron medidas urgentes para reparar los daños causados, declarándose “de emergencia” las obras de restauración hidrológico-forestal y de conservación de suelos de necesaria ejecución en los territorios afectados, según Real Decreto 13/1996, de 20 de septiembre. Así, el Consejo de Ministros, en su reunión del día 20 de septiembre de 1996, habilitó un crédito extraordinario de 1.200 millones de pesetas para atender reparaciones urgentes en infraestructuras de carácter hidrológico-forestal. En la relación de actuaciones urgentes con cargo a dicho presupuesto, elaborada por la Dirección General de Conservación de la Naturaleza del Ministerio de Medio Ambiente, figuraba la redacción de un Proyecto Integral de Restauración Hidrológico-Forestal, que contemplara, además de las obras urgentes, aquellas que se planteasen como consecuencia de los estudios que se llevasen a cabo.

Como condicionantes previos para la redacción de dicho proyecto hay que citar, en primer lugar, el carácter de urgencia decretado para la ejecución de las obras mencionadas, lo que se justifica por el peligro de que nuevas tormentas, aun de menor intensidad que la del 7 de agosto de 1996, provocaran más daños, debido a la crítica situación en que quedó el torrente. En consecuencia hubo que acomodar el ritmo de trabajo al de ejecución de aquéllas. Además, para el diseño del nuevo sistema corrector el Gobierno de Aragón, encargado de la dirección de las obras, fijó los siguientes criterios: en primer lugar, la voluntad de conservar las obras que soportaron el paso de la avenida, especialmente el encauzamiento, tanto funcionalmente como en su aspecto exterior; en segundo lugar, la conveniencia de emplear para la ejecución de las obras los bolos que con gran profusión y de forma caótica quedaron amontonados en los cauces y cono de deyección; por último, el caudal de cálculo, que quedó establecido en  $250 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , valor intermedio entre los aportados por los diferentes informes acerca de la tormenta del 7/08/96, y que se corresponde con una precipitación máxima en 24 horas para un período de recurrencia de unos 150 años, considerando la serie actualizada de la estación de Aso, y 1.000 años si se considera la de Biescas. (Es interesante señalar que la actualización de la serie pluviométrica de Aso ha supuesto un incremento del 100 % en los valores de las precipitaciones para los distintos períodos de recurrencia).

Teniendo en cuenta los condicionantes anteriores, el proyecto, redactado por Tragsatec por encargo de la Dirección General de Conservación de la Naturaleza, contempla, en síntesis, las siguientes obras, ejecutadas entre la primavera de 1997 y el otoño de 2000, y que constituyen el actual sistema corrector:

\* Dique de cierre; de 15 m de altura útil total, está construido en el tramo de transición con una doble finalidad: estabilizar el lecho y laderas del cauce y regular al máximo el caudal sólido que el torrente pudiera aportar en caso de una nueva avenida extraordinaria. Así, la primera de las funciones se cumple con los 11 m inferiores, en los que el cuerpo del dique es menos permeable. La parte superior, en la que existen cinco grandes troneras o alcantarillas que retienen de forma selectiva los acarreo gruesos, cumple la segunda de las funciones, aprovechando la gran capacidad de almacenamiento de materiales en estos últimos 4 m de altura del vaso del dique (alrededor de  $45.000 \text{ m}^3$ ). Esta función implica la necesidad de proceder al vaciado del vaso de sedimentación tras su eventual colmatación.

\* Reparación del encauzamiento antiguo, con el objeto de restituirlo a la situación inmediatamente anterior a la tormenta. Una vez reparado, se le asigna una capacidad de evacuación es de  $100 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , dejando un resguardo de 15 cm; o  $125 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  sin resguardo.

\* Encauzamiento auxiliar en el cono de deyección. Dado que el caudal de cálculo establecido para el proyecto ( $250 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) supera la capacidad hidráulica del encauzamiento

