



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Aplicación de técnicas de Bioingeniería del Paisaje en la
estabilización de taludes en el Pirineo Aragonés:
un caso práctico en un talud de Aratorés (Hu)

Application of Soil and Water Bioengineering
techniques in the stabilization of slopes in the Aragonese
Pyrenees: a practical case in a slope of Aratorés (Hu)

Autor

Ander Fernández Prieto

Directora

Paola Sangalli

Ponente

José Manuel Nicolau Ibarra

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR
2019

Agradecimientos

Estas palabras van dedicadas a todo aquel que puso de su parte y sirvió de apoyo para que este trabajo saliese adelante.

A mi directora Paola Sangalli y ponente José Manuel Nicolau por brindarme la oportunidad de realizar este trabajo junto con su empeño y entrega. De forma especial a Paola por enseñarme a trabajar por y para la naturaleza como bien dice ella y hacer que me enamore de una disciplina tan bella como la Bioingeniería.

De forma incondicional y perpetua a mis padres cuyo trabajo, sacrificio y dedicación a lo largo de mi vida han hecho que paso a paso pueda llegar hasta aquí. A mis hermanas que a pesar de la distancia durante estos años no han parado de demostrarme su amor y hacer que me mantenga fuerte ante las adversidades.

A Guillermo Tardío que de forma desinteresada no dudó en ayudarme en los apartados técnicos en los que él es un auténtico profesional.

A Manolo y Susana, dueños de la Casa Rural L'Orache, los cuales me trataron como en casa durante mi estancia en las visitas de campo, incluso ayudándome en la toma de datos y otorgándome información muy valiosa para poder arrancar con el análisis.

A mis profesores, compañeros, amigos y familiares que de alguna forma han aportado en mayor o menor medida su granito de arena para llevar a cabo este trabajo, de los cuales me gustaría nombrar a: Nekane García, Beatriz Llorente, Marta Peñalver, Kevin Saiz, Iker Prieto, Jesús Beamonte, Inés de la Parra, Geological Legacy, Low-Fi Picks, Estefanía Luna, Emma Sierra, Daniel Moreno, Javier Domínguez, Inés, Álvaro Moreno, Joaquín Ascaso, Jesús Guerrero Iturbe, José Manuel Martínez, Sergio Sangalli, Paloma Vicente, Miriam Pérez... En particular me gustaría agradecer a Guillermo Enguita por compartir su experiencia con paciencia conmigo.

A todo el personal de la Escuela Politécnica Superior de Huesca por la labor realizada y la ayuda otorgada.

Gracias a todos.

Abstract

The Camino of Santiago runs near a hillside of the town of Aratorés (Huesca). As a result of some widening works of its platform, some slope instabilities were triggered. These superficial slope failures produced a change of slope at its base. In order to control the mass waste effects, in 2016 a rock wall was built at the toe of the slope according to conventional/traditional engineering approach. This intervention had a great visual impact and it did not solve the existing runoff erosion problems over the slope. Within the agreement of Educational Cooperation, between the company Sangalli Coronel y Asociados S.L. (SCIA) and the University of Zaragoza, a Final Degree Project was proposed in which the realization of a study about the possibilities of intervention with Soil and Water Bioengineering techniques to improve stability, recover the ecological functionality and establish a landscape integration of the slope were included. Soil and Water Bioengineering (SW Bioengineering) uses living plant materials as construction elements for environmental regeneration, with slope stabilization being one of its fields of activity, taking advantage of the stabilizing properties of the roots. The slope is inside of a private Rural House L'Orache whose owner wants to know the viable solutions for intervention. The project analyzes the possibility of using SW Bioengineering techniques to stabilize slopes in the Aragonese Pyrenees using the example described above. After a preliminary analysis, different proposals are analyzed. On the one hand, a proposal in which the existing rock wall is maintained and is reinforced by revegetating the slope and controlling surface erosion using SW Bioengineering techniques. On the other hand, another proposal is analyzed in which only SW bioengineering techniques are utilised for the stabilization and revegetation of the slope. Once the two options and their possible evolution have been analyzed and compared, the following conclusion was reached: although the two scenarios are similar from a technical point of view, from the ecological and landscape point of view, the second one is much more integrative and environmental friendly. This second scenario achieves an evolution quite similar to the natural evolution of the local landscape.

Key words: Western Pyrenees, Aragon Valley, slope instability, glacial moraine, Soil and Water Bioengineering, log live crib wall.

Resumen

En el pie de una ladera situada en la localidad de Aratorés (Huesca) transcurre el trazado del Camino de Santiago, en el que se ha originado una desestabilización como consecuencia de las obras de ensanchamiento del mismo, produciéndose un cambio de pendiente en la base del talud. Con objeto de controlar los efectos de la desestabilización, en el año 2016 se construyó una escollera con técnicas de ingeniería convencional al pie del talud, con un gran impacto visual y una erosión superficial que continúa a día de hoy. Dentro del convenio de Cooperación Educativa, entre la empresa Sangalli Coronel y Asociados S.L. (SCIA) y la Universidad de Zaragoza, se propuso como Trabajo de Fin de Grado la realización de un estudio acerca de las posibilidades de intervención con técnicas de Bioingeniería del Paisaje para mejorar la estabilidad, recuperar la funcionalidad ecológica y establecer una integración paisajística del talud. Esta disciplina, la Bioingeniería del Paisaje, utiliza materiales vegetales vivos como elementos de construcción para la regeneración ambiental, siendo la estabilización de laderas uno de sus campos de actuación, aprovechando las propiedades estabilizadoras de las raíces. El talud se encuentra dentro de la parcela de un particular (Casa Rural L'Orache) que está interesado en conocer las soluciones viables de intervención. El proyecto en sí analiza la posibilidad de utilizar técnicas de Bioingeniería del Paisaje para la estabilización de taludes en el ámbito pirenaico aragonés mediante el ejemplo descrito anteriormente. Tras un análisis preliminar, se analizan diferentes propuestas, entre las que se encuentra la de intervenir manteniendo la actual escollera, revegetando el talud y controlando la erosión superficial utilizando técnicas de Bioingeniería y, en segundo lugar, la propuesta de realizar tanto la estabilización como la revegetación del talud únicamente con técnicas de Bioingeniería del Paisaje. Una vez estudiadas las dos opciones se analiza cual puede ser la distinta evolución de ambas propuestas en el tiempo, que, aunque desde el punto de vista técnico sean equiparables, desde el punto de vista ecológico y paisajístico, la segunda opción resulta mucho más integradora pudiendo evolucionar hasta un nivel cercano al natural.

Palabras clave: Pirineo occidental, Valle del Aragón, inestabilidad de ladera, morrena glaciar, Bioingeniería del Paisaje, entramado vivo de madera.

Índice

1. Introducción.....	8
1.1. Justificación y objetivos	8
1.2. Bioingeniería del Paisaje	9
1.2.1. Definición.....	9
1.2.2. Orígenes e historia.....	10
1.2.3. Funciones.....	12
1.2.3.1. Funciones técnicas.....	12
1.2.3.2. Funciones ecológicas	12
1.2.3.3. Funciones estéticas.....	12
1.2.3.4. Funciones socioeconómicas	12
1.2.4. Materiales en Bioingeniería	12
1.2.4.1. Componentes vegetales vivos	12
1.2.4.2. Componentes no vegetales	14
1.2.5. Características biotécnicas de las plantas	14
1.2.6. Técnicas	15
1.2.6.1. Técnicas de recubrimiento	15
1.2.6.2. Técnicas de estabilización	15
1.2.6.3. Técnicas mixtas	17
1.2.6.4. Técnicas complementarias	18
1.2.7. Recomendación para la aplicación de las técnicas de Bioingeniería en el control de erosión de los taludes	18
2. Material y métodos	19
2.1. Desarrollo del trabajo	19
2.1.1. Visitas de campo	20
2.1.2. Digitalización.....	20
2.1.2.1. Levantamiento topográfico.....	20
2.1.2.2. Diseño digital de la actual escollera.....	21
2.1.2.3. Ortofotos	21
2.1.4. Predimensionamiento y cálculo de estructuras de las técnicas mixtas utilizadas... 22	
2.2. Análisis	22
2.2.1. Análisis del medio físico.....	23
2.2.1.1. Medio Abiótico.....	23
2.2.1.1.1. Situación geográfica.....	23
2.2.1.1.2. Caracterización climatológica	24
2.2.1.1.3. Caracterización hidrológica	27
2.2.1.1.4. Caracterización geológica.....	31
2.2.1.1.5. Caracterización geomorfológica	32
2.2.1.1.6. Caracterización edafológica	36
2.2.1.2. Medio Biótico.....	38
2.2.1.2.1. Caracterización de la vegetación	38
2.2.1.2.2. Caracterización de la fauna	41
2.2.2. Análisis del medio antrópico	42
2.2.2.1. Usos del suelo del Valle del Aragón	42
2.2.2.2. Vías de comunicación	43
2.2.2.3. Evolución histórica de la zona	44
2.2.3. Descripción del talud	45
2.2.4. Caracterización del talud.....	46

2.2.5. Descripción de la situación actual	50
3. Propuesta	56
3.1. Elementos de la propuesta	57
3.1.1. Movimientos de tierra	57
3.1.2. Técnicas empleadas	57
3.1.2.1. Técnicas de recubrimiento empleadas.....	58
3.1.2.2. Técnicas de estabilización empleadas.....	58
3.1.2.3. Técnicas mixtas empleadas	60
3.1.3. Materiales empleados	63
3.1.3.1. Componentes vegetales vivos empleados	63
3.1.3.2. Componentes no vegetales empleados	64
3.2. Justificación de las propuestas	65
3.2.1. Propuesta 1: Realizar tanto la estabilización como la revegetación del talud únicamente con técnicas de Bioingeniería.	65
3.2.1.1. Justificación de los elementos de la propuesta	65
3.2.1.1.1. Justificación de movimientos de tierra	65
3.2.1.1.2. Justificación de las técnicas empleadas	65
3.2.1.1.2.1. Justificación de las técnicas de recubrimiento empleadas.....	67
3.2.1.1.2.2. Justificación de las técnicas de estabilización empleadas.....	68
3.2.1.1.2.3. Justificación de las técnicas mixtas empleadas	69
3.2.1.1.3. Justificación de materiales empleados.....	70
3.2.1.1.3.1. Justificación de los componentes vegetales vivos empleados	71
3.2.1.1.3.2. Justificación de los componentes no vegetales empleados	72
3.2.2. Propuesta 2: Mantener la escollera, pero revegetar y parar la erosión superficial del talud utilizando técnicas de Bioingeniería.	72
4. Discusión.....	73
5. Conclusiones	73
6. Bibliografía.....	75
7. Anexos	80

1. Introducción

1.1. Justificación y objetivos

El objeto de este documento es analizar la posibilidad de utilizar técnicas de Bioingeniería del Paisaje para la estabilización de taludes en el ámbito pirenaico aragonés, y de una forma más concreta su aplicación en un caso práctico en el que se establecen diferentes propuestas para estabilizar y revegetar mediante estas técnicas un talud en el Pirineo Aragonés dentro de la Comarca de la Jacetania (Huesca).



Figura 1: Vista del paisaje desde la Casa Rural L'Orache. Fuente: Elaboración propia

En concreto el talud está situado a escasos metros de la Casa Rural L'Orache, en Aratorés dentro del municipio de Castiello de Jaca. Esta casa rural se dedica al agroturismo, se encuentra en pleno Valle del Aragón, sobre una morrena glacial, ofreciendo una vista panorámica del mismo.



Figura 2: Talud del caso práctico. Fuente: Elaboración propia

Actualmente hay implantada una escollera construida mediante técnicas de ingeniería convencional, con un gran impacto visual y una erosión que continúa a día de hoy. Por ello, se plantea un estudio acerca de las posibilidades de intervención con técnicas de Bioingeniería

del Paisaje para mejorar la estabilidad, recuperar la funcionalidad ecológica y establecer una integración paisajística del talud. Los objetivos específicos que se pretenden abordar son los siguientes:

- Analizar el dimensionamiento de la obra actual con la escollera.
- Estudiar la posibilidad de mantener la escollera, pero revegetar y parar la erosión superficial del talud utilizando técnicas de Bioingeniería.
- Realizar tanto la estabilización como la revegetación del talud únicamente con técnicas de Bioingeniería sustituyendo así la actual escollera.

La Bioingeniería del Paisaje es una disciplina que requiere de la intervención de distintos profesionales y un trabajo conjunto, ya que combina conocimientos del medio natural con los de la ingeniería civil y forestal, por lo que este trabajo de grado se ha centrado en las cuestiones relacionadas con el medio y se ha contado con la colaboración de un equipo técnico para la definición completa de las soluciones a nivel de anteproyecto. Por ello, en el apartado de desarrollo del trabajo en material y métodos se ha detallado el trabajo realizado por el equipo técnico, llevándose a cabo el resto del trabajo por el autor de este.

1.2. Bioingeniería del Paisaje

1.2.1. Definición

La Bioingeniería del Paisaje tiene como materia prima de construcción el material vegetal vivo presente en las inmediaciones de la zona de restauración, en ocasiones puede presentarse combinado con materiales inertes. (Sangalli, P., 2014).

La Bioingeniería del Paisaje, Bioingeniería del suelo o ingeniería biológica se define como una disciplina específica de la ingeniería orientada por la biología en la que plantas autóctonas y fragmentos vegetales se emplean como material de construcción vivos de tal forma que al desarrollarse con el suelo contribuyen de manera esencial a su seguridad y a evitar toda forma de erosión. En la fase inicial es necesario, en muchas ocasiones, una combinación con otros materiales que asumen inicialmente la función de estabilidad, hasta que la componente vegetal pueda desarrollar plenamente su función (Sangalli, P., 2014, pp. 28).

Este tipo de técnicas, aunque de origen antiguo, se utilizan de forma habitual en los países centroeuropeos debido entre otras cuestiones a una mayor sensibilidad por su entorno e inquietud por solventar los impactos generados por grandes obras y las buenas condiciones climáticas para el desarrollo de la vegetación. Se trata principalmente de Austria, Suiza, Alemania, Francia y Norte de Italia. (Sangalli, P., 2014).



Figura 3: Evolución de un talud tras implantar un enrejado vivo. Fuente: (Sangalli, P., 2006).

Probablemente otra explicación a esta inquietud tenga el origen en las presiones que sufren en el territorio estos países por la gran densidad de población que albergan (EFIB, 2015).

En los países mediterráneos, su aplicación es cada vez más importante, aunque presenta adaptaciones a las características del entorno. Cabe aclarar que no se tratan de técnicas que reemplacen a la ingeniería convencional en todo su ámbito, pero se trata de un componente muchas veces complementario a tener en cuenta en las obras de ingeniería clásica (Sangalli, P., 2014).

Ciencias Ambientales se encuentra entre las disciplinas relacionadas con la Bioingeniería del Paisaje en el mismo bloque que Arquitectura del paisaje y Planificación territorial. El área de conocimiento respectivo a estas disciplinas son estudios de impacto ambiental, procesos de planificación, plantación, planes marco, planes de seguimiento, pequeños trabajos hidráulicos y remodelación de terrenos, además de análisis de viabilidad para la fauna, flora y hábitats (EFIB, 2015).

1.2.2. Orígenes e historia

La procedencia de estas técnicas se remonta a la edad media cuando la construcción era totalmente experimental con madera y piedras, combinados con material vegetal vivo. Ya que no existían otros elementos, estas obras se limitaban a la contención de terrenos erosionados. Pero no es hasta finales del siglo XVIII cuando se hace referencia a las primeras obras publicadas mencionando a la Bioingeniería del Paisaje como disciplina en Austria y Suiza (Sangalli, P., 2014).

En 1886 Robert Lauterburg publicó su trabajo “Estabilización de las Riberas de nuestros Ríos y Desprendimientos de Tierra”. A lo largo del siglo XIX y principios del XX se aplican estas técnicas en el ámbito de restauración hidrológico-forestal. Hasta que surgieron técnicas y materiales nuevos como el hormigón, quedando la Bioingeniería del Paisaje desplazada a las zonas rurales y forestales del Arco Alpino. No obstante, debido a que estas técnicas resultaban más económicas si se comparan con las que nos ofrece la ingeniería convencional, en la gran crisis de Europa Occidental de los años 30 (s. XX), recobraron fuerza. Este acontecimiento hizo posible la creación del primer centro oficial para la investigación de esta disciplina en 1936 (Sangalli, P., 2014).

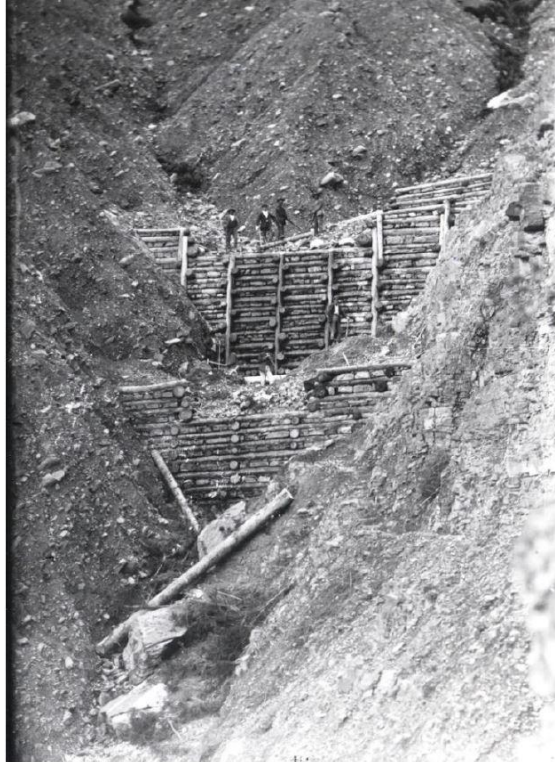


Figura 4: Fotografía histórica. Fuente: *Restauración hidrológico forestal con técnicas de Bioingeniería en los Alpes orientales* [Figura]. (1920).

Aunque en sus orígenes estos trabajos de estabilización se realizaban de forma empírica, con el paso del tiempo han ido evolucionando hasta convertirse en una ciencia aplicada (EFIB, 2015). Esto ha sido posible gracias a las investigaciones realizadas en los últimos cuarenta años, la integración de materiales industriales innovadores y la creciente conciencia ambiental (Sangalli, P., 2014).

En la Península Ibérica en cambio muchas de estas técnicas se aplicaban en los primeros proyectos de restauración hidrológico-forestal e implantación de cobertura vegetal en los macizos montañosos de Sierra Nevada, Pirineos, Sistema Central e Ibérico con el Real Decreto de junio de 1901. Sin embargo, prácticamente desaparecieron desde los años veinte hasta los ochenta (s. XX), debido a que estas técnicas necesitan mucha mano de obra lo que fue incompatible con el éxodo rural que surgió en la época, dado que el ámbito de la ingeniería biológica como se ha explicado antes era generalmente rural. Además, estos métodos de construcción no les parecieron atractivos a proyectistas y empresas ejecutoras por su bajo coste material (Sangalli, P., 2014).

Hasta finales del siglo XX no se originan en España labores de restauración del paisaje, padeciendo así un gran retraso respecto a los demás países europeos. Gracias a este impulso movido por la necesidad de preservar el paisaje vuelven a surgir las técnicas de Bioingeniería, impartándose en noviembre de 1993 las primeras jornadas destinadas a estas en Fuenterrabía (Gipuzkoa), organizada con la colaboración de Diputación Foral de Gipuzkoa y Gobierno Vasco. En 1995 se funda la Asociación Española de Ingeniería del Paisaje (AEIP) con el objetivo de difundir esta disciplina y sus técnicas a nivel nacional y adaptarlas a los diferentes climas que alberga este país. En el año 1996 se funda la Federación Europea de Ingeniería del Paisaje (EFIB) (Sangalli, P., 2014).

1.2.3. Funciones

Las técnicas de Bioingeniería del Paisaje cumplen funciones técnicas, ecológicas, estéticas y socioeconómicas

1.2.3.1. Funciones técnicas

Tienen relación con la estabilización y conservación del suelo superficialmente y en profundidad a través de la acción de las raíces. Estas lo protegen de todo tipo de erosión, interceptando el agua y el viento, haciendo frente a las fuerzas mecánicas desfavorables a la estabilización, decelerando la corriente en las riberas, favoreciendo el drenaje y formando una resistencia contra los aludes mediante el aumento de la rugosidad del terreno (Sangalli, P., 2014).

1.2.3.2. Funciones ecológicas

Al favorecer la introducción de vegetación autóctona transforman las características ecológicas allá donde se intervenga, acelerando el restablecimiento del ecosistema de referencia, función que difícilmente se puede realizar con la ingeniería convencional. La Bioingeniería del Paisaje favorece la capacidad de retención de agua del suelo, las condiciones de temperatura en la zona sub-aérea y en el suelo mediante las sombras que genera la vegetación, la presencia de nutrientes en el suelo incrementando su fertilidad, la protección contra el ruido y la productividad en las zonas agrícolas cercanas (Sangalli, P., 2014).

1.2.3.3. Funciones estéticas

La función principal se basa en reparar los daños provocados en el paisaje tras catástrofes naturales o por la acción antrópica, mediante la integración de obras o construcciones realizadas en el paisaje. También se puede utilizar para disminuir el impacto visual mediante el encubrimiento de infraestructuras con una pantalla visual (Sangalli, P., 2014).

1.2.3.4. Funciones socioeconómicas

Cabe aclarar que las intervenciones ejecutadas mediante la Bioingeniería del Paisaje no siempre tienen un menor coste comparadas con las obras de ingeniería clásica. Pero los factores de durabilidad de obra, mantenimiento y su menor coste energético hace que económicamente resulten beneficiosas si se eligen bien las técnicas y sus materiales vivos e inertes (Sangalli, P., 2014).

En cuanto a la parte social, son una fuente de trabajo, al emplear mucha mano de obra. Con este tipo de intervenciones la población recupera zonas que antes se encontraban degradadas (Sangalli, P., 2014).

1.2.4. Materiales en Bioingeniería

En Bioingeniería del Paisaje se diferencian por su naturaleza en dos tipos de materiales: componentes vegetales vivos y componentes no vegetales (Sangalli, P., 2014).

1.2.4.1. Componentes vegetales vivos

Son el elemento fundamental de las técnicas de Bioingeniería. Para unos buenos resultados se deberá realizar previamente a la elección de los componentes un análisis florístico y un estudio

botánico del entorno en el que se llevará a cabo la intervención, optando siempre por especies autóctonas y ofreciendo un conjunto vegetal heterogéneo de diferentes especies herbáceas y leñosas (arbóreas y arbustivas) con especiales características biotécnicas. (Sangalli, P., 2014).

- **Especies herbáceas:** dentro de estas se utiliza una mezcla de gramíneas y leguminosas, las primeras consolidan el suelo y las segundas aportan nutrientes al suelo al ser fijadoras de nitrógeno atmosférico. Normalmente se utilizan en técnicas de estabilización y de recubrimiento. Las herbáceas presentan una protección eficaz contra la erosión superficial en las pendientes disminuyendo la pérdida de sedimentos por desplazamiento mediante la retención de partículas, protegiendo el suelo de la erosión generada por el impacto de las gotas de lluvia (denominada “splash erosion”), decelerando las escorrentías superficiales y aumentando la capacidad de infiltración del suelo (Sangalli, P., 2014).
- **Especies leñosas:** Se utilizan principalmente en la estabilización y consolidación del suelo. Mediante la evaluación en obras las especies que han resultado más eficaces han sido las de las familias de las salicáceas y tamarindáceas. A diferencia de las especies herbáceas, las leñosas, al enraizar hasta 2 m de profundidad pueden generar protección contra los deslizamientos de tierra. Dentro de estas se pueden encontrar diferentes tipos de material (Sangalli, P., 2014).
 - Fragmentos no enraizados: su nombre proviene por la capacidad de reproducirse por esqueje, por ello se debe preparar cuando la planta se encuentra en reposo vegetativo. Se trata del tipo de material más importante en las técnicas de estabilización. De un ejemplar bien desarrollado se pueden sacar tres tipos de brotes: estacas (no ramificados, con un diámetro de 3-7 cm y una longitud de 50-150 cm), ramas (ramificados, de diferente espesor y una longitud mínima de 60 cm) y varas (rectos y poco ramificados, con un diámetro de 3-10 cm y una longitud de 150-300 cm) (Sangalli, P., 2014).



Figura 5: Ejemplo de fragmento no enraizado (Fajina: elaborándola y brotada en obra).

Fuente: Elaboración propia

- Planta joven enraizada: su procedencia no es de la zona de intervención como el tipo anterior, sino de viveros especializados en la producción de estaquillas y plantas enraizadas. Se utiliza en lechos de ramaje cuando la obra se ejecuta fuera del periodo de reposo vegetativo o para aumentar la diversidad y favorecer la sucesión vegetal (Sangalli, P., 2014).

1.2.4.2. Componentes no vegetales

Son de origen natural (tierra, rocas, piedras y madera) con posibilidad de obtenerlos en la propia obra durante la ejecución de la misma. Se trata de materiales que se emplean para fabricar elementos estructurales que permiten que las plantas puedan desarrollarse correctamente protegiéndola durante su fase crítica (germinación, rebrote y crecimiento de raíces). Estas raíces van a desarrollarse a medida que la madera y el hierro se va degradando, sustituyendo así su función de estabilizar o generar una estructura y sirviendo de nutriente para la planta (Sangalli, P., 2014).

Entre estos componentes también se pueden encontrar redes, esteras y celdas, en este caso de origen natural o sintético utilizados en técnicas mixtas de revestimiento contra la erosión hasta el desarrollo de la planta. Los materiales de fibras naturales que más se usan son coco y esparto (ofrecen una mayor longevidad y resistencia), yute, paja (ofrece una mayor degradación), celulosa, residuos forestales... (Sangalli, P., 2014).

Para la elección de cuál de estas utilizar habrá que tener en cuenta el tipo de intervención, si se utilizará hidrosiembra o plantación, la granulometría, la pendiente... Al introducirse la planta en los huecos del tejido se creará una capa resistente la cual se unirá a la superficie del talud, generando así una fuerte protección frente a la erosión (Sangalli, P., 2014).

1.2.5. Características biotécnicas de las plantas

Desde el punto de vista de la Bioingeniería, las especies vegetales presentan características técnicas y características biológicas que las hacen idóneas para su utilización en las estructuras. Las características técnicas que ofrecen las raíces de las mismas, se tratan del control ante la erosión, la mejora de los parámetros geotécnicos y la regulación del balance hídrico del suelo. Entre las características biológicas se encuentran la capacidad de reproducirse por vía vegetativa (esqueje), la capacidad de emitir raíces adventicias en los troncos enterrados (se da en especies adaptadas al enterramiento por rocas) y la resistencia al encharcamiento durante un lapso de tiempo largo (esta propiedad la tienen especies de ribera, pueden aguantar sumergidas un determinado número de horas o días sin sufrir percances, si se sobrepasa este tiempo muere por asfixia), las especies con esta propiedad resultan idóneas para intervenciones de Bioingeniería del Paisaje en ámbito hidráulico (Sangalli, P., 2014).

Para asegurar el éxito de las intervenciones de Bioingeniería del Paisaje se deberán utilizar plantas con elevada característica biotécnica, además de poseer una serie de características concretas desarrolladas a continuación (Sangalli, P., 2014).

- **Capacidad para consolidar el terreno:** se trata de la correlación entre la densidad y la forma en que las raíces hacen frente al terreno cohesionando el suelo y aumentando la resistencia al corte. Lo cual se encuentra estrechamente vinculado a la relación entre el volumen del aparato radical y de los brotes de una especie. La forma de conseguir una estabilización más eficaz se basa en utilizar diferentes especies que tengan raíces con diversa compenetración en los distintos estratos del terreno. Por ejemplo, las especies con capacidad de reproducción vegetativa garantizan una mejor consolidación del suelo que las que se reproducen por semilla, ya que no presentan un sistema radical tan profundo y desarrollado como las primeras (Sangalli, P., 2014).
- **Resistencia del aparato radical:** Esta resistencia se refiere a la que presenta el sistema radicular ante su ruptura, el cual se define como el resultado de la intensidad de

enraizamiento por la resistencia a la tracción de cada una de las raíces individualmente. Por ello, para la estabilización de un sustrato poroso sujeto a una acción mecánica, se necesitan plantas con raíces que soporten los esfuerzos de tracción y de corte a los que se verán sometidos. El estudio de estas propiedades mecánicas de troncos y raíces se están realizando a través de las clásicas pruebas de laboratorio de resistencia de materiales, en las que están involucrados laboratorios científicos de varios países (Sangalli, P., 2014).

- **Capacidad para emitir raíces adventicias en los troncos semienterrados** (Sangalli, P., 2014).
- **Resistencia a la extirpación de toda la planta:** Estudios de la Universidad de Insubria y de Molise han observado que las especies *Spartium junceum* y *Fraxinus ornus* son capaces de modificar sus raíces dependiendo si crecen en zonas de llanura o en taludes. Reforzando en los taludes el anclaje al suelo con un desarrollo radicular más extenso y resistente, de una forma similar a cuando se encuentran sometidos a viento (Sangalli, P., 2014).

1.2.6. Técnicas

Por lo general algunas de las técnicas usadas en la ingeniería biológica son conocidas en la Península Ibérica como las hidrosiembras, mantas orgánicas o muros verdes, pero se desconocen muchas de las ciento cincuenta restantes. Aunque existen numerosos tipos de técnicas todas presentan una serie de condicionantes como la estacionalidad (debiéndose realizar los trabajos en el estadio vegetativo y características climáticas locales adecuadas para la planta), el mantenimiento (entresacas, riego de apoyo, resiembras, podas de contención...), obtención del material vegetal, condiciones de seguridad (solo se aplicarán estas técnicas cuando estas condiciones se cumplan) y que lo lleve a cabo personal capacitado (Sangalli, P., 2014). Dentro de las técnicas existen dos vertientes bien marcadas, diferenciadas por el ámbito en el que se ejecutan, una de ellas es el ámbito hidráulico (fluvial, lagunar o costero) y la otra relacionado con el ámbito terrestre (laderas, infraestructuras lineales, minas, canteras...) pero ambas con un mismo objetivo, el control de la erosión. Dentro de cada uno de estos ámbitos podemos encontrar cuatro tipos de técnicas en función del papel que cumpla la planta.

1.2.6.1. Técnicas de recubrimiento

Son aquellas que previenen la erosión superficial. Pertenecen a este grupo siembras con o sin acolchados (siembra a voleo, a voleo con espesor, con capa protectora de paja y emulsión bituminosa), hidrosiembras (con especies herbáceas o leñosas), mantas orgánicas (con las siembras), tepes (praderas en rollo) o fragmentos de plantas (rizomas y estolones) y revestimiento con varas de salicáceas (Sangalli, P., 2014).

1.2.6.2. Técnicas de estabilización

Son aquellas que estabilizan el suelo solo con material vegetal, sin necesidad de otros materiales de apoyo. Emplean normalmente fragmentos vegetales o plantas enraizadas autóctonas y que emiten raíces adventicias con el fin de generar una estructura que sea capaz de fijar terrenos hasta a 1-2 m de profundidad. Entre estas podemos encontrar estaquillado directo de sauces (ver Figura 6), lechos de ramaje (ver Figura 7), peldaños de leña, sucesión de estacas y fajinas o ribalta viva, trenzado de mimbre, fajinas vivas y esteras de ramas (ver Figura 8) (Sangalli, P., 2014).



Figura 6: Estaquillado. Fuente: (Cornelini, P., 2001)

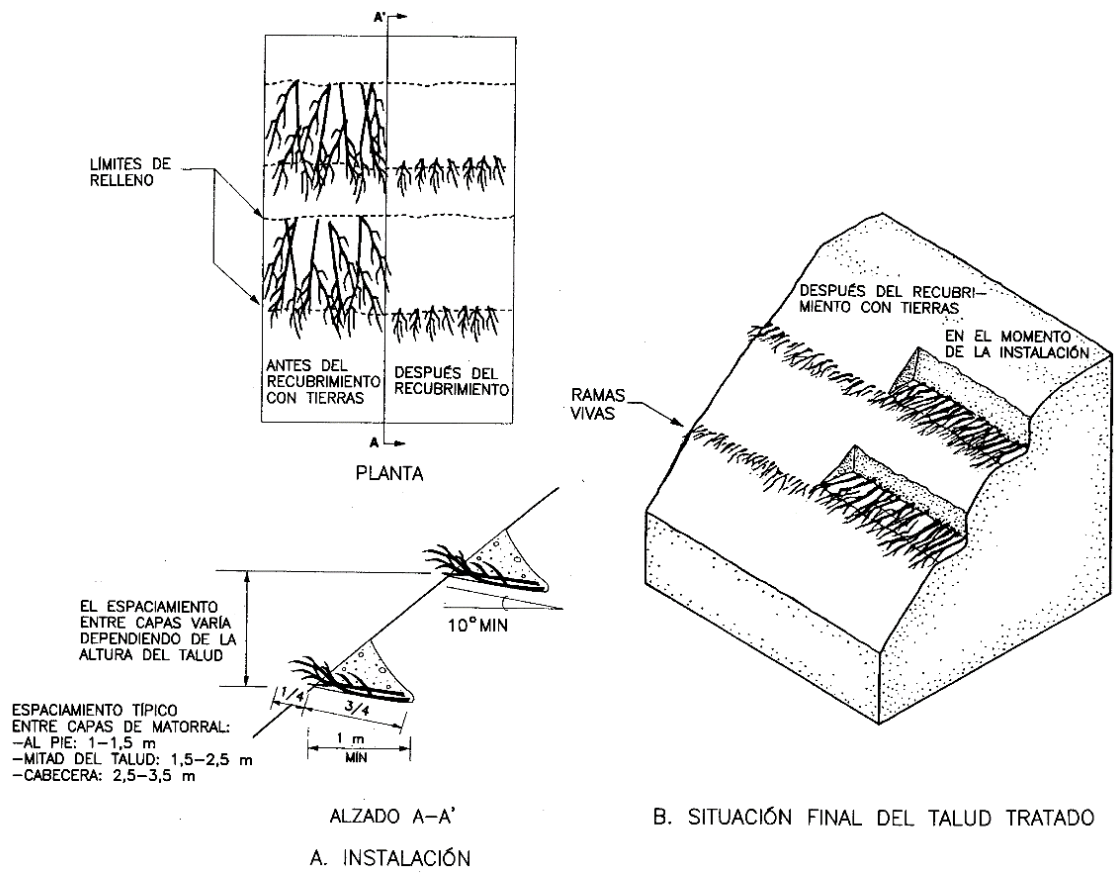


Figura 7: Lechos de ramaje. Fuente: (Mataix, C., 2007).

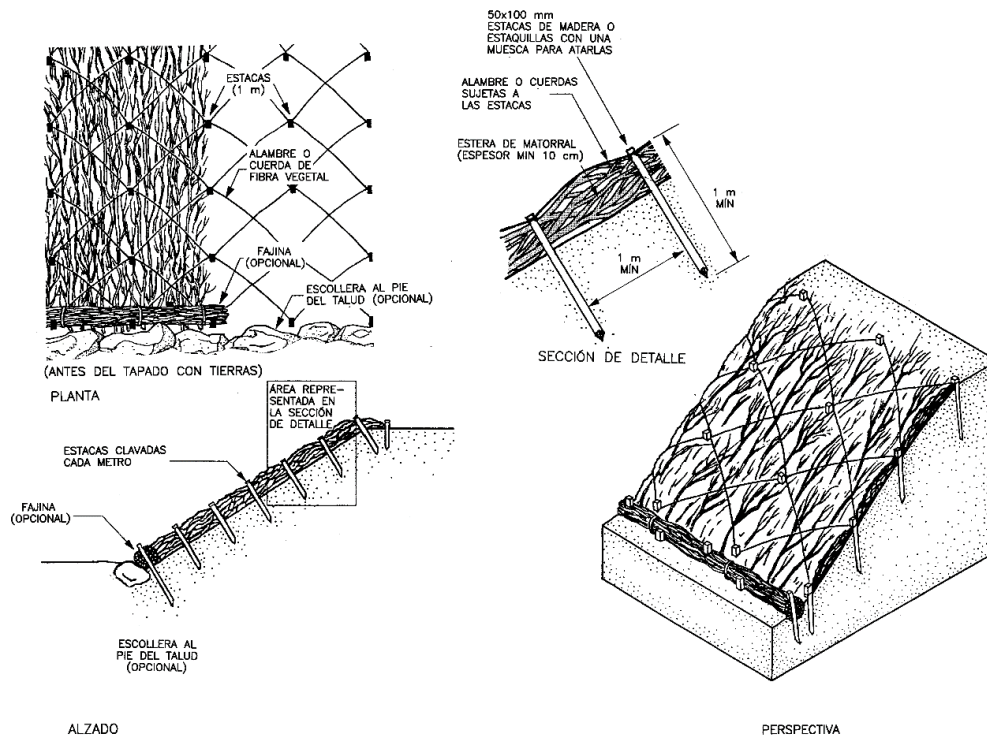


Figura 8: Esteras de ramas. Fuente: (Mataix, C., 2007).

1.2.6.3. Técnicas mixtas

Cuando la parte vegetal por sí sola no puede ejercer la función estabilizante, se requiere emplear otros materiales que cumplan inicialmente con esta función hasta que el material vegetal esté en condiciones de llevarla a cabo. Estas técnicas se denominan mixtas porque combinan los materiales vegetales vivos y materiales no vegetales citados en el apartado anterior. Entre estas técnicas se encuentran el entramado vivo de madera, enrejado vivo, tierras reforzadas (muro de contención con armadura metálica) (ver Figura 9) o muros verdes, escollera revegetada, gaviones revegetados, mallas tridimensionales, geoceldas, empalizadas... (Sangalli, P., 2014).

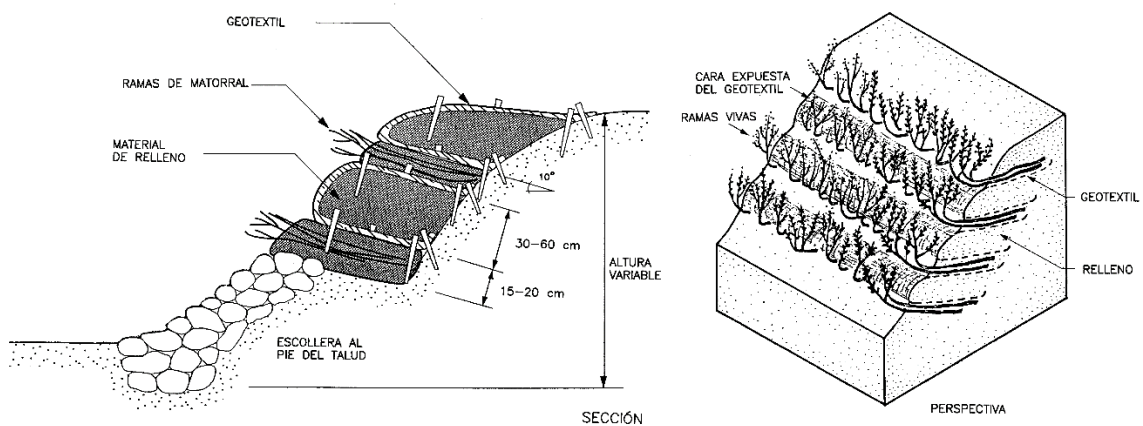


Figura 9: Estructuras de tierras reforzadas. Fuente: (Mataix, C., 2007).

1.2.6.4. Técnicas complementarias

Estas técnicas tienen por objeto, como su nombre indica, complementar la obra para mejorar los aspectos ecológicos y paisajísticos. Algunos ejemplos de estas técnicas son la plantación de especies leñosas para acelerar el desarrollo de la serie de vegetación potencial, barreras antirruído, drenajes, rampas de piedras para peces, diques de madera y piedra... (Sangalli, P., 2014).

1.2.7. Recomendación para la aplicación de las técnicas de Bioingeniería en el control de erosión de los taludes

En las laderas de montaña se pueden apreciar rocas sueltas, el origen de estas reside en la acción del sol y el hielo que hace que se desprendan de la roca sólida de las partes altas, generando a causa de la gravedad unos depósitos detríticos ladera abajo (Yarham, R., 2011). Los taludes también pueden generarse por el efecto lluvia, granizo, nieve, viento fuerte, escorrentía superficial o el impacto generado por los animales o seres humanos (Sangalli, P., 2014).

Los taludes se crean en el pie de la ladera y los derrubios, los cuales son fragmentos de roca descompuesta, se acumulan en la pendiente protegiéndola de la erosión. Si no se observa vegetación dentro del mismo advierte que los desprendimientos siguen activos (Yarham, R., 2011).

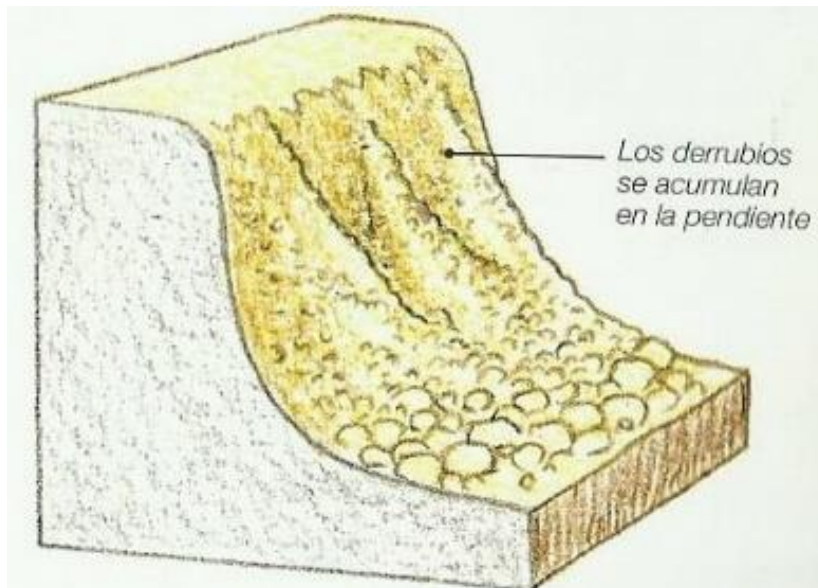


Figura 10: Ilustración de un talud. Fuente: (Yarham, R., 2011)

Existen dos tipos de taludes, los taludes naturales con pendientes originadas por la orografía de la zona, los cuales pueden estar protegidos con una cubierta vegetal o no dependiendo de los procesos de erosión física y química. El otro tipo de talud son los taludes artificiales, estos en cambio son originados por obras de ingeniería (Sangalli, P., 2015).

En la siguiente imagen se puede observar las partes de un talud y como sus dimensiones varían según su origen (Tardío, G., 2015).

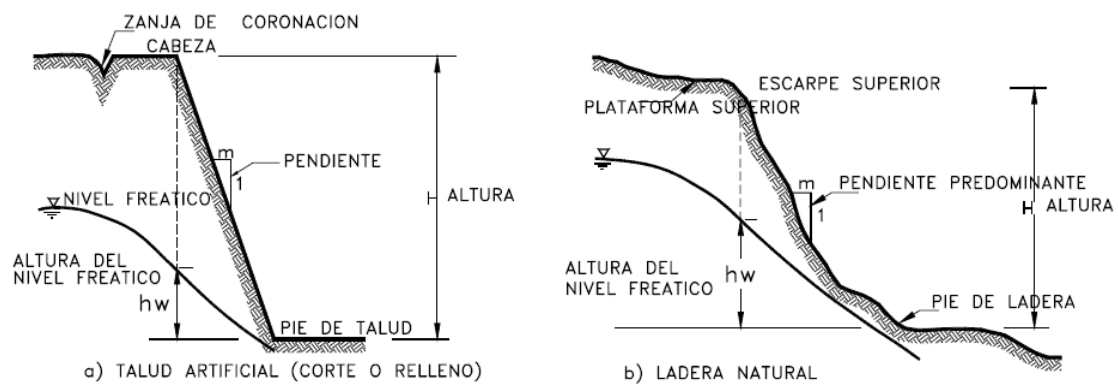


Figura 11: Diferencias entre las partes de un talud artificial y una ladera natural. Fuente: (Tardío, G., 2015)

La principal problemática que puede traer que un talud se halle sin vegetación, son los percances que puede generar sobre infraestructuras creadas por el hombre, ya sea sobre la propia instalación o en su sistema de drenaje. Se ha demostrado que una adecuada cobertura de herbáceas asociadas a agrupaciones de especies leñosas combinadas con componentes no vegetales puede hacer frente a los fenómenos generados por la erosión de un talud. La vegetación conveniente a utilizar dentro del talud es la vegetación autóctona y dominante en los alrededores definida por un análisis botánico. Aunque existen condicionantes para observar resultados óptimos, como la pendiente, el suelo (tipo, compactación, presencia de nutrientes o elementos tóxicos), la insolación que sufre... (Sangalli, P., 2014).

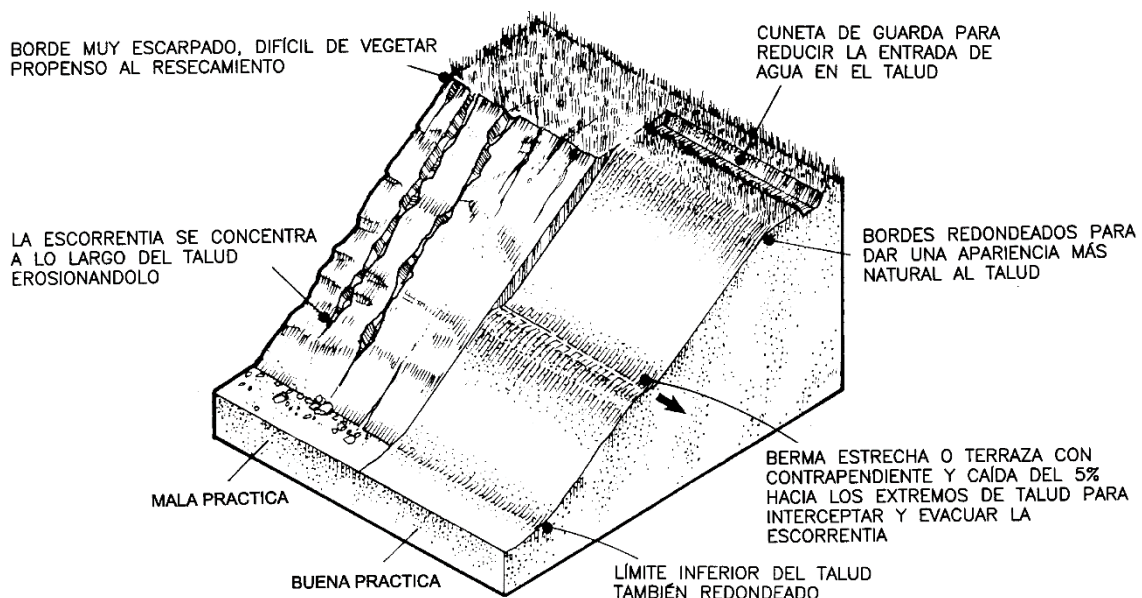


Figura 12: Ejemplo de remodelado de un talud tipo. Fuente: (Mataix, C., 2007).