antiguo ( $100 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ), y teniendo en cuenta la premisa existente de no modificar las características de este último, fue necesario construir un encauzamiento auxiliar en el cono de deyección para, entre ambos, alcanzar la capacidad de desagüe requerida. El trazado en planta, de unos 875 m de desarrollo y 55 m de desnivel, discurre cercano al borde meridional del cono de deyección, adaptándose en gran parte al cauce secundario al que vertía el rebosadero de excedentes del encauzamiento antiguo. El desnivel se salva mediante 13 rastrillos transversales de perfil hidrodinámico, con altura variable entre 1,5 y 2,5 m, quedando la solera entre rastrillos con una pendiente entre el 3 y el 4%. La sección transversal del encauzamiento es trapecial, con 17 m de anchura en la base (fijada por el puente de la carretera N-260, cuya reposición se llevó a cabo con anterioridad), 2 m de altura y taludes 1/5. Tanto los muros cajeros como la solera son rígidos, con objeto de resistir la fuerza tractiva de la corriente y evitar su colonización por la vegetación. Para mantener las servidumbres de paso existentes, en concreto una vía pecuaria, se proyectó un vado que atraviesa el encauzamiento en su tramo final, bajando al nivel de la solera mediante sendas rampas protegidas por los muros correspondientes.

\* Dispositivo repartidor de caudales, construido con objeto de distribuir éstos entre el encauzamiento principal y el auxiliar. El reparto se efectúa de acuerdo con las capacidades hidráulicas de los mismos, y de tal forma que el agua discurra únicamente por el encauzamiento principal mientras no se supere un cierto caudal ( $12,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ). Superado éste, el flujo se reparte entre ambos. En el momento de la máxima avenida de cálculo, el caudal se reparte de modo que el auxiliar evacuará la mayor parte:  $150 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .

\* Plazoleta de sedimentación, conformada mediante la construcción de un dique situado entre el repartidor de caudales y el dique de cierre. Su objeto es retener los materiales de menor tamaño que pudieran rebasar éste. Con ello se consigue que las aguas que discurran por el repartidor de caudales y los encauzamientos sean lo más limpias posible, lo que mejorará el rendimiento hidráulico y la durabilidad de dichas estructuras. Para posibilitar esta función será necesario vaciar el vaso del dique (plazoleta de depósitos) cada vez que se colmate, habiéndose dispuesto un acceso permanente para tal fin. La altura útil del dique es de 5 m, con la que se consigue definir un vaso de aterramiento de unos  $3.000 \text{ m}^3$  de capacidad.

\* Reparación y refuerzo de los 11 diques antiguos que soportaron el paso de la avenida, con el fin de afianzar la cuña de aterramiento existente aguas arriba de los mismos, dada su importante función de consolidación de márgenes y estabilización del perfil longitudinal del cauce. Las reparaciones realizadas consistieron básicamente en refuerzo de los estribos mediante bloques de hormigón ciclópeo; construcción de encachados de hormigón ciclópeo al pie de los diques, con objeto de evitar la socavación del lecho; reconstrucción de los vertederos, adecuando su sección al caudal de proyecto; construcción de contradiques para formar colchones disipadores de energía y, por último, protección de las márgenes del torrente aguas abajo de los diques, mediante escolleras.

\* Refuerzo de los restos del primitivo sistema corrector mediante la construcción de 12 nuevos diques de consolidación con alturas útiles entre 5 y 10 m: tres de ellos, en el torrente de Aso; otro, en el de la Selva; y el resto, en la garganta principal, cuatro en cada subtramo. Como particularidades de estas estructuras pueden citarse las siguientes: algunos diques están dotados de un trampolín o voladizo que prolonga el vertedero hacia aguas abajo para impedir el golpeteo de aguas cargadas con materiales sólidos gruesos para caudales inferiores al de cálculo; otro de ellos, ubicado en un tramo especialmente inestable, posee cuatro ranuras de drenaje estrechas y alargadas en sentido vertical, para aumentar su capacidad de drenaje, y un falso empotramiento en la margen derecha constituido por una escollera hormigonada de 14 m de altura; por último, otro dique engloba en su cuerpo central un gran bolo de piedra de 9 m de altura que sobresale parcialmente en el paramento de aguas abajo.



\* Dique de retención selectiva, construido en el inicio de la garganta del torrente, aguas abajo de la confluencia de los torrentes de Aso, Betés y la Selva. El cuerpo central, de 7 m de altura útil, es muy abierto y está constituido por un emparrillado metálico compuesto de barras verticales, con el que se pretende retener únicamente los elementos más gruesos transportados por la corriente en una avenida extraordinaria. Por tanto, deberá procederse al vaciado de su vaso de aterramiento cada vez que se colmate.

\* Corrección del tramo final del torrente de Betés mediante la construcción de cinco diques de 5 a 6 m de altura útil. Tienen una estructura similar a la del anterior, aunque en este caso se pretende lograr aterramientos permanentes. En efecto, este tipo de obras, que además se adapta a las especiales dificultades topográficas y de cimentación que presenta el tramo final del torrente de Betés, dado su funcionamiento selectivo, permitirá lograr aterramientos con mayores pendientes de compensación y más resistentes a la erosión, formando una coraza protectora que impida el lavado de los materiales especialmente lábiles que conforman el sustrato morrénico de este tramo.