2. Material y métodos

2.1. Desarrollo del trabajo

La ejecución del presente TFG tuvo 5 partes principales para el cumplimiento de los objetivos: visitas de campo, digitalización, cálculo de estabilidad de la sección B-B', predimensionamiento y cálculo de estructuras de las técnicas mixtas utilizadas y presupuesto.

2.1.1. Visitas de campo

Se programaron dos salidas de campo para visitar la zona de estudio con el fin de obtener información y documentos in situ. Estas salidas se llevaron a cabo el 9 de enero de 2019 y el 27 de abril de 2019, en ellas se realizaron fotografías del lugar, prospecciones de vegetación y mediciones tanto de la zona de actuación en el talud como de la actual escollera, así como un análisis de campo de la problemática erosión existente. La primera salida se llevó a cabo con la bióloga paisajista Paola Sangalli ayudando en diversas tareas y especialmente en la prospección de vegetación.



Figura 13: Tomando datos con Manolo. Fuente: Elaboración propia

2.1.2. Digitalización

Se ha trabajado con diversa información digital como el levantamiento topográfico del talud, diseño digital de la escollera actual y ortofotos.

2.1.2.1. Levantamiento topográfico

Se contrató al topógrafo Juan Manuel Martínez Martín, miembro de la empresa Altoaragón Topografía, para que realizara un levantamiento topográfico en el talud. Para ello se elaboró un documento informativo con las coordenadas del talud, dimensiones de la zona afectada y fotografías.

Una vez realizado el levantamiento se trabajó sobre el archivo con el programa AutoCAD (Autodesk, 2019). A raíz del plano topográfico del talud se crearon 6 secciones transversales, de una longitud de 25 m y paralelas con una distancia de 6 m entre ellas, dando como resultado las secciones A-A', B-B', C-C', D-D', E-E' y F-F' (Figura 61, Figura 71 y Anexo I). Las representaciones transversales de las secciones se realizaron mediante un plano cartesiano, representando en el eje Y las diferentes cotas de las curvas de nivel que cruzaban la sección y en el eje X la distancia existente entre las curvas de nivel en la sección dibujada. Esta información intersectaba en un punto del plano cartesiano y llevando a cabo la unión de estos puntos mediante una línea continua se crearon los diferentes perfiles de cada sección (Anexo I). Como se ha comentado en la introducción, este trabajo de grado se ha centrado en las cuestiones relacionadas con el medio y se ha contado con la colaboración de un equipo técnico para la definición completa de las soluciones a nivel de anteproyecto. Por ello, para asegurar

que estos perfiles estaban bien realizados el ingeniero de montes Guillermo Tardío realizó estas secciones con el software informático AutoCAD Civil 3D (Autodesk, 2019) (Anexo II).

Guillermo Tardío colaborador de SCIA S.L., también elaboró el plano de la hidrología del talud donde se puede observar la localización de los principales canales de escorrentía superficial con el software informático AutoCAD Civil 3D (Autodesk, 2019) (Anexo I o Figura 27). Esta información fue decisiva a la hora de plantear las medidas de las propuestas de estabilización y revegetación. Estas propuestas se plasmaron y dimensionaron sobre el plano topográfico y todas las secciones (Anexo I). Se compusieron diecisiete planos (Anexo I):

- Plano 1. Planta actual con secciones.
- Plano 2. Planta actual con escorrentías superficiales del talud.
- Plano 3. Planta de Propuesta 1: Realizar tanto la estabilización como la revegetación del talud únicamente con técnicas de Bioingeniería.
- Plano 4.1. Propuesta 1: Perfil A-A' (Situación actual y futura).
- Plano 4.2. Propuesta 1: Perfil B-B' (Situación actual y futura).
- Plano 4.3. Propuesta 1: Perfil C-C' (Situación actual y futura).
- Plano 4.4. Propuesta 1: Perfil D-D' (Situación actual y futura).
- Plano 4.5. Propuesta 1: Perfil E-E' (Situación actual y futura).
- Plano 4.6. Propuesta 1: Perfil F-F' (Situación actual y futura).
- Plano 5. Planta de Propuesta 2: Mantener la escollera pero revegetar y para la erosión superficial del talud utilizando técnicas de Bioingeniería.
- Plano 6.1. Propuesta 2: Perfil A-A' (Situación actual y futura).
- Plano 6.2. Propuesta 2: Perfil B-B' (Situación actual y futura).
- Plano 6.3. Propuesta 2: Perfil C-C' (Situación actual y futura).
- Plano 6.4. Propuesta 2: Perfil D-D' (Situación actual y futura).
- Plano 6.5. Propuesta 2: Perfil E-E' (Situación actual y futura).
- Plano 6.6. Propuesta 2: Perfil F-F' (Situación actual y futura).
- Plano 7. Detalles constructivos

2.1.2.2. Diseño digital de la actual escollera

Se tomaron medidas de la actual escollera en la visita de campo, con estos datos Iker Prieto Osa, actual estudiante de ingeniería mecánica, realizó un dimensionamiento de la misma con el programa SolidWorks (Hirschtick, J., 2019) (Figura 70). Este diseño sirvió para conocer el volumen aproximado de la misma y mediante la densidad se consiguió conocer la masa aproximada de la escollera.

2.1.2.3. Ortofotos

A través de la Infraestructura de Datos Espaciales de Aragón (IDEAragón, 2019), se descargaron las ortofotos del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA) del Vuelo Americano de 1956 (Figura 52) y las disponibles del año 2000 (Figura 53), del 2006 (Figura 54), del 2009 (Figura 55), del 2012 (Figura 56) y del 2015 (Figura 57). Estas ortofotos se utilizaron para conocer la evolución del talud.

2.1.3. Cálculo de estabilidad de la sección B-B'

Guillermo Tardío realizó los cálculos de estabilidad de la sección B-B' mediante el software GeoSlope (2019) (Figura 66, Figura 67 y Figura 68). Estos cálculos los llevó a cabo mediante el método Morgenstern-Price.

2.1.4. Predimensionamiento y cálculo de estructuras de las técnicas mixtas utilizadas

Guillermo Tardío y Paola Sangalli realizaron los cálculos para el predimensionamiento de las alternativas de técnicas mixtas con el fin de que la estabilización de estas fuera eficaz y justificada. Para realizar los cálculos se utilizó el software Microsoft Corporation (2019) y la plantilla de Mengazzi, G. y Palmeri, F. (2007).

Las dos técnicas mixtas a predimensionar son el entramado vivo doble y los peldaños de leña. Cabe aclarar que el predimensionamiento de la empalizada viva es equivalente al predimensionamiento de los peldaños de leña.

Para el entramado vivo se realizó un análisis de cargas, se calculó el empuje del terreno, la estabilidad del talud infinito - rotura planar, la resistencia a deslizamiento, la resistencia a vuelco y la capacidad portante del terreno.

Para los peldaños de leña y la empalizada viva, en cambio, se llevó a cabo el predimensionamiento de la parte viva y el cálculo de la distancia entre peldaños de leña y empalizadas.

Todos los cálculos se encuentran en el Anexo III.

2.1.5. Presupuesto

A través de las dimensiones representadas en la planta de los planos de las propuestas (Anexo I) y los datos adquiridos del predimensionamiento y cálculo de estructuras de las técnicas mixtas a utilizar (Anexo III), se ha llevado a cabo un presupuesto (Anexo IV) con una plantilla de presupuesto tipo de Sangalli Coronel y Asociados S.L. (Sangalli, P. y Tardío, G., 2007) del software Microsoft Corporation (2019).

2.2. Análisis

Los taludes se tratan de sistemas dinámicos, ya que tienen una continua evolución natural debido a los deslizamientos que sufren. En el análisis de estos es muy importante desarrollar un buen diagnóstico del problema, tanto que sin un diagnóstico de calidad las medidas de estabilidad pueden no llegar a funcionar (Tardío, G., 2015).

Podemos encontrar dos tipos de modelos de análisis, el modelo conceptual y el determinístico. El modelo conceptual se trata de un análisis de los fenómenos realizado por un grupo de especialistas en el que se describen, analizan y valoran las causas que han generado el talud. En este modelo se estudian una serie de elementos de la zona de estudio como litología, geomorfología, estructura geológica, pendiente, topografía, clima, hidrología y vegetación (Tardío, G., 2015).

El modelo determinístico en cambio es la representación matemática del modelo conceptual, los parámetros y limitaciones a tener en cuenta tendrán que estar basados en este último. Por esta razón, nunca se podrá elaborar un modelo matemático sin tener antes un modelo conceptual (Tardío, G., 2015).

2.2.1. Análisis del medio físico

2.2.1.1. Medio Abiótico

2.2.1.1.1. Situación geográfica

El talud objeto del plan de estabilización y revegetación se sitúa en la zona norte del término municipal de Castiello de Jaca, en la comarca de La Jacetania dentro del Valle del Aragón perteneciente al Pirineo aragonés, y provincia de Huesca de la Comunidad Autónoma de Aragón (ver Figura 14).



Figura 14: Localización del Valle del Aragón. Fuente: (Asociación Turística de Valle del Aragón, 2012).
Edición: Low-Fi Picks

El valle está dividido en tres zonas, la que está ubicada al sur se denomina Campo de Jaca, la de la zona norte Valle de Canfranc y en la zona media del valle está situada la conocida como Valle de Aruej o Bardaruej en la que se encuentra nuestro término municipal y el de Villanúa (Wikipedia, 2019).

Aunque el talud se encuentre dentro de la localidad de Aratorés cabe aclarar que no se alberga en el núcleo de la misma, sino a una distancia de 1 kilómetro dirección sur. Posicionándose así en las inmediaciones Villa Juanita (ver Figura 15).

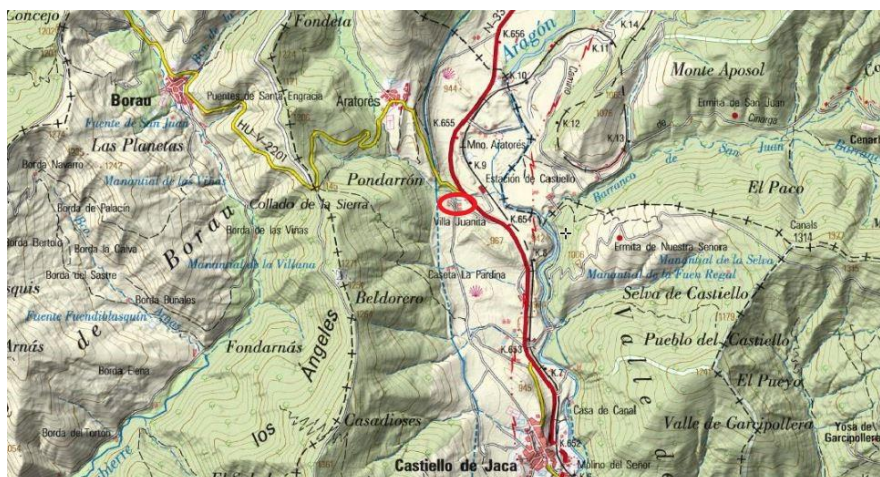


Figura 15: Localización de la zona de estudio (dentro de la elipse roja). Fuente: (Instituto Geográfico Nacional, 2011).

Para ser exactos se ubica en frente de la Casa Rural L'Orache con las siguientes coordenadas:

Coordenadas geográficas:

- Latitud: 42° 38' 58.21" N
- Longitud: 0° 33' 31.86" O

Coordenadas UTM:

- X UTM: 700115.576 m
- Y UTM: 4724867.624 m
- HUSO: 30

Siendo así la cuadrícula UTM de 10 x 10 km correspondiente a la misma 30TYN02.

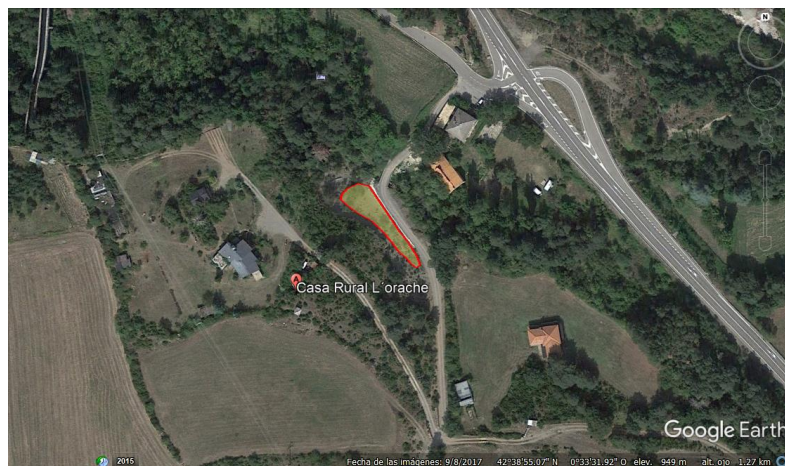


Figura 16: Localización del talud. Fuente: (Google, 2017).

2.2.1.1.2. Caracterización climatológica

El clima de la comunidad autónoma de Aragón se define como mediterráneo continentalizado debido a que se dan inviernos fríos y veranos secos, de altas temperaturas. Aunque estos parámetros varían debido a los cambios de topografía a lo largo del territorio, generando así una heterogeneidad climática dentro del mismo (Saz Sánchez et al., 2007).

Según el Atlas Climático de Aragón, los Pirineos Occidentales, donde se encuentra nuestra zona de estudio, tiene un clima de transición Mediterráneo-Oceánico (Saz Sánchez et al., 2007).

Esta cordillera montañosa se interpone a la llegada de masas de agua provenientes de las borrascas atlánticas desde el oeste y de las mediterráneas desde el este hacia Aragón. Además, la influencia oceánica se canaliza por el Valle del Aragón, lo que produce que en dirección oeste gane importancia la precipitación invernal, en función de la facilidad que encuentren las borrascas atlánticas de abrirse paso (Saz Sánchez et al., 2007).

Por ello, en el municipio de Villanúa, que se encuentra a escasos 4 kilómetros del talud, se tienen precipitaciones bien distribuidas a lo largo de todo el año con 881 mm/año, tanto que hasta el mes más seco tiene mucha lluvia, este se trata del mes de julio con 50 mm de precipitación. En cambio, el mes más lluvioso durante el año es mayo con una media de 92mm (Climate-Data.org, 2015).

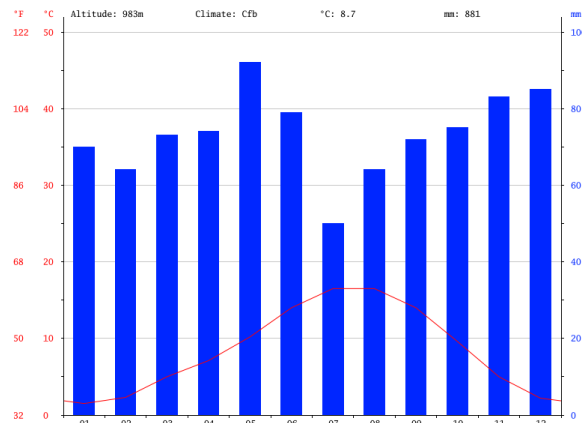


Figura 17: Climograma de Villanúa. Fuente: (Climate-Data.org, 2015)

Presenta un clima cálido y templado, clasificado como Cfb por el sistema de clasificación climática de Köppen-Geiger (Climate-Data.org, 2015), correspondiente a la categoría de clima oceánico o atlántico, templado y húmedo (Meteorología y climatología de Navarra, 2011).

Los inviernos son fríos o templados y los veranos suaves. Esto se debe a que nos encontramos, dentro del territorio aragonés, en una latitud más septentrional y sobre la influencia del relieve que produce una moderación térmica que suavizan las temperaturas estivales (Saz Sánchez et al., 2007).

En el clima oceánico se comprenden zonas con una media de temperaturas mensuales que no llegan a los 22°C, incluso en los meses de julio y agosto quedan entre los 20°C y 22°C (Saz Sánchez et al., 2007).

Nuestro talud queda lejos de los climas de montaña (1.500-1.800 m) con bajas temperaturas, ya que se encuentra a una altitud de 940 m con 1,5°C de media en enero, como el mes más frío, y un promedio de 16,5°C en julio, como el mes más cálido. Teniendo una temperatura media anual de 8,7°C (Climate-Data.org, 2015).

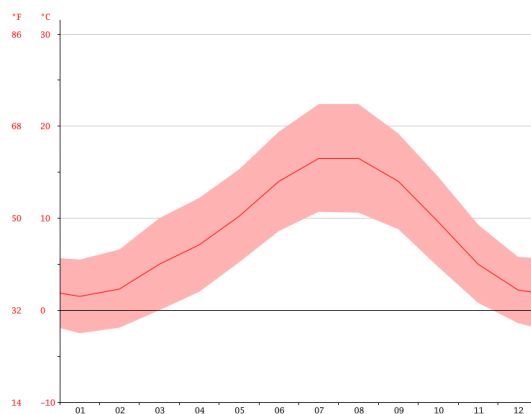


Figura 18: Diagrama de temperatura de Villanúa. Fuente: (Climate-Data.org, 2015)

Por lo que en nuestro municipio la precipitación varía 42 mm entre el mes más seco y el más húmedo. Y las temperaturas medias varían 15°C durante el año (Climate-Data.org, 2015).

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura media (°C)	1.5	2.3	5	7.1	10.2	14	16.5	16.5	14	9.6	5	2.2
Temperatura min. (°C)	-2.5	-1.9	0	2	5.2	8.6	10.7	10.6	8.8	4.7	0.8	-1.4
Temperatura máx. (°C)	5.5	6.6	10	12.2	15.3	19.4	22.4	22.4	19.2	14.5	9.3	5.8
Precipitación (mm)	70	64	73	74	92	79	50	64	72	75	83	85

Figura 19: Tabla climática de Villanúa. Fuente: (Climate-Data.org, 2015)

Microclima del talud

La orientación del talud sigue un poco de la mano a las condiciones climáticas de humedad y moderación térmica, a diferencia de las características de la pendiente.

- **Orientación:** el talud se encuentra orientado al noreste, recibiendo por lo tanto luz indirecta con pocas horas en el balance energético del año, recibiendo poca insolación, por lo que no sufre fuertes temperaturas durante el día. Las horas de luz directa se concentran a las mañanas, aumentando estas en verano. Al tratarse de una ladera de umbría conserva la humedad propicia para el desarrollo de la vegetación.
- **Pendiente:** las pendientes en el tramo alto del talud son de 34° a 63°, en el tramo medio en cambio de 30° a 44° y en el tramo bajo entre 23-44°. Lo que provoca en el tramo alto escorrentías elevadas y por tanto poca capacidad de infiltración del agua en el terreno.

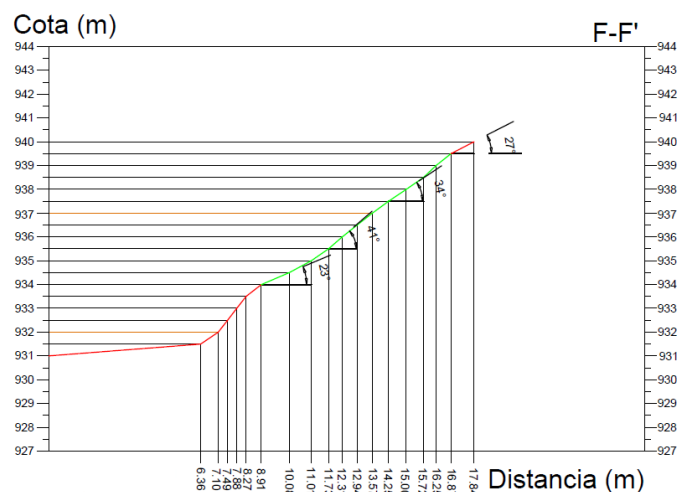


Figura 20: Perfil con inclinación mínima del talud (23°). Fuente: Elaboración propia

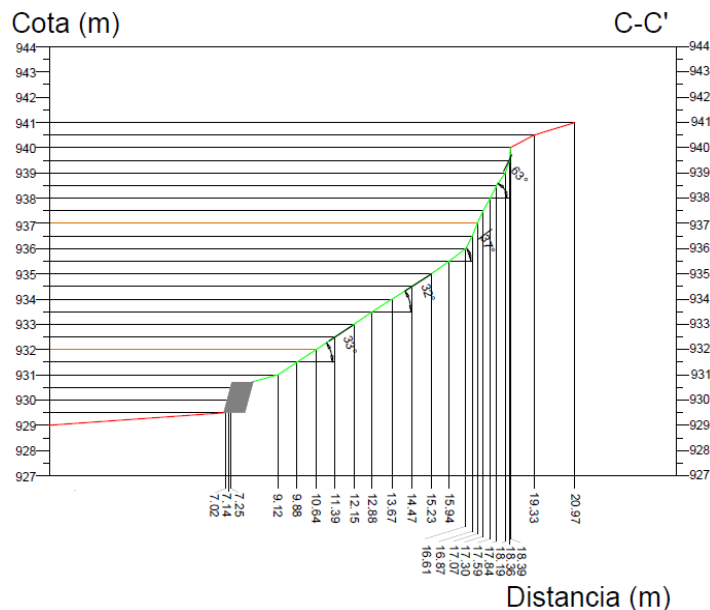


Figura 21: Perfil con inclinación máxima del talud (63°). Fuente: Elaboración propia.

Las inclinaciones del resto de perfiles se pueden observar en el Anexo I.

Por lo que las temperaturas durante el día no llegarán a umbrales extremos y habrá humedad debido a su orientación, aunque gran cantidad de esta no llegará a infiltrar por la pendiente.

2.2.1.1.3. Caracterización hidrológica

El nacimiento del río Aragón se encuentra a 1.640 metros sobre el nivel del mar (m s. n. m.), en el puerto de Somport (Lunar Hernández, A., 1982), La Jacetania gravita en torno a él recogiendo las aguas de toda la comarca (Mata Perelló, J. M., & Sanz Balagué, J., 2012).

Sus afluentes de la margen izquierda debido a la escasa superficie drenada son de pequeña importancia. En cambio, en la margen derecha al encontrarse las sierras más elevadas del Alto Aragón Occidental la afluencia de ríos como Aragón Subordán, Esca, Estarrún y Veral son de gran importancia para él (López-Moreno, J. I., Beguería, S., & García-Ruiz, J. M., 2000).

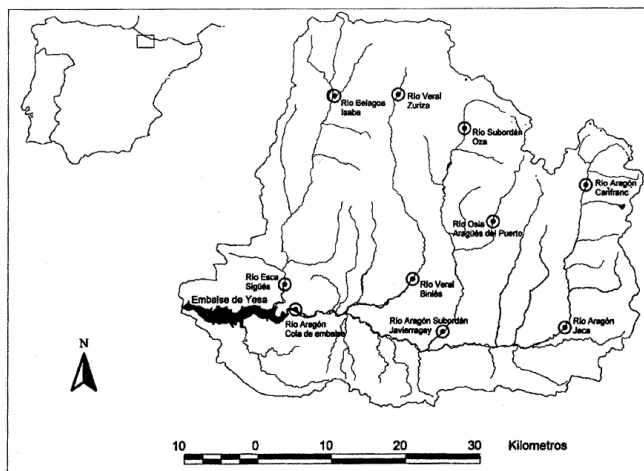


Figura 22: La cuenca superior del río Aragón, con indicación de la localización de las estaciones de aforo. Fuente: (López-Moreno et al., 2000)

Sigue su curso recogiendo agua de sus afluentes hasta llegar al embalse de Yesa y de ahí continuar hasta tierras navarras para desembocar en el Ebro, convirtiéndose así en su afluente (Lunar Hernández, A., 1982).

Se trata de un régimen fluvial mixto en la cabecera debido a la combinación de régimen pluvial y nival, aunque la aportación protagonista del régimen es de origen nival (Dolset Guerrero, S., & Ballarín Ferrer, D., 2016).

Una característica a destacar es la gran altura a la que se encuentran las sierras interiores que cruza el río, ya que produce desniveles considerables en distancias muy cortas generando a consecuencia de esto riesgo de aludes en invierno y escorrentía mediante el arrastre de derrubios; especialmente en primavera (Castillón, M., & Sánchez Fabre, M., 2017).

La cuenca tiene un área de 2.192,2 km², la longitud del cauce principal es de 88 km, pero si tenemos en cuenta la longitud total de cauces suma un total de 1.988,1 km y presenta una pendiente media de 1,14% (Navas Izquierdo, A., Valero-Garcés, B. L., Gaspar Ferrer, L., García-Ruiz, J. M., Beguería, S., Machín Gayarre, J., & López-Vicente, M., 2008).

Además de esto presenta los siguientes caudales en los diferentes tramos del río con estaciones de aforo de la Confederación Hidrográfica del Ebro:

ESTACIONES DE AFORO	Aragón-Canfranc A271	Aragón-Jaca A018	Aragón cola-Yesa A170
MUESTREO	Q	Q	Q
I	0,88	5,8	23,8
V	0,94	0,58	15,65
T	4,51	7,34	45,08

Figura 23: Caudales (Q m³/s) en las estaciones de aforo de la CHE en la cuenca superior del río Aragón correspondientes a los días de los muestreos de invierno (I), verano (V) y tras las tormentas (T).

Fuente: (Navas Izquierdo et al., 2008).

Se tiene que dejar constancia de que en octubre de 2012 el río tuvo lugar una crecida desastrosa que produjo daños en todo el valle llevándose por delante diversas infraestructuras de los pueblos situados a lo largo del mismo. La causa de esta catástrofe no fue únicamente las grandes precipitaciones en ese periodo de tiempo, ya que también influyó la alteración de la dinámica fluvial, además de la carencia de planificación y premonición del riesgo que suponía la construcción de las infraestructuras anteriormente citadas (Lozano Castillón, M., & Sánchez Fabre, M., 2017).

Delante del talud se encuentra el Barranco de Aratorés o Fuentesviñas, el cual es un afluente del río Aragón.

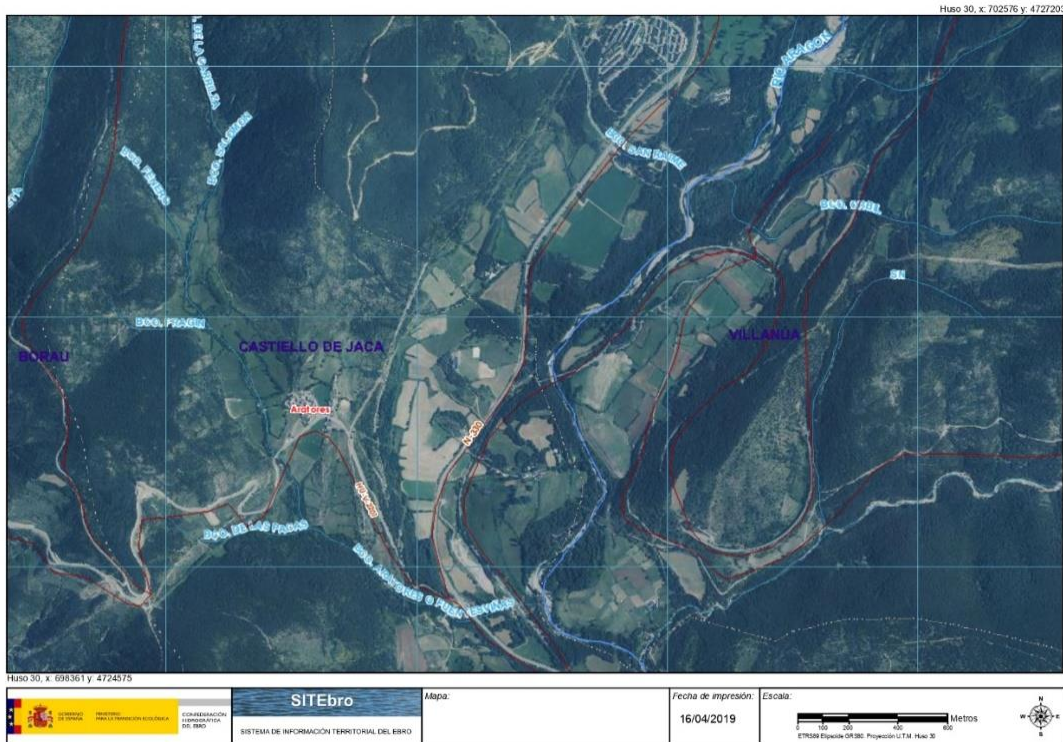


Figura 24: Barranco de Aratorés o Fuentesviñas. Fuente: (CHEBRO, 2014)

En la siguiente imagen se muestra la situación en la que se encuentra el talud frente al barranco citado anteriormente.



Figura 25: Situación del talud frente al barranco. Fuente: Elaboración propia

Además, a unos 130 m del talud se encuentra la Laguna de Villa Juanita, la cual se trata de una laguna temporal con una superficie aproximada de una hectárea y a una altitud de 1.100 m (Benito Alonso, J. L., 2009).

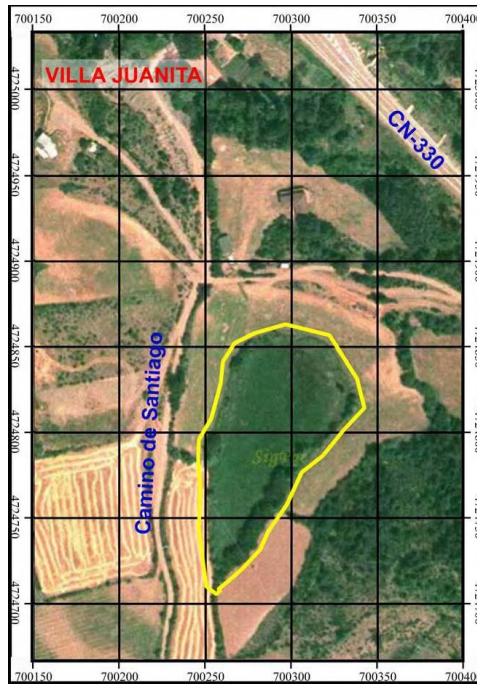


Figura 26. Ortofoto del humedal de Villa Juanita (Castiello de Jaca, Huesca), contorneado de amarillo.

Fuente: (Benito Alonso, J. L., 2008)

Para conocer la dirección y recorrido de las aguas superficiales del talud Guillermo Tardío elaboró el plano de la hidrología del talud. Ver Anexo I para ver el plano con más detalle.

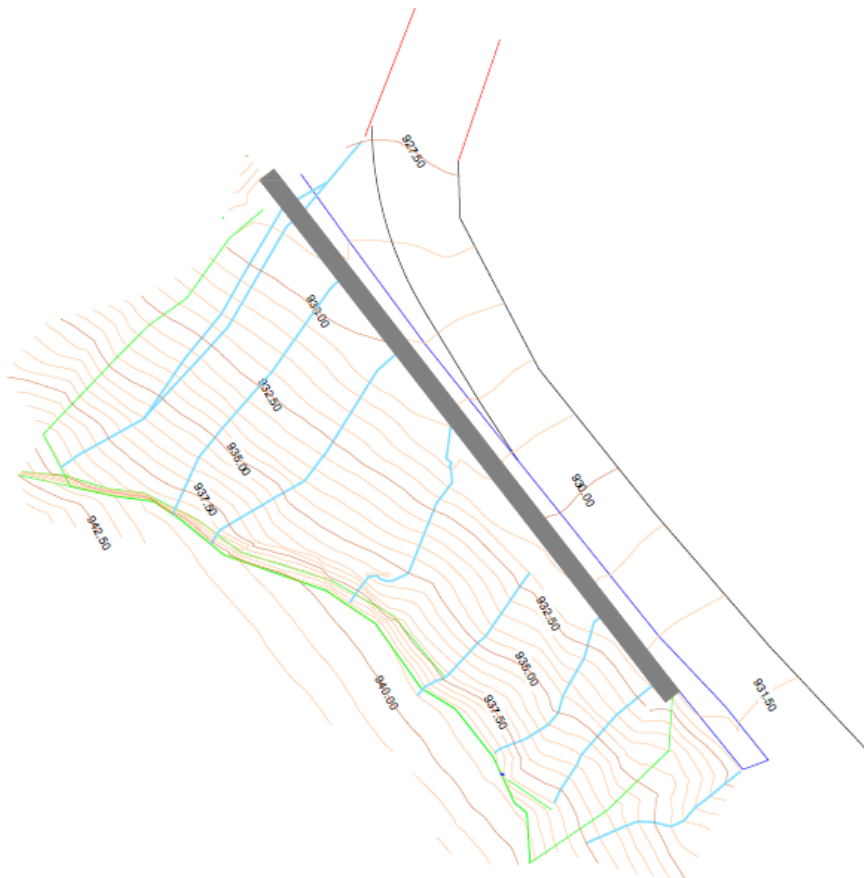


Figura 27. Escorrentías superficiales del talud. Fuente: Guillermo Tardío con AutoCAD Civil 3D (Autodesk, 2019).

2.2.1.1.4. Caracterización geológica

El proceso de la creación de los Pirineos se remonta a la Era Primaria, en ella se formó y erosionó la primera cadena. En el Triásico, durante la Era Secundaria, empieza la creación de las cuencas sedimentarias en las que se depositaron arenas, calizas y yesos. Es al final de esta Era, en el Cretácico Superior, cuando se forman los Pirineos al chocar la placa Ibérica y la Eurasiática (Gély, P., & France, P., 2008).

Entrado el Cuaternario, el Pirineo fue modelado tras varias glaciaciones, pero la única que dejó vestigios fue la que terminó hace 12.000 años con las morrenas de Bedous, Arudy y Aratorés (Gély, P., & France, P., 2008).

En el corte geológico de los Pirineos (Figura 28) se puede observar que Aratorés se encuentra sobre una falla inversa o un cabalgamiento, formado durante periodos de compresión los cuales provocan un apilamiento de capas, y turbiditas del Eoceno inferior (Gély, P., & France, P., 2008).

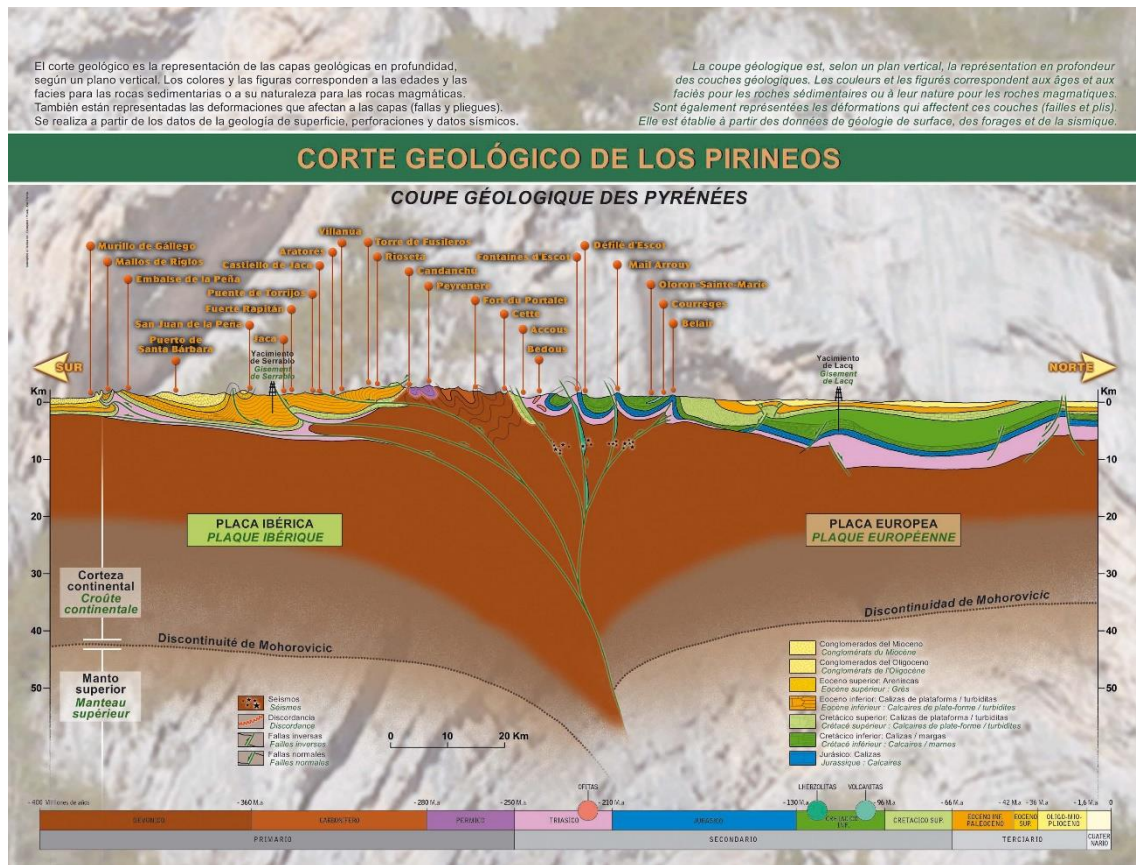


Figura 28: Corte geológico de los Pirineos. Fuente: (Gély, P., & France, P., 2008)

En IGME (2009) se puede apreciar en la imagen escaneada del mapa editado de la hoja 176 de Jaca que la zona de nuestro talud se dispone sobre morrenas glaciares del Cuaternario.

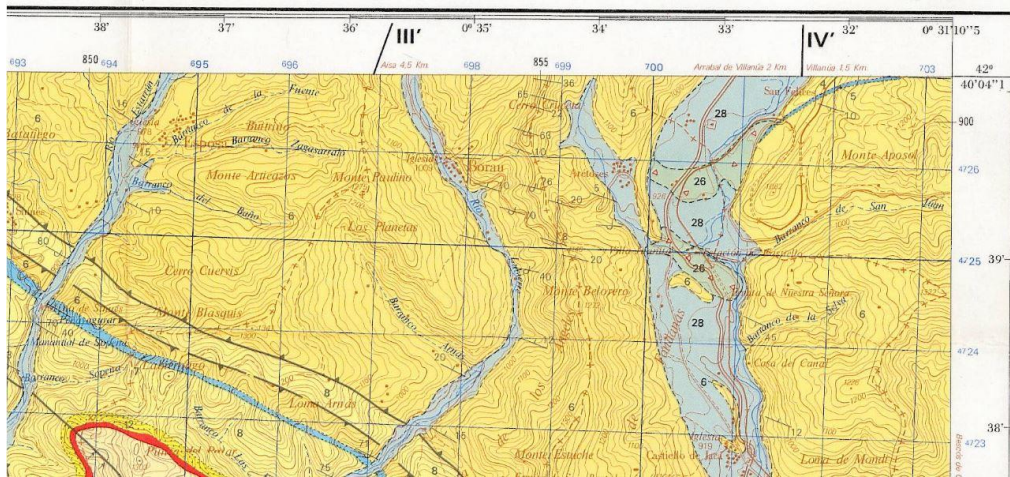


Figura 29: Mapa Geológico de España a escala 1:50.000 (2ª Serie). Fuente: (IGME, 2009)

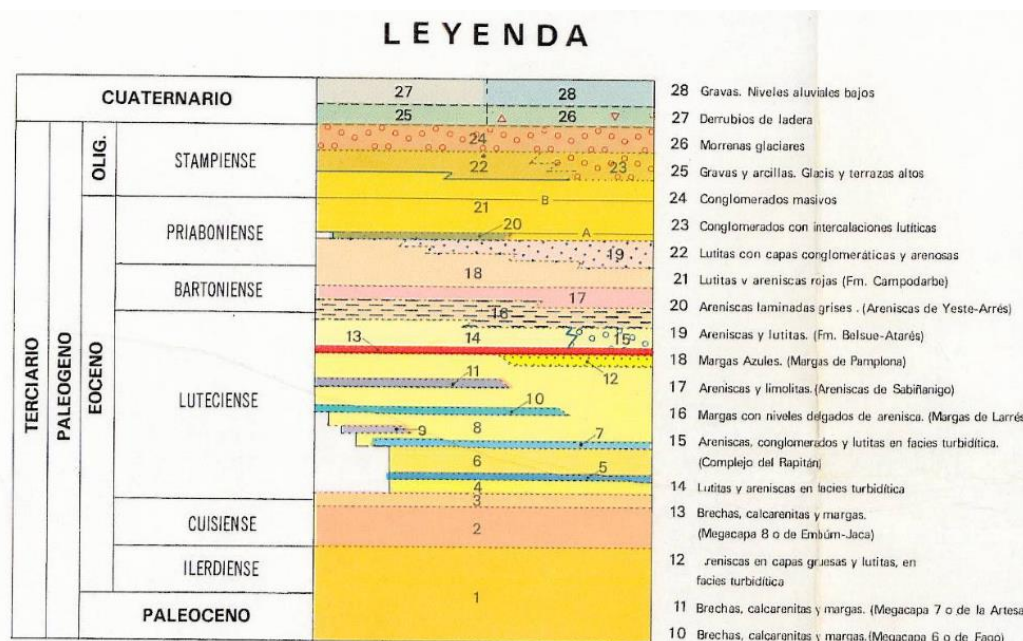


Figura 30: Leyenda del Mapa Geológico de España a escala 1:50.000 (2ª Serie). Fuente: (IGME, 2009)

2.2.1.1.5. Caracterización geomorfológica

En el Pirineo durante el Cuaternario hace unos 100.000 años comenzó un periodo interglaciar, pero no fue hasta pasados unos 25.000 años aproximadamente desde esa fecha en la que comenzó un periodo glacial. Tuvo como consecuencia la formación de grandes masas de hielo, las cuales se acumulaban en las zonas de mayor altitud para después descender por los valles (Gély, P., & France, P., 2008).



Figura 31: Variación de temperaturas durante el Cuaternario. Fuente: (Gély, P., & France, P., 2008)

El glaciar del río Aragón, formado por su nexo con el glaciar de la Canal Roya, tenía una longitud de 22 km (Chueca Cía, J., Peña Monné, J. L., Lampre Vitaller, F., García Ruiz, J.M. y Martí Bono, C., 1998).

El Valle del Aragón sufre cambios en el perfil longitudinal. Sucede lo mismo en el transversal, dado que al pasar el glaciar por materiales blandos los erosiona con facilidad aumentando la amplitud del valle, en cambio, al pasar por materiales duros genera las características artesas en forma de U de los valles glaciares. Pero debido a la presencia de turbiditas, rocas fácilmente erosionables, a la altura de Aratorés no se observa el perfil típico de estos valles (Gély, P., & France, P., 2008).



Figura 32: Cordones morrénicos en Aratorés (A1, A2, A3). Fuente: (Gély, P., & France, P., 2008).

Este fenómeno es visible si recorremos el valle de norte a sur, dado que en la zona norte encontramos un valle más encajado con pendientes acusadas cerca del río, pero al llegar a Villanúa se va desencajando formándose la cubeta de Villanúa, la cual se trata de una pequeña llanura (Lozano Castellón, M., & Sánchez Fabre, M., 2017).

Cabe señalar que antes de llegar a la zona geomorfológica de las margas el valle se abre paso de norte a sur por otras tres zonas, las cuales se tratan del Pirineo Axial, Sierras interiores y Sierras del flysch (ver Figura 33) (Dolset Guerrero, S., & Ballarín Ferrer, D., 2016).

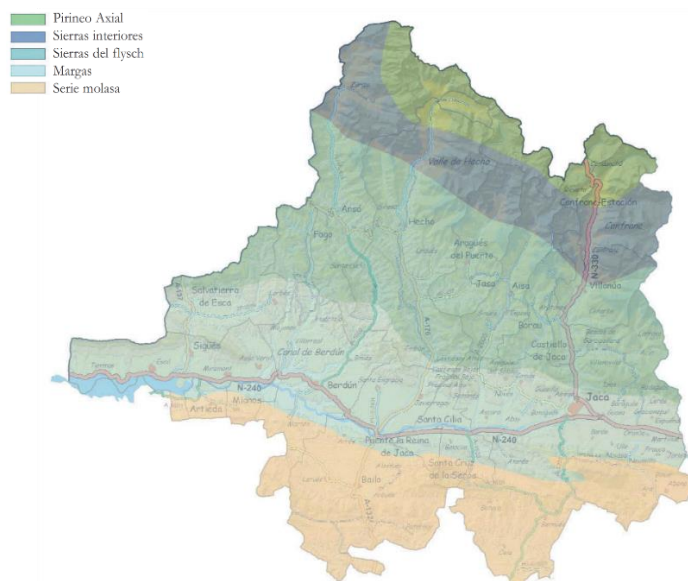


Figura 33: Mapa geomorfológico de la comarca de La Jacetania. Fuente: (Dolset Guerrero, S., & Ballarín Ferrer, D., 2016).

La cuenca está compuesta por valles orientados de Norte a Sur entre el valle de Canfranc, que es el más importante que atraviesa este sector, y el Canal de Berdún (Chueca Cía et al., 1998).

Los glaciares a medida que recorren el valle sufren procesos de fusión y recongelación. Cuando este primero se da, pierde capacidad de carga, sedimentando en hileras mucha cantidad de depósitos de roca de origen heterogéneo transportados por el glaciar, que van de rocas grandes a sedimento fino, como arcilla y arena. Estas lomas se tratan de morrenas, las cuales si albergan este material fino pueden desarrollar vegetación. Estos depósitos pueden quedar, en el centro con la convergencia de dos glaciares (morrenas centrales), donde se da el deshielo glaciar transversal al valle (morrenas terminales) o a los lados del valle (como morrenas laterales) (Yarham, R., 2011).