\* Para evitar la socavación al pie de todos los diques, amortiguando y disipando la energía producida en el vertido, se han dispuesto cuencos o colchones amortiguadores, formados por contradiques, solera rígida horizontal y muros cajeros. Salvo los diques de emparrillado metálico, casi todas las estructuras son de gravedad y planta recta, con paramento aguas arriba vertical y aguas abajo inclinado. Únicamente en dos diques la sección es prácticamente la inversa, con el paramento aguas abajo casi vertical: en uno de ellos, como consecuencia de aprovechar la parte de estructura antigua que quedó en pie después de la avenida, cuya sección era mucho más esbelta; en el otro, por encajar mejor con los condicionantes especiales de su emplazamiento. Las fábricas empleadas en la construcción de los diques han sido el hormigón ciclópeo, fundamentalmente, y el hormigón armado, habiéndose empleado la mampostería hidráulica con piedra del país como encofrado perdido en las estructuras más visibles, con objeto de conseguir una mejor integración paisajística de las mismas.

\* Finalmente, el proyecto incluye también la construcción de pequeños diques (albarradas) fuera de la red principal de drenaje de la cuenca, escolleras de protección de márgenes, obras de estabilización de laderas sometidas a deslizamientos, nuevas pistas para acceso a las obras y la rehabilitación ambiental de todas las zonas afectadas por las mismas, mediante plantaciones, hidrosiembras y adecuación de canteras.

El presupuesto total de ejecución de las obras anteriores asciende a cerca de 2.300 millones de pesetas (13,8 millones de euros), lo que supone una inversión de 1,2 millones de pesetas por hectárea. A continuación se detalla el presupuesto por grandes capítulos:

Capítulo	Pesetas (millones)	Euros (miles)
Dique de cierre	260,1	1.564
Dique sedimentación y dispositivo derivación	96,5	580
Reparación encauzamiento principal	93,7	563
Encauzamiento auxiliar	344,4	2.070
Reparación de diques antiguos	72,1	433
Nuevos diques de consolidación	695,7	4.181
Dique de retención selectiva	91,0	547
Diques en torrente Betés	163,7	984
Protección de márgenes	90,8	546
Otras obras (albarradas, etc.)	147,2	885
Rehabilitación ambiental	32,7	196
Seguridad y Salud laboral	44,7	269
Control de calidad	17,9	107

(Cont.)

Redacción del proyecto	48,3	290
Accesos	95,7	575
<b>Total</b>	<b>2.294,5</b>	<b>13.790</b>

### CONSIDERACIONES FINALES

La avenida del 7 de agosto de 1996, y sus efectos y consecuencias catastróficos, tuvieron como único origen unas precipitaciones extraordinariamente intensas, que alcanzaron valores nunca antes registrados en la zona. En cualquier caso, debe considerarse el valor relativo que tienen los análisis estadísticos de precipitaciones y caudales máximos históricos a la hora de fijar la peligrosidad de un lugar concreto, ya que, en general, las series de datos disponibles son cortas o están incompletas. Aunque ésta es la única herramienta de que se dispone a la hora de fijar cuantitativamente el riesgo, debe prestarse atención a otros indicadores de orden cualitativo, como son los aspectos geomorfológicos, la distribución ancestral de los núcleos de población y tierras de cultivo, los testimonios orales de los pobladores de la zona, etc. Con todo, es un hecho que en la vida cotidiana asumimos un sinnúmero de riesgos, muchas veces sin saberlo, y otras, aun sabiéndolo, sin tener idea de su magnitud exacta. Así, nadie suele cuantificar el riesgo que supone viajar en coche, en avión,..., y sin embargo viajamos, a pesar de saber que dicho riesgo existe.

En cuanto al primitivo sistema corrector de la cuenca del torrente Arás, puede afirmarse que se comportó adecuadamente durante décadas, soportando varias tormentas de fuerte intensidad. Sin embargo, las obras, que fueron calculadas con hipótesis menos exigentes que las que se utilizan hoy en día, no soportaron en general los efectos de un evento de tal magnitud, para el que no estaban calculadas. Tal y como se proyectan las obras actualmente, con hipótesis de cálculo muy desfavorables, la seguridad de las mismas es mucho mayor, lo que en general les permite soportar eventos mayores que aquellos para los que teóricamente han sido diseñadas.

La restauración de la cubierta vegetal de la cuenca es siempre una labor fundamental en la corrección de los fenómenos torrenciales, pero en el caso de los torrentes pirenaicos no garantiza la extinción total del fenómeno, incluso cuando se logra el óptimo vegetal en toda su superficie, por lo que siempre hay que contemplar la necesidad de realizar obras a lo largo de la red de drenaje.

En este sentido, hay que conceder importancia a la necesidad de realizar inspecciones periódicas en este tipo de obras, sobre todo en las de cierta magnitud y antigüedad, a fin de detectar posibles desperfectos y proceder a su reparación, ya que ésta es la única forma de asegurar que las obras sigan manteniendo la funcionalidad para la que fueron proyectadas, al menos con el grado de seguridad inicial. De la misma forma, tal y como establece la legislación vigente en la materia, deben revisarse los proyectos de restauración hidrológico-forestal, cotejándolos mediante visitas de campo para establecer la necesidad de corregir los planteamientos iniciales, ejecutar nuevas obras, etc., recomendación que es de esperar que se aplique al proyecto descrito anteriormente y cuyas obras han sido ya ejecutadas.

En cuanto a la rentabilidad de la inversión efectuada, resultan suficientemente ilustrativos, salvando la distancia temporal, los párrafos que el ingeniero Mariano Borderas incluyó en el "Proyecto de Corrección del Torrente Arás", de 1930, por lo que se reproducen a continuación:

"Respecto a razones económicas, creemos no hace falta insistir demasiado después de lo expuesto para convencerse de la necesidad de la realización de los trabajos expresados. Aunque difícilmente, lograríamos transportar a cifras los perjuicios que se originarían dejando siga el mismo estado de cosas, y los beneficios que con la mejora habrían de obtenerse, pero

siempre nos encontraríamos con un grupo de factores imposibles de tasar por tratarse de razones tanto morales como materiales como de índole social.

Lo que sí podemos asegurar, dado el conocimiento que nuestra relación directa con el problema nos proporciona, es que los gastos ocasionados han de ser superados en mucho con los beneficios obtenidos, de los cuales exponemos algunos de ellos a continuación.

Restitución al cultivo de huerta de 60 hectáreas.

Seguridad del pueblo de Yosa al contener el derrumbamiento de la ladera donde se asienta y defensa de su zona de cultivos.

Valor futuro de 500 hectáreas de repoblación.

Regularización del régimen del río Gállego.

Normalización del transporte por la carretera general haciendo desaparecer los perjuicios y peligrosos accidentes que actualmente ocurren al interrumpirse aquél con las avenidas del torrente.

Mejora de las condiciones de vida de los 17 pueblos del Valle de Tena cuyos medios de comunicación quedan dificultados una buena parte del año.

Evitación de emigración y mejora de las condiciones sociales.”

Como puede verse, salvo algunas matizaciones, estos párrafos son perfectamente aplicables al caso, con la salvedad de que hoy día la fuente de ingresos de buena parte de los pobladores de la zona ha pasado a ser el turismo, perdiendo importancia las actividades tradicionales: agricultura, ganadería y aprovechamientos forestales. En todo caso, esta salvedad no quita validez a las afirmaciones de Mariano Borderas, ya que son perfectamente extrapolables a ella. Únicamente conviene añadir que la rentabilidad esperable se debe buscar a medio y largo plazo, ya que se trata de obras con un período de amortización muy largo (¿siglos?).

#### AGRADECIMIENTOS

La presente ponencia se ha elaborado a partir de los conocimientos adquiridos durante la redacción del “Proyecto Integral de Restauración Hidrológico-Forestal de la cuenca del Torrente Arás”, en la que participó un numeroso grupo de técnicos de Tragsatec, quienes mantuvieron un estrecho y provechoso contacto con el personal de TRAGSA que ejecutó las obras.

Por su parte, tanto la Dirección General de Conservación de la Naturaleza como el Gobierno de Aragón, más allá de su función como Administración, prestaron su colaboración en todo momento, facilitando a Tragsatec numerosos documentos de archivo relativos a las antiguas obras de corrección del torrente Arás.

Mención especial debe hacerse a la guardería forestal de la zona de Biescas, sin cuyo tesón y desinteresado afán habría sido muy difícil llevar a cabo los trabajos descritos.