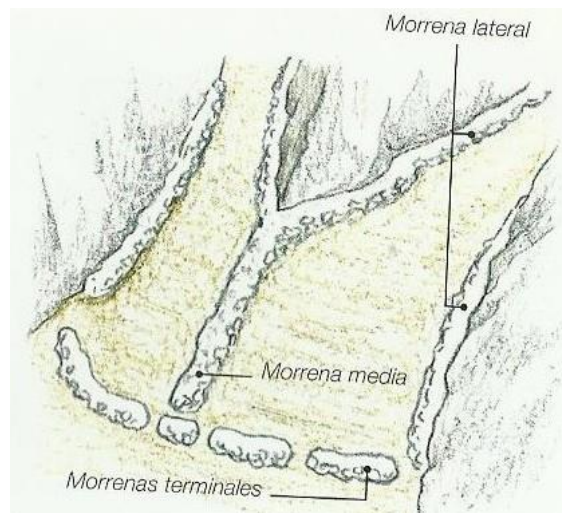


Figura 34: Ilustración de tipos de morrenas. Fuente: (Yarham, R., 2011)

A la altura de Aratorés, en la margen derecha, se encuentran tres cordones morrénicos laterales como los últimos explicados anteriormente. Estos se encuentran escalonados en las paredes laterales o a lo largo del glaciar (A1, A2, A3) (ver Figura 32 y Figura 35) (Gély, P., & France, P., 2008). En estas morrenas y terrazas fluvioglaciares son comunes los cantos de arenisca calcárea y bloques del Cretácico y del flysch del eoceno (Vidal Bardán, M., 1989).



Figura 35: Sucesión de la creación de cordones morrénicos. Fuente: (Gély, P., & France, P., 2008).

En el fondo de la cubeta se forman hasta ocho arcos frontales, los cuales se encuentran escalonados a lo largo de 3 km. Según que autores, su número varía entre cinco y siete. Hay dos arcos que sobresalen (Figura 36), apodados como M1 y M2. Los demás, m1, m2, m3 y m4, tienen carácter secundario (Chueca Cía et al., 1998).

M1 enlaza con la terraza de 60 m del río Aragón. En cambio, M2, sobre el que se sitúa Aratorés, se une con la terraza de 20m. En ellas se encuentran cantos paleozoicos y permotriásicos, con frecuentes estriaciones, aun así, prevalecen las calizas y areniscas mesozoicas y cenozoicas (Chueca Cía et al., 1998).

Las dos terrazas fundamentales de la zona de Castillo (60 m y 15-20 m) tienen una procedencia fluvio-glaciar con una conexión con las morrenas de la cubeta Aratorés-Villanua. La terraza alta debería enlazar con un arco de la cubeta citada, actualmente desaparecido (Chueca Cía et al., 1998).

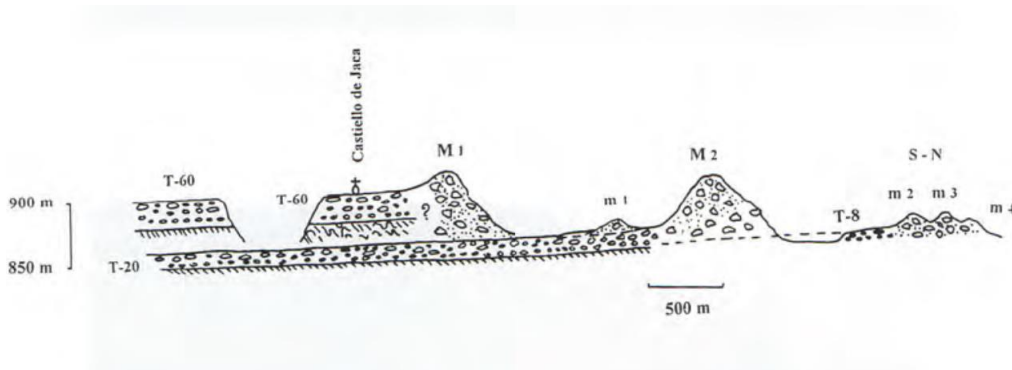


Figura 36: Sección esquemática del complejo de morrenas frontales de Castillo de Jaca mostrando la relación entre éstas y las terrazas localizadas aguas abajo. Leyenda: T-60: Terraza de 60 m, fluvio-glaciar, cuya relación con la morrena externa M1 resulta dudosa; T-20: Terraza fluvio-glaciar de 20 m, que enlaza con las morrenas m1 y M2; m2, m3 y m4, morrenas relacionadas con subniveles más bajos que la terraza de 20m. Fuente: (Chueca Cía et al., 1998).

Nuestro talud está situado entre la morrena M2 y m2 (ver Figura 37).

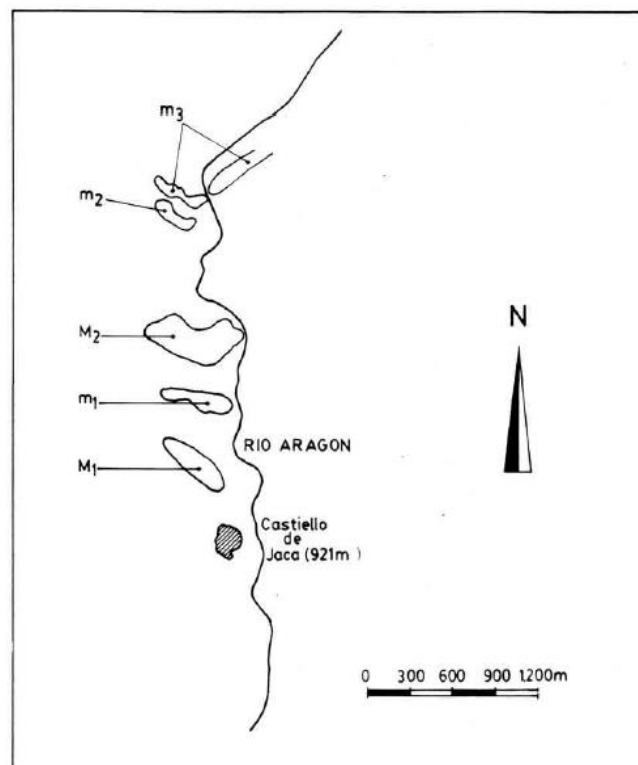


Figura 37: Localización de los arcos morrénicos estudiados. Fuente: (Vidal Bardán, M., 1989).

Se puede observar la orografía del valle desde el humedal de Villa Juanita (Figura 38).



Figura 38: Panorámica de la orografía del valle. Fuente: Elaboración propia

2.2.1.1.6. Caracterización edafológica

En los arcos morrénicos citados anteriormente se tomaron muestras y se analizaron, publicando los resultados en Vidal Bardán, M. (1989).

TEXTURA							
	% Arenas	% Limo	% Arcillas	% CO ₃ Ca	Limo/Ar.Gruesa	H ₂ O	ClK
Morrenas							
M ₁	32.3	26.3	23.7	20.3	4.7	6.7	6.0
m ₁	30.5	25.2	22.2	24.8	4.7	5.7	5.5
M ₂	33.7	28.7	33.3	-	5.1	6.1	5.0
m ₂	38.4	33.9	23.5	-	10.3	6.0	4.9
m ₃	23.7	33.4	23.2	22.5	11.2	6.6	5.9
Suelo/Horiz.							
S ₁ A	38.0	40.2	13.8	26.8	50.3	7.4	7.7
Cc	38.5	40.0	15.5	17.1	32.0	7.7	6.7
2A _b	50.7	32.8	14.9	13.5	33.0	7.7	6.5
2B _{1b}	45.7	35.9	23.3	9.3	36.3	7.4	6.0
2CB _b	43.4	30.2	25.3	10.7	23.3	7.7	6.6
S ₂ A _p	60.9	41.6	17.3	-	43.3	5.3	4.8
B ₁₁	51.1	32.0	31.2	-	43.3	5.1	4.3
B ₁₂	50.6	24.0	37.8	-	16.3	5.4	4.5
COMPLEJO DE CAMBIO (meq/100 gr)							
	CIC	Ca	Mg	Na	K	%S/T	A _c NH ₄
Morrenas							
M ₁	10.22	10.86	2.17	0.22	0.56		100
m ₁	9.15	13.03	2.17	0.24	0.29		100
M ₂	15.60	15.20	2.17	0.25	0.37		100
m ₂	9.15	7.60	2.17	0.20	0.22		100
m ₃	8.61	14.11	2.17	0.21	0.26		100
Suelo/Horiz.							
S ₁ A	13.59	15.15	2.02	0.25	0.32		100
Cc	11.50	13.26	1.02	0.13	0.31		100
2A _b	10.46	12.12	2.02	0.10	0.30		100
2B _{1b}	14.12	13.13	3.03	0.13	0.39		100
2CB _b	14.64	18.18	2.02	0.20	0.34		100
S ₂ A _p	8.15	5.61	1.53	0.06	0.12		89.81
B ₁₁	11.71	7.65	2.55	0.09	0.15		89.15
B ₁₂	15.28	10.20	2.55	0.13	0.16		85.34

Figura 39: Análisis químico y textural de suelos y morrenas. Fuente: (Vidal Bardán, M., 1989).

Fracción pesada						
% de:	Morrenas					Suelos S ₁
	M ₁	m ₁	M ₂	m ₂	m ₃	Horizonte 2CB _b
Fracción pesada	0.14	0.14	0.06	0.17	0.07	1.09
Opacos naturales	42	46	35	59	33	27
Oxidos de Hierro	6	6	15	6	9	70
Hidróxidos de Hierro	30	33	36	25	44	68
Leucógenos	22	15	14	10	14	139
Turmalina	4	2	-	5	12	42
Circón	9	3	3	14	7	19
Rutilo	3	3	2	9	5	19
Granate	-	-	-	-	-	3
Anatasa	-	-	-	-	-	2
Broquita	-	-	-	-	-	1
Epidota	-	-	-	-	-	2
Apatito	-	-	-	-	-	12

Fracción ligera						
% de:	Morrenas					Suelo S ₁
	M ₁	m ₁	M ₂	m ₂	m ₃	Horizonte 2CB _b
Fracción ligera	99.86	99.86	99.94	99.83	99.93	98.91
Cuarzo	86	80	90	87	86	87
Feldespatos	11	13	6	10	9	3
Biotita	1	2	3	1	2	1
Alterita	2	5	1	2	3	9

Figura 40: Mineralogía de arenas correspondientes a la subfracción 0.5-0.05 mm de los arcos morrénicos y horizontes 2 CB_b del perfil S₁. Fuente: (Vidal Bardán, M., 1989).

Gély, P., & France, P. (2008) caracterizó un talud de carretera que según sus indicaciones se encuentra a la izquierda antes de entrar a Aratorés, a las espaldas de un mirador del valle del Aragón. Este talud se encuentra a escasos 800 metros de nuestro talud (ver Figura 41).



Figura 41: Localización del talud del mirador. Fuente: (Google, 2017).

Los cantos que se encuentran dentro del talud del mirador son de un tamaño heterogéneo, debido a que el talud se encuentra dentro de una morrena creada por un antiguo glaciar. Los cantos fueron arrastrados por el hielo que lo componía a medida que avanzaba el glaciar y este tipo de movimiento de rocas no es selectivo a diferencia del agua, sino que transporta y deposita cualquier tamaño (Gély, P., & France, P., 2008).

La naturaleza de los cantos también es muy diversa y se encuentran rodeados de arenas y arcillas (Gély, P., & France, P., 2008).

Otra de las características de los cantos es que la mayoría son angulosos ya que por lo general en su transporte no han sufrido el rozamiento continuo de sus aristas contra el lecho como sucede en los ríos, por ejemplo (Gély, P., & France, P., 2008).

Además de esto se puede observar que se trata de un sustrato poco compacto ya que es una formación relativamente reciente y todavía no se ha consolidado (Gély, P., & France, P., 2008).

Como se puede observar en la siguiente imagen la anterior descripción aparentemente coincide con las características del talud de la casa rural.



Figura 42: Superficie del talud de la Casa Rural L'Orache. Fuente: Elaboración propia

2.2.1.2. Medio Biótico

2.2.1.2.1. Caracterización de la vegetación

En los últimos siglos la vegetación del Pirineo sufrió cambios significativos por la acción antrópica: i) con el objetivo de conseguir más pastos se taló el nivel superior del bosque, ii) las laderas de solana de niveles medios y bajos se convirtieron en cultivos agrícolas, iii) se explotó el bosque para utilizar la madera en la marina y construcción (Lasanta, T., & Vicente-Serrano, S. M., 2007).

Pasados los años cuarenta sólo una cuarta parte de los cultivos cultivados al comienzo del siglo XX se mantuvieron (Lasanta, T., & Vicente-Serrano, S. M., 2007).

El Valle del Aragón sufrió un gran cambio, paisajísticamente hablando, debido a la construcción de las vías del ferrocarril, conocido como el "Canfranero". Ya que se realizó una reforestación como medida a los aludes, se plantaron más de 7 millones de árboles. También se modificó el cauce del río Aragón y se canalizaron otros tramos a consecuencia de la construcción de alcantarillados, caminos forestales, desagües.... (Núñez, A., 2009).

La zona de estudio se encuentra al norte del municipio, en la que se localizan amplios pinares de pino albar (*Pinus sylvestris*), como se muestra en el mapa de formaciones forestales de la memoria de síntesis del mapa forestal de Aragón (ver Figura 43) (Escudero Nogué, O., & Franchès, M. J., 2004).

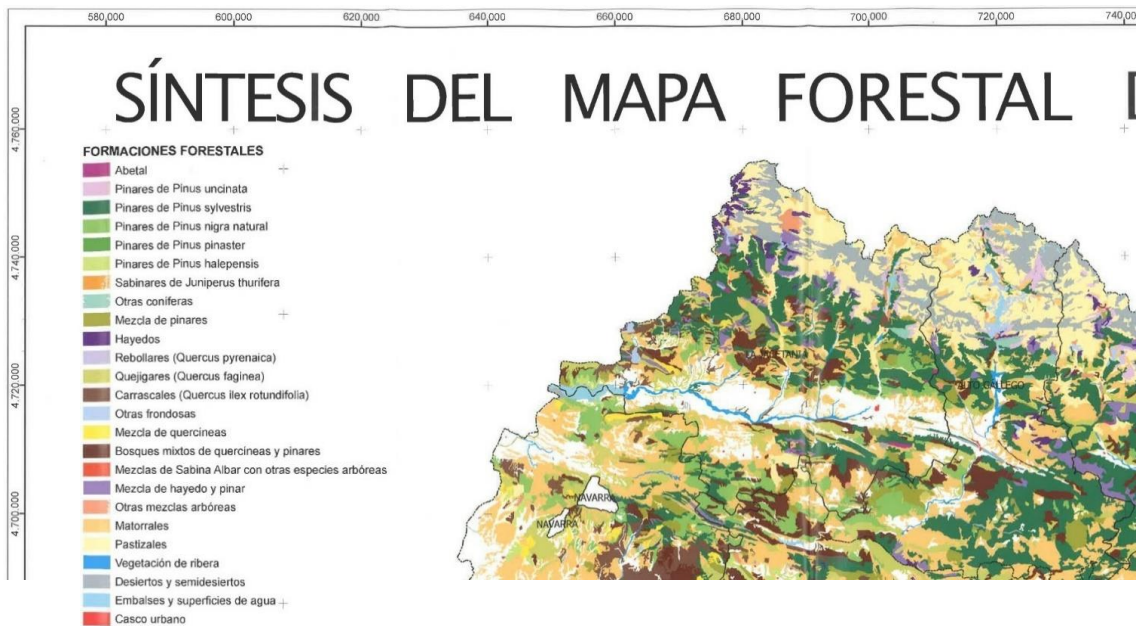


Figura 43: Formaciones forestales de la zona de estudio. Fuente: (Escudero Nogué, O., & Franchès, M. J., 2004)

El talud se localiza a unos 900 m de altura, frontera en la que en La Jacetania por encima de los 1.000 m el quejigo empieza a desaparecer para dejar paso al pino rojo (*Pinus sylvestris*). En las zonas más bajas y en ladera de umbría se encuentra el pinar húmedo el cual sustituye al quejigal en este tipo de laderas. Aun así, presenta una flora similar a la presente en el pinar seco, con gran presencia de boj (*Buxus sempervirens*) en el sotobosque (Gómez García, D., 2004).



Figura 44: *Pinus sylvestris* con gran presencia de boj en el sotobosque (prospección del 27 de abril de 2019). Fuente: Elaboración propia

Dentro del talud encontramos un suelo pedregoso en el que el pinar se aclara, condición que aprovecha el erizón (*Echinopartum horridum*) (ver Figura 45). Una de sus características más reseñables es la aptitud de colonizar después de un incendio, pero la más importante en lo que se refiere a este proyecto es su gran labor contra la erosión del suelo protegiéndolo. Esta planta casi endémica, junto al boj, son las plantas típicas del matorral de la comarca y del Pirineo aragonés (Gómez García, D., 2004).



Figura 45: Presencia de erizón en primer plano. Al fondo del talud, ecosistema de referencia de pinar de *Pinus sylvestris* (prospección del 27 de abril de 2019). Fuente: Elaboración propia

Como se ha reseñado antes, a escasos metros del talud se encuentra el humedal de Villa Juanita, el cual se encuentra rodeado de campos de cereal y prados de siega. Su superficie es de unos 7.400 m², pero sólo 1.650 m² son de bosque de ribera-zarzal. En él se han encontrado dos plantas muy raras en Aragón, *Carex vesicaria* L. y *Veronica scutellata* L., esta última está catalogada en Aragón en la categoría <<De interés especial>> (Benito Alonso, J. L., 2008).

En los alrededores de la zona de referencia se realizó una prospección el 9 de enero de 2019, observando una serie de plantas dominantes entre las que se encontraban ejemplares de las especies *Pinus sylvestris*, *Arctostaphylos uva-ursi*, *Echinopartum horridum*, *Genista scorpius*, *Salix purpurea*, *Buxus sempervirens*, *Ligustrum vulgare*, *Verbascum thapsus* y *Prunus spinosa*. También se observaron ejemplares del género *Quercus*, *Thymus*, *Lavandula* y *Festuca*.

En lo que se refiere al talud se observó *Echinopartum horridum*, *Genista scorpius*, *Salix purpurea*, *Buxus sempervirens*, *Arctostaphylos uva-ursi*, *Pinus sylvestris* y *Helleborus foetidus*.



Figura 46: Vegetación observada dentro del talud en la prospección del 9 de enero de 2019. Fuente: Elaboración propia

El 27 de abril de 2019 se realizó una segunda prospección, esta vez en la zona de ribera del talud cercana al ecosistema de referencia. Se observaron una serie de plantas dominantes entre las que se encontraban ejemplares de las especies *Salix purpurea*, *Pinus sylvestris*, *Buxus sempervirens*, *Genista scorpius* y ejemplares de la familia Rosaceae.



Figura 47: Vegetación observada dentro de la zona de ribera en la prospección del 27 de abril de 2019. Fuente: Elaboración propia

En el Herbario de Jaca (Instituto Pirenaico de Ecología, CSIC, 2012) en la cuadrícula UTM de 10 x 10 km correspondiente a la zona del talud (30TYN02) se pueden encontrar algunas de las especies observadas durante las prospecciones:

Genero/Especie/Subespecie	Localidad	Alt. Min (m)	Alt. Max (m)
<i>Arctostaphylos uva-ursi</i>	Castiello de Jaca	890	
<i>Buxus sempervirens</i>	Castiello de Jaca	810	
<i>Genista scorpius</i>	Villanúa	980	1060
<i>Helleborus foetidus</i>	Villanúa	980	1060
<i>Salix purpurea</i>	Castiello de Jaca	820	

Figura 48: Especies presentes en la cuadrícula UTM de 10 x 10 km (30TYN02) del Herbario de Jaca y en las prospecciones realizadas. Fuente: (Instituto Pirenaico de Ecología, CSIC, 2012).

2.2.1.2.2. Caracterización de la fauna

La fauna de los Pirineos ha ido cambiando a lo largo de las diferentes Eras. En la Terciaria al encontrarse un clima húmedo y con altas temperaturas habitaban animales en el territorio afines a él. En cambio, en la Era Cuaternaria, con la llegada de las glaciaciones, la fauna adaptada al frío intenso encontró un territorio favorable a sus características, pero la que no, tuvo que emigrar hacia el sur buscando zonas más cálidas. Estas, al desaparecer la última glaciación regresaron al norte, mezclándose así las especies septentrionales con las del sur de Europa. Determinadas especies se quedaron recluidas en las cimas creándose especies endémicas. Por ello, podemos encontrar una gran diversidad en la cordillera, especialmente en La Jacetania debido a la heterogeneidad de paisajes y clima que alberga (Pedrocchi Renault, C., 2004).

El inventario faunístico del Anexo V es meramente bibliográfico, cabe aclarar que se limita a las especies citadas en Pedrocchi Renault, C. (2004) en las que aparece la fauna de la comarca de La Jacetania clasificada en diferentes hábitats de la misma, por lo que no tienen por qué estar presentes en la zona de estudio. Además de esto se ha creído conveniente señalar la categoría de cada especie según el Catálogo de Especies Amenazadas de Aragón (CEAA) (Alcántara de la Fuente, M., 2007) y el Catálogo Español de Especies Amenazadas (CEEA) (BOE, 2011).

2.2.2. Análisis del medio antrópico

2.2.2.1. Usos del suelo del Valle del Aragón

Los usos del suelo se encuentran ligados a la orografía. Como se ha visto en los apartados anteriores el valle presenta una gran heterogeneidad de norte a sur, ese es el motivo por el que se pueden encontrar usos del suelo tan diferentes divididos en tres zonas (Dolset Guerrero, S., & Ballarín Ferrer, D., 2016).

La zona norte presenta la altura suficiente como para que no exista vegetación aérea, por lo que se puede encontrar sobre todo pastos y prados naturales, además de los roquedos característicos de estos lugares. Las condiciones climáticas desfavorables son un limitante para la vida (Dolset Guerrero, S., & Ballarín Ferrer, D., 2016).

Al bajar tanto latitudinalmente como altitudinalmente a una zona más intermedia las condiciones dejan de ser tan adversas, abriéndose paso amplios bosques de coníferas y matorral de transición. En determinadas zonas se pueden encontrar bosques de frondosas y bosques mixtos entre estos y los citados previamente. En el fondo de valle se concentran cultivos de secano y regadío (Dolset Guerrero, S., & Ballarín Ferrer, D., 2016).

Llegando al sur del valle, gradualmente la actividad agrícola gana protagonismo a la vegetación natural, hasta llegar a la zona más llana correspondiente a la capital de la comarca, en la que los cultivos de regadío y secano acaban siendo predominantes (Dolset Guerrero, S., & Ballarín Ferrer, D., 2016).

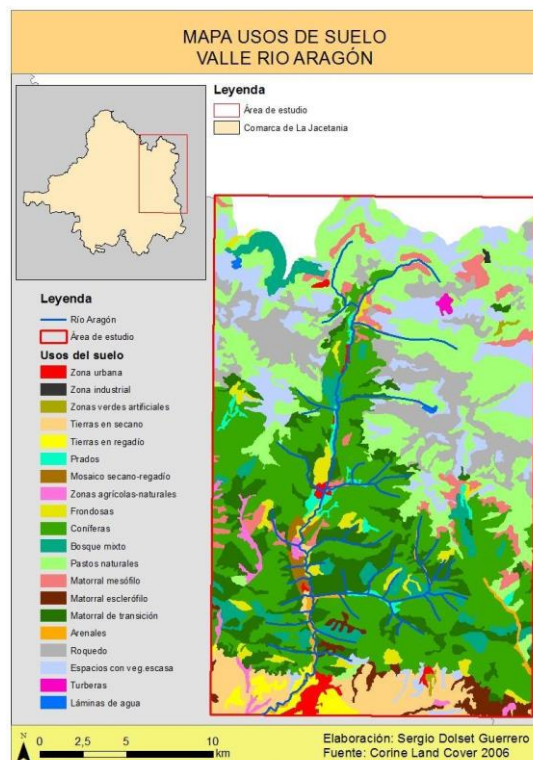


Figura 49: Usos del suelo del Valle del Aragón. Fuente: (Dolset Guerrero, S., & Ballarín Ferrer, D., 2016)

Observando el mapa forestal presente en IDE Aragón (IDE Aragón, 2019) (ver Figura 50), podemos apreciar que el uso del suelo que se presenta en el talud concretamente es de

coníferas, en el mapa se encuentra a escasos metros hacia la derecha de la Casa Rural L'Orache sombreada en rojo.

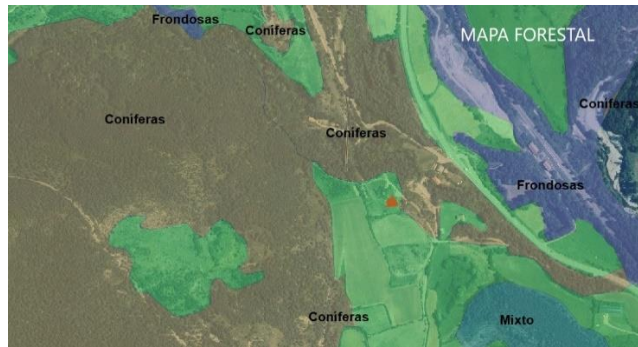


Figura 50: Usos del suelo del talud. Fuente: IDEAragon (IDEAragon, 2019)

2.2.2.2. Vías de comunicación

Los primeros caminos en los valles del Pirineo hay que reconstruirlos como sendas ocultas entre la densa vegetación que muchas veces no llegaban a ninguna parte, con contrabandistas cruzando los pasos fronterizos. No fue hasta 1928 cuando se inauguró la conexión entre España y Francia por mediación del ferrocarril a través del Pirineo Central, pero rápidamente se quedó obsoleto para ser sustituido por el automóvil (Núñez, A., 2009).

La vía que se encuentra en el pie del talud pertenece al Camino de Santiago, la antigüedad de este es poco anterior a la construcción del Hospital de Santa Cristina de Somport, situado en el término municipal de Aísa (Huesca), que puede datarse en finales del siglo XI (Núñez, A., 2009).

En la actualidad la principal vía de vertebración del Valle del Aragón se trata de la carretera nacional N-330, la cual coincide con la Ruta europea E-07. En la comarca también podemos encontrar la N-240 transcurriendo de Jaca hacia el oeste. Además de la carretera nacional anteriormente citada, se encuentra en construcción la autovía A-21 que unirá Navarra y Huesca atravesando esta por Jaca (Dolset Guerrero, S., & Ballarín Ferrer, D., 2016).



Figura 51: Vías de transporte en La Jacetania Fuente: (Dolset Guerrero, S., & Ballarín Ferrer, D., 2016)

2.2.2.3. Evolución histórica de la zona

Se ha intentado estudiar cuales han sido las modificaciones que ha sufrido el talud a lo largo de los años a través de las ortofotos disponibles en IDEAragon (2019).

Para poder localizar de forma clara el talud en la ortofoto de 1956 se ha encuadrado en un recuadro rojo (ver Figura 52).



Figura 52: Ortofoto del vuelo americano de 1956. Fuente: (IDEAragon, 2019)



Figura 53: Ortofoto del 2000. Fuente: (IDEAragon, 2019)

Se han comparado las ortofotos del vuelo americano de 1956 (Figura 52) con la ortofoto del 2000 (Figura 53). Se aprecia como en 1956 no existía la Casa Rural L'Orache ni el camino que conduce a ella, al igual que varias de las edificaciones presentes en la ortofoto del 2000. Además de esto, es visible que se realizó un ensanche del Camino de Santiago lo que originó un descalce del talud produciendo un aumento de su superficie, sobre todo en la zona pasada el puente del Barranco de Aratorés o Fuentesviñas. Desapareció la vegetación presente en esa parte dejando el terreno más expuesto a la erosión.



Figura 54: Ortofoto del 2006. Fuente: (IDEAragon, 2019)



Figura 55: Ortofoto del 2009. Fuente: (IDEAragon, 2019)



Figura 56: Ortofoto del 2015. Fuente: (IDEAragon, 2019)



Figura 57: Ortofoto del 2017. Fuente: (Google, 2017)

En el año 2016 se construyó la actual escollera, comparando la ortofoto del 2015 (Figura 56) con la del 2017 (Figura 57) se puede apreciar el efecto que tuvo la infraestructura en la revegetación del talud, ya que en la ortofoto del 2017 se puede observar una mayor vegetación.

2.2.3. Descripción del talud

Se trata de un talud de 500 m² con una altura de unos 14 m, situado a unos 48 metros de la Casa Rural L'Orache y a escasos 100 m de la carretera nacional N-330.

Originariamente el talud era de tipo natural, como se puede observar en las ortofotos el talud ya existía. Pero el descalce que sufrió al ensanchar a 5 m la senda original del Camino de Santiago, produjo una desestabilización del mismo a causa de un cambio de pendiente en su base. Lo cual derivó con el paso del tiempo a una erosión superficial y a consecuencia de ello a la desaparición de la comunidad vegetal que la frenaba, de esta forma pasó a convertirse en un talud artificial.



Figura 58: Talud. Fuente: Elaboración propia

Además de esta zona, existe una colindante en la parte derecha de la Figura 58 tapada por la vegetación, se trata de la citada en las ortofotos. Presenta una influencia fluvial, al estar en contacto directo el pie de esta parte del talud con el barranco (ver Figura 59).



Figura 59: Talud en contacto con el Barranco de Fuentesviñas. Fuente: Elaboración propia

2.2.4. Caracterización del talud

El talud tiene una longitud de 50 metros, pero la zona de actuación se limita a los 31,5 m del mismo que no presenta influencia fluvial (Figura 60), una altura de aproximadamente 15m, un área de unos 500 m², su orientación es noreste en ladera de umbría y el rango de pendientes que se puede encontrar varía entre 23° y 63° según su tramo y altura del mismo.



Figura 60: Fotomontaje panorámico del talud. Fuente: Realizado por Paola Sangalli en Microsoft Publisher

Para un análisis más detallado del talud, se decidió fraccionar los 31,5 m de la zona de actuación en seis secciones, con una separación de 6 m entre ellas. Cada una de las secciones recibió un nombre diferente para poder identificarlas a lo largo del estudio. Denominándose de derecha a izquierda la sección A-A', la sección B-B', la sección C-C', la sección D-D', la sección E-E' y la sección F-F' como se muestra en la Figura 61.

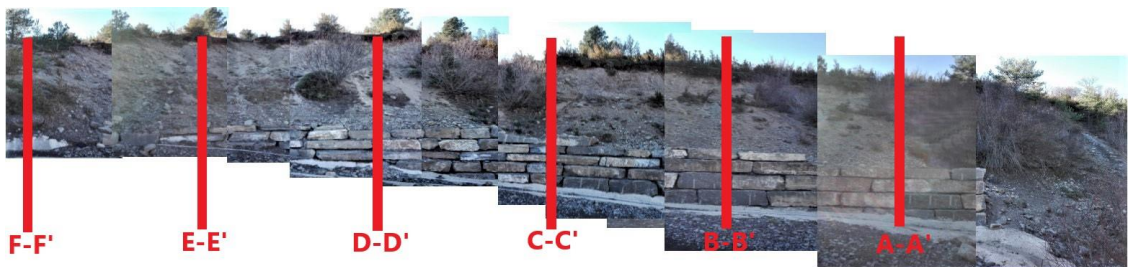


Figura 61: Ubicación de las diferentes secciones a lo largo del talud. Fuente: Elaboración propia

En el talud se observaron cárcavas (ver Figura 62) debido a la erosión de escorrentía superficial que sufre debido a las lluvias y se contempló que le afecta cierta erosión eólica, debido a la influencia del cierzo, el cual se trata de un viento del noroeste que se dirige hacia el Mediterráneo entre las cordilleras pirenaica e ibérica.



Figura 62: Cárcava. Fuente: Elaboración propia

Además, el análisis de estabilidad del talud correspondiente a la sección B-B' se ha realizado por el ingeniero de montes Guillermo Tardío. La elección de la sección se debe por ser esta la más crítica.

Este estudio se ha llevado a cabo con un método de análisis por dovelas. Este tipo de análisis fragmenta el talud en un determinado número de dovelas, para más tarde analizar el equilibrio de momentos en cualquier punto, de las fuerzas verticales y de las horizontales en cada una de ellas (Tardío, G., 2015).

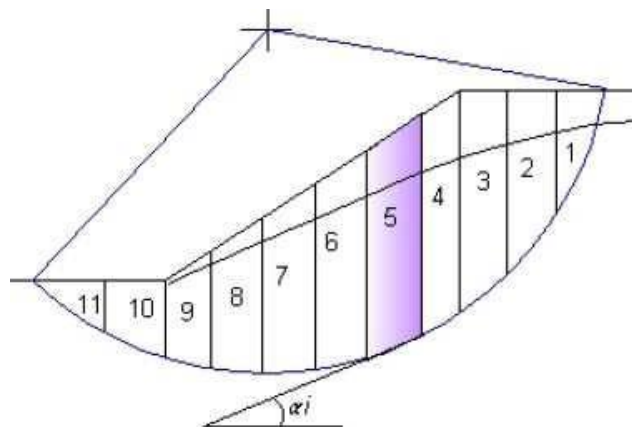


Figura 63: Dovelas de un talud. Fuente: (Tardío, G., 2015).

Para este análisis se ha elegido el método Morgenstern-Price el cual se trata de un método exacto que incorpora dos factores de seguridad (para las fuerzas y momentos) y se logra la convergencia cuando estos dos son iguales. Es parecido al método de Spencer, pero con la diferencia de que en este la relación entre fuerzas perpendiculares y cortantes entre dovelas es más flexible (Tardío, G., 2015).

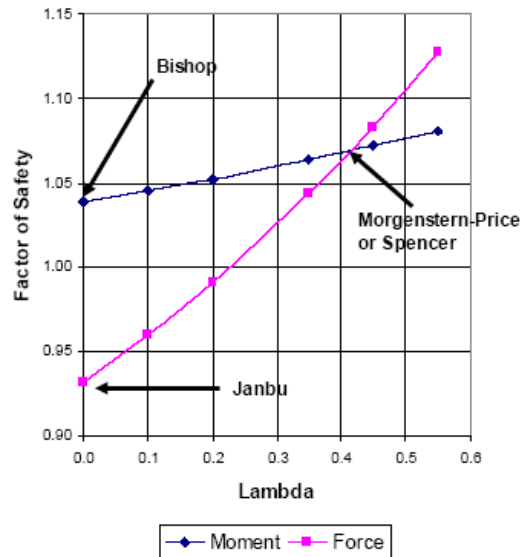


Figura 64: Convergencia entre los factores de seguridad para el equilibrio fuerzas y momentos. Fuente: (Tardío, G., 2015).

El factor de seguridad se define como la relación entre las fuerzas o momentos estabilizantes y las fuerzas o momentos desestabilizantes. Se le da un factor de seguridad determinado a los diferentes casos en los que se puede encontrar un talud (Tardío, G., 2015).

Caso	Factor de Seguridad
Si puede ocurrir la pérdida de vidas humanas al fallar el talud	1.7
Si la falla puede producir la pérdida de más del 30% de la inversión de la obra específica o pérdidas consideradas importantes.	1.5
Si se pueden producir pérdidas económicas no muy importantes.	1.3
Si la falla del talud no causa daños.	1.2

Figura 65: Factor de seguridad para diferentes casos. Fuente: (Tardío, G., 2015).

En este caso al tratarse de un talud que afecta al Camino de Santiago se ha impuesto un factor de seguridad de 1,5. Ya que el valor de 1,7 es para taludes cuyo fallo podría poner en peligro una vivienda, las vías ferroviarias o una carretera con paso frecuente de vehículos. En un talud de un camino forestal, camino rural o como en este caso el Camino de Santiago al no haber tanta frecuencia de paso disminuyen las probabilidades de que el talud fallara cuando alguien pasase, disminuyendo con él el factor de seguridad impuesto.

De cara a realizar un análisis sistemático de las distintas partes del talud se ha procedido al análisis del pie del talud, del cuerpo del talud y de la cabeza del talud en la sección B-B'. Todo ello mediante el método anteriormente citado y el software GeoSlope (2019) con el que se han obtenido los siguientes resultados:

- **Análisis de estabilidad del cuerpo del talud:** como se observa en la imagen el factor de seguridad que se obtiene de esta parte del talud es de 1,63. Siendo esta, superior al límite marcado y por lo tanto se puede considerar estable.

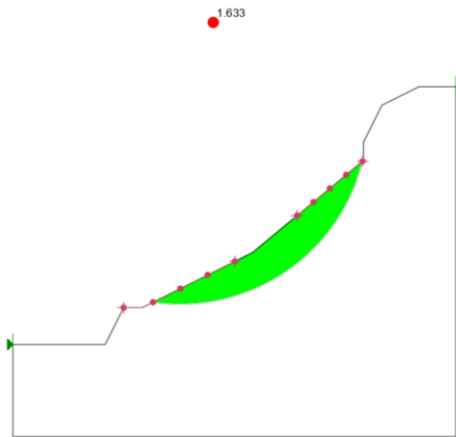


Figura 66: Análisis de estabilidad del cuerpo del talud. Fuente: Elaborado por Guillermo Tardío mediante el software (GeoSlope, 2019).

- **Análisis de estabilidad del pie del talud:** el factor de seguridad en este caso es de 1,97. Al ser superior a 1,5 esta zona se encuentra estable.

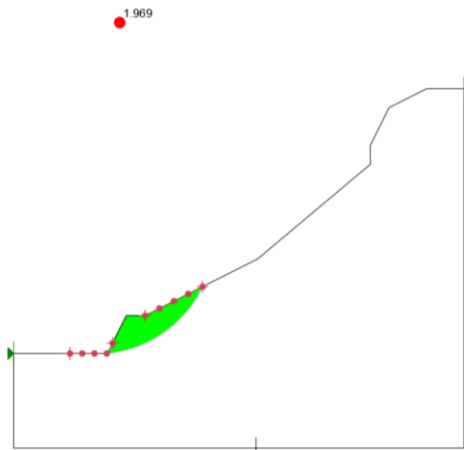


Figura 67: Análisis de estabilidad del pie del talud. Fuente: Elaborado por Guillermo Tardío mediante el software (GeoSlope, 2019).

- **Análisis de estabilidad de la cabeza del talud:** esta zona presenta el factor de seguridad más bajo con 1,11 siendo esta la parte más inestable del talud.

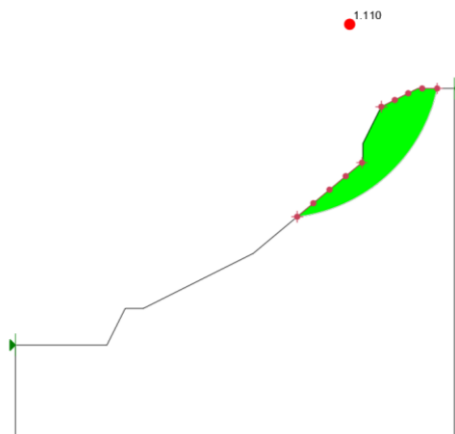


Figura 68: Análisis de estabilidad del pie del talud. Fuente: Elaborado por Guillermo Tardío mediante el software (GeoSlope, 2019).

2.2.5. Descripción de la situación actual

Presenta una estabilización del pie de la ladera con técnicas de ingeniería convencional, en este caso una escollera de 31,5m de longitud.

La piedra de la escollera procede de la empresa Piedra del Alto Aragón - Polardur, situada en la localidad de Fiscal (Huesca). Se trata de una piedra calcarenita gris/antracita con un 60% de caliza y un 40% de cuarzo. Como se muestra en el análisis de laboratorio sobre piedras naturales de la cantera, que fueron realizados por la sociedad GINGER-CEBTP según la norma NF EN 1936, la piedra tiene una media masa volúmica (MVA) de 2.685 kg/m³ (ver Figura 69) (GINGER-CEBTP, 2010). Debido a que las unidades de la MVA se presentan en kg/m³ coincidiendo con las unidades de la densidad absoluta en el Sistema Internacional, se tomará este dato como la densidad absoluta del material.

Probetas cúbicas 75 x 73 x 70 mm						
Referencia	Nº 1	Nº 2	Nº 3	Nº 4	Nº 5	Nº 6
MVA (kg /m ³)	2688	2689	2687	2687	2674	2686
Porosidad abierta (%)	0.3	0.3	0.3	0.3	0.5	0.4

Media masa volúmica = 2685 kg/m³
 Media porosidad abierta = 0,35 %

Figura 69: Ensayos de MVA sobre piedras naturales. Fuente: (GINGER-CEBTP, 2010).

Si la escollera se tratase de una sola pieza de piedra compacta se tomaría como densidad absoluta los 2.685 kg/m³ (2,685 T/m³) (GINGER-CEBTP, 2010), pero como se trata de una escollera construida a partir de bloques de piedra habrá que tener en cuenta los huecos de aire existentes entre los bloques, lo que hará que la densidad sea menor a la anteriormente citada. Según Dirección General de Carreteras (1998) existen dos formas de colocar las escolleras dando como resultado dos tipos de densidades aparentes: la forma muy buena (densidad aparente = 1900 kg/m³) y la forma buena (densidad aparente = 1700 kg/m³).

Las dimensiones de la escollera se midieron en metros y son las siguientes:

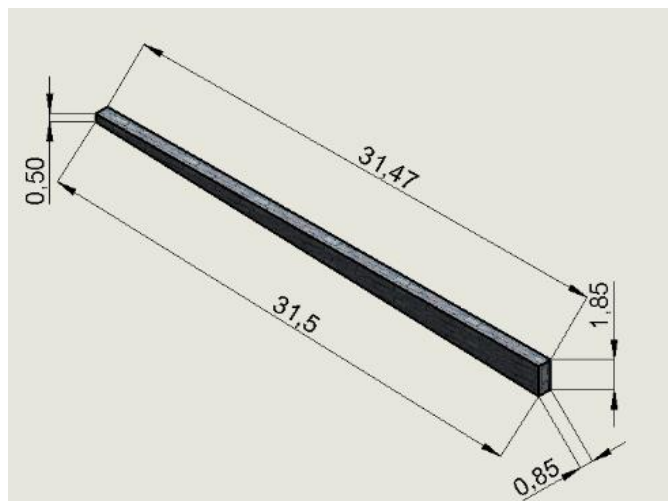


Figura 70: Dimensiones de escollera en metros. Fuente: Realizado por Iker Prieto Osa en SolidWorks (Hirschtick, J., 2019)

Gracias a la información que se muestra en la Figura 70 se ha calculado una aproximación del volumen de la escollera, dando como resultado un volumen total de 31,43 m³.

Según Dirección General de Carreteras (1998) si se supone que la escollera se ha colocado de una forma muy buena se tendría una densidad aparente de 1.900 kg/m³. Si esto lo se relaciona con el volumen de la escollera, se puede calcular su masa aproximada como se expresa a continuación:

$$\rho = \frac{m}{v} ; \text{siendo}$$

ρ : densidad (kg/m³)
 m : masa (kg)
 v : volumen (m³)

$$1.900 \text{ kg/m}^3 = \frac{m \text{ (kg)}}{31,43 \text{ m}^3}$$

$$m = 59.717 \text{ kg}$$

En cambio, si según Dirección General de Carreteras (1998) se supone que la escollera se ha colocado de una forma buena se tendría una densidad aparente de 1.700 kg/m³. Si esto lo se relaciona con el volumen de la escollera, se puede calcular su masa aproximada como se expresa a continuación:

$$\rho = \frac{m}{v} ; \text{siendo}$$

ρ : densidad (kg/m³)
 m : masa (kg)
 v : volumen (m³)

$$1.700 \text{ kg/m}^3 = \frac{m \text{ (kg)}}{31,43 \text{ m}^3}$$

$$m = 53.431 \text{ kg}$$

Por lo que la masa aproximada de la escollera se encontrará entre 53.432-59.717kg.

También se ha realizado una aproximación de la altura de la escollera en cada una de las secciones que la atraviesan, la cual se ha utilizado en el Anexo I para encajarla en cada una de sus secciones correspondientes de la forma más verídica posible.

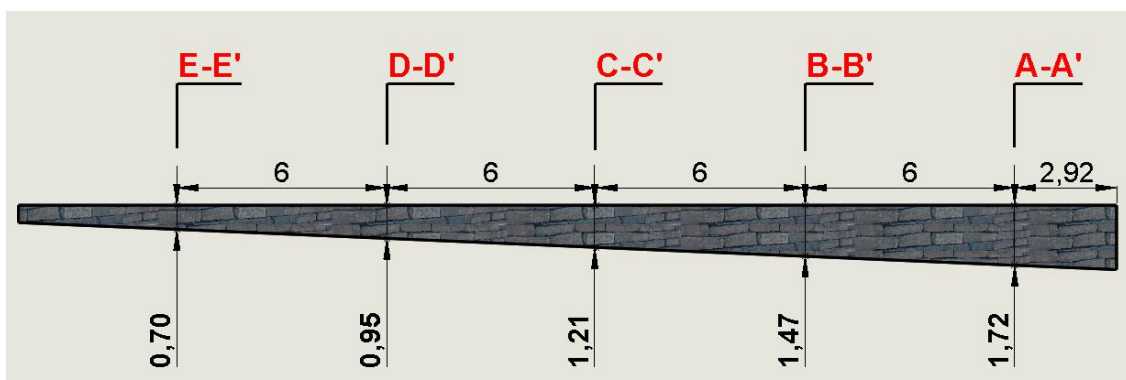


Figura 71: Altura de la escollera en las diferentes secciones. Fuente: Realizado por Iker Prieto Osa en SolidWorks (Hirschtick, J., 2019)

Además de la escollera se realizó una cuneta, delante de la escollera, cementada para recoger las aguas pluviales y canalizarlas hasta el barranco.



Figura 72: Desembocadura al barranco de la cuneta de la escollera. Fuente: Elaboración propia.

2.3. Diagnóstico

RESUMEN DE LA CARACTERIZACIÓN

Superficie de la cuenca: 2.192,2 km² (Navas Izquierdo et al., 2008).

Altitud del talud sobre el nivel del mar: 940 m

Pendiente del talud: 23-63°

Orientación del talud: noreste

Ladera: umbría

Datos climáticos (Climate-Data.org, 2015)

Tipo de clima: oceánico o atlántico, templado y húmedo.

Precipitación máxima anual: 92mm (mayo)

Precipitación mínima anual: 50 mm (julio)

Precipitación media anual: 73,4 mm

Temperatura media mínima: 1,5°C (enero)

Temperatura media máxima: 16,5°C (julio)

Temperatura media anual: 8,7°C

Geología

Morrena glacial del Cuaternario (IGME, 2009) sobre la que se encuentran bloques y cantos de arenisca calcárea del Cretácico y del flysch eoceno, los cuales sufren una gran meteorización (Vidal Bardán, M., 1989).

Edafología

Tipo de suelo: conglomerado de suelo coluviales de naturaleza franco-arcilloso (Vidal Bardán, M., 1989).

Parámetros resistentes (Maffra et al., 2019)

Cohesión del terreno:

7,2 kPa (734,2 kg/m²)

Ángulo de fricción interna: 27,9°

Peso específico aparente:

1,74 T/m³ (1.740 kg/m³)

Breve caracterización botánica de la zona de intervención

Vegetación potencial: Se corresponde con el pinar húmedo de pino royo (*Pinus sylvestris*) con gran presencia de boj (*Buxus sempervirens*) en el sotobosque (Gómez García, D., 2004). Dentro del talud encontramos un suelo pedregoso en el que el pinar se aclara, condición que aprovecha el erizón, *Echinopartum horridum*.

Vegetación dominante en el talud: En lo que se refiere al talud se observó mediante una prospección realizada el 9 de enero de 2019 que entre las plantas dominantes se encontraban ejemplares de las especies *Echinopartum horridum*, *Genista scorpius*, *Salix purpurea*, *Buxus sempervirens*, *Arctostaphylos uva-ursi*, *Pinus sylvestris* y *Helleborus foetidus*.

Vegetación dominante en la ribera: En lo que se refiere a la ribera se observó mediante una prospección realizada el 27 de abril de 2019 que entre las plantas dominantes se encontraban ejemplares de las especies *Salix purpurea*, *Pinus sylvestris*, *Buxus sempervirens*, *Genista scorpius* y ejemplares de la familia Rosaceae.

El talud en cuestión, en sus capas superficiales presenta un comportamiento mecánico y de estabilidad muy precario, en el análisis de estabilidad que se ha explicado en el apartado de caracterización del talud se observa que en la cabecera del mismo estas características son más críticas. Este problema de estabilidad explica la acumulación de terrenos en el pie del talud, esto se puede apreciar en los depósitos de tierra que se presentan en el trasdós del muro de la escollera actual. Estos comportamientos producen de forma general deslizamientos de tipo superficial, ya que no se encuentran planos de deslizamientos profundos a lo largo de la superficie de todo el talud.



Figura 73: Acumulación de tierra en el trasdós de la escollera. Fuente: Elaboración propia.

La cresta del talud se compone por conglomerados de gran tamaño sobre los que se asienta una vegetación bien desarrollada, la cual cohesiona este suelo con sus raíces, por lo que parece estable, pero según los análisis de estabilidad ello se desmiente. Además, presenta una geometría muy escarpada.



Figura 74: Cresta del talud. Fuente: Elaboración propia.

Parámetros resistentes del suelo del talud:

Ya que no se dispone de ningún estudio geotécnico detallado del talud, para conocer aproximadamente sus características, se ha realizado el análisis bibliográfico en el apartado anterior que se ha complementado con prospecciones realizadas en las visitas de campo. Por lo que teniendo en cuenta el análisis granulométrico de los suelos y la información geotécnica de la zona en Vidal Bardán, M. (1989) se pueden definir de forma aproximada los terrenos del talud como un conglomerado de suelos coluviales con propiedades franco-arcillosas.

Estas propiedades son resultado de la proximidad que presenta la M2 a nuestro talud, dicha morrena presenta que los porcentajes de arenas, limos y arcillas son (33.7/28.7/33.3), respectivamente (Vidal Bardán, M., 1989).

Por lo que según el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) estos valores corresponden con un suelo franco-arcilloso como señala la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación (2017) en la Figura 75.

Nombres vulgares de los suelos(textura general)	Arenoso	Limoso	Arcilloso	Clase textural
Suelos arenosos (textura gruesa)	86-100	0-14	0-10	Arenoso
	70-86	0-30	0-15	Franco arenoso
Suelos francos (textura moderadamente gruesa)	50-70	0-50	0-20	Franco arenoso
	23-52	28-50	7-27	Franco
Suelos francos (textura mediana)	20-50	74-88	0-27	Franco limoso
	0-20	88-100	0-12	Limoso
	20-45	15-52	27-40	Franco arcilloso
Suelos francos (textura moderadamente fina)	45-80	0-28	20-35	Franco arenoso arcilloso
	0-20	40-73	27-40	Franco limoso arcilloso
	45-65	0-20	35-55	Arcilloso arenoso
Suelos arcillosos (textura fina)	0-20	40-60	40-60	Arcilloso limoso
	0-45	0-40	40-100	Arcilloso

¹ Basado en la clasificación del USDA de las partículas según su tamaño, como se define en el Cuadro 2.

Figura 75: Clases texturales de suelos según el USDA. Fuente: (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación, 2017)

Por lo que, si estas propiedades corresponden con las de nuestro talud, se asemejan a los porcentajes del suelo arcilloso representado en Maffra, C., Sousa, R., Sutili, F. y Pinheiro, R. (2019) en la Figura 76.

Table 1. Average physical and textural parameters obtained from clay and sandy soils, with and without roots.

SOIL	γ_n (g/cm ³)	γ_d (g/cm ³)	γ_s (g/cm ³)	e	S (%)	Ar/As (%)	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)
Sandy									
Without roots	1.68	1.39	2.55	0.87	70.19		75.0	18.0	7.0
With roots	1.87	1.54	2.55	0.67	80.88	0.094%			
Clay									
Without roots	1.74	1.24	2.75	1.37	89.27		25.0	33.0	42.0
With roots	1.77	1.05	2.75	1.91	96.80	0.082%			

γ_n = apparent specific natural weight of the soil; γ_d = apparent specific dry weight of the soil; γ_s = actual specific grain weight (NBR 6508/84); e = void ratio; S = saturation degree; Ar/As = transversal fraction of soil area occupied by roots.

Figura 76: Peso específico de un suelo arcilloso sin raíces. Fuente: (Maffra et al., 2019)

Según Maffra et al. (2019) los valores de los parámetros resistentes que se pueden encontrar en este tipo de suelo son: una cohesión del terreno de 7,2 kPa (734,2 kg/m²), un ángulo de fricción interna de 27,9° y un peso específico aparente de 1,74 T/m³ (1.740 kg/m³). Dichos parámetros resistentes se han tenido en cuenta en el predimensionamiento y cálculo de estructuras de las técnicas mixtas presentes del Anexo III.

3. Propuesta

Se han estudiado las posibilidades de intervención con técnicas de Bioingeniería del Paisaje para mejorar la estabilidad, recuperar la funcionalidad ecológica y establecer una integración paisajística del talud. Para lo que a continuación se analizarán dos posibles propuestas, siendo estas las siguientes:

- Propuesta 1: Realizar tanto la estabilización como la revegetación del talud únicamente con técnicas de Bioingeniería (Anexo I).

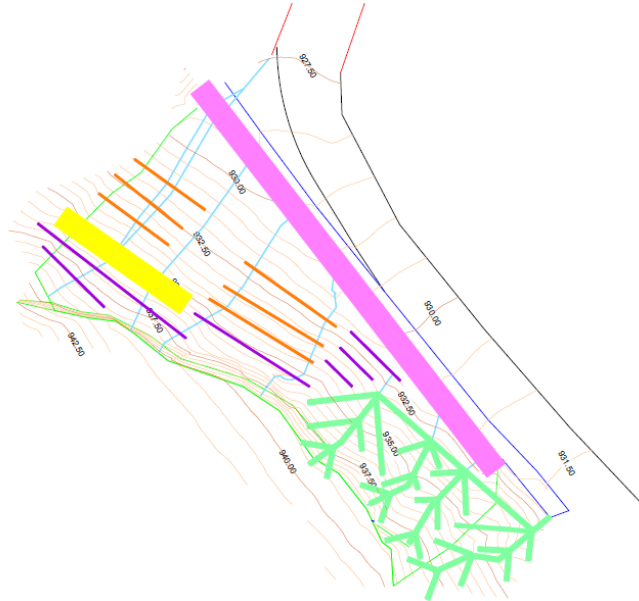


Figura 77: Planta de la Propuesta 1. Fuente: Elaboración propia

- Propuesta 2: Mantener la escollera, pero revegetar y parar la erosión superficial del talud utilizando técnicas de Bioingeniería (Anexo I).

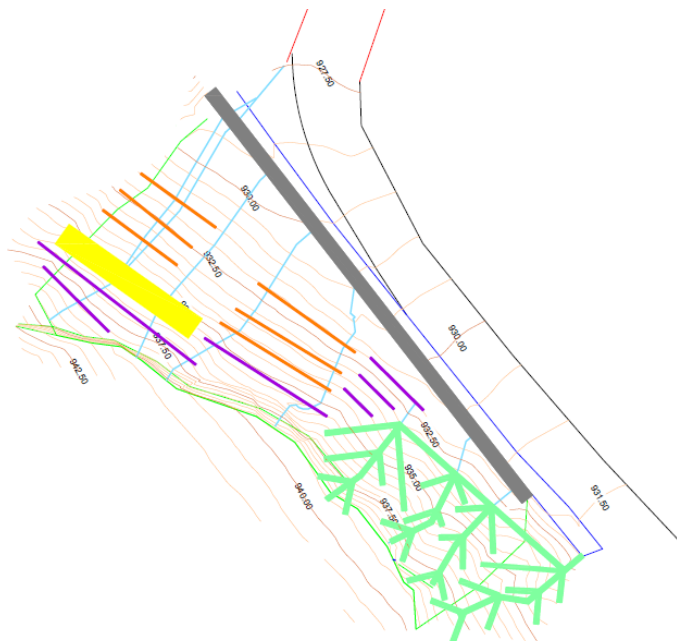


Figura 78: Planta de la Propuesta 2. Fuente: Elaboración propia

A continuación, se explicará mediante una breve descripción los elementos de la propuesta y en el apartado de justificación de las propuestas se justificará la elección de sus respectivos elementos.

3.1. Elementos de la propuesta

3.1.1. Movimientos de tierra

Antes de implantar la vegetación de las técnicas de Bioingeniería de estabilización en taludes y laderas, se debe realizar una preparación del terreno y corregir los problemas que presentan, siempre que se pueda (NTJ, 2013), como la implantación de técnicas de estabilización pertinentes y la colocación de un sistema de evacuación de escorrentías (NTJ, 2012). Esto se debe a que normalmente los taludes presentan características adversas para que el desarrollo de la vegetación sea adecuado, debido a la erosión continua que sufren y las pendientes que poseen. Como consecuencia de estos factores sus suelos no son ricos en nutrientes, tienen problemas de compactación, inestabilidades y cárcavas. Por ello, se tendrán que utilizar plantas pioneras capaces de crecer en estas situaciones desfavorables (NTJ, 2013).

Para la preparación del talud se tendrá que realizar la estabilización del suelo y el remodelado del talud o ladera (NTJ, 2013).

- **Estabilización del suelo:** el saneamiento, reperfilado y excavación sobre el talud se tendrán que realizar con los medios adecuados. Por ejemplo, si se tiene que realizar movimientos de tierras de bajo volumen y la maquinaria no puede acceder a la zona, estos trabajos se llevarán a cabo de forma manual. Si hay presencia de bloques o cantos sueltos se deberán empujar hacia la base del talud para evitar el peligro de posibles caídas. En el caso de que se pueda trabajar con maquinaria se tendrán que realizar los trabajos según la línea de máxima pendiente y en posición transversal a la misma para evitar crear surcos longitudinales al talud con la propia máquina. De todas formas, es aconsejable trabajar sobre terrazas acondicionadas para la maquinaria (NTJ, 2013).
- **Remodelado de los taludes o laderas:** los perfiles de cabecera, pie y bordes laterales del talud tendrán que quedar redondeados para que le sea más fácil a la vegetación asentarse y disminuir los efectos erosivos superficiales que le afectan directamente. Para controlar la erosión de la escorrentía superficial se podrán colocar zanjas de drenaje en sentido transversal y longitudinal al cuerpo del talud o en forma de espina de pez (NTJ, 2013).

3.1.2. Técnicas empleadas

Las técnicas de Bioingeniería elegidas para la zona de estudio se pueden observar en el plano "P7. Detalles constructivos" del Anexo I y siendo estas:

- Técnica de recubrimiento: hidrosiembra.
- Técnicas de estabilización: fajinas de drenaje y peldaños de leña.
- Técnicas mixtas: entramado vivo de madera doble, entramado vivo de madera simple y empalizada viva.

3.1.2.1. Técnicas de recubrimiento empleadas

• **Hidrosiembras:** Con el fin de conseguir una germinación exitosa se tendrá que evitar la pérdida de material por desecación en días con altas temperaturas o heladas. Por ello, será primordial tener en cuenta la época en la que se siembre, siendo esta cuando el climograma sea positivo, el suelo tenga la humedad suficiente y su temperatura se encuentre por encima de los 8-12°C (NTJ, 2012).

Uno de los materiales a utilizar en la hidrosiembra es el mulch, evita los problemas que genera el contacto directo con el sol y favorece la presencia de humedad (NTJ, 2012).

Esta técnica se lleva a cabo exclusivamente con una máquina llamada hidrosembradora, lo que condiciona su uso a zonas accesibles a ella, la propia máquina tiene un factor limitante por la altura de su brazo. Esta proyecta directamente sobre el suelo desnudo una mezcla de agua, semillas de herbáceas y arbustivas (10-50 gr/m²) que se ajustan a la estación botánica, fertilizante orgánico (50-150 gr/m²), ligantes (como alginatos (80-100 gr/m²) que se trata de una sustancia química de gel a partir de algas pardas, celulosa...) y fitoreguladores (1-5 gr/m²) que se utilizan para estimular el enraizamiento y el desarrollo de la microflora. La mezcla de herbáceas tiene un porcentaje de gramíneas del 70% y un porcentaje de entre un 20-25% de leguminosas, a esta mezcla se le puede añadir entre un 5-10% de arbustivas. Para que la mezcla sea homogénea tendrá que ser mezclada de forma continua para evitar la sedimentación de los componentes (Sangalli, P., 2014).

El tipo de suelo y el clima afectan a la cantidad de mezcla a distribuir (1-30L/ m²) o al espesor (0,3-2 cm). También influye en el tipo de materiales a utilizar en la mezcla, la celulosa debido a que retiene muy bien la humedad es idónea para condiciones áridas, la turba es adecuada para terrenos arenosos, los ligantes son aptos para pendientes fuertes y los fertilizantes para zonas pobres en nutrientes (Sangalli, P., 2014).

La implantación se tendrá que llevar a cabo durante la estación húmeda (Sangalli, P., 2014), por ello en zonas de clima mediterráneo o atlántico la época de intervención preferente será de finales de verano a otoño o de finales de invierno a primavera. En cambio, en zonas con clima alpino o subalpino se trata de finales de primavera a principios de verano únicamente (NTJ, 2012).

3.1.2.2. Técnicas de estabilización empleadas

• **Fajinas de drenaje:** Se trata de ramos atados creados a partir de ramas vivas de especies leñosas cortadas y entrelazadas entre sí hasta formar una configuración cilíndrica alargada la cual se recortará a medida posteriormente (Figura 79) (NTJ, 2013).

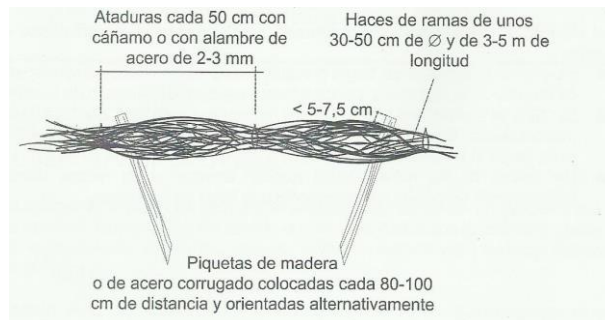


Figura 79: Ilustración de una fajina de drenaje. Fuente: (NTJ, 2013).

Estas estructuras al tener en este caso una función drenante se colocarán formando ángulo para facilitar el drenaje y reducir la erosión superficial disipando la energía de las escorrentías, las fajinas se enterrarán en zanjas de drenaje. Con esta técnica se pueden estabilizar deslizamientos superficiales de 30 a 60 cm de profundidad y estabilizar taludes con pendientes de hasta 45°, siempre que la distancia entre filas sea la idónea (NTJ, 2013).

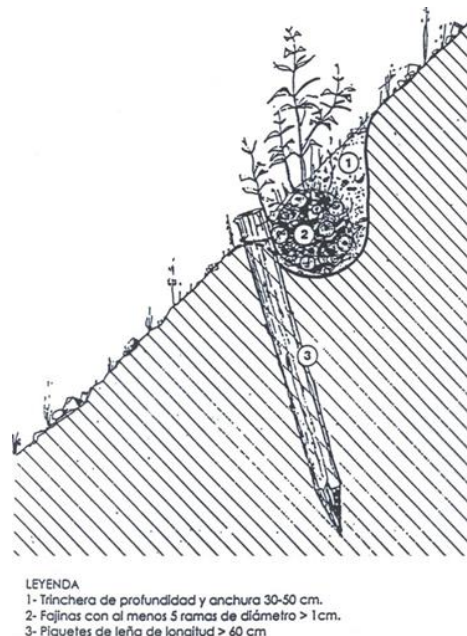


Figura 80: Colocación de una fajina de drenaje. Fuente: (NTJ, 2013).

Para que la aplicación de esta técnica resulte exitosa los materiales a utilizar deberán cumplir una serie de características: las ramas (flexibles, largas, rectas, con yemas de crecimiento activas, longitud entre 150-200 cm y diámetro entre 2-4 cm), las piquetas de madera seca o muerta (longitud entre 100-150 cm y diámetro entre 7-10 cm), sujeción para atar los ramos (cáñamo no tratado o alambre de acero de 2-3mm de diámetro) (NTJ, 2013).

• **Peldaños de leña:** se trata de una variante de los lechos de ramaje adecuados a los terrenos con poca cohesión y una inclinación menor a 40°. Esta técnica requiere una intervención previa sobre el terreno, en el que se realizará una excavación de trincheras siguiendo las curvas de nivel, las cuales variarán en anchura en función de la inclinación y de la estabilidad de la pendiente. Por ejemplo, en terrenos inestables y muy abruptos se puede llegar a una anchura de 35-50 cm y una distancia entre trincheras de 2m. Después sobre el suelo de estas se insertarán las piquetas de madera y se colocarán los troncos de leña. Lo que

hace posible que esta técnica se pueda utilizar en suelos poco cohesivos reside en el esparcimiento sobre el suelo de la merma, a modo de estructura que soporte el terreno, de un lecho de ramaje de conífera. Posteriormente se recubrirá este esqueleto con 10 cm de espesor de suelo, encima de este que dispondrá una banda de estacas con una longitud >60 cm, esta tendrá que ser superior a la del bancal para que sobresalgan de la ladera, y a una distancia de 2-10 cm entre las estacas, con una densidad de 10-25 estacas/m. Para finalizar se tendrá que recubrir la trinchera con la tierra extraída de la excavación superior (Sangalli, P., 2014).

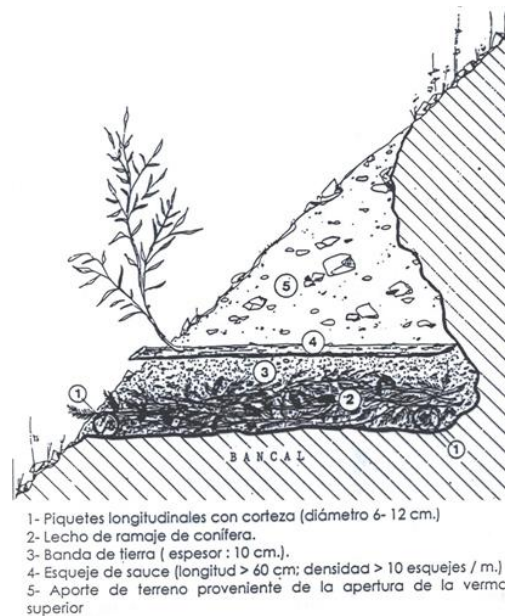


Figura 81: Colocación de peldaños de leña. Fuente: (NTJ, 2013).

3.1.2.3. Técnicas mixtas empleadas

- **Empalizada viva:** Se trata de una técnica aplicada a taludes o laderas. Es capaz de estabilizar la capa superficial en pendiente formada por material suelto, de consolidar cárcavas y surcos de erosión, de controlar la erosión generada tras incendios y acondicionar surcos acentuados y escarpados, normalmente carentes de flujo superficial, en suelos suaves y con un tamaño de partícula pequeña como limos, arcillas y arenas (NTJ, 2016). Se utiliza donde la pendiente aumenta, en lugar del peldaño de leña. Soporta inclinaciones mayores a 40° (Sangalli, P., 2014).

Su disposición se basa en troncos (descortezados, duraderos como de castaños o resinosas, con un diámetro de 14-25 cm y una longitud de 2-5 m) colocados horizontalmente sobre el suelo unos encima de otros, de forma alterna con piedras o cuñas de madera de unos 7-10 cm insertadas entre ellos, y perpendiculares a la línea de máxima pendiente, estos deberán descansar sobre estructuras de apoyo clavadas en el suelo, las cuales se fijarán en la parte anterior de los troncos. Estas estructuras se dispondrán cada 80-100 cm, podrán tratarse de materiales rígidos de fijación (como clavos, bulones o piquetas de acero galvanizado o corrugado con un diámetro de 16-32 mm, una longitud de 40-100 cm y una profundidad entre 1.5-2m, como mínimo 1m) o piquetas de madera (con un diámetro mínimo de 14 cm) (NTJ, 2016).

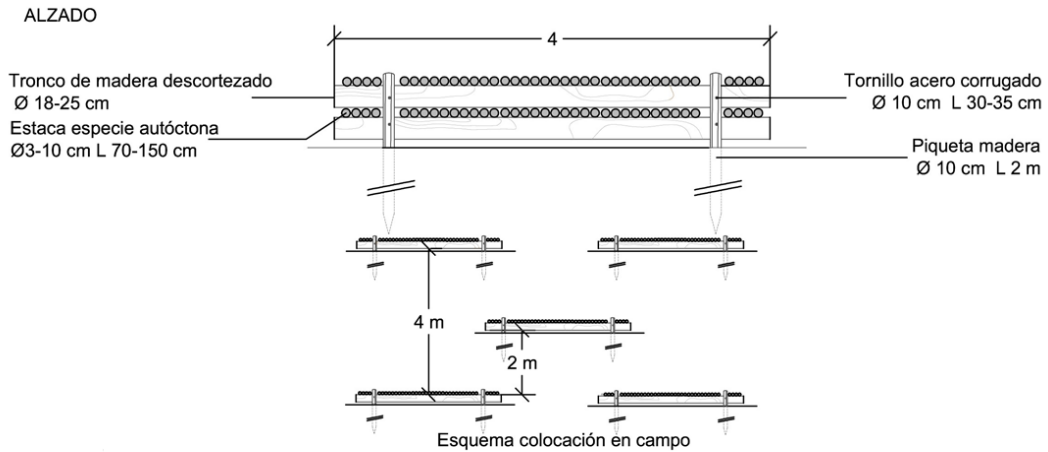


Figura 82: Disposición de alzado de la empalizada y esquema de colocación en campo. Fuente: (NTJ, 2017)

Las piquetas se deberán insertar a mano o con equipo de pilotaje o perforación, de forma vertical, a una profundidad de 70 cm y teniendo que sobresalir como mínimo 50 cm de la misma (NTJ, 2016).

Los troncos horizontales tendrán que estar sujetos entre sí y a las estructuras de apoyo mediante alambre de acero galvanizado (con un diámetro de 3 mm) o materiales rígidos de fijación (NTJ, 2016).

Una vez creada la terraza se rellenará con áridos y tierras vegetales de obra en la que se implantarán a 50 cm de profundidad como mínimo las capas de estacas o ramas vivas cortadas con capacidad de reproducción vegetativa y, de forma opcional, plantas enraizadas. Posteriormente se compactará la tierra para evitar la presencia de bolsas de aire que puedan dañar las raíces, si el suelo no se encuentra húmedo deberá realizarse un aporte de agua para evitar que el material vegetal no se seque. Y finalmente se sembrará (NTJ, 2016).

SECCIÓN

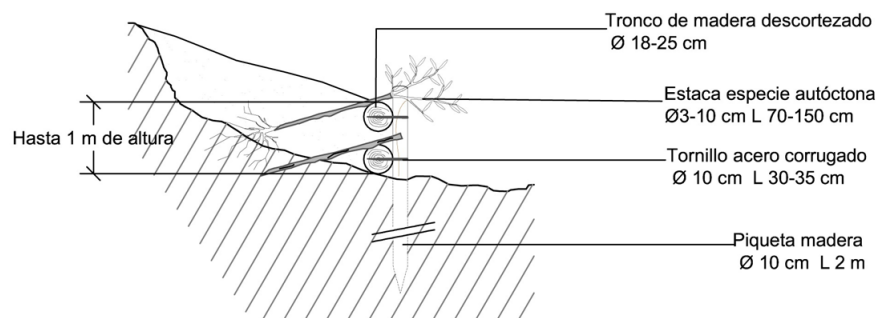


Figura 83: Esquema de la sección de la empalizada viva. Fuente: (NTJ, 2017)

Se pueden encontrar dos tipos de empalizadas divididas en empalizadas vivas altas y bajas. Las empalizadas vivas altas tienen una altura mínima de 1 m, es capaz de contener el suelo y da estabilidad a la parte superficial del talud gracias a las raíces de la vegetación implantada. Su disposición puede ser continua en líneas horizontales cada 2-4 m siguiendo las curvas de nivel,

dispersa o al azar. Se utilizan para minimizar la erosión lineal de la escorrentía superficial limitando su velocidad (NTJ, 2016).

Las empalizadas vivas bajas tienen una altura inferior a 1 m con un efecto antierosivo inferior a las altas. Se utilizan en pendientes inferiores con un tamaño de partícula menor. Su distribución debe tener una superación de 3-4 m entre ellas siguiendo las curvas de nivel, dispersa o al azar (NTJ, 2016).

- **Entramado vivo de madera:** se trata de un muro de gravedad, también llamado muro Kreiner, configurado por troncos descortezados de conífera o castaño, que posteriormente se le clavarán estacas vivas. La duración de la estructura varía según el tipo de tronco que se use, si se utiliza alerce (*Larix*) será de unos 20-40 años y si se usa castaño durará más. La función estructural, cuando la de los troncos desaparezca, quedará delegada a las raíces de las estacas o plantones que se han implantado (Sangalli, P., 2014).

Puede tener una o dos paredes, los entramados de una pared se conocen por el nombre de **entramado simple**. En cambio, los de dos paredes (**entramado doble**) al ser más grandes soportan mayores empujes, pueden coger una altura superior y requieren una excavación mayor. Ambos pueden estabilizar pendientes de hasta 50°. Resulta una técnica competitiva a nivel económico con las técnicas de hormigón utilizadas en la ingeniería clásica (Sangalli, P., 2014).

Se comienza por preparar la base sobre la que se establecerá el entramado, creando una contra pendiente del 10-15%. Después se colocan los troncos dispuestos longitudinalmente y transversalmente entre ellos y se unen sus intersecciones con clavos de acero corrugado o grapas metálicas, el frente del muro tendrá que tener una ligera inclinación a favor de la pendiente, evitando que sea vertical. Esta estructura posteriormente se deberá rellenar de tierra que servirá de soporte para poder clavar las estacas, deberán ser especies con reproducción vegetativa, se insertarán unas 5-10 estacas/m dejando que sobresalgan de la tierra unos 15-20 cm de la tierra, a su vez deberán estar enterradas una longitud de unos 15-20 cm. También se pueden plantar plantones enraizados de especies pioneras (Sangalli, P., 2014).

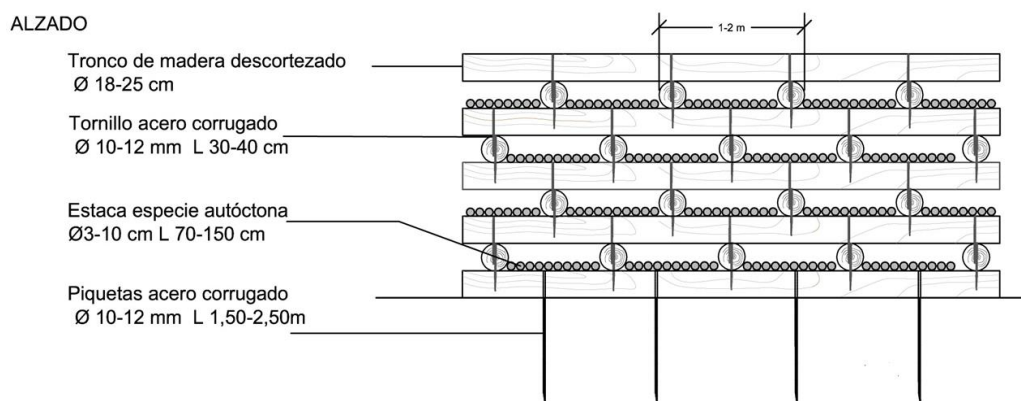


Figura 84: Esquema de alzado de la estructura de entramado vivo de madera. Fuente: (NTJ, 2017)

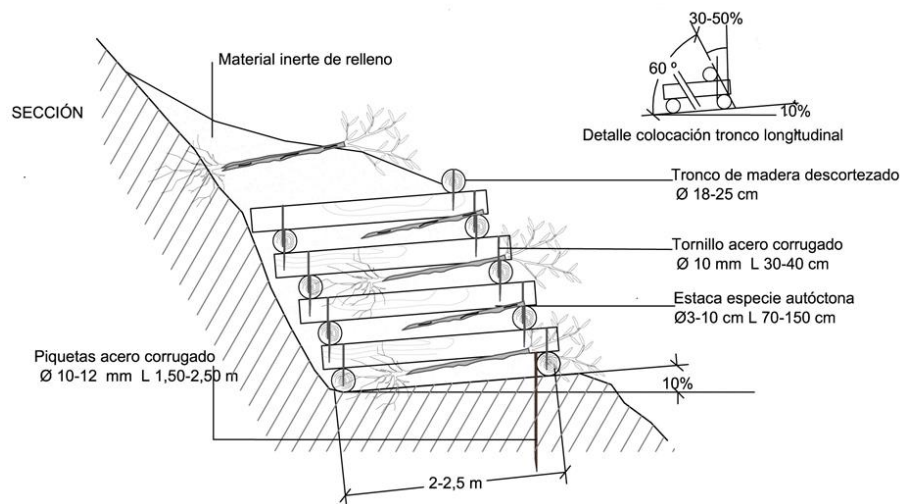


Figura 85: Esquema de la sección de un entramado doble vivo de madera y el detalle de colocación del tronco longitudinal. Fuente: (NTJ, 2017)

3.1.3. Materiales empleados

3.1.3.1. Componentes vegetales vivos empleados

Para la elección de los componentes vegetales vivos a utilizar en la zona de actuación se han tenido en cuenta que sean especies autóctonas y pioneras (NTJ, 2013), que se encuentren en las inmediaciones del talud y que presenten características biotécnicas. Por ello se han elegido las especies *Salix purpurea*, *Arctostaphylos uva-ursi*, *Echinopartum horridum*, *Genista scorpius* y *Buxus sempervirens*. Además, se realizará una selección de semillas de especies herbáceas y arbustivas para la mezcla de la hidrosiembra.

A continuación, se muestra una serie de características de la vegetación anteriormente nombrada:

- ***Salix purpurea***: Sus raíces tienen la capacidad de crecimiento bajo el nivel medio de las aguas, por ello es una planta que necesita humedad (Sangalli, P., 2014). Presenta un aparato radical amplio y profundo, con una elevada capacidad rizogenética (Cornelini, P., Federico, C., y Pirrera, G., 2008). Su sistema radical tiene forma de corazón, de manera uniforme, ramificada y hemisférica, con unas raíces que se abren paso en el terreno oblicuamente hacia abajo (Sangalli, P., 2014). Esta planta presenta una serie de características biotécnicas como dice Sangalli, P. (2014):

- Capacidad para consolidar el terreno: la importancia de esta característica reside en la relación entre el volumen de las raíces y el volumen de brotes. Esta especie presenta una relación de 1,5.
- Capacidad para reproducirse por vía vegetativa: presenta un enraizamiento del 100%.
- Capacidad de emitir raíces adventicias en los troncos enterrados, como diversos *Salix*.
- Resistencia del aparato radical a la tracción: 36 Mpa.

- ***Arctostaphylos uva-ursi***: posee la capacidad de asentarse en terrenos jóvenes poco profundos protegiéndolo contra la erosión en pendientes marcadas, debido a que genera una

gran densidad de cubierta vegetal y enraizamiento, por ello se utiliza de forma habitual en la revegetación de laderas. La gayuba se trata de una planta pionera tras los incendios debido a la cantidad de humedad que alberga (Toa Sampietro, A., Asensio Casas, E., & Sales Clemente, E., 2015).

- ***Echinopartum horridum***: evita la erosión de laderas desnudas debido a que se trata de una planta pionera, además de esto es capaz de enriquecer el suelo, ya que al tratarse de una leguminosa es capaz de fijar el nitrógeno atmosférico en él (Jolube consultor botánico y editor, 2009).

Cuando las cepas son viejas y mueren las ramas principales, dejan un hueco en la tierra que es aprovechado únicamente por quejigos, pinos o el boj. Si la humedad estival es persistente puede provocar una descomposición de una parte importante de la planta (Montserrat, P., Montserrat Martí, J. M., & Montserrat-Martí, G., 1984).

- ***Genista scorpius***: se trata de una leguminosa colonizadora tras los incendios ya que posee unas raíces que rebrotan rápidamente tras ser eliminados sus competidores (Parque Regional del Sureste, 2018).

- ***Buxus sempervirens***: es capaz de generar comunidades en suelos pobres y poco profundos como pendientes rocosas escarpadas, ello le da ventaja sobre este tipo de terrenos en comparación con otros con mejores características edáficas, al ser estos últimos entornos más competitivos entre especies arbóreas. Además, presenta una gran versatilidad, se puede encontrar en zonas con irradiación lumínica alta o baja. Por ello, se puede observar asociado a pinares de pino silvestre en el piso montano de la zona sur del Pirineo (Tena, D., 2009).

- **Mezcla de semillas para la hidrosiembra**: se utiliza una mezcla de especies herbáceas y arbustivas. Dentro de las herbáceas podemos encontrar una composición de gramíneas y leguminosas, las primeras consolidan el suelo y las segundas aportan nutrientes al suelo al ser fijadoras de nitrógeno. Las herbáceas presentan una protección eficaz contra la erosión superficial en las pendientes disminuyendo la pérdida de sedimentos por desplazamiento mediante la retención de partículas, protegiendo el suelo de la erosión denominada “splash erosion” generada por el impacto de las gotas de lluvia, decelerando las escorrentías superficiales y aumentando la capacidad de infiltración del suelo (Sangalli, P., 2014).

3.1.3.2. Componentes no vegetales empleados

En cambio, los componentes no vegetales es recomendable obtenerlos en la propia obra durante la ejecución de la misma (Sangalli, P., 2014).

3.2. Justificación de las propuestas

3.2.1. Propuesta 1: Realizar tanto la estabilización como la revegetación del talud únicamente con técnicas de Bioingeniería.

3.2.1.1. Justificación de los elementos de la propuesta

3.2.1.1.1. Justificación de movimientos de tierra

• **Estabilización del suelo:** La cabecera del talud presenta pendientes escarpadas, por ello se trata de la zona menos estable del talud presentando poco margen de seguridad. Para mejorar la estabilidad se tendrá que suavizar la geometría de esta zona mediante un reperfilado, disminuyendo sus pendientes. Al tratarse de un volumen pequeño y ser inaccesible para la maquinaria estos trabajos deberán realizarse de forma manual (NTJ, 2013). Además, al haber presencia de cantos encima de la superficie del talud se tendrán que empujar hacia la base del mismo (NTJ, 2013).

• **Remodelado de los taludes o laderas:** Se realizarán zanjas de drenaje en forma de espina de pez estableciendo la zanja que vertebrará esta forma encima de algunos de los canales principales de la escorrentía superficial representados en el plano de escorrentías superficiales del talud (ver Anexo I). En concreto estos canales a tratar son los que se establecen en la zona de las secciones D-D', E-E' y F-F'. Estas zanjas deberán seguir líneas de máxima pendiente (Tardío, G., 2015), las cuales servirán para controlar la erosión de la escorrentía superficial (NTJ, 2013).

3.2.1.1.2. Justificación de las técnicas empleadas

Los deslizamientos de tipo superficial existentes en el talud suponen un marco en el que las técnicas de Bioingeniería pueden resultar más eficaces. Esto se debe al sistema radical de la vegetación utilizada para estabilizar taludes, elemento principal de estas técnicas, enraizando las especies herbáceas de forma superficial y las leñosas pudiendo llegar a enraizar hasta 2 m de profundidad (Sangalli, P., 2014).

Por lo tanto, la intervención consistirá en solucionar estos problemas de estabilidad superficial y en controlar la escorrentía superficial. Para este último problema se tendrán que implantar en las zonas críticas marcadas por el mapa de escorrentías superficiales (Anexo I) diferentes técnicas.

A través de las dimensiones representadas en la planta de los planos de las propuestas (Anexo I) y los datos adquiridos del predimensionamiento y cálculo de estructuras de las técnicas mixtas a utilizar (Anexo III), se ha podido conocer las dimensiones aproximadas que presentarán cada técnica. Las cuales han quedado reflejadas a continuación en cada técnica y se han tenido en cuenta para la elaboración del presupuesto (Anexo IV).

Para la elección de las técnicas utilizadas en las propuestas, se han tenido las que presentaban mejor puntuación en las matrices de decisión para intervenciones en pendientes y laderas de EFIB (2015) presentadas a continuación:

Utilización	Tipologías constructivas	Protección erosión superficial	∇	∧	Función de mejora ecológica	Función de mejora técnica	Inicio de la eficacia	Duración de la eficacia	Eficacia espacial	Coste económico	
		Estabilización profundidad 0,2 m	Estabilización profundidad 0,2 m								
Métodos de siembra y revegetación	Siembra a voleo	3	1		1		2	2	3	1	
	Hidrosiembra	3	1		1		2	2	3	1	
	Siembra con acolchado	3	1		1		1	2	3	2	
	Siembra con manta orgánica	3	1		1		2	2	3	3	
	Tepes, fragmentos vegetales	3	1		1		1	2	3	2	
	Mejora del suelo	2	1		1		3	2	3	2	
	Plantación en hoyo	2	1		1		2	3	1	2	
	Plantación en zanja ó con inclinación	2	1		1		2	3	1	2	
	Plantación en terraza	2	1		1		2	3	1	2	
	Plantación en cordón	2	1		1		2	3	2	2	
	Plantación en relieve	2	1		1		2	3	2	2	
Drenaje de laderas	Drenaje con hatillo de ramas	1	2			3	1	1	2	1	
	Fajinas de drenaje	1	2		3	2	2	3	2	1	
	Fosos de drenaje	1	2			3	1	3	2	2	
	Canaletas	1	2			3	1	3	2	3	
	Fajinas en laderas	2	3		2		2	3	2	1	
Estabilización talud/Profundidad	< 20 cm	Muro de pilotes plantado	3	3			1	3	3	3	
		Enrejado vivo	3	3		1		1	3	3	3
	20 - 200 cm	Entramado de Madera vivo	3		3	2		1	3	2	3
		Entramado de hormigón vegetado	3		3	2		1	3	2	3
		Escollera revegetada	3		3	2		1	3	2	3
		Gavión revegetado.	3		3	2		1	3	2	3
		Muro verde	3		3	2		1	3	2	3
		Construcción en tongadas	3		3	2		2	3	2	2

Figura 86: Matrices de decisión para intervenciones en pendientes y laderas. Fuente: (EFIB, 2015)

Leyenda			
Grado de eficacia técnica	1 = bajo	2 = medio	3 = elevado
Inicio de la eficacia	1 = inmediato	2 = tras diversas semanas	3 = Tras diversos meses
Duración de la eficacia	1 = A corto plazo (1 - 5 años)	2 = Medio plazo (5 - 10 años)	3 = Largo Plazo (más de 10 años)
Efectividad espacial	1 = puntual	2 = lineal	3 = área
Coste	1 = bajo	2 = medio	3 = alto

Figura 87: Leyenda de matrices de decisión para intervenciones en pendientes y laderas. Fuente: (EFIB, 2015)

Las técnicas de Bioingeniería elegidas para nuestra zona de estudio han sido:

- Técnica de recubrimiento: hidrosiembra.
- Técnicas de estabilización: fajinas de drenaje y peldaños de leña.
- Técnicas mixtas: entramado vivo de madera doble, entramado vivo de madera simple y empalizada viva.

3.2.1.1.2.1. Justificación de las técnicas de recubrimiento empleadas

• **Hidrosiembras:** Como el talud se encuentra en frente del Camino de Santiago se trata de una zona accesible para una hidrosembradora. La altura aproximada del talud es de 14 m, factor que se tendrá que tener en cuenta a la hora de elegir la hidrosembradora y evitar que se convierta en un factor limitante la altura de su brazo (Sangalli, P., 2014). Se ha desechado la posibilidad de realizar una siembra a voleo, debido a que al ser una siembra a mano debe llevarse a cabo por un operario, el cual tiene que poder acceder a toda la superficie del terreno con facilidad (Sangalli, P., 2014). Pero como se ha observado en las secciones hay zonas de difícil acceso. En cambio, la hidrosiembra con hidrosembradora, al proyectarse sobre la superficie por la máquina no tiene este problema. Como nos encontramos en un clima oceánico o atlántico, templado y húmedo (Meteorología y climatología de Navarra, 2011) la época de intervención preferente será de finales de verano a otoño o de finales de invierno a primavera (NTJ, 2012). La superficie sobre la que se tendrá que aplicar la hidrosiembra es de 500 m², la misma que tiene el talud.



Figura 88: Hidrosiembra I. Fuente: (Asociación Española de Ingeniería de Paisaje, 2005)

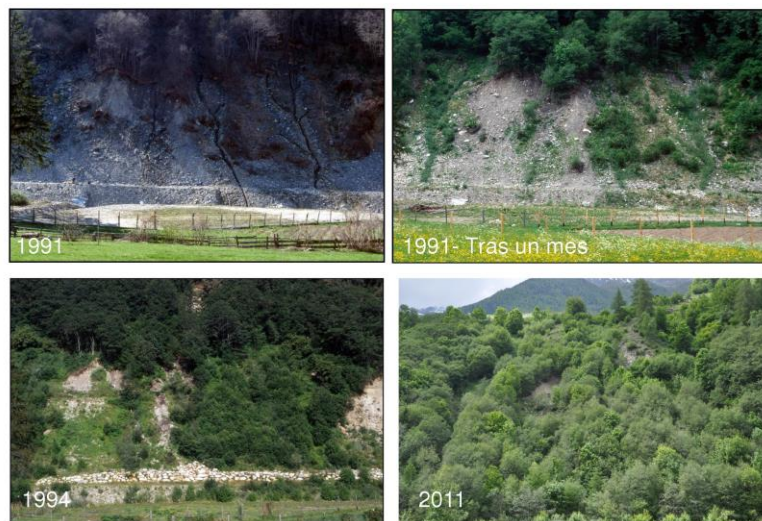


Figura 89: Hidrosiembra II. Fuente: (Asociación Española de Ingeniería de Paisaje, 2005)

3.2.1.1.2.2. Justificación de las técnicas de estabilización empleadas

• **Fajinas de drenaje:** Los sistemas de drenaje son capaces de disminuir las presiones intersticiales como el peso del terreno y un drenaje superficial evita los efectos erosivos sobre el talud (Tardío, G., 2015). Las fajinas se enterrarán en las zanjas de drenaje en la forma de espina de pez anteriormente citada, se dispondrán cada 2 m y en un ángulo de unos 45° entre ellas. Con esta forma de espina de pez se capta el agua de los alrededores por la forma de embudo que presenta, controlando el poder erosivo del agua durante su recorrido hacia el pie del talud y redireccionando el agua sobrante para después aguas abajo evacuarla en la actual cuneta construida delante de la escollera, de esta forma mejorará la estabilidad global del talud. Además, al no tratarse de una técnica dura, permite filtrar un mínimo de agua para que lo consuma el material vivo del entramado de madera situado aguas abajo sin producir un descalce del mismo. A parte de esta función drenante, ofrece una función estabilizadora, llegando a estabilizar taludes con pendientes de hasta 45° (NTJ, 2013) como las que encontramos en las secciones donde se implantará esta técnica. Se colocarán 100,1 m de fajina de drenaje.

Val Martello- Fajinas drenantes



Florin Florineth- BOKU (Austria) –EFIB

Figura 90: Desarrollo de la restauración de un talud con fajinas de drenaje en Boku (Austria). Fuente: (Florineth, F., 1991)



Figura 91: Restauración del talud de la N1 en Etxegarate con fajinas de drenaje. Fuente: (Sangalli, P., 2010)

• **Peldaños de leña:** como el talud presenta un suelo poco cohesivo, sobre el suelo de la merma a modo de estructura que soporte el terreno, se debe implantar un lecho de ramaje modificado, denominado peldaño de leña (Sangalli, P., 2014). Al ser una técnica adecuada a una inclinación menor a 40° (Sangalli, P., 2014) se utilizará en las zonas de cotas bajas de las secciones A-A', C-C' y D-D'. Según los cálculos se implantará a una distancia de 2 m entre ellas (ver Anexo III) y un total de 39,97 metros lineales a lo largo del talud.



Figura 92: Restauración de un talud con peldaños de leña en Bolzano (Italia). Fuente: (Florineth, F., 1995)

3.2.1.1.2.3. Justificación de las técnicas mixtas empleadas

• **Empalizada viva:** Esta técnica se combinará con una característica de los peldaños de leña, dicha característica se trata de colocar sobre el suelo de la merma una capa compacta de ramaje de conífera, para crear una estructura que soporte la empalizada viva. Este lecho se emplea en terrenos con poca cohesión como es nuestro caso. La empalizada se utiliza en aquellos casos en los que la pendiente aumenta. La altura de la empalizada varía ya que será la que el terreno demande por la pendiente (Sangalli, P., 2014). Al ser capaz de consolidar cárcavas (NTJ, 2016) podremos solucionar este problema en nuestro talud, descrito durante el análisis.

La empalizada viva se implantará en las partes altas de las secciones A-A', B-B' y C-C', según los cálculos se implantará a una distancia de 2 m entre ellas (ver Anexo III) y un total 36,88 m de la misma en el talud.

En este caso las estructuras de apoyo clavadas en el suelo para fijar los troncos serán piquetas de madera. Y los troncos horizontales se sujetarán entre sí y a las estructuras de apoyo mediante alambre de acero galvanizado de 3 mm de diámetro (NTJ, 2016).



Figura 93: Estabilización de un talud sobre el túnel Olandixo (Arrasate) con empalizada viva. Fuente: (Sangalli, P., 2012)

• **Entramado vivo de madera:** El entramado que sustituirá la escollera se trata de un **entramado doble**, es una técnica mixta que actúa como un muro de gravedad (Sangalli, P., 2014). El entramado doble tendrá 31,5 m de longitud como la actual escollera, atravesando estas secciones A-A', B-B', C-C', D-D' y E-E'. No llegará hasta la sección F-F', ya que la actual escollera no llega hasta esta sección, estando por lo tanto fuera de nuestra zona de actuación, y porque se trata de una zona de transición al ecosistema de referencia, aumentando notablemente la presencia de vegetación respecto a la presente en el talud. Según los cálculos, para estabilizar un talud con estas características hará falta que la base del entramado tenga 1,5 m y una altura de 1,6 m (ver Anexo III).



Figura 94: Zona de transición y sección F-F'. Fuente: Elaboración propia

En la zona alta de las secciones A-A' y B-B' se implantará un **entramado simple**, este al no tener que soportar tanta cantidad de tierra como la otra puede ser una estructura más ligera (Sangalli, P., 2014). Sus dimensiones serán de 1,5 m de base y 1 m de altura.

Ambos suman un volumen de 90,6 m³ de entramado vivo y pueden estabilizar pendientes de hasta 50° (Sangalli, P., 2014), factor que se ha tenido en cuenta a la hora de disponerlos en el talud.



Figura 95: Estabilización en las obras de la vía férrea mantovana en Trieste (Udine) con entramado doble. Fuente: (Giuliano, S., 2008)

3.2.1.1.3. Justificación de materiales empleados

Antes de realizar la extracción del material vegetal se tendrá que efectuar al Ayuntamiento de Castiello de Jaca una comunicación previa para extracciones de material vegetal mediante un registro electrónico al tratarnos de una persona jurídica (Ayuntamiento de Castiello de Jaca

(comunicación personal, junio, 14, 2019)). En lo que se refiere a la extracción de material de los ejemplares situados en la ribera del barranco, se tendrá que realizar a la Conferencia Hidrográfica del Ebro una Declaración Responsable de Actuaciones menores de conservación en el dominio público hidráulico y en su zona de policía (Anexo VI) (Confederación Hidrográfica del Ebro (comunicación personal, junio, 14, 2019)).

3.2.1.1.3.1. Justificación de los componentes vegetales vivos empleados

Para la elección de los componentes vegetales vivos a utilizar en la zona de actuación se han tenido en cuenta que sean especies autóctonas y pioneras (NTJ, 2013). Para la elección de especies como plantas enraizadas se tendrá que tener en cuenta su disponibilidad en viveros cercanos. Se utilizarán 50 ejemplares de plantas enraizadas.

- ***Salix purpurea***: Las propiedades que presentan las raíces, así como sus características biotécnicas y su capacidad rizogenética, explicadas anteriormente, hacen que esta especie sea idónea para estas actuaciones. Por ello, de ella se sacarán las numerosas estacas a utilizar en técnicas como los peldaños de leña, la empalizada viva, el entramado vivo de madera doble y el entramado vivo de madera simple. También se extraerán las ramas vivas para los ramos de las fajas de drenaje. Se dispondrá en zonas donde haya presencia de humedad ya que es una condición primordial para esta especie (Sangalli, P., 2014). Al encontrarse el talud en una ladera de umbría se conservará mejor la humedad del mismo.

- ***Arctostaphylos uva-ursi***: Se plantarán ejemplares sobre la superficie del talud debido a que genera una gran densidad de cubierta vegetal y enraizamiento (Toa Sampietro et al., 2015).

A continuación, se puede observar la densidad de raíces que desarrolla esta planta dentro del talud de la zona de estudio:



Figura 96: Densidad de las raíces de gayuba (*Arctostaphylos uva-ursi*). Fuente: Elaboración propia.

- ***Echinopartum horridum***: se plantarán varios ejemplares sobre las zonas altas, ya que un exceso de humedad puede provocar su descomposición (Montserrat et al., 1984). Se tratará de la primera vez que se utilicen en Bioingeniería, por ello se desconocen sus características biotécnicas. De todas formas, se pudo observar como un ejemplar situado en la cabecera del talud cohesionaba la tierra mediante sus raíces sobre una pendiente abrupta.



Figura 97: Erizón cohesionando la tierra en la cabecera del talud. Fuente: Elaboración propia.

- ***Genista scorpius***: se trata de una leguminosa colonizadora, la cual fijará nitrógeno atmosférico al suelo nutriendo este suelo (Parque Regional del Sureste, 2018).

- ***Buxus sempervirens***: será una pieza clave en la sucesión ecológica cuando se desarrolle la vegetación, ya que se trata de una especie muy versátil para el tipo de condiciones en las que se encuentra el talud (Tena, D., 2009).

- **Mezcla de semillas para la hidrosiembra**: se utilizará una mezcla de semillas de herbáceas, gramíneas (70 %) y leguminosas (20-25 %) (Sangalli, P., 2014) a determinar por la disponibilidad comercial y las que aparezcan en el Herbario de Jaca (Instituto Pirenaico de Ecología, CSIC, 2012) en la cuadrícula UTM de 10 x 10 km correspondiente a la zona del talud (30TYN02). A esta composición se añadirá una mezcla de semillas de especies arbustivas (5-10 %) (Sangalli, P., 2014), determinadas por la disponibilidad y presencia citada anteriormente, aportando estas al talud todas sus características cuando se desarrollen.

3.2.1.1.2.2. Justificación de los componentes no vegetales empleados

Se tratarán de tierra y rocas extraídas durante el reperfilado del talud, si esta cantidad no fuese suficiente se tendría que traer de otro lugar. La madera para la construcción de las estructuras de las técnicas mixtas y el lecho de ramaje de conífera se extraerán de los pinares de *Pinus sylvestris* de los alrededores. Por ello, en el dimensionamiento de las estructuras de las técnicas mixtas se ha tenido en cuenta el peso específico de la madera del pino silvestre teniendo este según Vignote Peña, S. (2014) un valor de $0,502 \text{ g/cm}^3$ (502 kg/m^3).

3.2.2. Propuesta 2: Mantener la escollera, pero revegetar y parar la erosión superficial del talud utilizando técnicas de Bioingeniería.

En esta propuesta se utilizarán los materiales y las técnicas de hidrosiembra, fajas de drenaje, peldaños de leña, empalizada viva y entramado vivo simple citados en la propuesta 1, así como su disposición. El entramado vivo doble no estará presente ya que en esta propuesta se mantendrá la escollera actual.

4. Discusión

El trabajo realizado nos revela que la estrategia de estabilizar el pie mediante técnicas de Bioingeniería es adecuada. La estrategia de estabilizar superficialmente el cuerpo del talud también es adecuada, ya que, de esta manera, se mejorará la estabilidad de las capas menos profundas del suelo. El apoyo de rellenos y el desarrollo de vegetación sobre el cuerpo de talud aportará estabilidad a las zonas más altas, reforzando el pie del escarpe del talud.

Se muestran dos tipos de escenarios diferenciados en las propuestas realizadas, los cuales evolucionarán en el tiempo de forma diferente. En la fase inicial mostrarán un comportamiento parecido, debido a que el material vegetal no podrá realizar la función de estabilidad al no haber desarrollado su sistema radicular. Por ello, se tendrá que combinar con otros materiales que realicen esta función, hasta que el componente vegetal logre suplantarlos a medida que los materiales se descompongan (Sangalli, P., 2014).

A raíz de haber introducido diferentes especies, estas, comenzarán a competir entre ellas, generando un sistema dinámico y cambiante a lo largo del tiempo, generando una sucesión ecológica. Por ejemplo, el erizón cuando sus cepas sean viejas y mueran sus ramas principales dejarán un hueco en la tierra fértil que aprovecharán los quejigos, los pinos o el boj (Montserrat et al., 1984). El boj probablemente logrará asociarse al pino silvestre, como en el piso montano de la zona sur del Pirineo (Tena, D., 2009) y como ocurre en el ecosistema de referencia del talud.

Al favorecer la introducción de vegetación autóctona, se transformarán las características ecológicas allá donde se intervenga, acelerando el restablecimiento al ecosistema de referencia, función que difícilmente se puede realizar con la ingeniería convencional (Sangalli, P., 2014).

Por lo que, la propuesta 1 (Realizar tanto la estabilización como la revegetación del talud únicamente con técnicas de Bioingeniería) logrará evolucionar de forma total y en conjunto mediante el desarrollo de la vegetación en todas las partes del talud, ya que tanto en la cabecera, en el cuerpo, como en el pie del mismo se utilizarán exclusivamente técnicas de Bioingeniería.

En la propuesta 2 (Mantener la escollera, pero revegetar y parar la erosión superficial del talud utilizando técnicas de Bioingeniería), al mantener la escollera, sólo se dará este desarrollo en la cabeza y el cuerpo del talud. Debido a que la escollera se trata de un elemento inerte que siempre va a permanecer presente en el talud.

5. Conclusiones

Tras analizar los resultados se ha llegado a las siguientes conclusiones:

- Es posible utilizar técnicas de Bioingeniería del Paisaje para la estabilización de taludes en el ámbito pirenaico aragonés.
- Es posible actuar sobre todo el talud únicamente con técnicas de Bioingeniería, lo que permitirá una evolución dinámica del talud y una mejora desde el punto de vista técnico, ecológico y ambiental.

- La propuesta 1 (Realizar tanto la estabilización como la revegetación del talud únicamente con técnicas de Bioingeniería), logrará evolucionar de forma total y en conjunto mediante el desarrollo de la vegetación en todas las partes del talud.
- La actual escollera garantiza una estabilidad en la parte baja del talud, pero se debe abordar la erosión superficial que sufre, donde también se pueden emplear técnicas de Bioingeniería.
- La propuesta 2 (Mantener la escollera, pero revegetar y parar la erosión superficial del talud utilizando técnicas de Bioingeniería), sólo presentará una evolución y un desarrollo de la vegetación en la cabeza y el cuerpo del talud.
- Según el análisis de estabilidad realizado en la sección B-B' y el factor de seguridad, la cabecera del talud en dicha sección se encuentra inestable.

6. Bibliografía

Alcántara de la Fuente, M. (2007). *Catálogo de especies amenazadas en Aragón: fauna*. Huesca: Gobierno de Aragón, Departamento de Medio Ambiente.

Asociación Española de Ingeniería de Paisaje. (2005). *Hidrosiembra I* [Figura].

Asociación Española de Ingeniería de Paisaje. (2005). *Hidrosiembra II* [Figura].

Asociación Turística de Valle del Aragón. (2012). Plano de situación. *La revista de ATVA*, 23, 4. Recuperado de <http://www.valledelaragon.com/revista/revista23.pdf>

Autodesk. (2019). AutoCAD (2018.1) [Software]. Recuperado de: <https://www.autodesk.es/>

Autodesk. (2019). AutoCAD Civil 3D (12.0.842.0) [Software]. Recuperado de: <https://www.autodesk.es/>

Benito Alonso, J. L. (2008). Dos plantas raras en el humedal de Villa Juanita (Castiello de Jaca, Pirineo aragonés). *Flora Montiberica*, 38, (pp. 81-89).

Benito Alonso, J. L. (2009). Aportación de información al “Inventario de humedales singulares de la Comunidad Autónoma de Aragón”. En Jolube Consultor y Editor Ambiental (Eds.). *Monografías de Botánica Ibérica*, nº 3, (pp. 39). Jaca: Centro Español de Derechos Reprográficos.

Boletín Oficial del Estado (BOE). (2011). *Real Decreto 139 / 2011, de 4 de febrero, para el desarrollo del Listado de Especies Silvestres en Régimen de Protección Especial y del Catálogo Español de Especies Amenazadas*. Recuperado de <https://www.boe.es/buscar/pdf/2011/BOE-A-2011-3582-consolidado.pdf>

Climate-data.org. (2015). *Clima Villanúa*. Recuperado de <https://es.climate-data.org/europe/espana/aragon/villanua-359235/>

Cornellini, P. (2001). *Restauración mediante estaquillado de un tramo del Río Inferno (Roma, Lazio)* [Figura].

Cornellini, P., Federico, C., y Pirrera, G. (2008). *Arbusti autoctoni mediterranei per l'ingegneria naturalistica*. Sicilia: Azienda Regionale Foreste Demaniali.

CHEBRO. (2014). *GeoPortal Sitebro*. Recuperado de <http://iber.chebro.es/SitEbro/sitebro.aspx?SNCZI>

Chueca Cía, J., Peña Monné, J. L., Lampre Vitaller, F., García Ruiz, J.M. y Martí Bono, C. (1998). *Los glaciares del Pirineo aragonés: estudio de su evolución y extensión actual*. Zaragoza: Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio, Universidad de Zaragoza.

Dirección General de Carreteras. (1998). *Recomendaciones para el diseño y construcción de muros de escollera en obras de carreteras*. Madrid: Centro de Publicaciones, Secretaría General Técnica y Ministerio de Fomento.

Dolset Guerrero, S., & Ballarín Ferrer, D. (2016). *Propuesta de medidas de prevención de riesgos de inundación para las localidades del valle del río Aragón, Huesca*. Universidad de Zaragoza.

EFIB (2015). *Directrices Europeas de Bioingeniería del Paisaje*. Federación Europea de Ingeniería del Paisaje.

Escudero Nogué, O., & Franchès, M. J. (2004). *Memoria de síntesis del mapa forestal de Aragón*. Zaragoza: Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón.

Florineth, F. (1995). *Restauración de un talud con peldaños de leña en Bolzano (Italia)* [Figura].

Florineth, F. (1991). *Restauración de un talud con fajinas de drenaje en Boku (Austria)* [Figura].

Gély, P., & France, P. (2008). *Ruta geológica transpirenaica Aspe-Alto Aragón*. Zaragoza: Geo Ambiente.

GeoSlope (2019). GeoStudio (version estudiante, 2018 v9.0.5.) [Software]. Recuperado de: <https://www.geoslope.com/products/geostudio>

GINGER-CEBTP. (2010). *Piedra del Alto Aragón 22373 Fiscal (Huesca) Ensayos sobre piedras naturales*. Recuperado de <https://piedradelaltoaragon.com/wp-content/uploads/2015/07/4.AN%C3%81LISIS-DE-LABORATORIO-1.pdf>

Giuliano, S. (2008). *Estabilización en las obras de la vía férrea mantovana en Trieste (Udine) con entramado doble* [Figura].

Gómez García, D. (2004). Flora y vegetación de La Jacetania. D.G.A. (Eds.), *Comarca de La Jacetania* (pp. 29-40).

Google. (2017). [Localización del talud del mirador, Aratorés en Google Earth Pro]. Recuperado el 22 de abril, 2019.

Google. (2017). [Localización del talud, Aratorés en Google Earth Pro]. Recuperado el 5 de abril, 2019.

Google. (2017). [Ortofoto del 2017, Aratorés en Google Earth Pro]. Recuperado el 15 de abril, 2019.

Hirschtick, J. (2019). SolidWorks (2018 SP5) [Software]. Recuperado de: <https://www.solidworks.com/es>

IDEARAGON. (2019). Instituto Geográfico de Aragón. Obtenido de Infraestructura de Datos Espaciales de Aragón: <https://idearagon.aragon.es/visor/>

IGME. (2009). *MAGNA 50 – Mapa Geológico de España a escala 1:50.000 (2ª Serie)*. Recuperado de <http://info.igme.es/cartografiadigital/geologica/Magna50.aspx>

Instituto Geográfico Nacional. (2011). [Mapa de Aratorés, España en Iberpix 4]. Recuperado el 18 de abril, 2019 de: <https://www.ign.es/iberpix2/visor/>

Instituto Pirenaico de Ecología, CSIC. (2012). Lista de plantas de la utm: 30TYN02. Herbario de Jaca: [floragon](http://floragon.ipe.csic.es/listaplantas.php?utm=30TYN02&precision=utm10). Recuperado de <http://floragon.ipe.csic.es/listaplantas.php?utm=30TYN02&precision=utm10>

Jolube consultor botánico y editor. (2009). Erizón (*Echinopartum horridum*). Jolube. Recuperado de <https://jolube.wordpress.com/2009/07/17/erizon-echinopartum-horridum/>

Lasanta, T., & Vicente-Serrano, S. M. (2007). Cambios en la cubierta vegetal en el Pirineo aragonés en los últimos 50 años. *Pirineos*, 162, 125-154.

López-Moreno, J. I., Beguería, S., & García-Ruiz, J. M. (2000). El régimen del embalse de Yesa (cuenca alta del río Aragón, Pirineo central) y su adaptación a la variabilidad del régimen fluvial. En Universidad de La Rioja, *Cuadernos de Investigación Geográfica* (nº 26) (pp. 131-145).

Lozano Castellón, M., & Sánchez Fabre, M. (2017). *Caracterización del comportamiento hidrológico del río Aragón en su parte alta. Estudio de sus crecidas y su afección en distintos núcleos de población*. Universidad de Zaragoza.

Lunar Hernández, A. (1982). *Avenidas por deshielo en la cuenca alta del río Aragón*.

Maffra, C., Sousa, R., Sutili, F. y Pinheiro, R. (2019). *The effect of roots on the shear strength of texturally distinct soils*. Brasil: Floresta e Ambiente.

Mata Perelló, J. M., & Sanz Balagué, J. (2012). Desde Castiello de Jaca a Villanúa, Canfranc, Astún y Candanchú a través del patrimonio geológico y minero de la comarca de la Jacetania. *Terra endins: revista de geología*, (nº320, noviembre).

Mataix, C. (2007). Técnicas de revegetación de taludes. En Rey Benayas, J. M., Espigares Pinilla, T., y Nicolau Ibarra, J. M. (Eds.), *Restauración de ecosistemas mediterráneos* (pp. 190-213). Alcalá de Henares: Universidad de Alcalá, Servicio de Publicaciones.

Mengazzi, G. y Palmeri, F. (2007). Predimensionamiento y cálculo de estructuras de Bioingeniería [MicrosoftExcel].

Meteorología y climatología de Navarra. (2011). *Clasificación climática de Köppen*. Recuperado de <http://meteo.navarra.es/definiciones/koppen.cfm>

Microsoft Corporation (2019). Microsoft Excel (Excel 2019 (v19.0)) [Software]. Recuperado de: <https://products.office.com/es-es/excel>

Montserrat, P., Montserrat Martí, J. M., & Montserrat-Martí, G. (1984). *Estudio de las comunidades de Echinopartum horridum en el Pirineo español*. Jaca.

Navas Izquierdo, A., Valero-Garcés, B. L., Gaspar Ferrer, L., García-Ruiz, J. M., Beguería, S., Machín Gayarre, J., & López-Vicente, M. (2008). Variabilidad espacial del transporte de sedimento en la cuenca superior del río Aragón. En Universidad de La Rioja, *Cuadernos de Investigación Geográfica* (nº 34) (pp. 39-60).

NTJ (2012). *NTJ 12S PARTE 1: Obras de Bioingeniería del Paisaje: Técnicas de protección superficial del suelo*. Barcelona: Gràfiques Molero.

NTJ (2013). *NTJ 12S PARTE 2: Obras de Bioingeniería del Paisaje: Técnicas de de estabilización de suelos*. Barcelona: Gràfiques Molero.

NTJ (2016). *NTJ 12S PARTE 4: Obras de Bioingeniería del Paisaje: Técnicas de protección superficial del suelo*. Barcelona: Gràfiques Molero.

NTJ (2017). *NTJ 12S PARTE 5: Obras de Bioingeniería del Paisaje: Técnicas de protección superficial del suelo*. Barcelona: Gràfiques Molero.

Núñez, A. (2009). El valle del río Aragón: el origen de un Reino, el paso de un Camino. *Peregrino: Revista Del Camino de Santiago*, (123-124), 21-29.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación. (2017). Textura del suelo. *FAO*. Recuperado de http://www.fao.org/tempref/FI/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s06.htm

Parque Regional del Sureste. (2018). Genista scorpius. Comunidad de Madrid. Recuperado de http://www.comunidad.madrid/sites/default/files/doc/medio-ambiente/18-03_planta_mes_de_marzo.pdf

Pedrocchi Renault, C. (2004). La fauna de La Jacetania. D.G.A. (Eds.), *Comarca de La Jacetania* (pp. 41-50)

Restauración hidrológico forestal con técnicas de Bioingeniería en los Alpes orientales [Figura]. (1920).

Sangalli, P. (2006). Estabilización de ladera con técnicas de Bioingeniería del Paisaje-Berastegi-Gipuzkoa [PowerPoint].

Sangalli, P. (2010). *Restauración del talud de la N1 en Etxegarate con fajinas de drenaje* [Figura].

Sangalli, P. (2012). *Estabilización de un talud sobre el túnel Olandixo (Arrasate) con empalizada viva* [Figura].

Sangalli, P. (2014). *Curso Bioingeniería del Paisaje en ámbito fluvial*.

Sangalli, P. (2015). *Curso de Bioingeniería en la estabilización de laderas I*.

Sangalli, P. y Tardío, G. (2007). Presupuesto [MicrosoftExcel].

Saz Sánchez, M. Á., Peña Monné, J. L., Longares Aladrén, L. A., Luís Arrillaga, M. de, López Martín, F., González-Hidalgo, J. C., y Cuadrat, J. M. (2007). *Atlas climático de Aragón*. Zaragoza: Gobierno de Aragón, Servicio de Información y Educación Ambiental.

Tardío, G. (2015). *Curso de Bioingeniería en la estabilización de laderas II*.

Tena, D. (2009). *5110 Formaciones estables xerotermófilas de Buxus sempervirens en pendientes rocosas (BerBeridion p.p.)*. En: VV.AA., *Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España*. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino. 67 p.

Toa Sampietro, A., Asensio Casas, E., & Sales Clemente, E. (2015). *Determinación de compuestos antioxidantes en poblaciones naturales de gayuba (Arctostaphylos uva-ursi L. Sprengel) de la provincia de Huesca*. Universidad de Zaragoza.

Valle del Aragón. (2 de mayo de 2019). En *Wikipedia, la enciclopedia libre*. Recuperado el 3 de mayo de 2019 de https://es.wikipedia.org/wiki/Valle_del_Aragón

Vidal Bardán, M. (1989). Aspectos geoquímicos y mineralógicos de la alteración de algunos materiales fluvio-glaciares de los ríos Gállego y Aragón. En *Boletín Geológico y Minero*, (6), (pp. 180-185).

Vignote Peña, S. (2014). *Principales maderas de coníferas en España: características, tecnología y aplicaciones*. Universidad Politécnica de Madrid.

Yarham, R. (2011). *Cómo leer paisajes: una guía para interpretar los grandes espacios abiertos*. Madrid: H. Blume.



ANEXOS

Anexo I: Planos

Anexo II: Visualización de los perfiles

Anexo III: Predimensionamiento y cálculo de estructuras de las técnicas mixtas

Anexo IV: Presupuesto

Anexo V: Inventario faunístico de la comarca de La Jacetania

Anexo VI: Declaración responsable para actuaciones menores de conservación en el dominio público hidráulico y en su zona de policía



**Universidad
Zaragoza**

ANEXO I

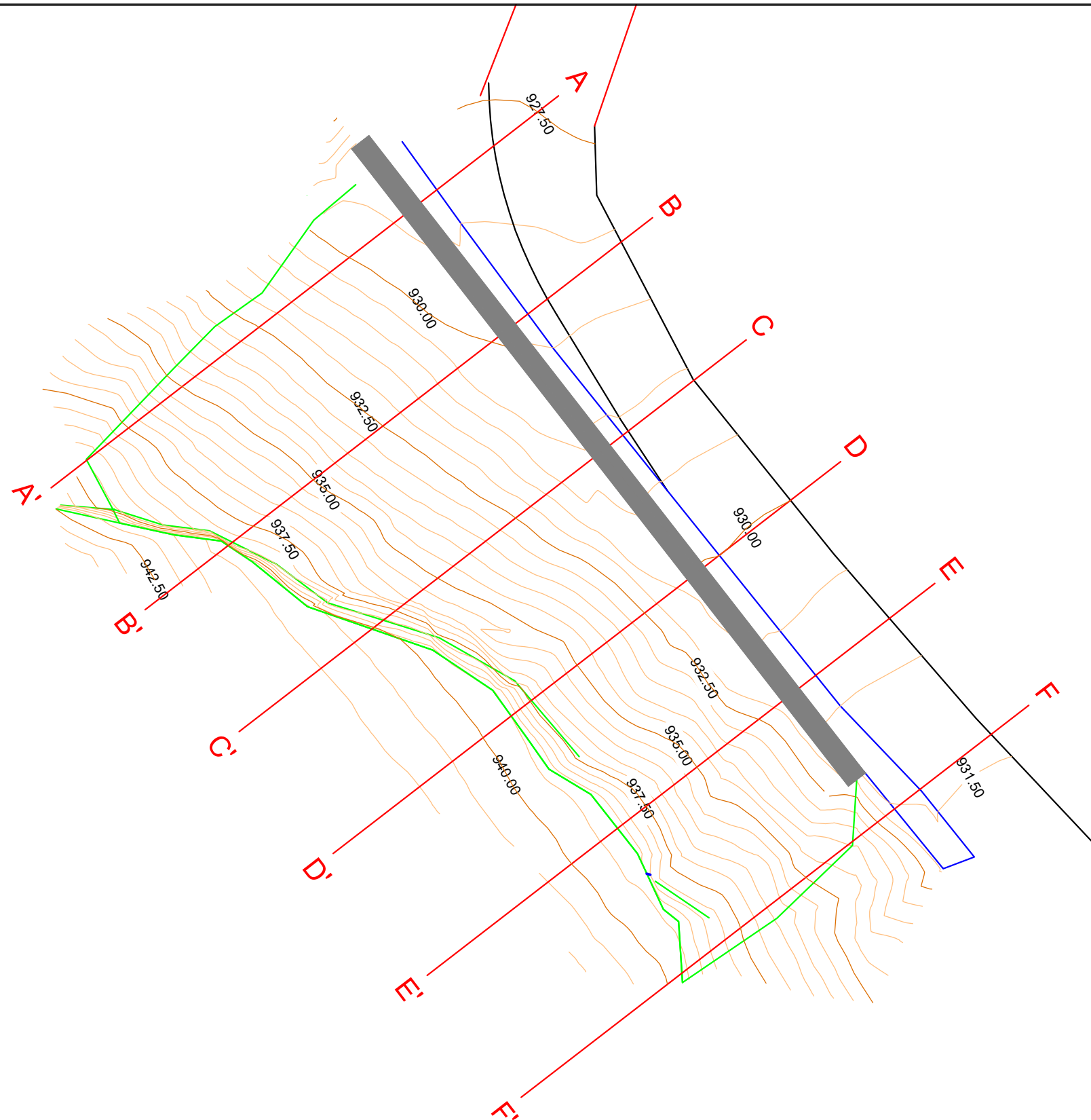
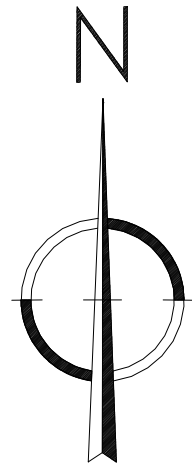
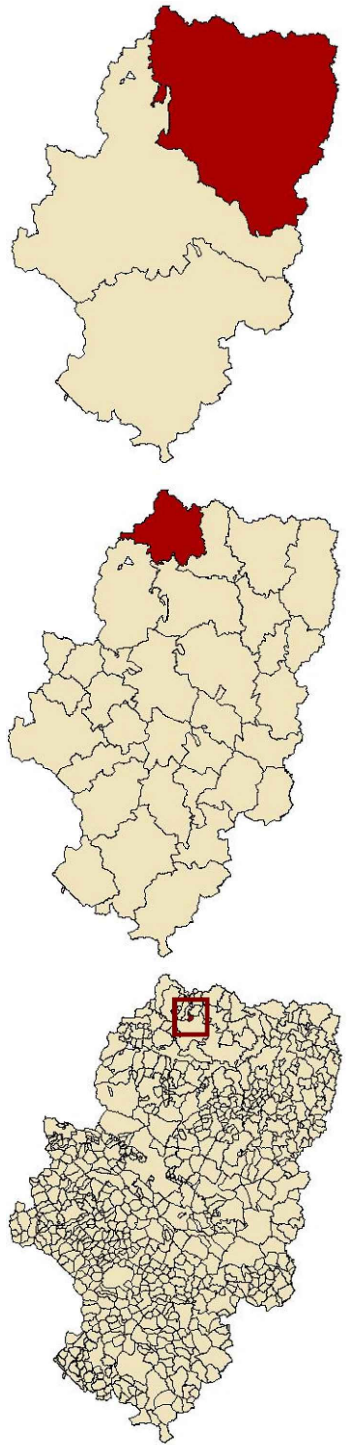
PLANOS

- Plano 1. Planta actual con secciones.
- Plano 2. Planta actual con escorrentías superficiales del talud.
- Plano 3. Planta de Propuesta 1: Realizar tanto la estabilización como la revegetación del talud únicamente con técnicas de bioingeniería.
- Plano 4.1. Propuesta 1: Perfil A-A' (Situación actual y futura).
- Plano 4.2. Propuesta 1: Perfil B-B' (Situación actual y futura).
- Plano 4.3. Propuesta 1: Perfil C-C' (Situación actual y futura).
- Plano 4.4. Propuesta 1: Perfil D-D' (Situación actual y futura).
- Plano 4.5. Propuesta 1: Perfil E-E' (Situación actual y futura).
- Plano 4.6. Propuesta 1: Perfil F-F' (Situación actual y futura).
- Plano 5. Planta de Propuesta 2: Mantener la escollera pero revegetar y para la erosión superficial del talud utilizando técnicas de bioingeniería.
- Plano 6.1. Propuesta 2: Perfil A-A' (Situación actual y futura).
- Plano 6.2. Propuesta 2: Perfil B-B' (Situación actual y futura).
- Plano 6.3. Propuesta 2: Perfil C-C' (Situación actual y futura).
- Plano 6.4. Propuesta 2: Perfil D-D' (Situación actual y futura).
- Plano 6.5. Propuesta 2: Perfil E-E' (Situación actual y futura).
- Plano 6.6. Propuesta 2: Perfil F-F' (Situación actual y futura).
- Plano 7. Detalles constructivos

Autor

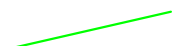
Ander Fernández Prieto

UBICACIÓN GEOGRÁFICA

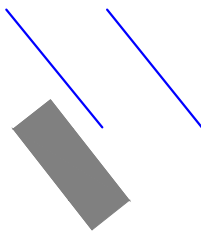


LEYENDA:

Zona a restaurar



Cuneta



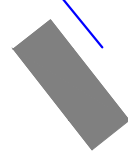
Carretera



Secciones



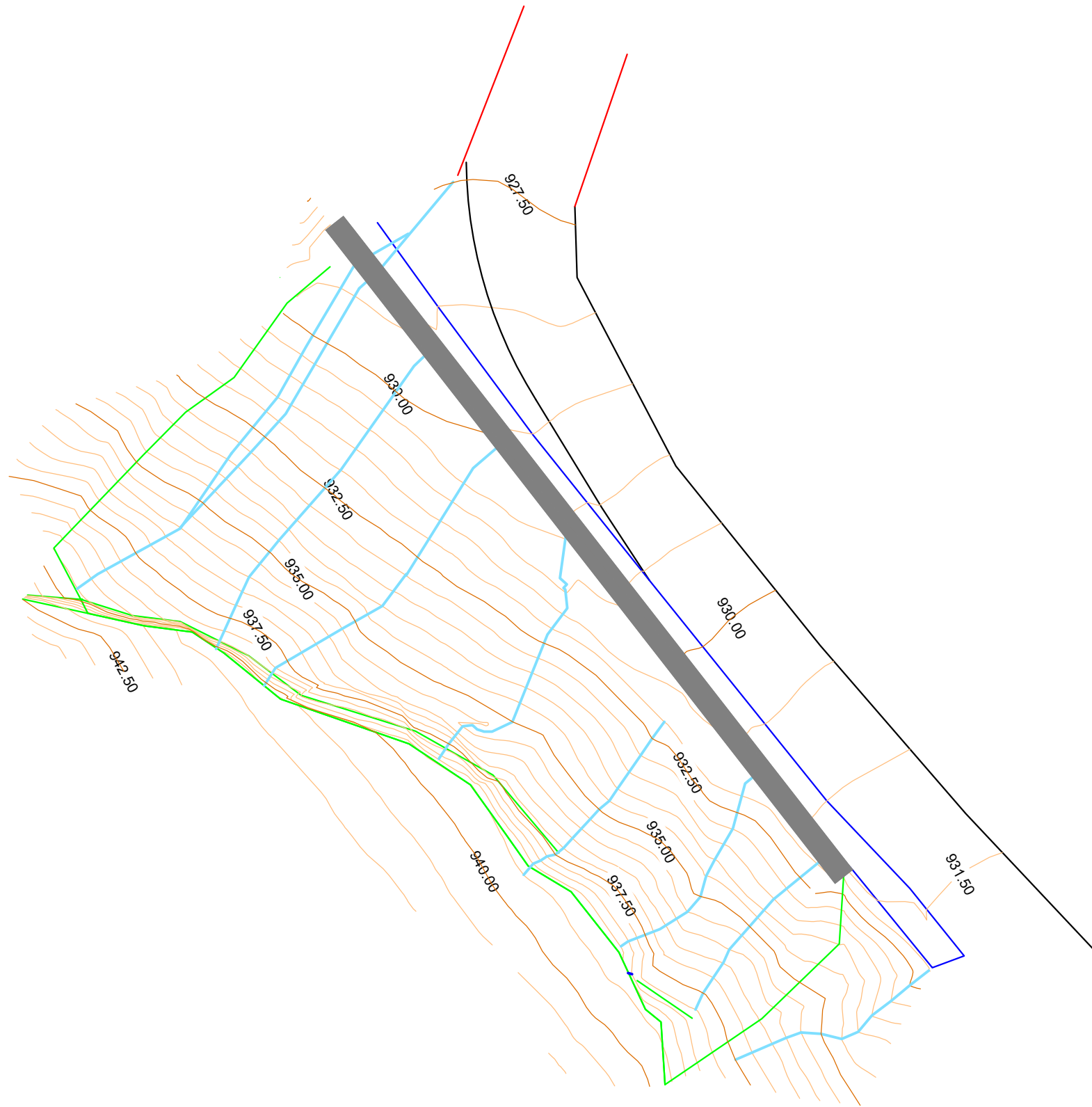
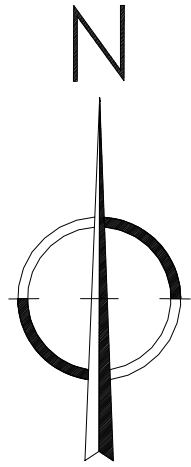
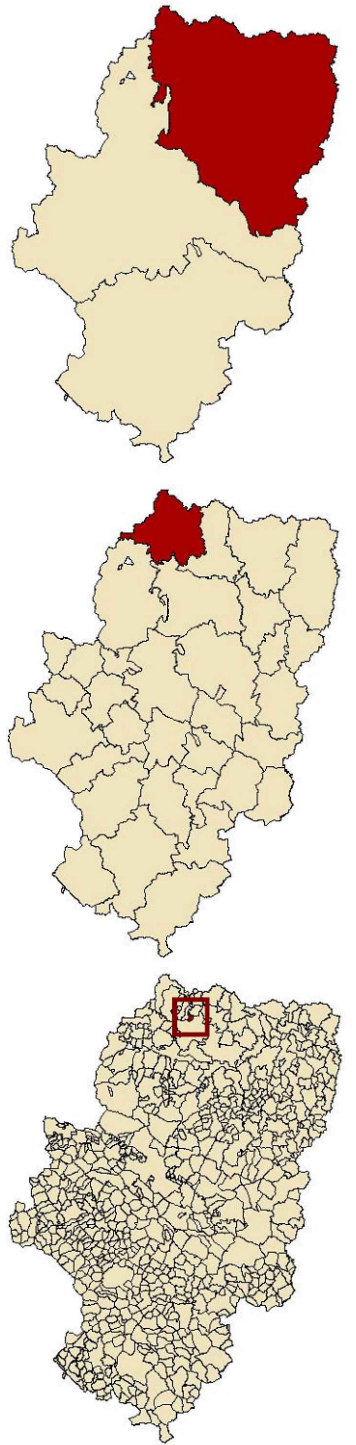
Actual escollera




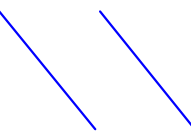


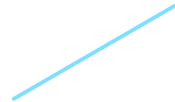

Cotas

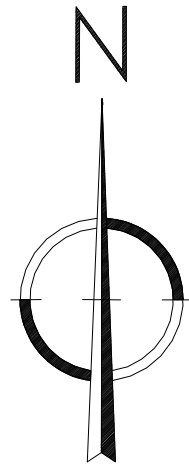


UBICACIÓN GEOGRÁFICA



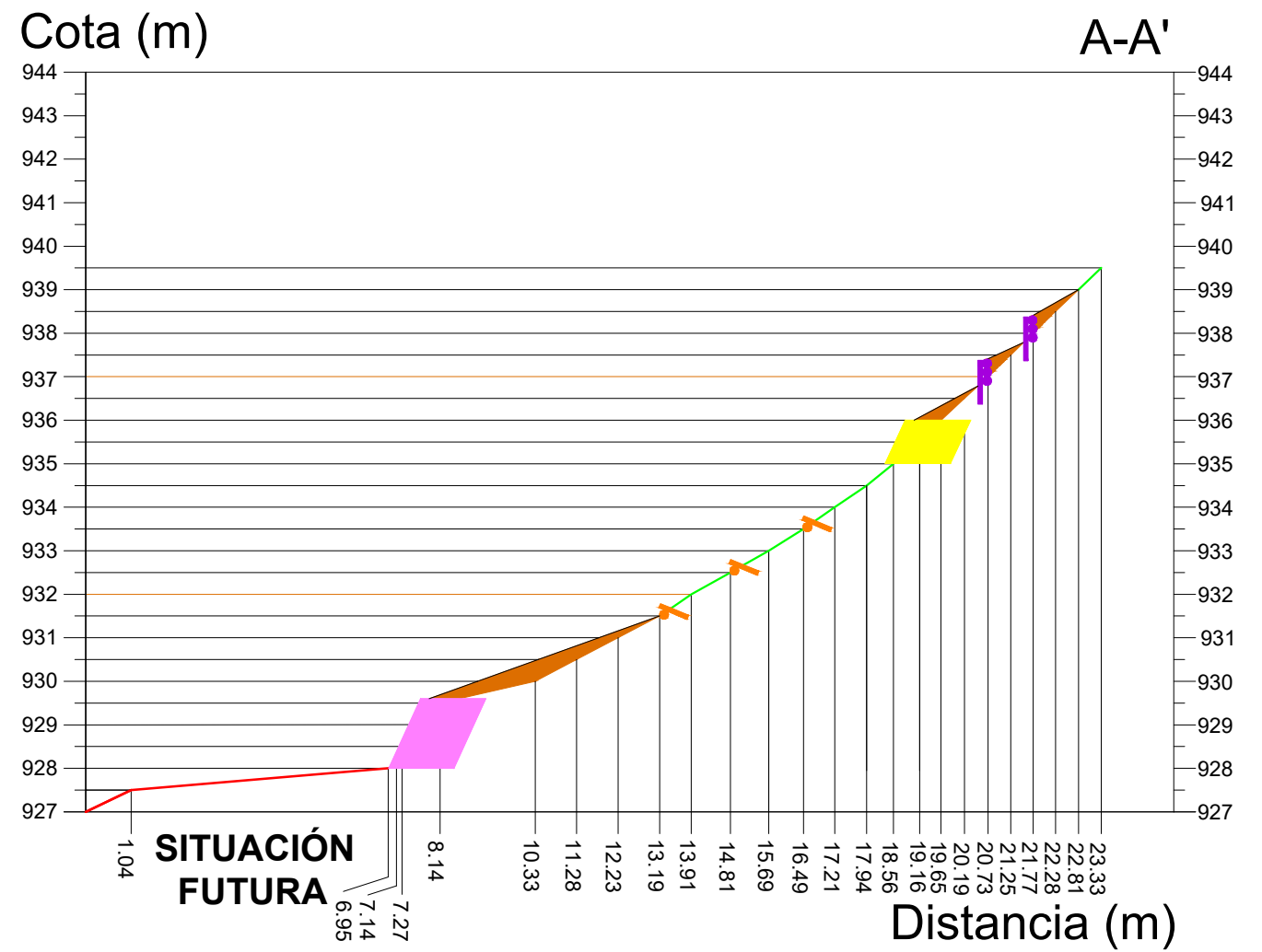
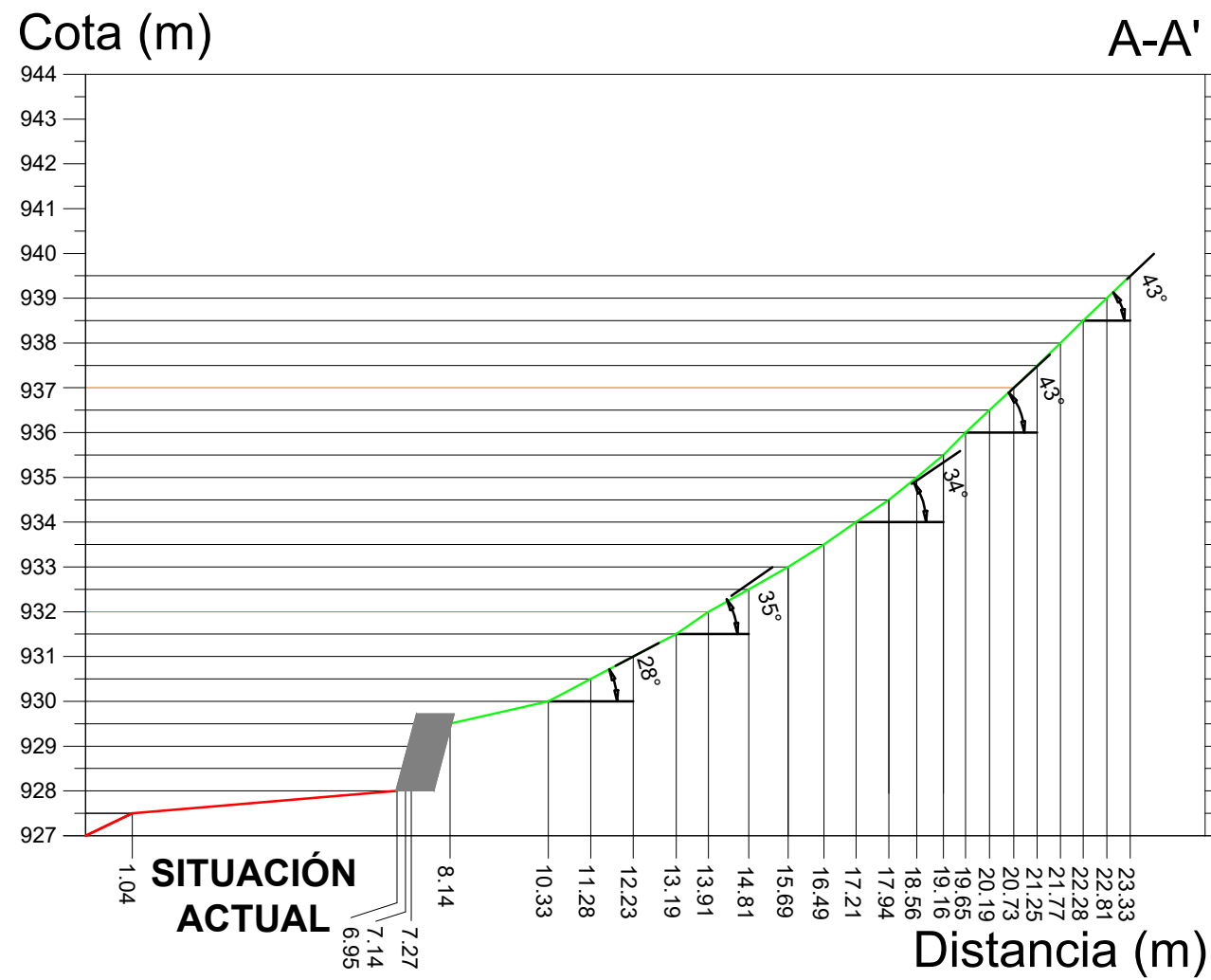
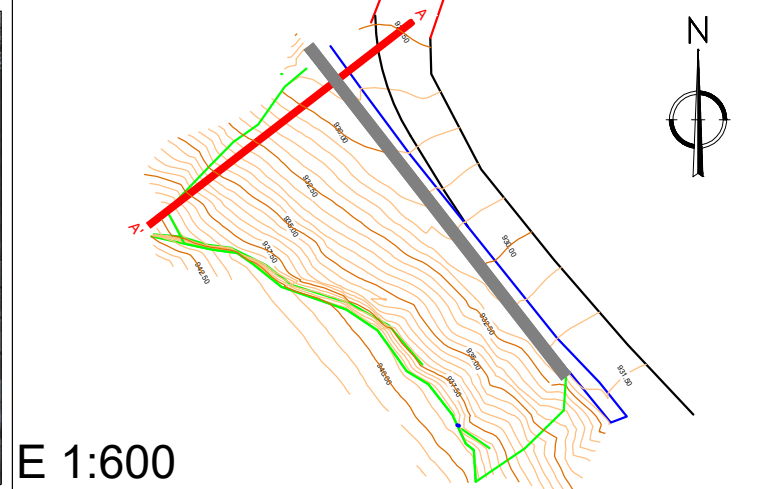
LEYENDA:

Zona a restaurar		Cuneta		Carretera	
Actual escollera		Escorrentía superficial		Cotas	

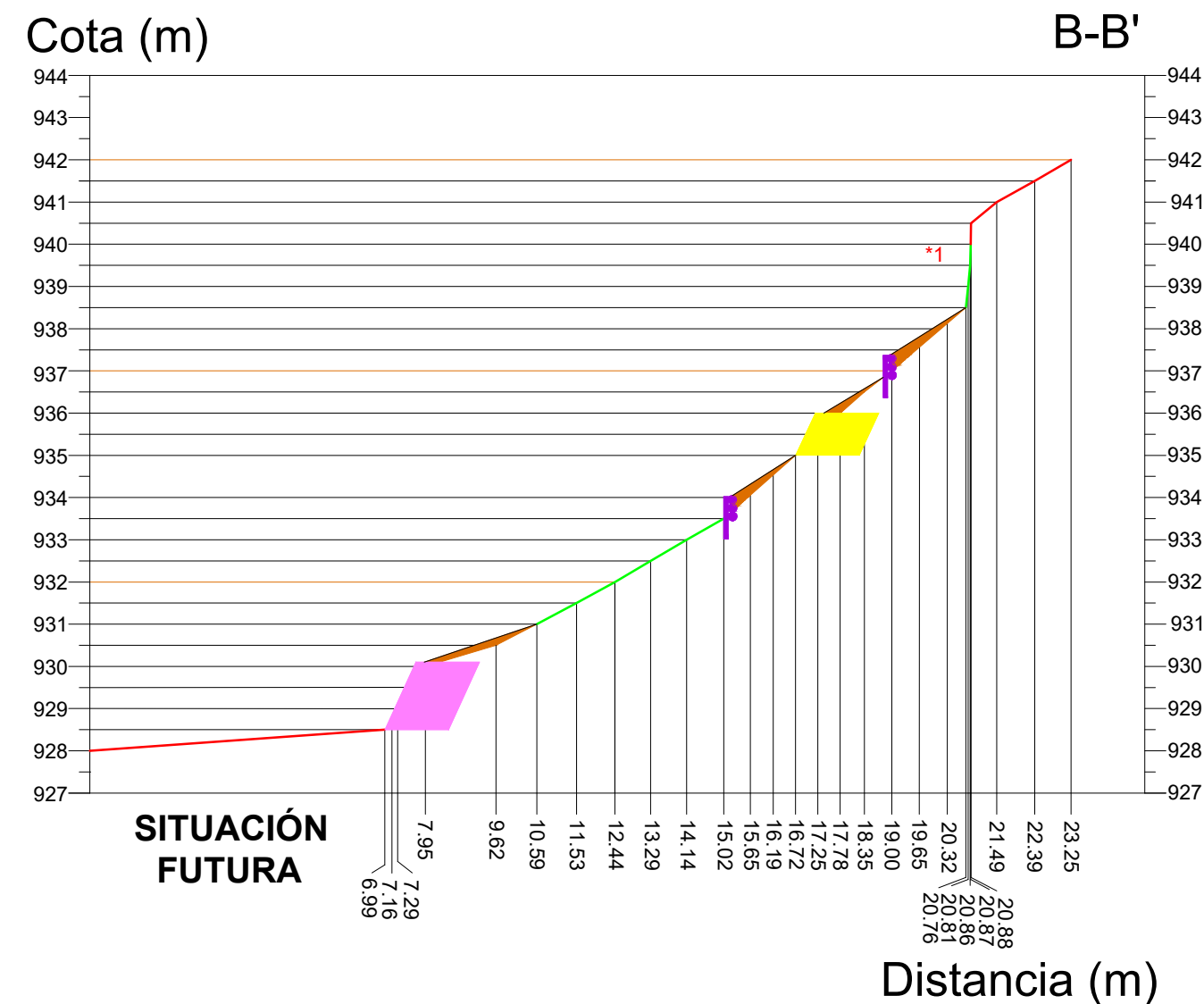
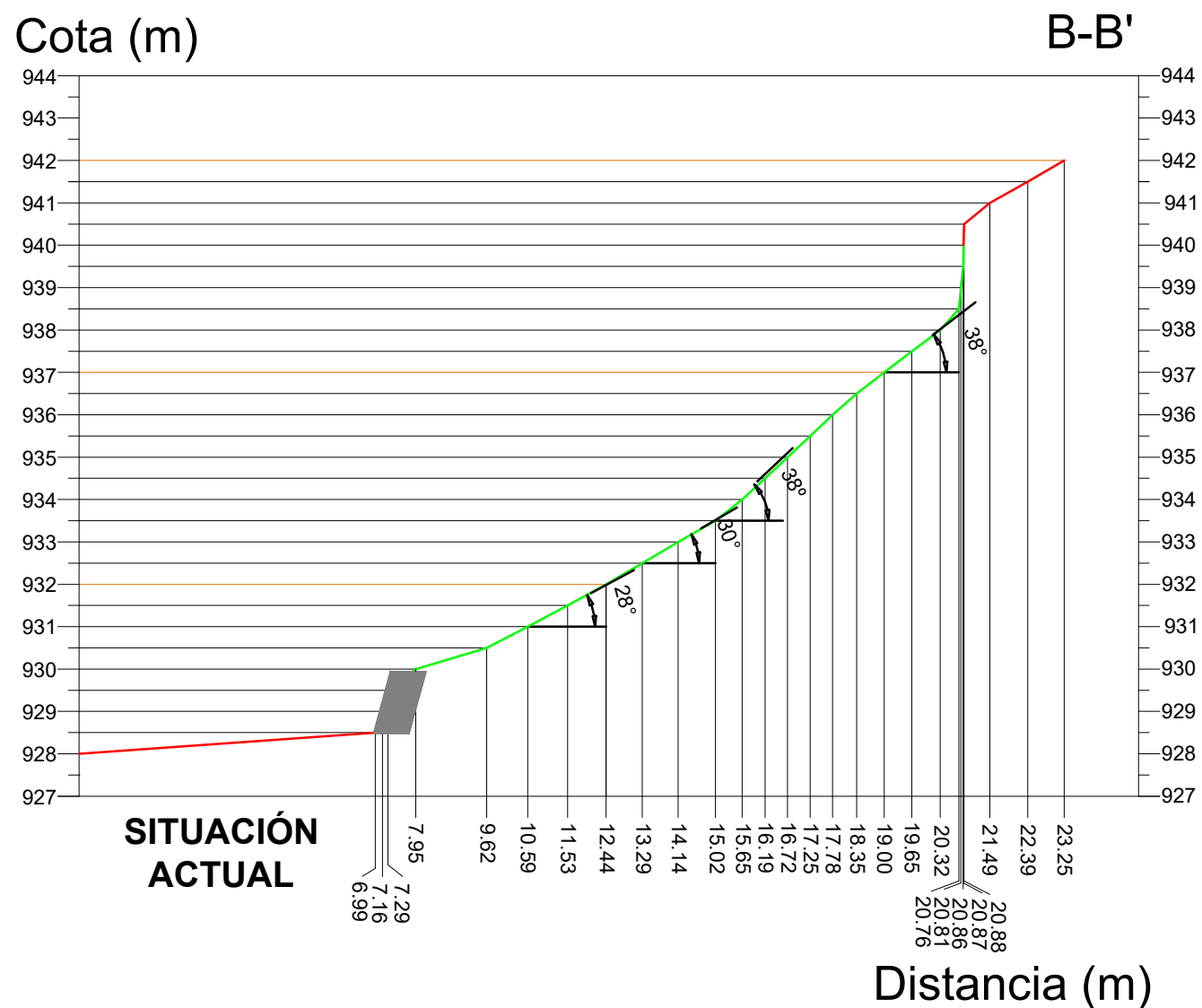
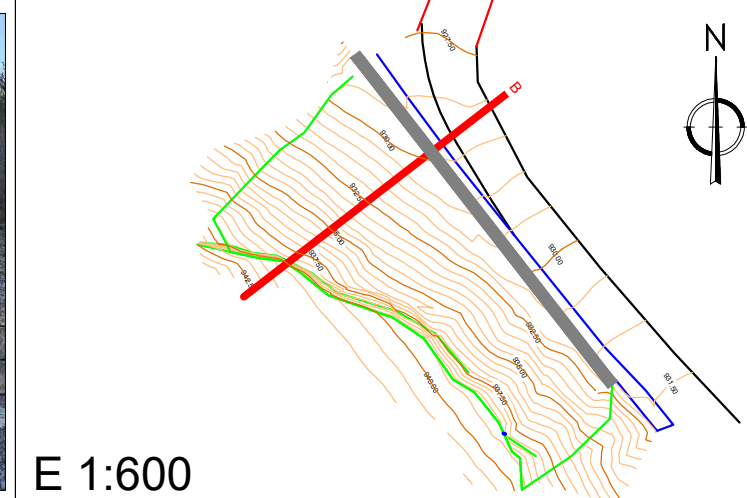
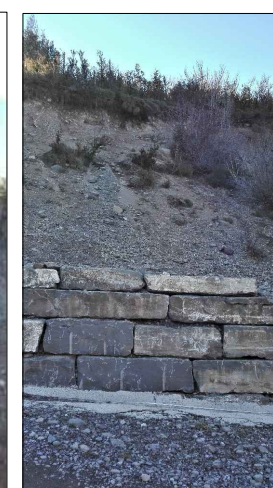


LEYENDA:

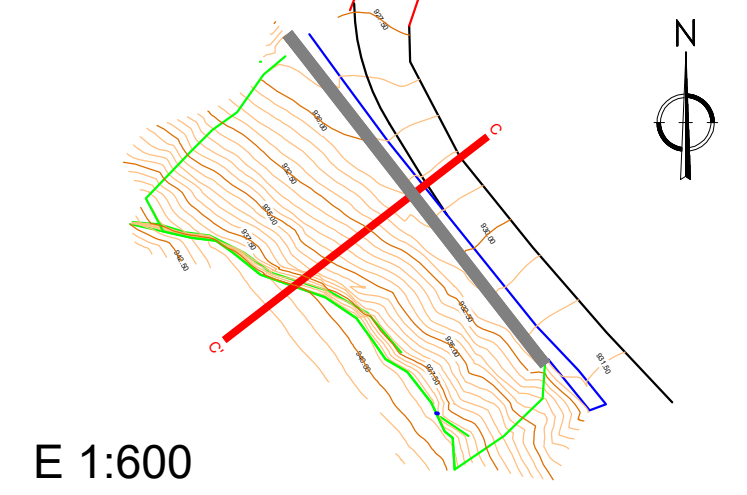
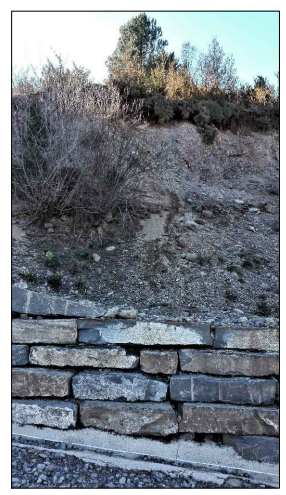
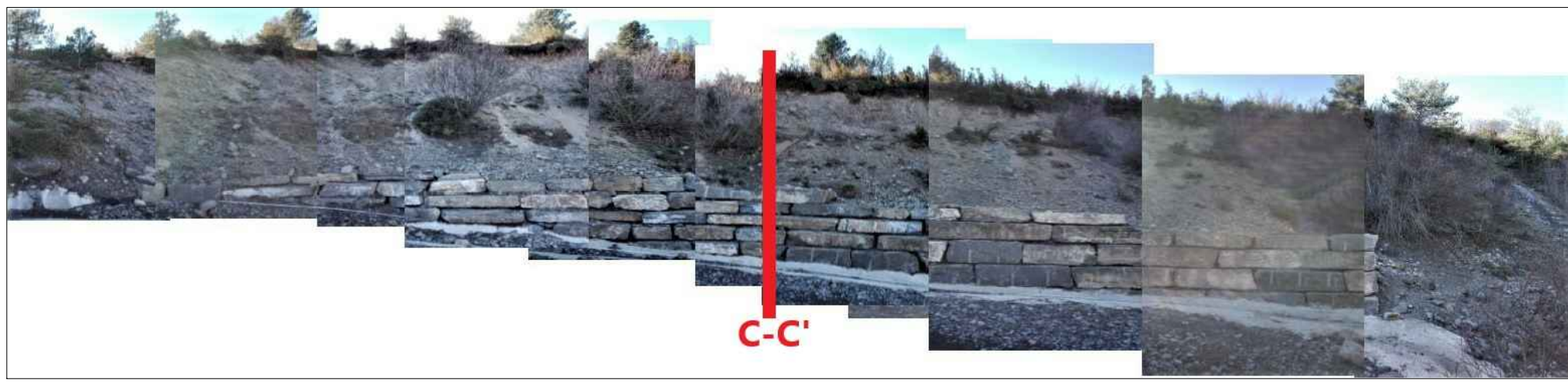
Peldaño de leña		Entramado simple		Fajina de drenaje		Cuneta		Carretera		Zona a restaurar	
Empalizada		Entramado doble		Actual escollera		Escorrentía superficial		Cotas			



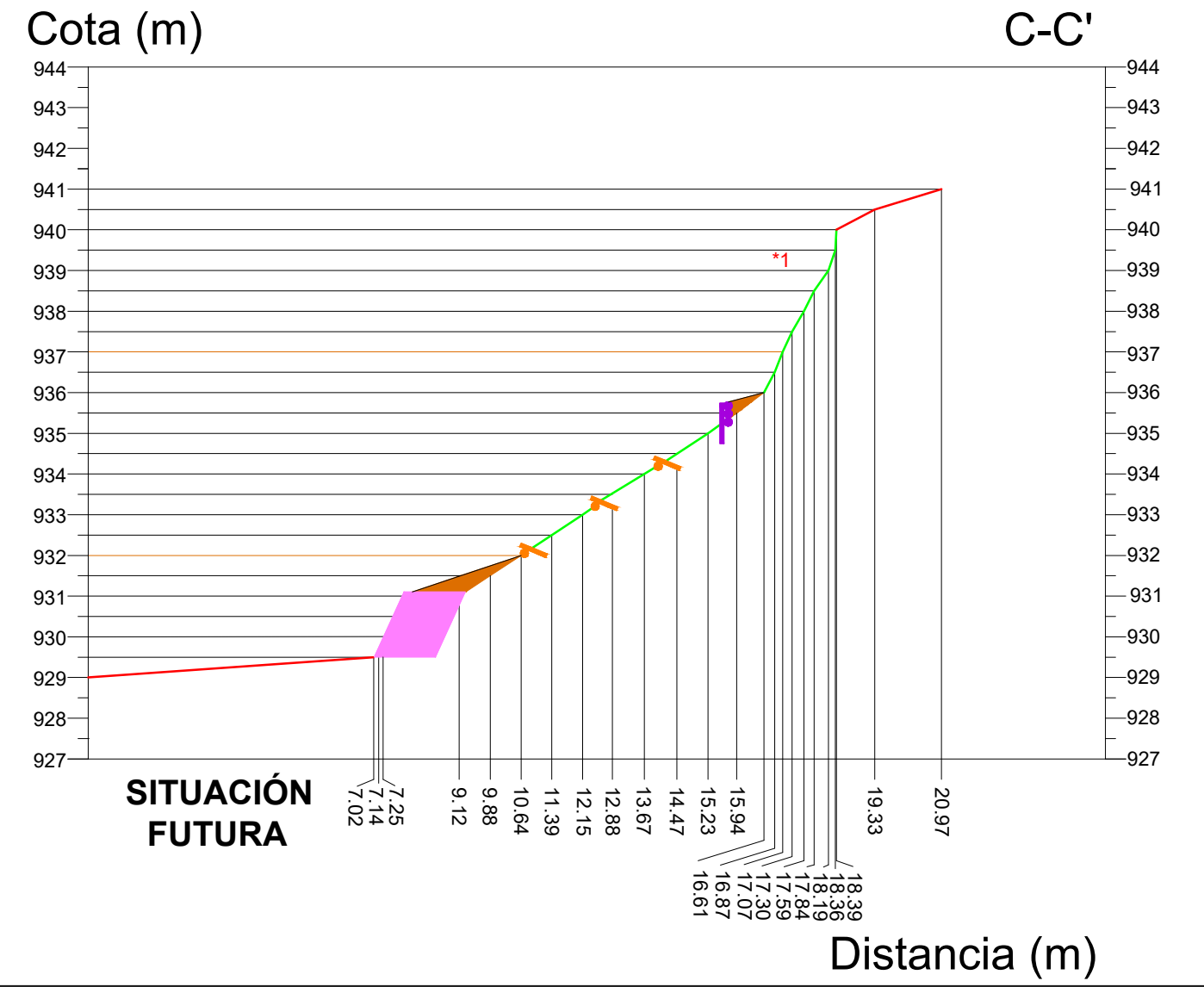
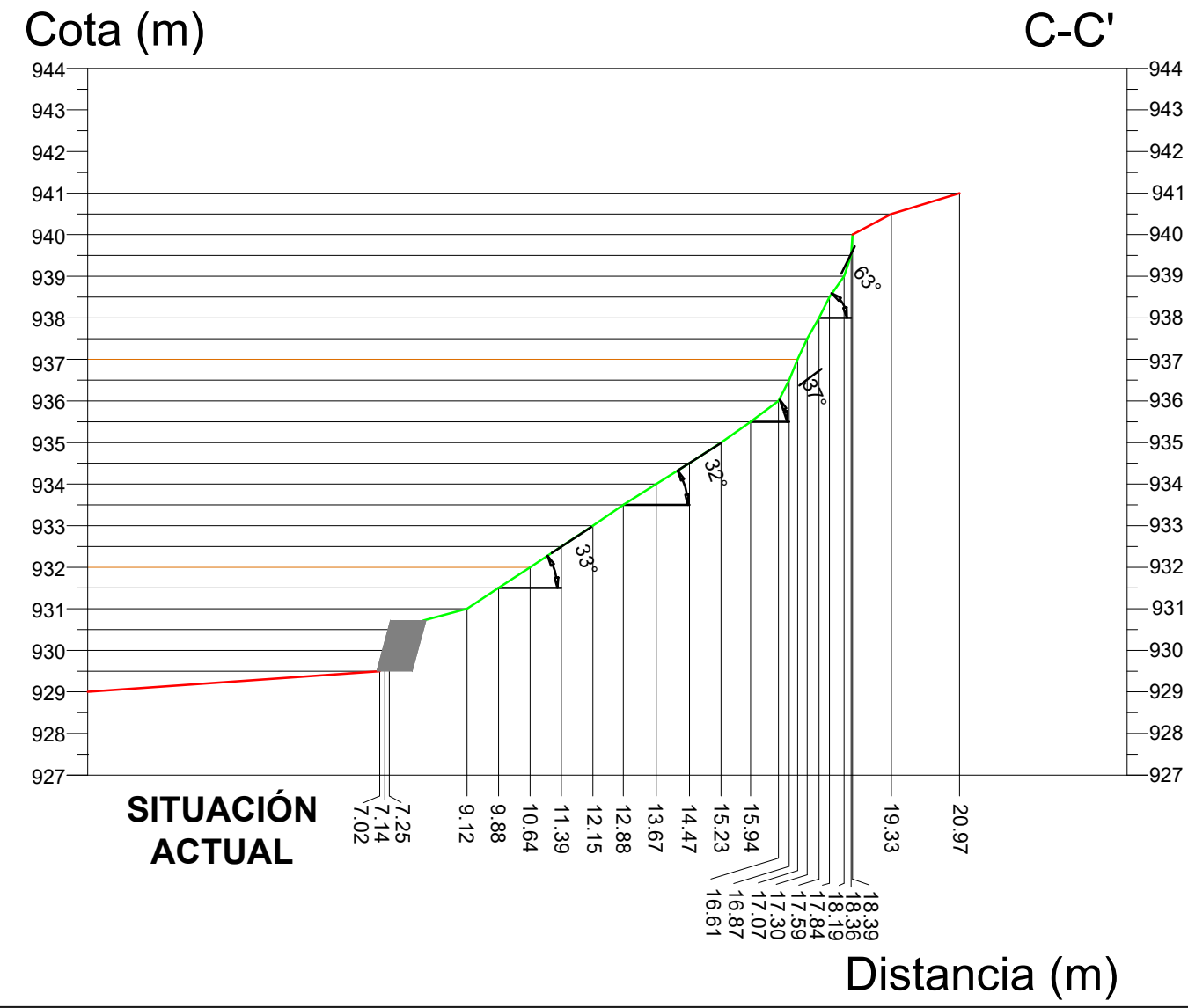
- LEYENDA:
- Peldaño de leña
 - Entramado simple
 - Fajina de drenaje
 - Zona a restaurar
 - Reperfilado de cabecera *1
 - Empalizada
 - Entramado doble
 - Actual escollera
 - Zona ajena a restaurar
 - Relleno



- LEYENDA:
- Peldaño de leña
 - Entramado simple
 - Fajina de drenaje
 - Zona a restaurar
 - Reperfilado de cabecera *1
 - Empalizada
 - Entramado doble
 - Actual escollera
 - Zona ajena a restaurar
 - Relleno

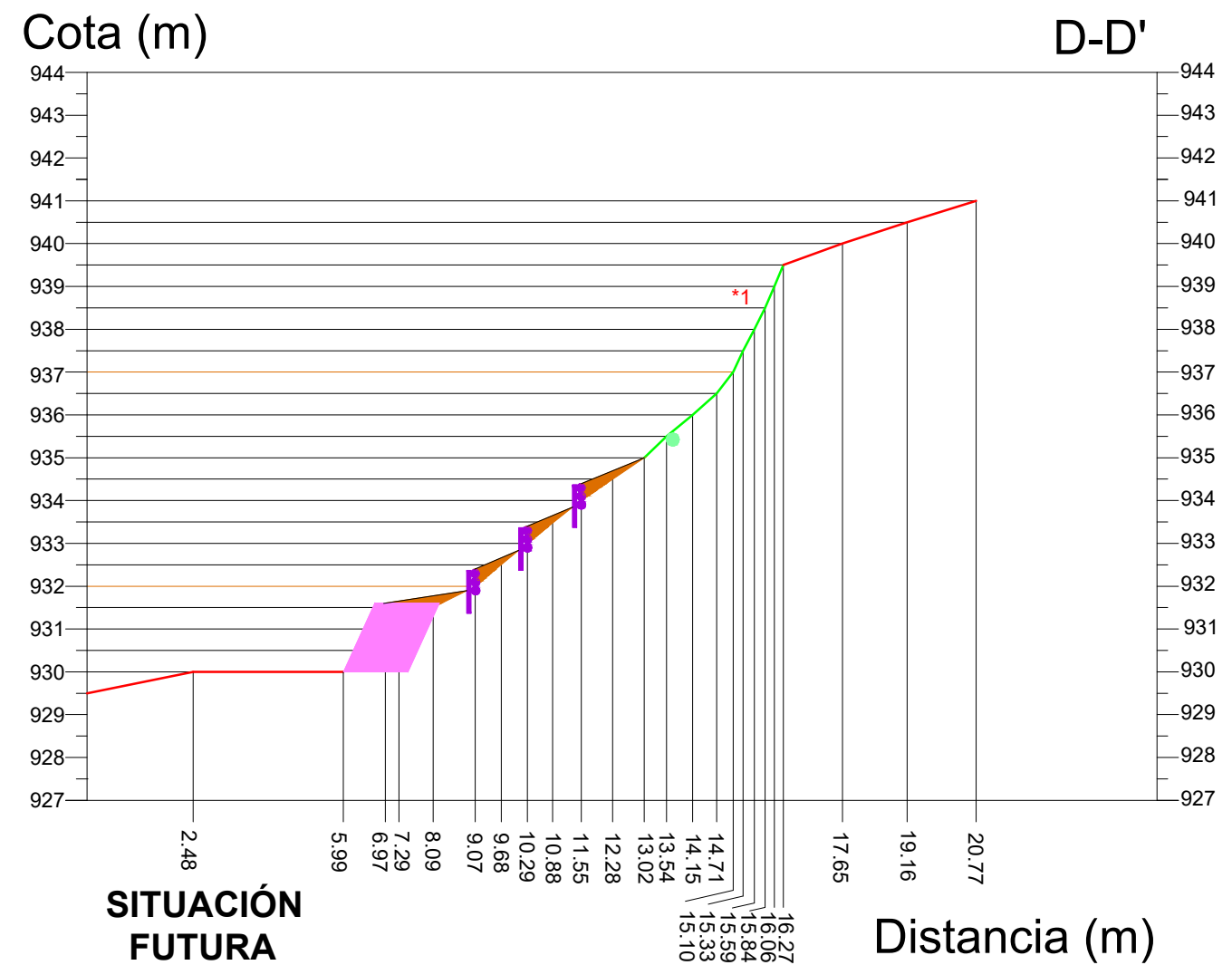
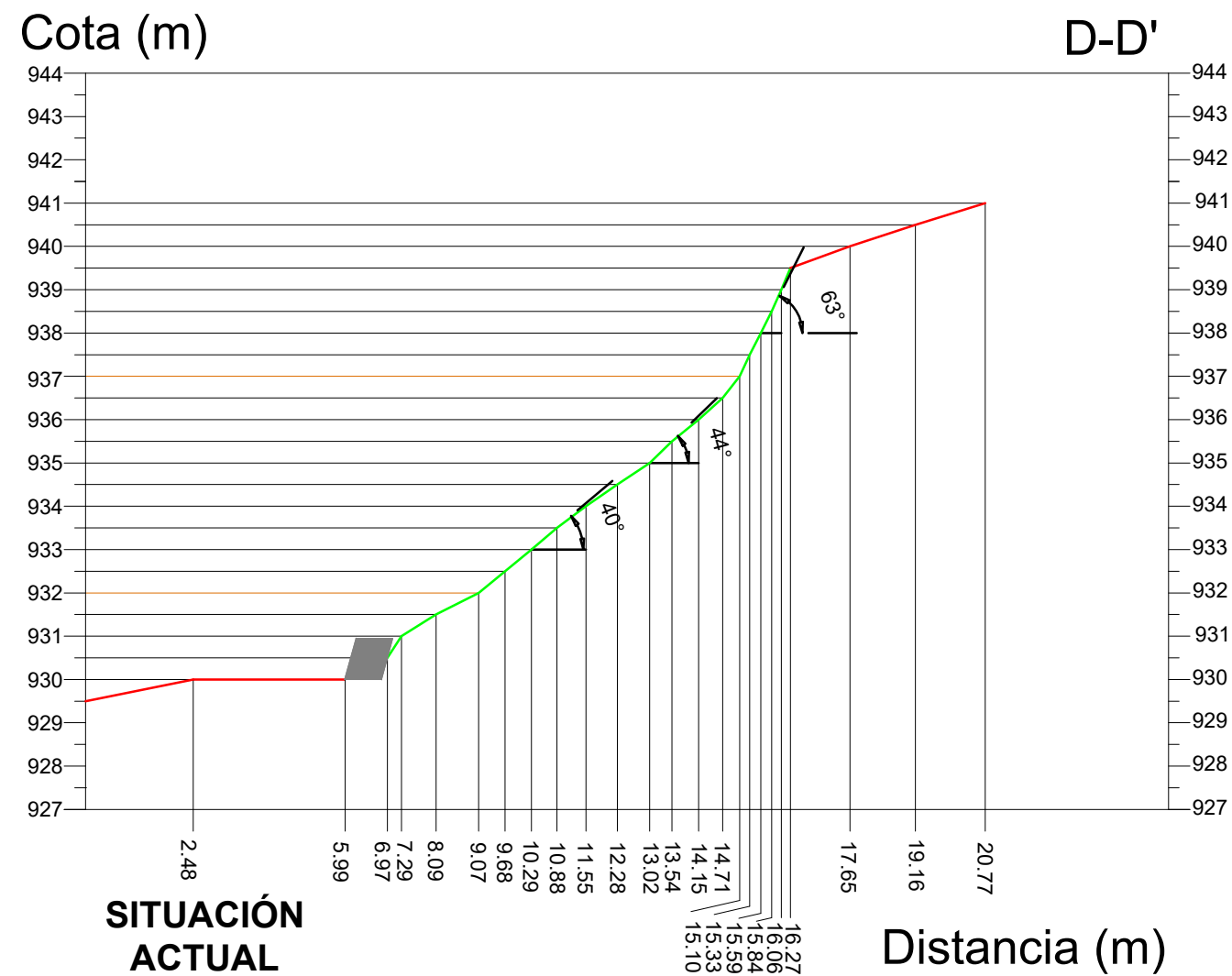
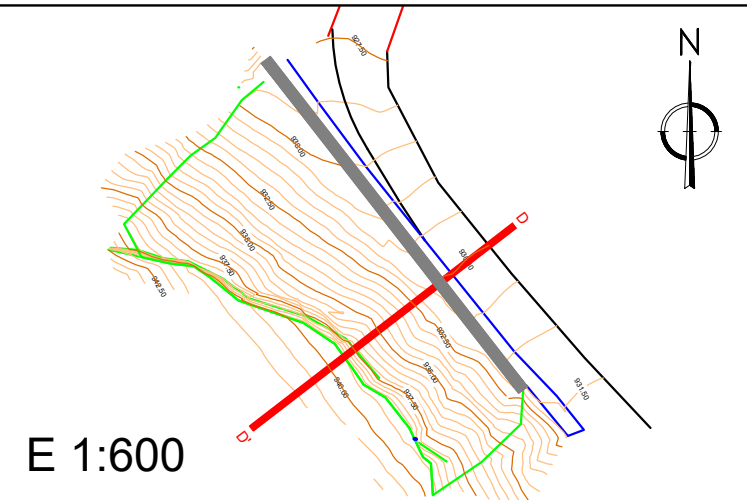


E 1:600

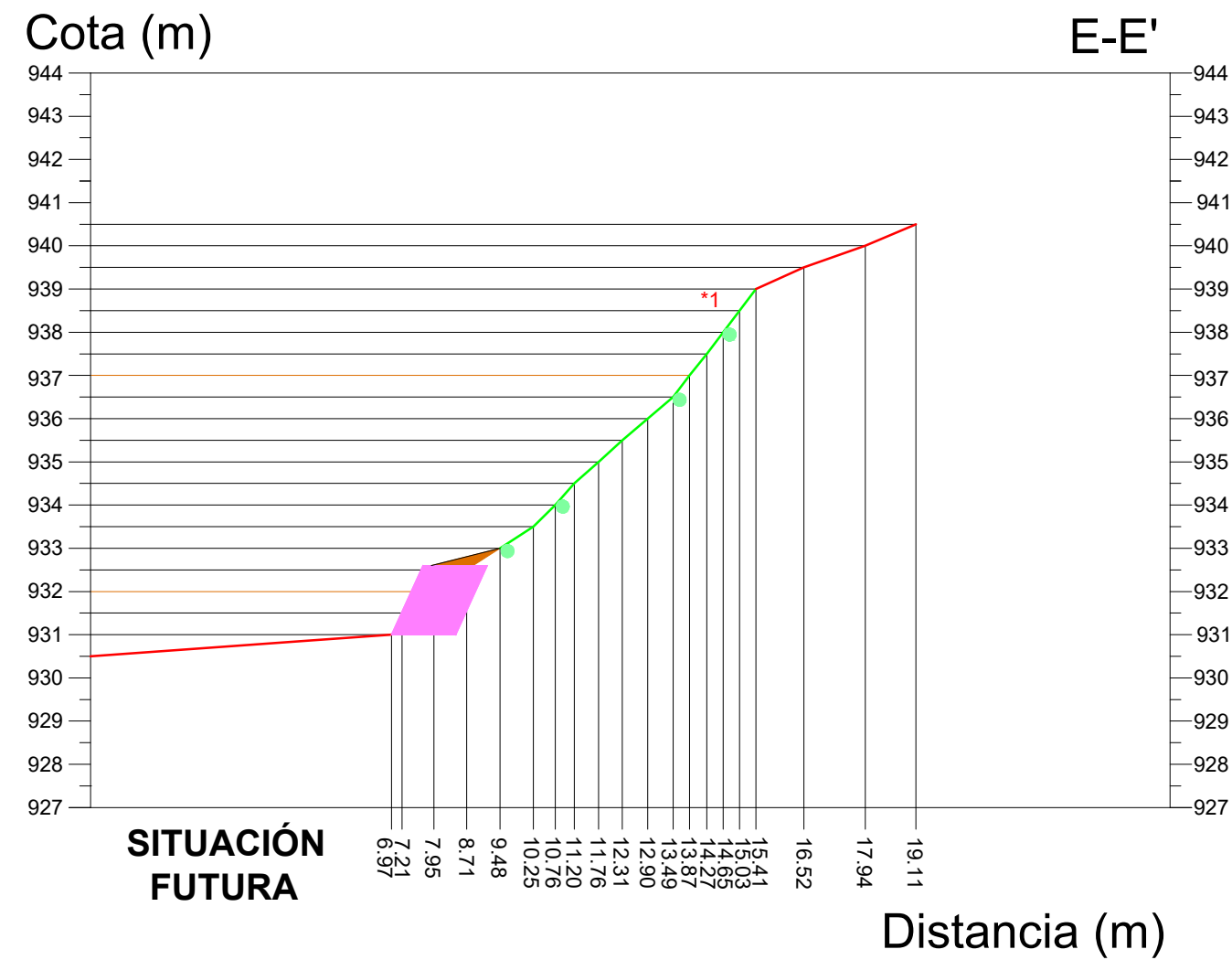
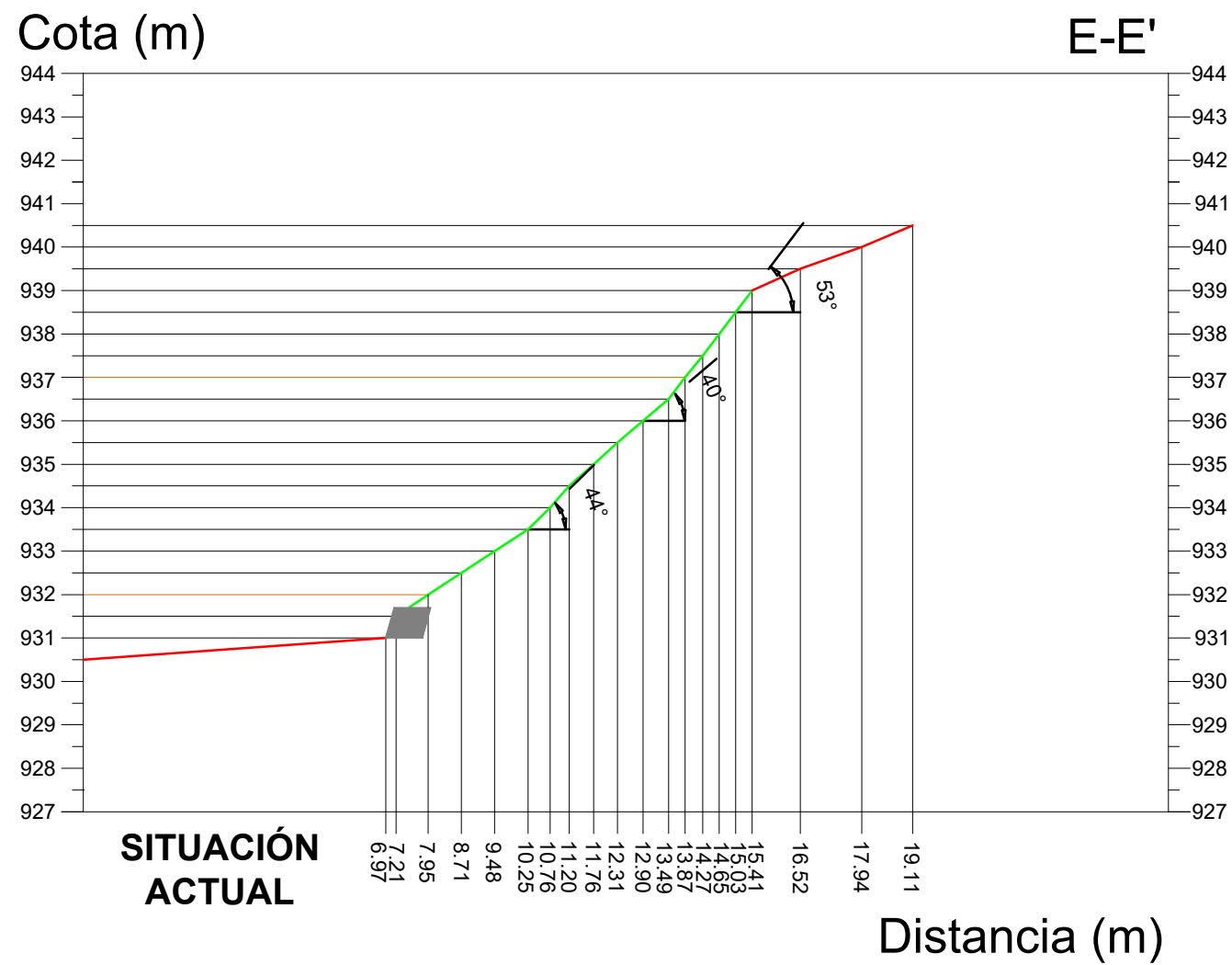
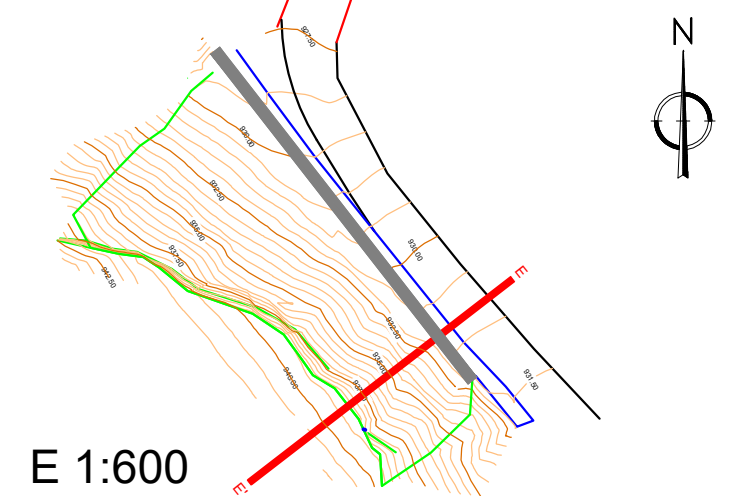
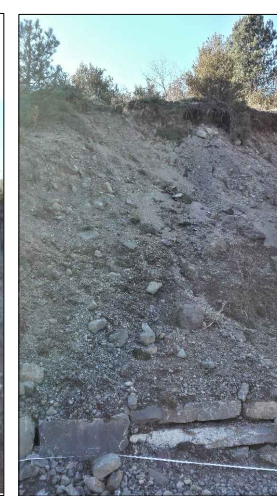


LEYENDA:

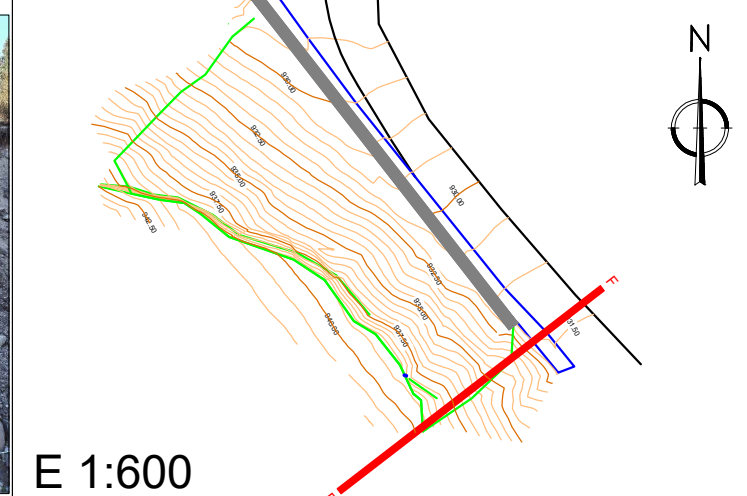
- Peldaño de leña
- Entramado simple
- Fajina de drenaje
- Zona a restaurar
- Reperfilado de cabecera *1
- Empalizada
- Entramado doble
- Actual escollera
- Zona ajena a restaurar
- Relleno



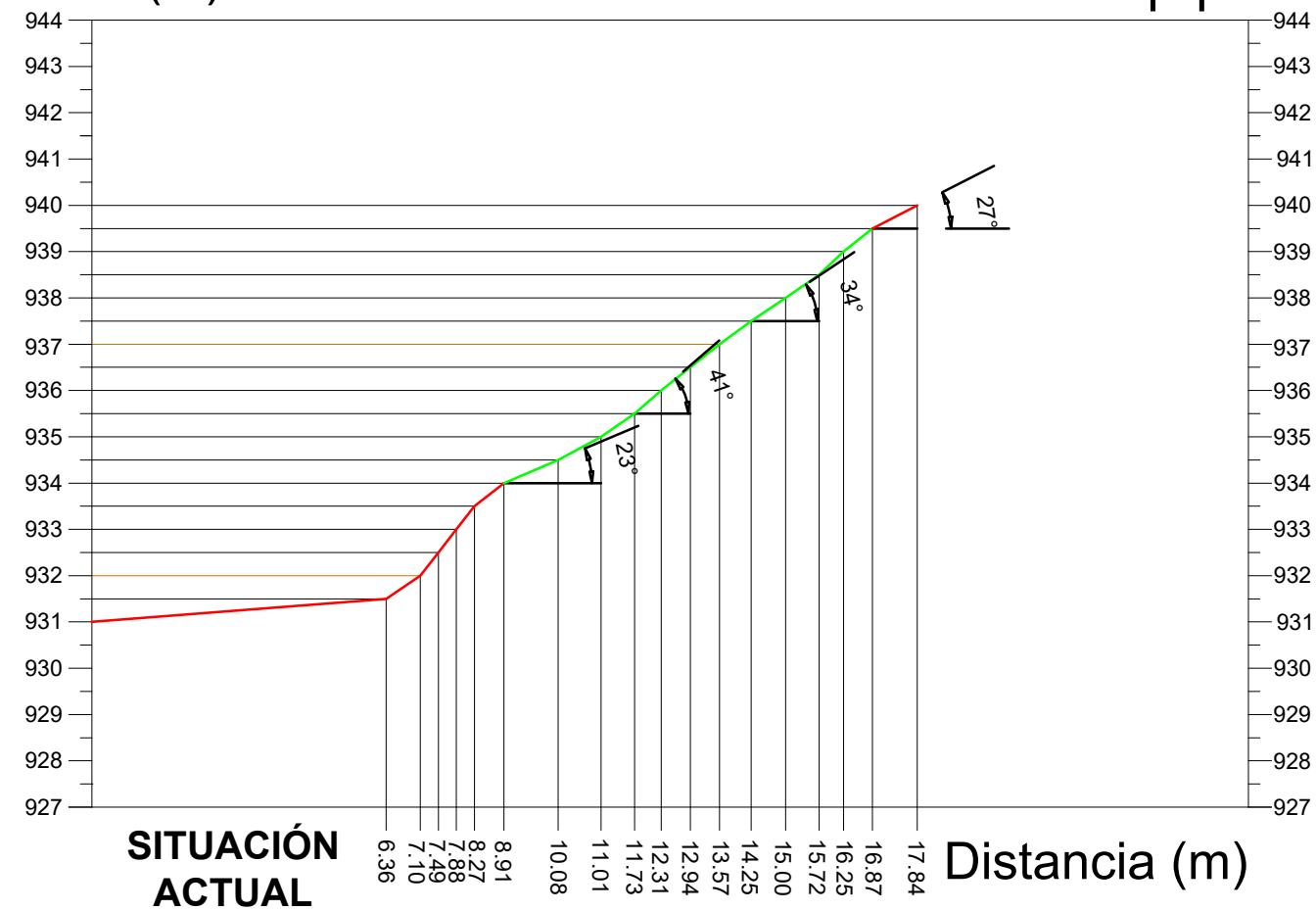
- LEYENDA:**
- Peldaño de leña
 - Entramado simple
 - Fajina de drenaje
 - Zona a restaurar
 - Reperfilado de cabecera
 - Empalizada
 - Entramado doble
 - Actual escollera
 - Zona ajena a restaurar
 - Relleno



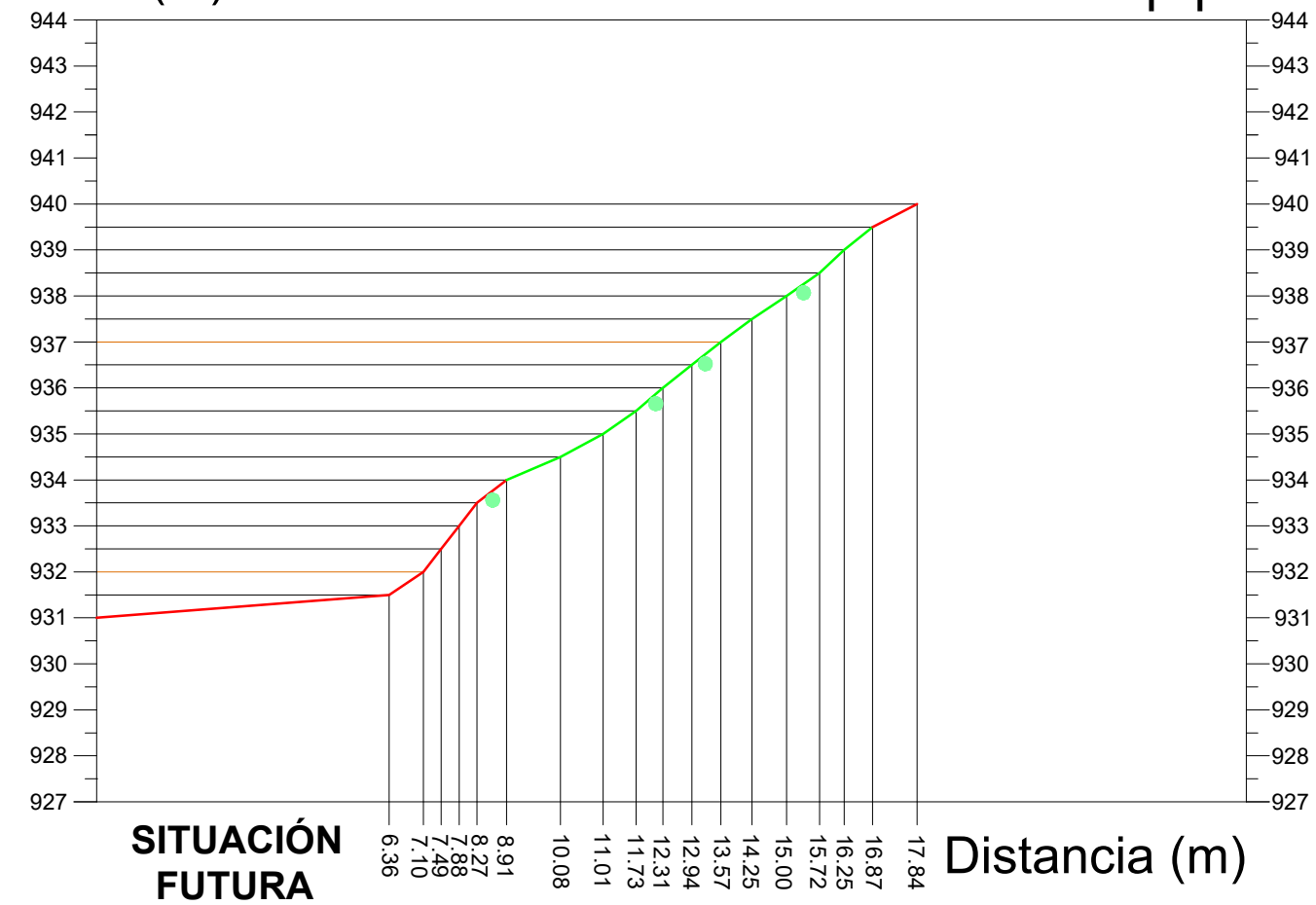
- LEYENDA:**
- Peldaño de leña
 - Entramado simple
 - Fajina de drenaje
 - Zona a restaurar
 - Reperfilado de cabecera *1
 - Empalizada
 - Entramado doble
 - Actual escollera
 - Zona ajena a restaurar
 - Relleno



Cota (m)

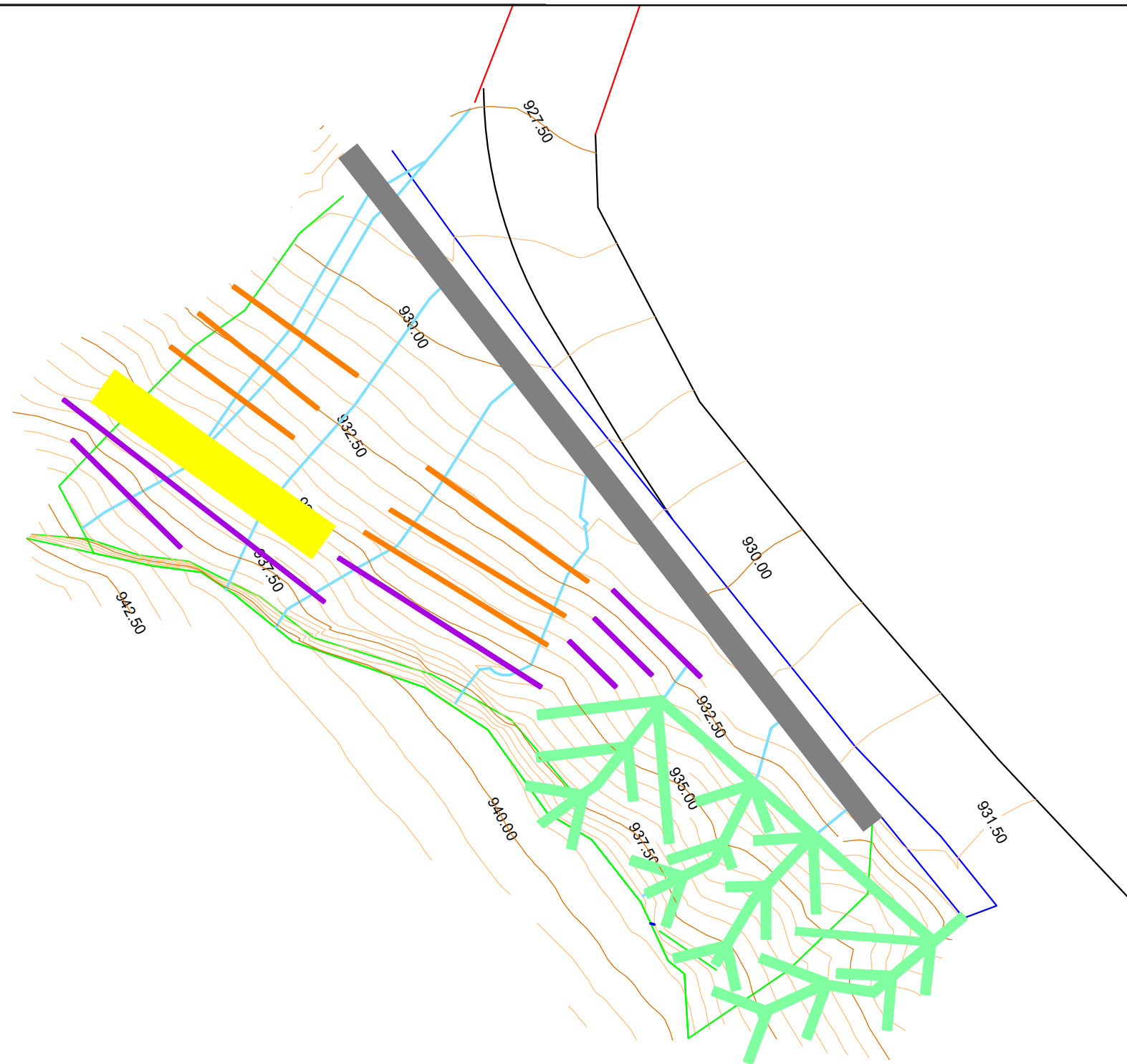
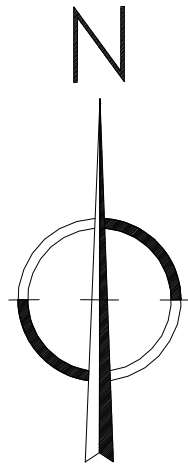


Cota (m)



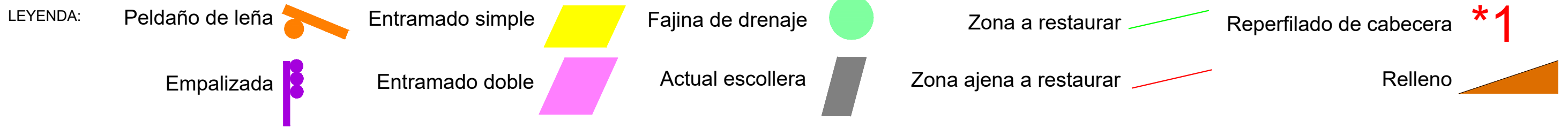
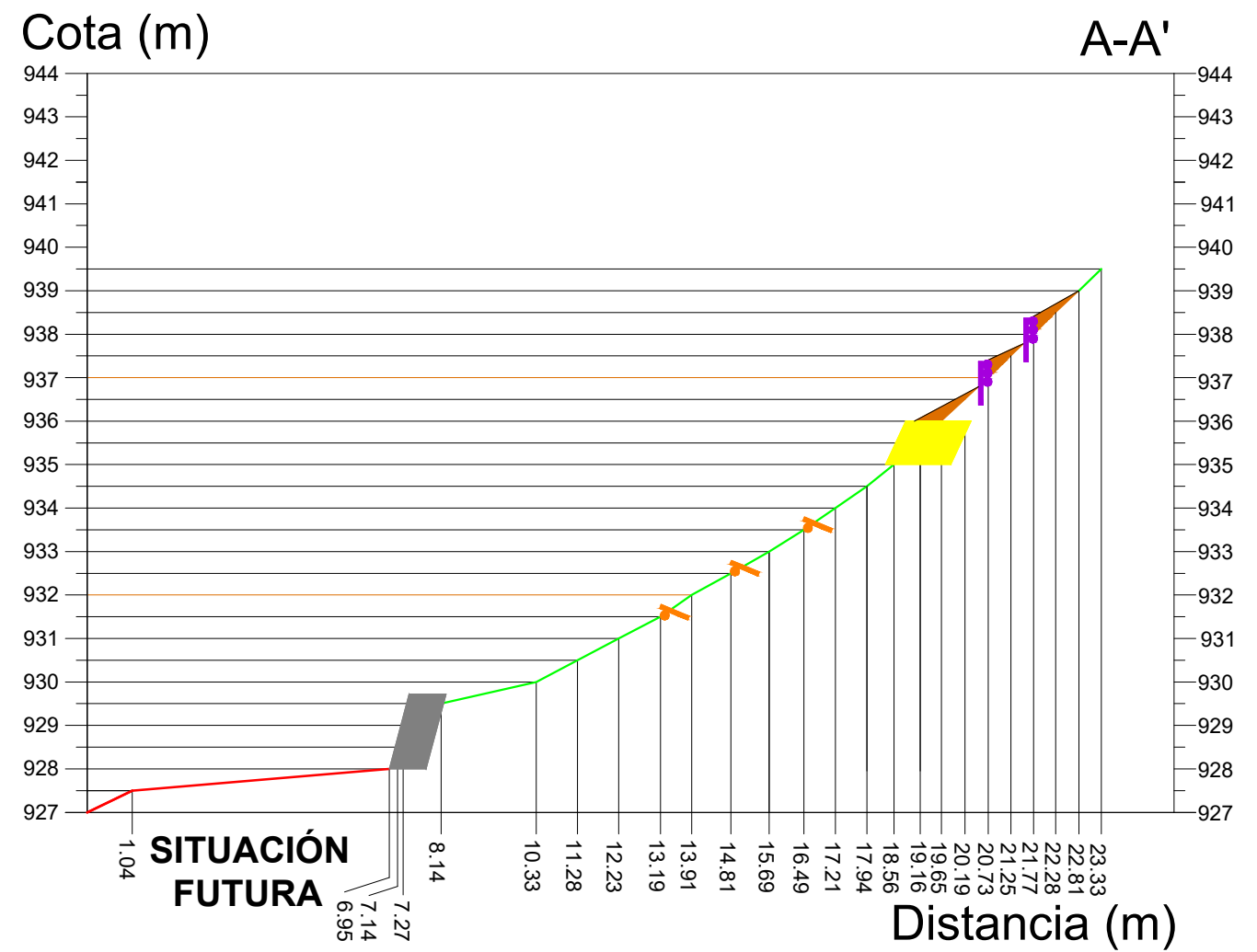
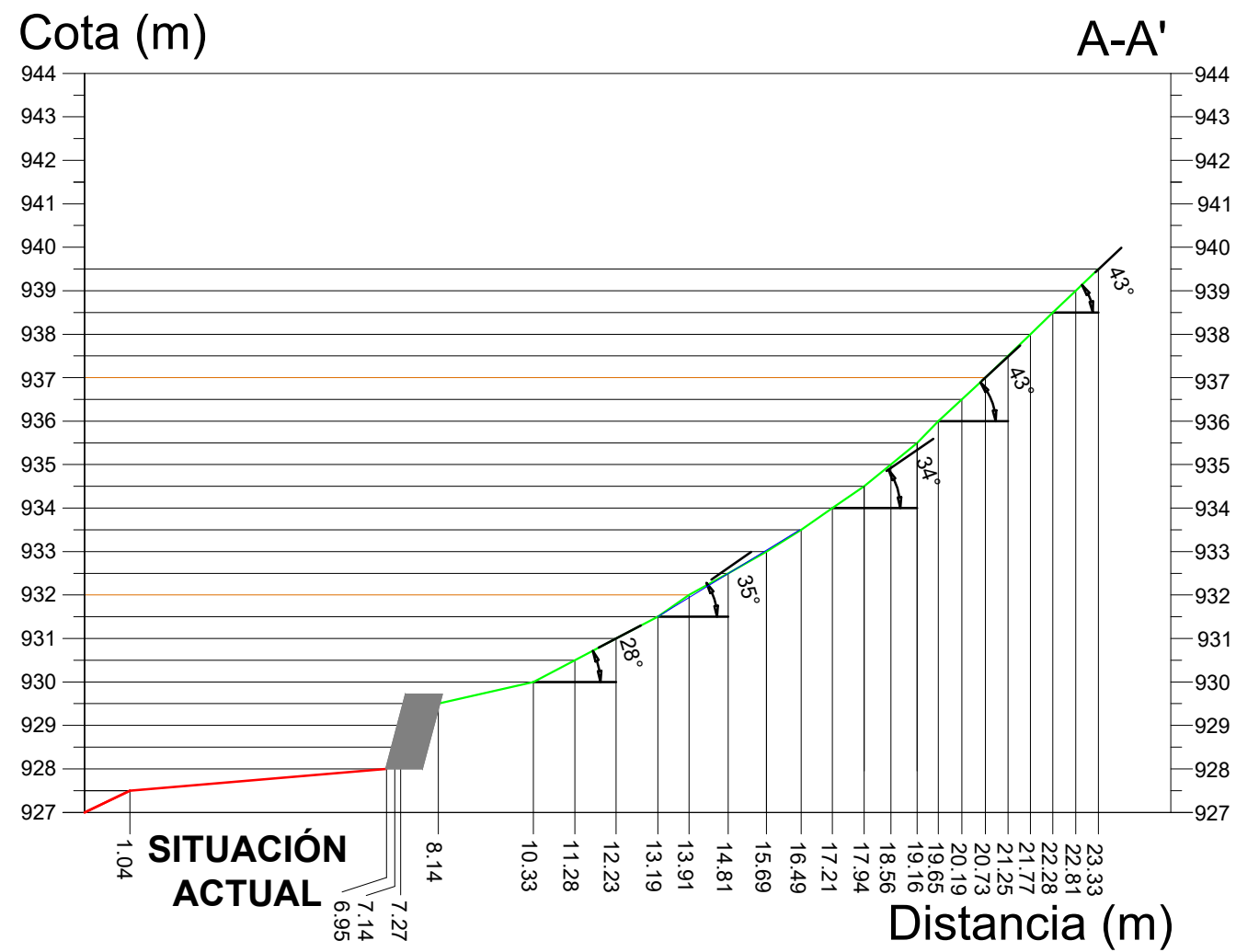
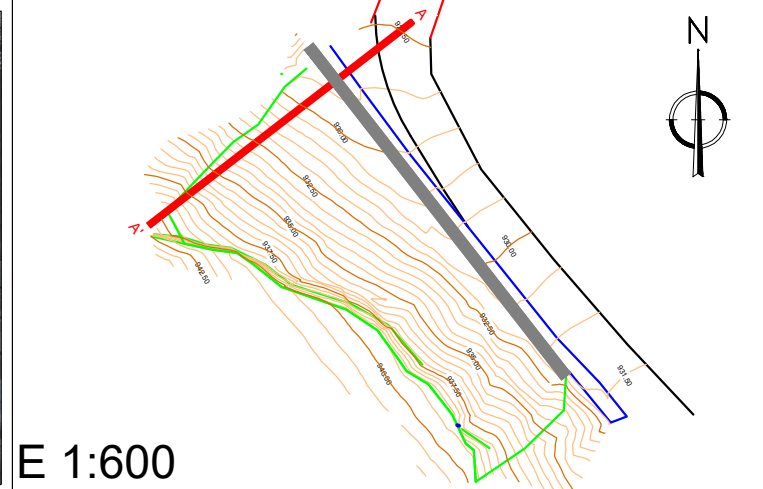
LEYENDA:

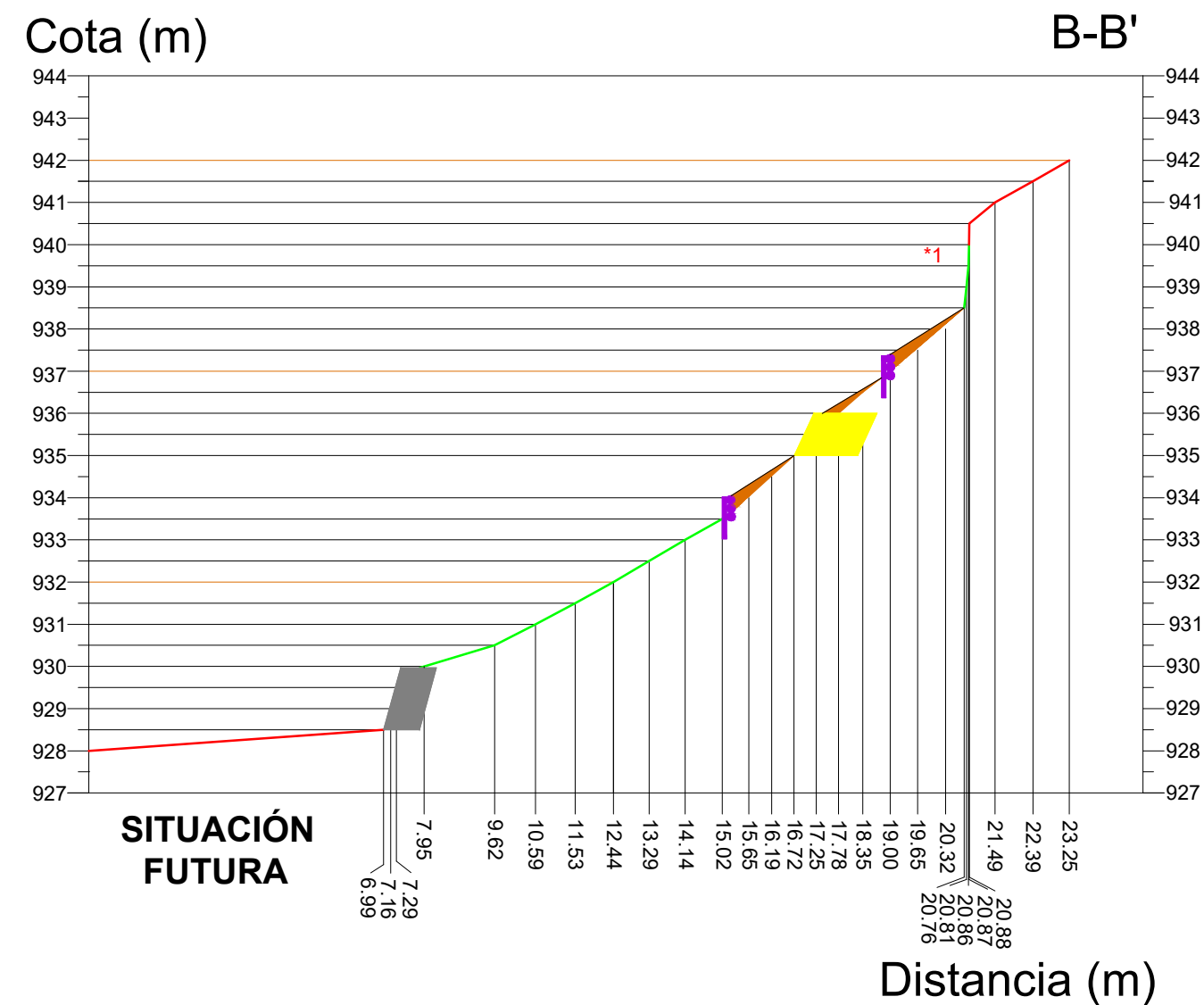
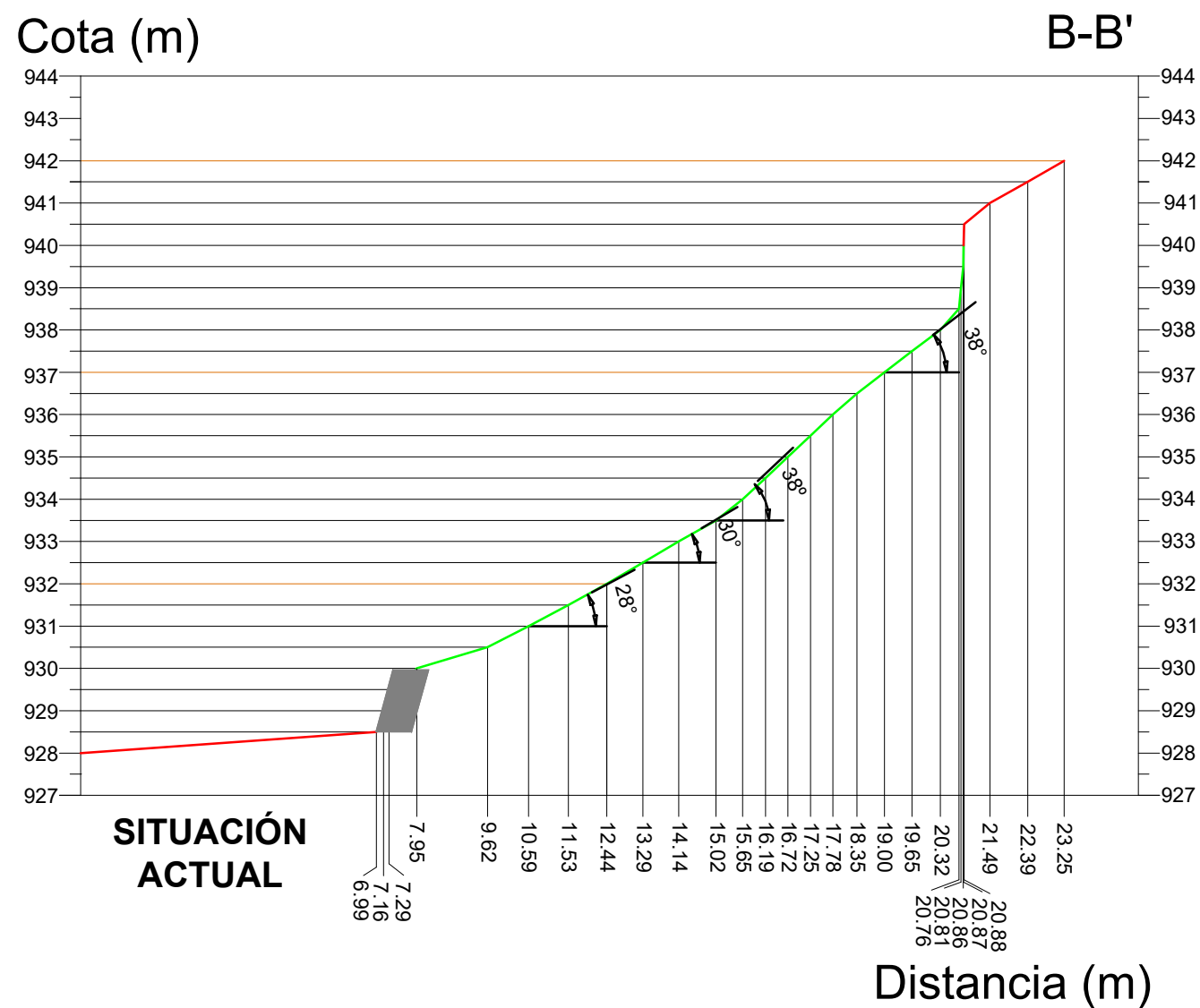
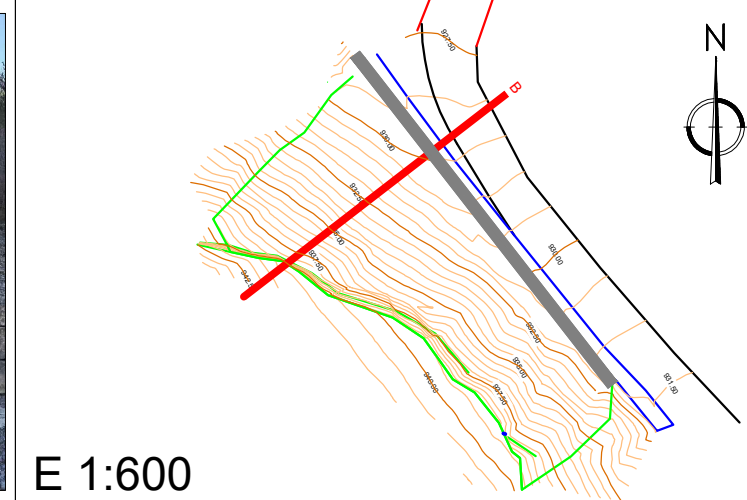
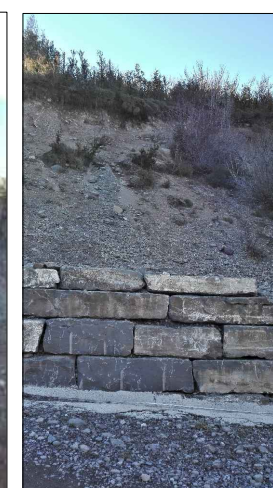
- Peldaño de leña
- Entramado simple
- Fajina de drenaje
- Zona a restaurar
- Reperfilado de cabecera
- Empalizada
- Entramado doble
- Actual escollera
- Zona ajena a restaurar
- Relleno



LEYENDA:

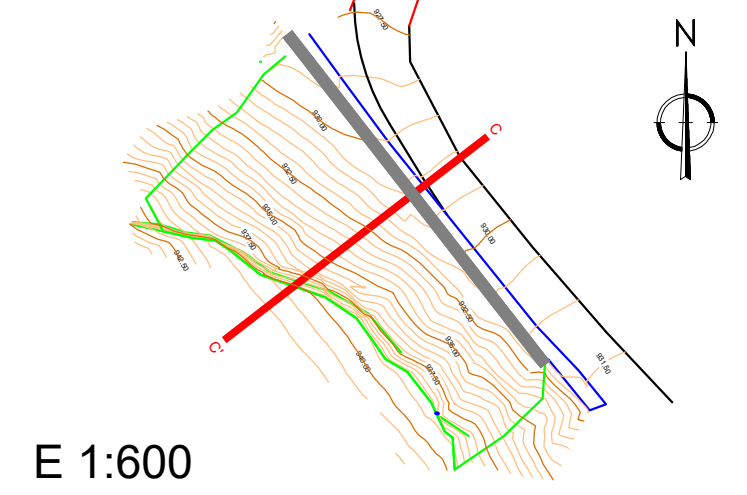
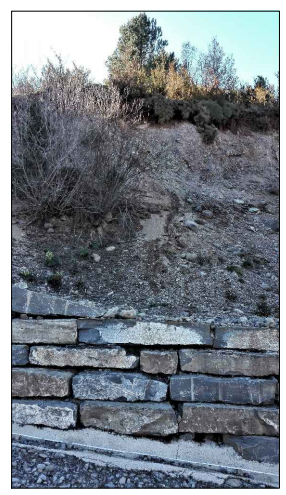
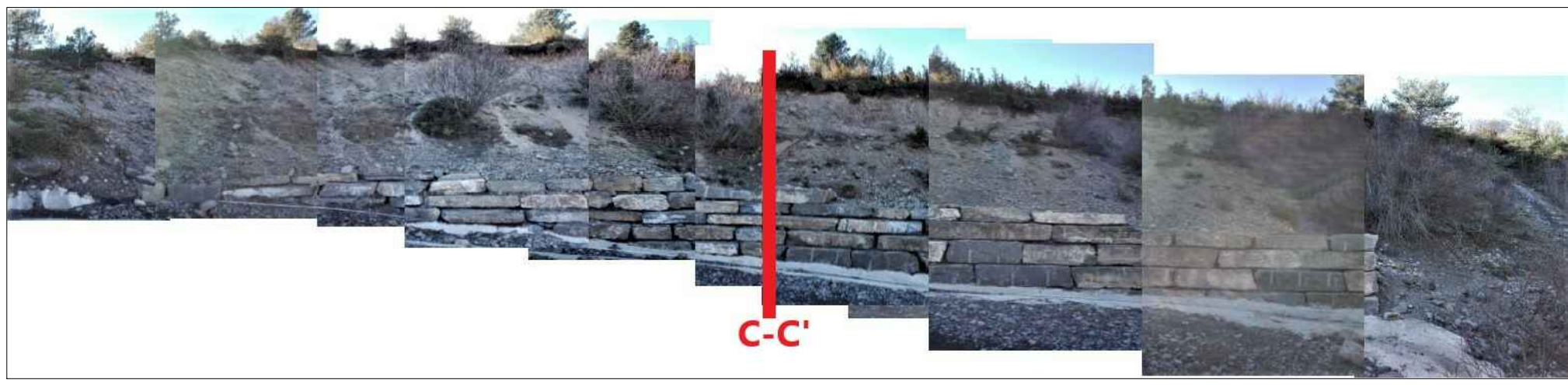
Peldaño de leña		Entramado simple		Fajina de drenaje		Cuneta		Carretera		Zona a restaurar	
Empalizada		Entramado doble		Actual escollera		Escorrentía superficial		Cotas			



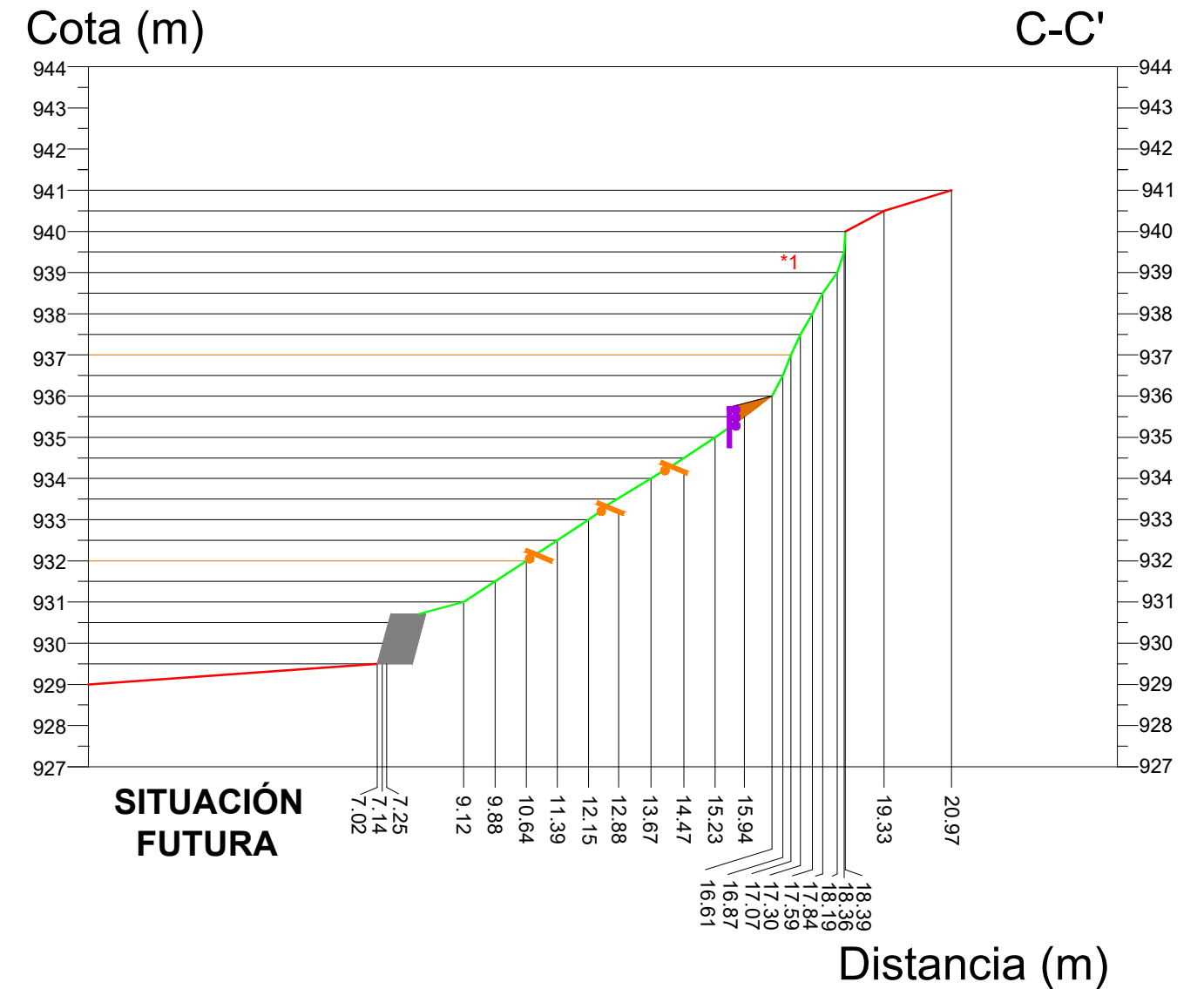
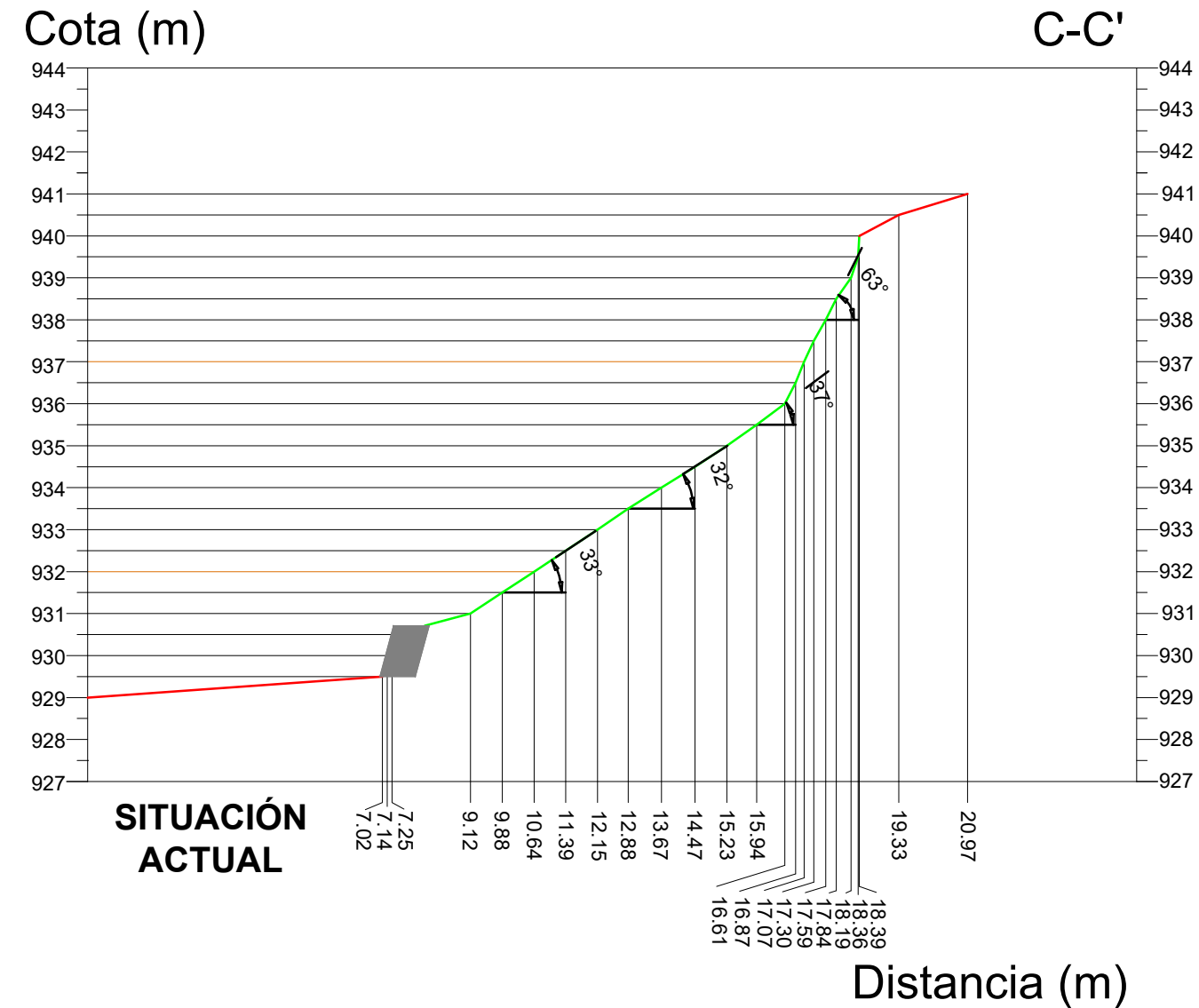


LEYENDA:

Peldaño de leña	Entramado simple	Fajina de drenaje	Zona a restaurar	Reperfilado de cabecera *1
Empalizada	Entramado doble	Actual escollera	Zona ajena a restaurar	Relleno

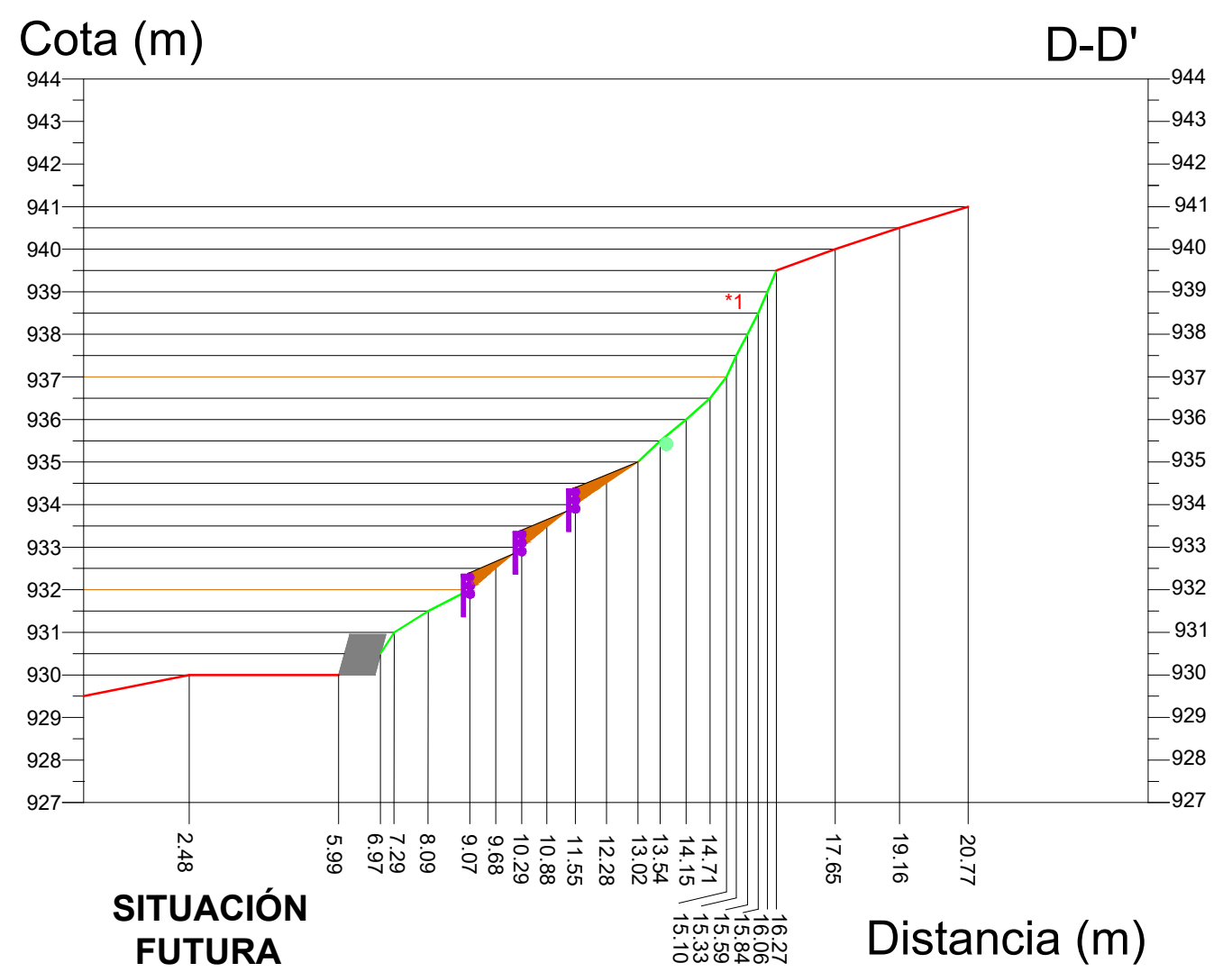
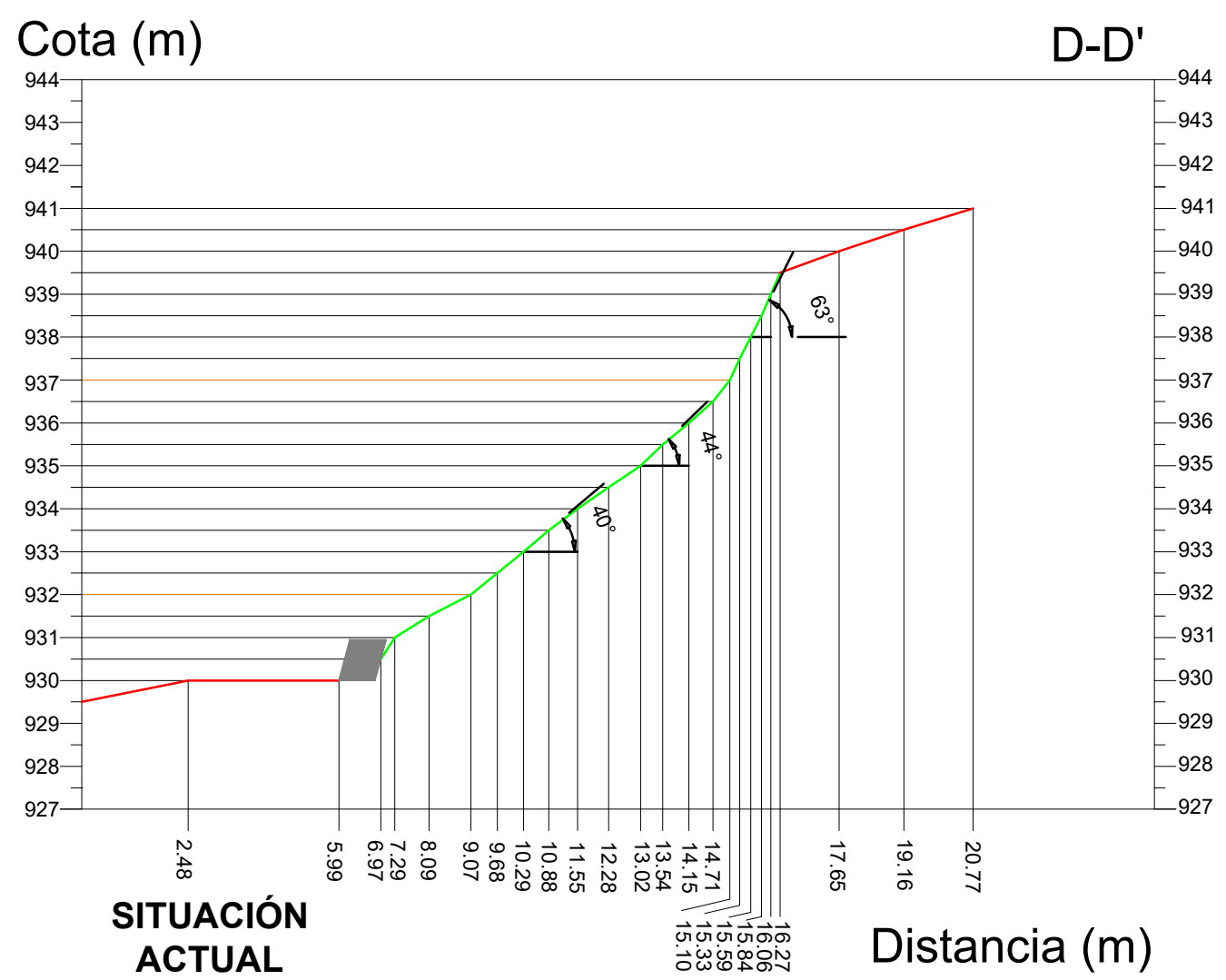
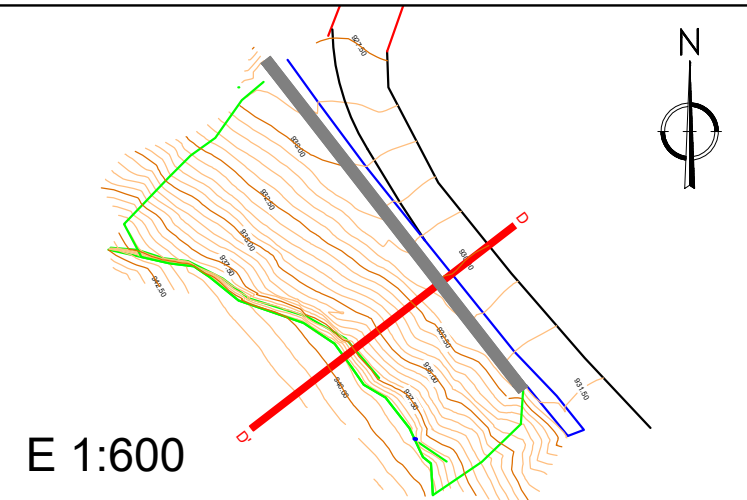


E 1:600



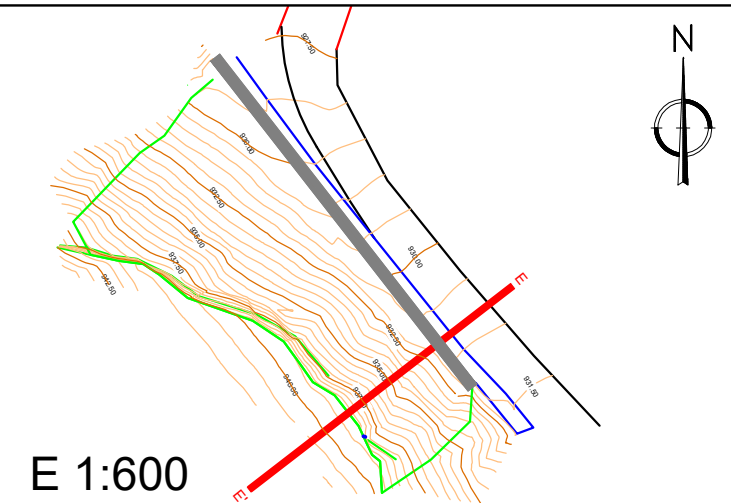
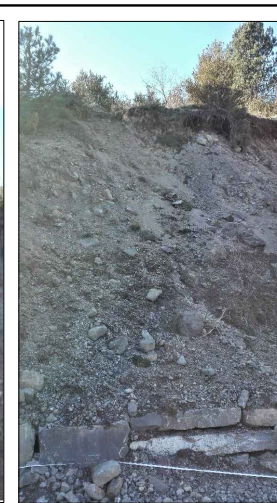
LEYENDA:

- Peldaño de leña
- Entramado simple
- Fajina de drenaje
- Zona a restaurar
- Reperfilado de cabecera *1
- Empalizada
- Entramado doble
- Actual escollera
- Zona ajena a restaurar
- Relleno

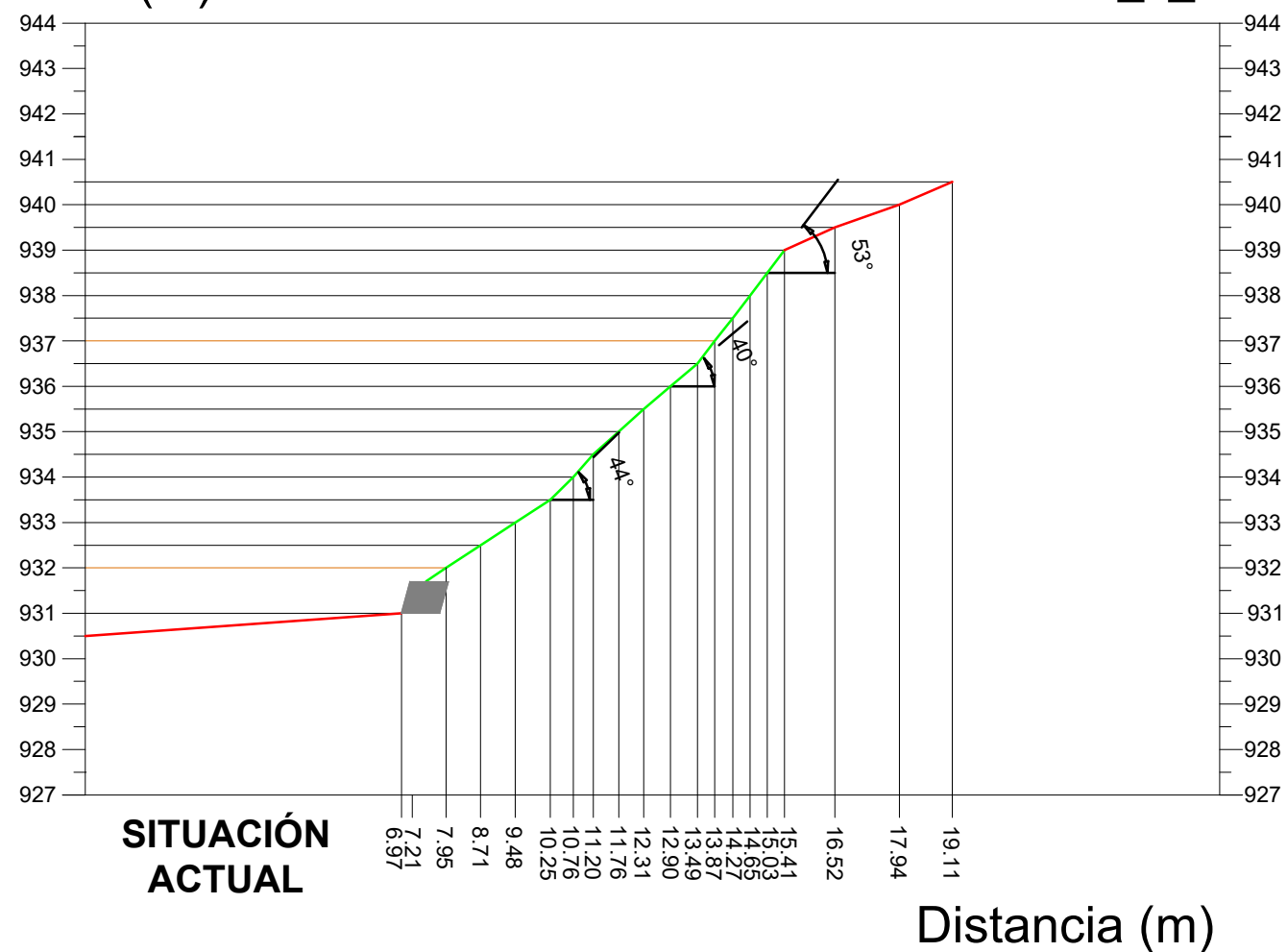


LEYENDA:

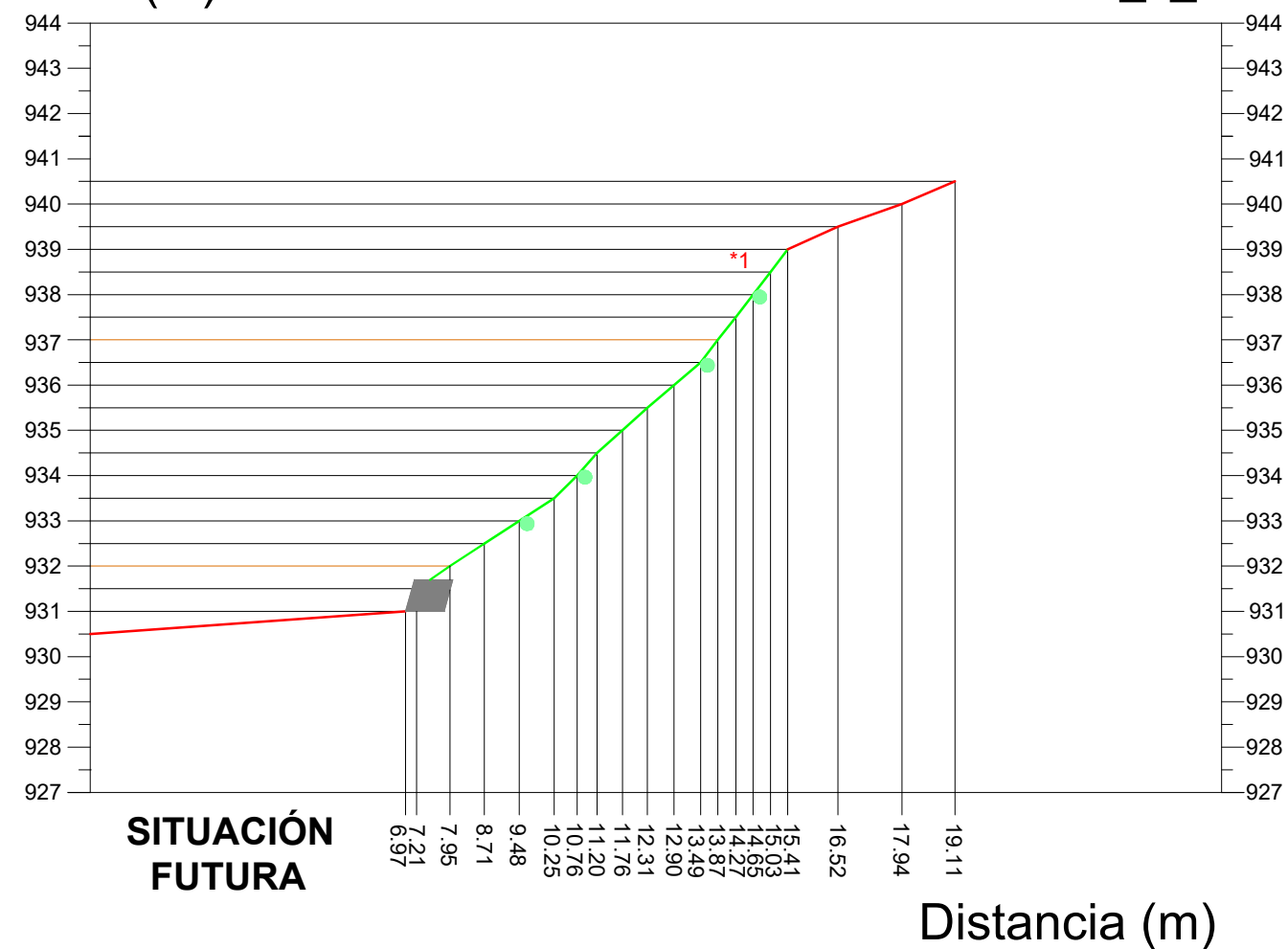
- Peldaño de leña
- Empalizada
- Entramado simple
- Entramado doble
- Fajina de drenaje
- Actual escollera
- Zona a restaurar
- Zona ajena a restaurar
- Reperfilado de cabecera *1
- Relleno



Cota (m)

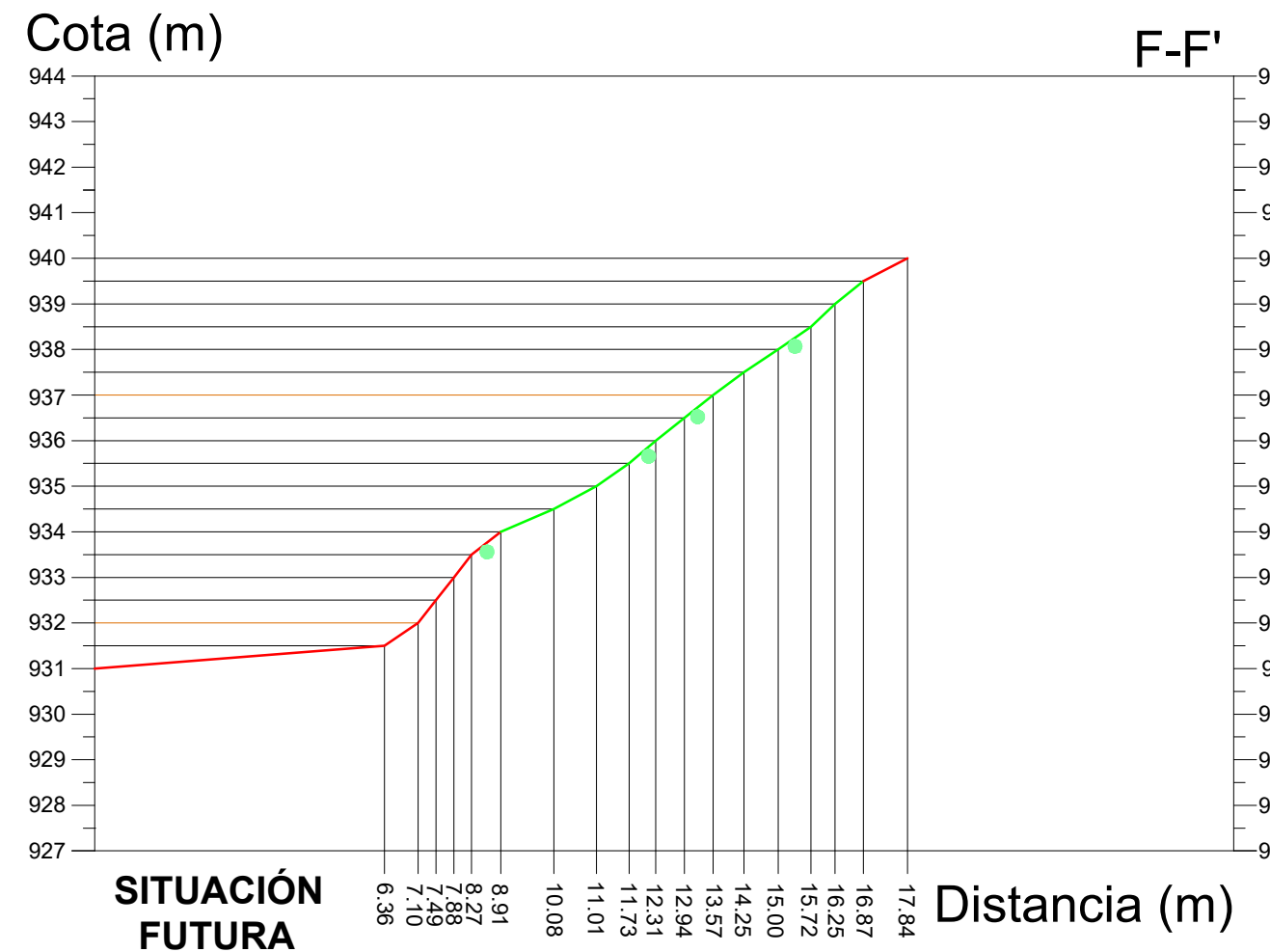
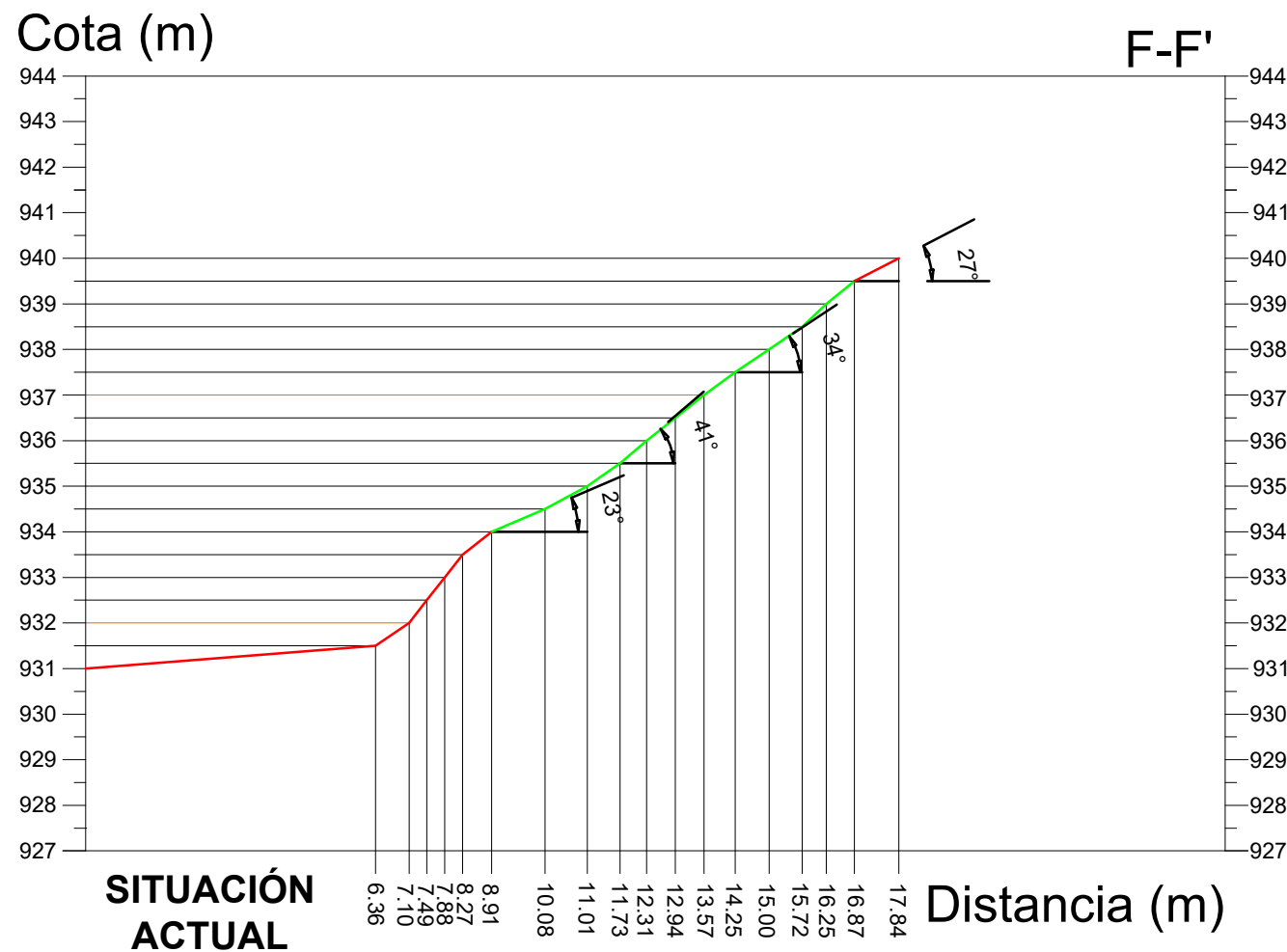
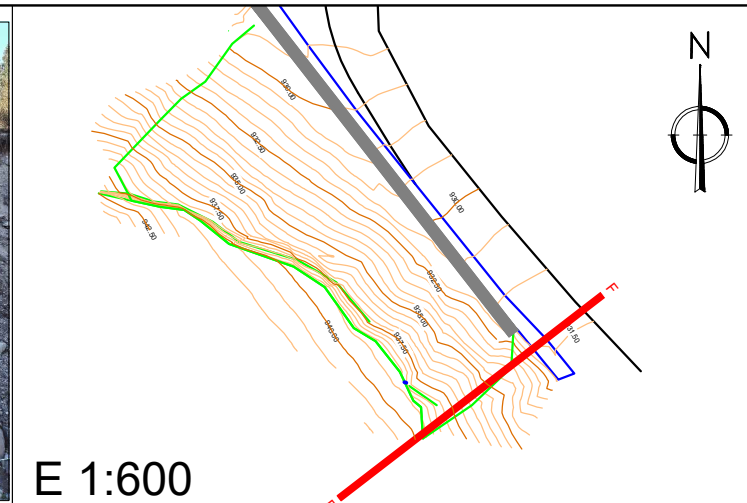


Cota (m)

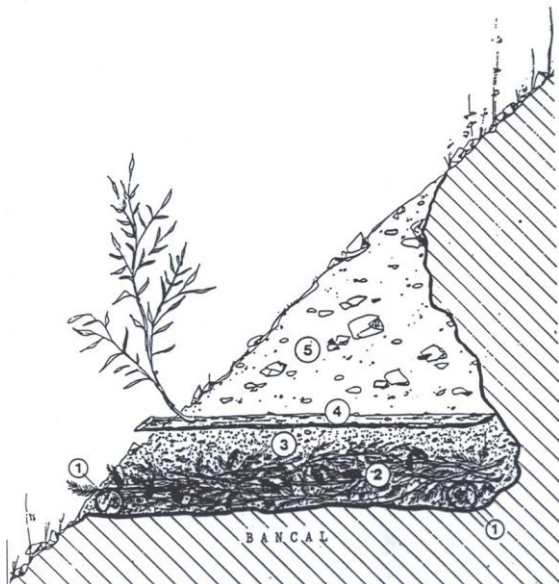


LEYENDA:

- Peldaño de leña
- Entramado simple
- Fajina de drenaje
- Zona a restaurar
- Reperfilado de cabecera *1
- Empalizada
- Entramado doble
- Actual escollera
- Zona ajena a restaurar
- Relleno

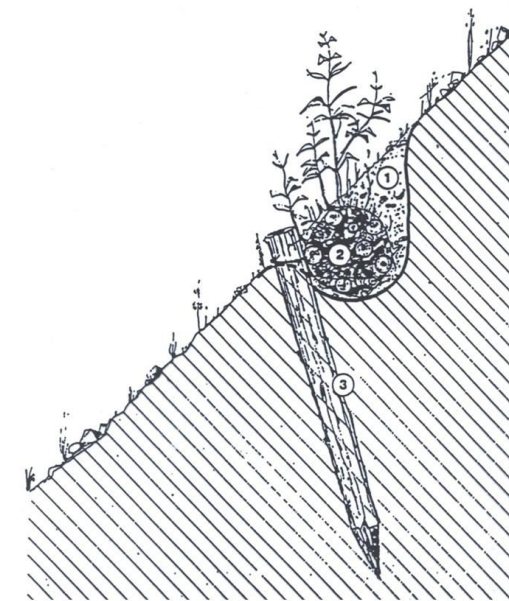


- LEYENDA:**
- Peldaño de leña
 - Entramado simple
 - Fajina de drenaje
 - Zona a restaurar
 - Reperfilado de cabecera *1
 - Empalizada
 - Entramado doble
 - Actual escollera
 - Zona ajena a restaurar
 - Relleno



- 1- Piquetes longitudinales con corteza (diámetro 6-12 cm.)
- 2- Lecho de ramaje de conífera.
- 3- Banda de tierra (espesor : 10 cm.).
- 4- Esqueje de sauce (longitud > 60 cm; densidad > 10 esquejes / m.)
- 5- Aporte de terreno proveniente de la apertura de la verma superior

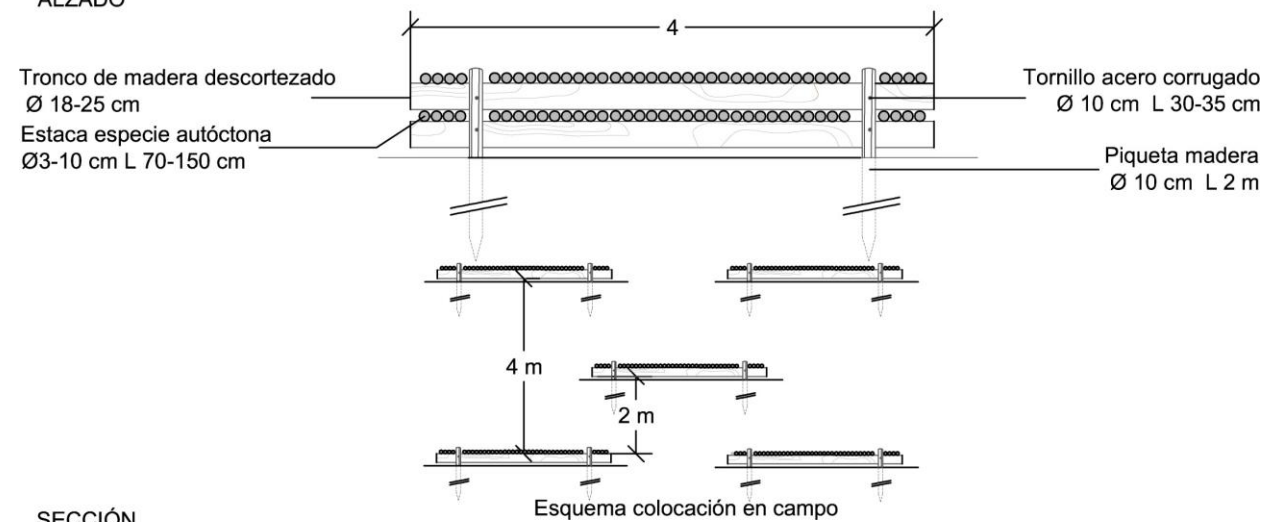
Peldaño de leña
(NTJ, 2013)



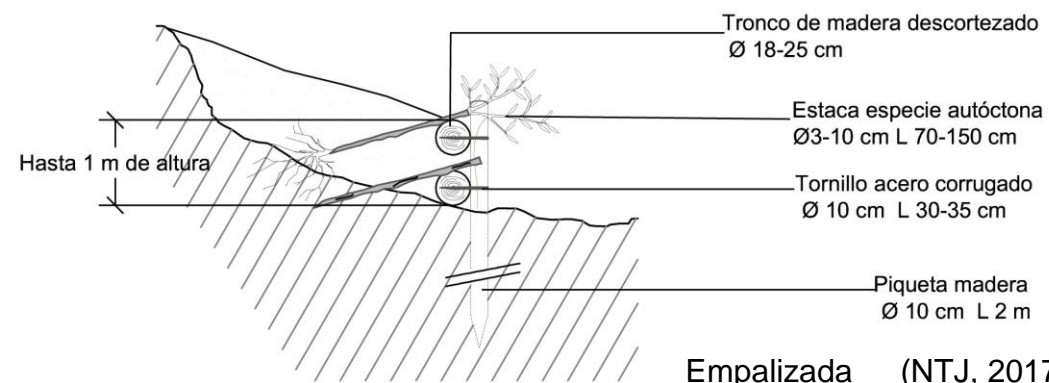
- LEYENDA
- 1- Trinchera de profundidad y anchura 30-50 cm.
 - 2- Fajinas con al menos 5 ramas de diámetro > 1 cm.
 - 3- Piquetes de leña de longitud > 60 cm

Fajina de drenaje
(NTJ, 2013)

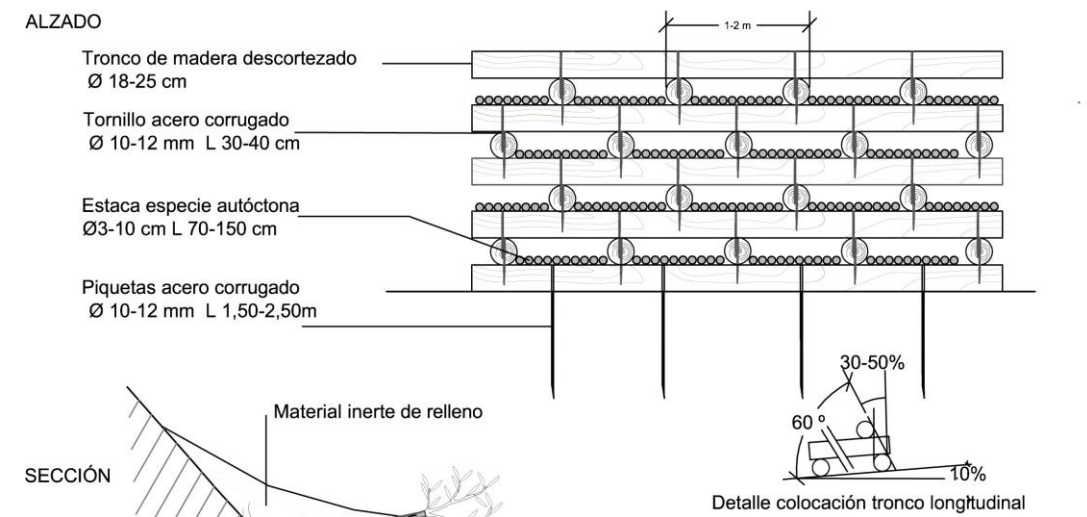
ALZADO



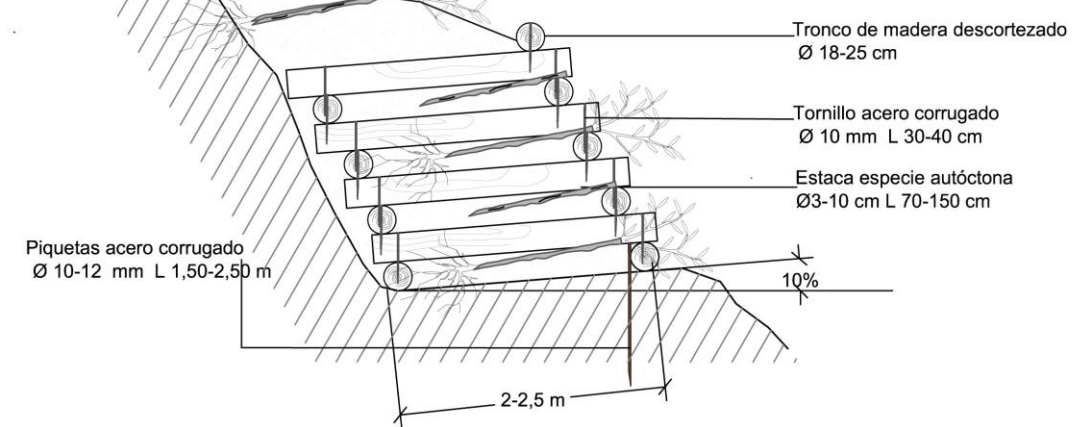
SECCIÓN



ALZADO



SECCIÓN





Universidad
Zaragoza

ANEXO II

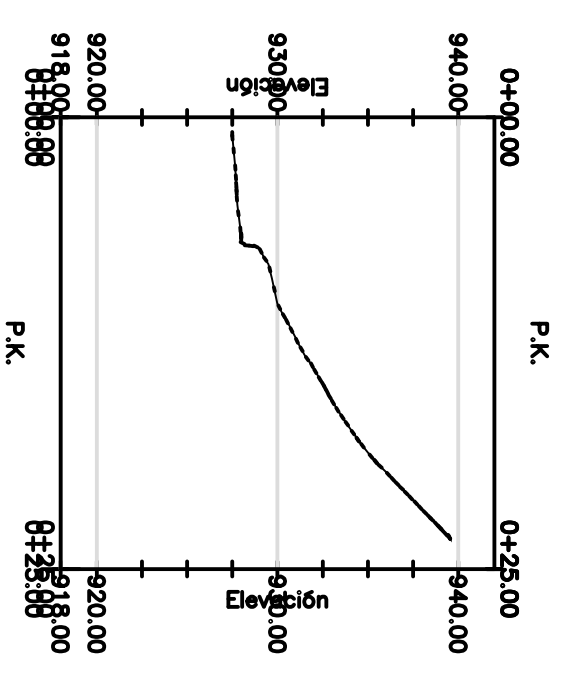
VISUALIZACIÓN DE LOS PERFILES

- Visualización del perfil de Eje A-A'
- Visualización del perfil de Eje B-B'
- Visualización del perfil de Eje C-C'
- Visualización del perfil de Eje D-D'
- Visualización del perfil de Eje E-E'
- Visualización del perfil de Eje F-F'

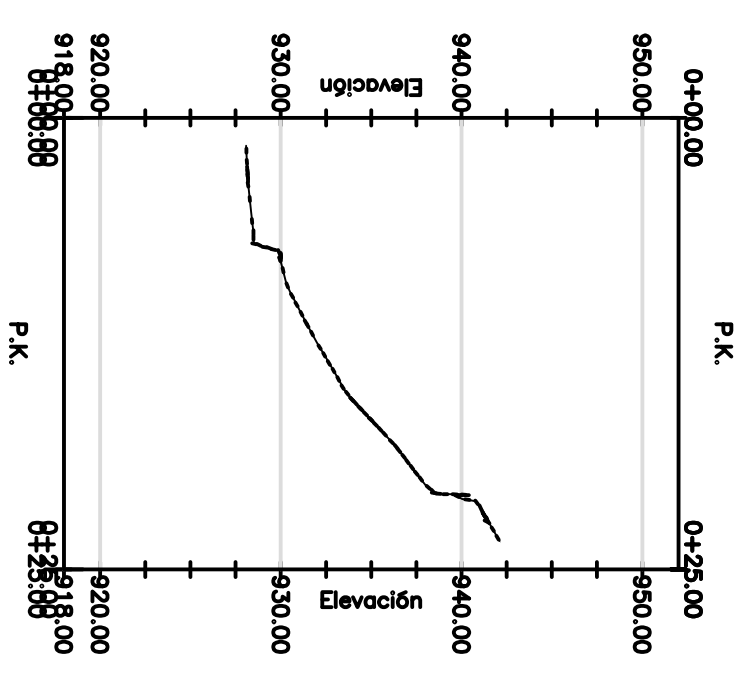
Autor

Guillermo Tardío

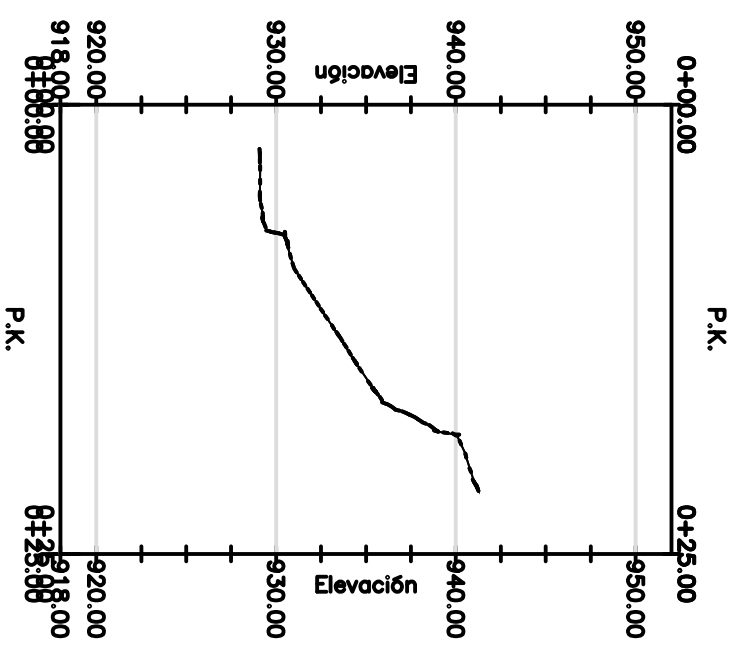
Visualización del perfil de Eje A-A



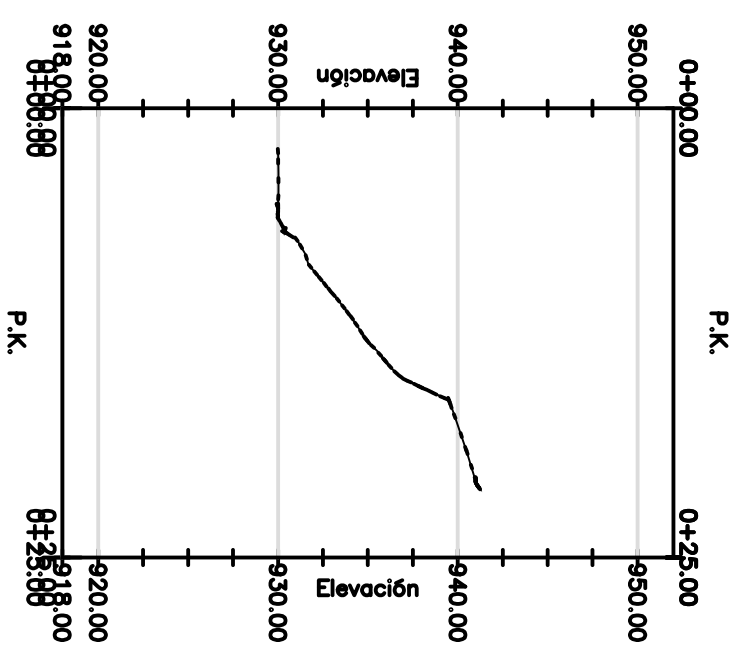
Visualización del perfil de Eje B-B



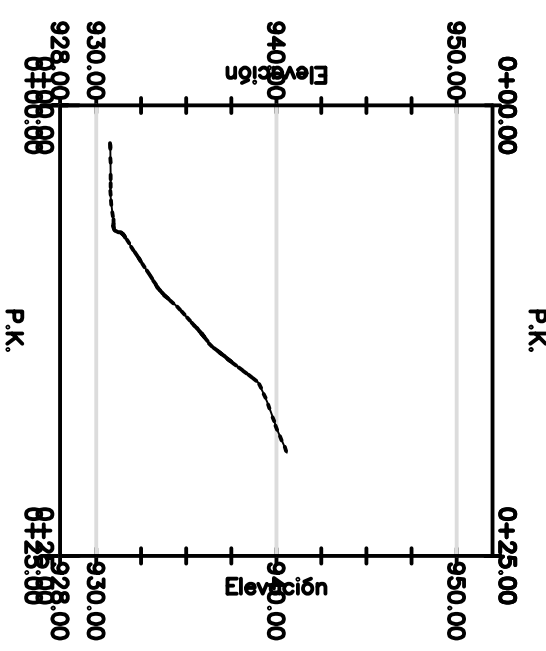
Visualización del perfil de Eje C-C



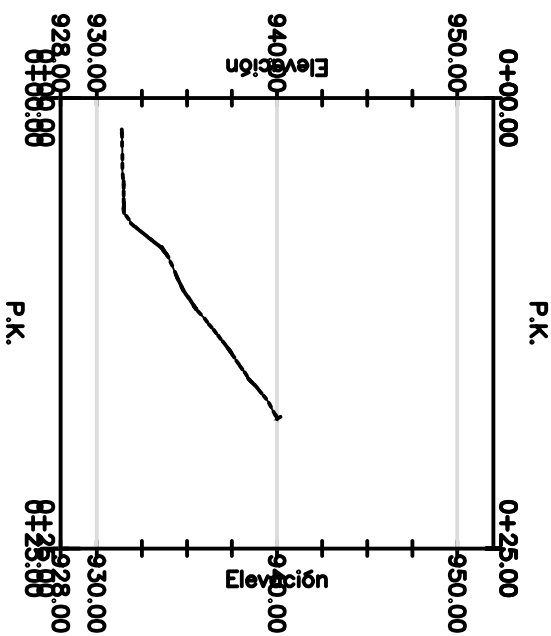
Visualización del perfil de Eje D-D



Visualización del perfil de Eje E-E



Visualización del perfil de Eje F-F



ANEXO III

PREDIMENSIONAMIENTO Y CÁLCULO DE ESTRUCTURAS DE LAS TÉCNICAS MIXTAS

- Peldaños de leña (equivalente a la empalizada viva)
 - Dimensionamiento parte viva
 - Cálculo de la distancia entre peldaños/empalizadas
- Entramado vivo de madera
 - Análisis de cargas
 - Empuje del terreno
 - Estabilidad del talud infinito – rotura planar
 - Resistencia a deslizamiento
 - Resistencia a vuelco
 - Capacidad portante del terreno

Autores

Guillermo Tardío y Paola Sangalli
(Sangalli, Coronel y Asociados S.L.)

Dimensionamiento parte viva peldaño de leña

Atención : las casillas a rellenar son las de fondo amarillo

Valores a rellenar

Cálculo dimensión mínima diámetro estaca en un peldaño de leña

Longitud de la franja de cálculo	1	m
distancia entre lechos	2	m
Espesor del terreno inestable	1740	mm
Peso específico del terreno	1740	kg/m ³
Peso total del terreno que grava	1044	kg
Número de estacas por metro lineal	10	num
carga por cada estaca	104.4	kg
Carga por cada estaca	1044	N
Resistencia al corte de cada estaca	3.5	N/mm ²
Sección mínima de la estaca	379.98	mm ²
Diámetro mínimo de la estaca	1.95	cm
	19.49	mm

Calculo dimensioe mínima diametro plantas enraizadas en peldaño de leña de plantas enraizadas

Longitud de la franja de cálculo	1	m
distancia entre lechos	2	m
Espesor del terreno inestable	0.8	m
Peso específico del terreno	1740	kg/m ³
Peso total del terreno sobre fustes	1044	kg
numero plantas de proyecto	5	num
cárico per ogni fusto	208.8	kg
carico per ogni fusto	2088	N
Resistencia al corte de la planta	2.7	N/mm ²
área mínima fus	773.3	mm ²
diámetro mínimo fuste arbustos	2.78	cm
diámetro mínimo fuste arbustos	27.81	mm

3

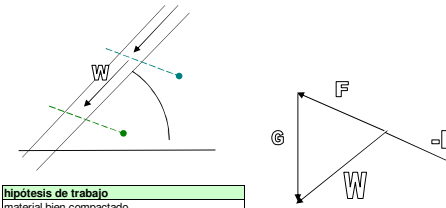
9

Ver tabla aneja

Comprobación extracción parte viva			
inclinación ladera ϕ	35	grados	
inclinación plano de apoyo de la estaca α	10	grados	
W peso volumen mobilizado	104.4	kg	
W / $\cos(\phi+\alpha)$	148	kg	
W / $\cos(\phi+\alpha)$	1476.4	N/mm ²	
diámetro parte viva	19.5	mm	
rozamiento lateral madera-tierra	0.16	Mpa	
coeficiente de seguridad impuesto	1.3	num	
L anclaje mínima	188	cm	
L espesor inestable	30	cm	
L externa	15	cm	
L total estaca mínima	233	cm	

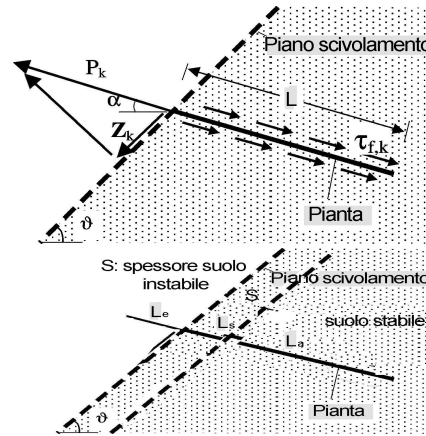
Ver tabla aneja

Comprobación extracción parte viva			
inclinación ladera ϕ	35	grados	
inclinación plano de apoyo de la estaca α	10	grados	
W peso volumen mobilizado	208.8	kg	
W / $\cos(\phi+\alpha)$	148	kg	
W / $\cos(\phi+\alpha)$	1476.4	N/mm ²	
diámetro parte viva	2.8	cm	
rozamiento lateral madera-tierra	0.16	Mpa	
coeficiente de seguridad impuesto	1.3	num	
L anclaje mínima	268	cm	
L espesor inestable	30	cm	
L externa	15	cm	
H total mínima arbusto	313	cm	



hipótesis de trabajo
material bien compactado
rozamiento constante a lo largo del fuste de la parte viva

ecuación de equilibrio :
$$2\pi r \cdot L \cdot \tau_{fk} \geq \frac{w}{\cos(\alpha + \vartheta)} \cdot \eta$$



PROPRIETA'	Douglasia		Castagno	Querce caducifoglie	Pioppo e Ontano	Altre Latifoglie	
	S1	S2/S3	S	S	S	S	
Res. a flessione (S-perc.) N/mm ²	f_{tA}	40	23	28	42	26	27
Res. a trazione parallela alla fibrat. (S-perc.) N/mm ²	f_{tA}	24	14	17	25	16	16
Res. a trazione perpend. alla fibrat. (S-perc.) N/mm ²	f_{tA}	0.4	0.4	0.5	0.8	0.4	0.5
Res. a compressione parallela alla fibrat. (S-perc.) N/mm ²	f_{cA}	26	20	22	27	22	22
Res. a compressione perpend. alla fibrat. (S-perc.) N/mm ²	f_{cA}	2.8	2.8	3.8	5.7	3.2	3.9
Res. a taglio (S-perc.) N/mm ²	f_{tA}	4.0	3.4	2.0	4.0	2.7	2.0
Modulo di elasticità parallelo alla fibrat. (medio) N/mm ²	$E_{L,med}$	14000	12500	11000	12000	8000	11500
Modulo di elasticità parallelo alla fibrat. (S-perc.) N/mm ²	$E_{L,per}$	9400	8400	8000	10100	6700	8400
Modulo di elasticità perpend. alla fibrat. (medio) N/mm ²	$E_{T,med}$	470	420	730	800	530	770
Modulo di taglio (medio) N/mm ²	G_{med}	880	780	950	750	500	720
Massa volumica (S-perc.) kg/m ³	ρ_k	400	420	465	780	420	515
Massa volumica (media) kg/m ³	ρ_{med}	435	455	550	825	460	560

■ Resistencia al corte de 2,1 a 4.9 MPa, con valor medio de 3,4 Mpa

Tensión di adherencia tau (Mpa) para la definición de la tensión de adherencia parte viva-terreno			
Tipo	Minimo	Medio	Massimo
TERRENOS SUELTOS			
Limos arcillosos			
Arcilla saturada			
Arcilla arenosa			
Arenaria			
Arcilla medio plástica dura			
Arcilla medio plastica media			
Arena grande y grava compacta			
Roca			
Basalto			
Caliza			
Arenaria			
Dolomia			
Esquistos			
Suelos alterados			
Yeso			
Pizarra			

Calculo de la distancia entre peldaños (ver Capítulo 8.9.1.2)

relación de la obra -distancia entre peldaños de leña			
coeficiente de estabilidad	$\eta = \frac{\tan \beta}{\tan \varphi}$	η	3
β = ángulo de inclinación del talud (o ángulo límite)		β	9
relación	$m = \frac{ds}{l}$	m	1740
Número de lechos	$x = \frac{l}{a}$	x	
fórmula experimental	$\tan \beta = \tan \varphi + 1,4 \left(1 - \frac{2}{x} \right) m$		
coeficiente estabilidad	$\eta = \frac{\tan \varphi + 1,4 \left(1 - \frac{2}{x} \right) m}{\tan \varphi}$		

Ejemplo	
L = 5 m	M=0,2
a = 1 m	
ds = 1 m	
$\varphi = 27^\circ$ (tan $\varphi = 0,51$)	
$\eta = \frac{0,51 + 1,4 \times \left(1 - \frac{2 \cdot 1}{5} \right) \frac{1}{5}}{0,51}$	
$\eta = \frac{0,51 + 1,4 \times 0,60 \times 0,20}{0,51}$	
$\eta = \frac{0,51 + 0,17}{0,51}$	
$\eta = \frac{0,68}{0,51}$	
$\eta = 1,33$	

En la tabla de la izquierda muestra los valores de los diferentes tipos de suelos, caracterizados por ángulos de resistencia al corte de 27 °, 30 °, 35 ° y 40 °, sin tener en cuenta, como medida de precaución, toda la cohesión del suelo y adoptando un peso específico de la tierra de 20 kN / m³ (en cuyo caso el factor de seguridad - FS - para las laderas no es siempre inferior a 1,3, a menos que sea una tierra con φ de 40 ° y 25 ° de inclinación). Los cálculos se realizaron para un grado de saturación 0,7y la profundidad de 50 cm y 70 cm, situándose en el estado de finalización de las obras, es decir, sin considerar la contribución de las raíces. (Bischetti y Vitali 2001)

Los campos vacíos de la tabla indican por tanto situaciones en las que no es necesario intervenir al ser estables

z= profundidad del plano de deslizamiento

m = grado de saturación agua suelo

ϕ = angulo de rozamiento interno del terreno

$m=0.7$	$\Phi=27$		$\Phi=30$		$\Phi=35$		$\Phi=40$	
Inclinazione(°)	z =0.5	z =0.7	z =0.5	z =0.7	z =0.5	z =0.7	z =0.5	z =0.7
25	4.0	-	4.5	-	7.0	-	10.0	-
30	4.5	-	4.5	-	7.0	-	10.0	-
35	4.5	2.5	5.0	2.5	7.5	2.5	9.0	3.0
40	4.5	2.5	5.0	2.5	7.5	2.5	9.0	4.0
45	4.5	2.5	5.5	2.5	8.5	3.0	9.0	4.5

EMPUJE DEL TERRENO

ATENCIÓN: LAS CELDAS A UTILIZAR PARA INTRODUCIR LOS DATOS DEL PROBLEMA TIENE UN FONDO AMARILLO

:valor a introducir

INCLINACIÓN DEL ENTRAMADO RESPECTO A LA HORIZONTAL	α	10	°
INCLINACIÓN DEL TERRENO EN EL TRASDÓS DEL MURO	β	30	°
ÁNGULO DE ROZAMIENTO INTERNO	φ	28	°
ÁNGULO DE ROZAMIENTO MURO-TERRENO	δ	15	°
PESO ESPECÍFICO TERRENO	γ	1740	Kg/m ³
ALTURA DEL TERRAPLÉN	H	1,6	m
SOBRECARGA	Q	1000	kg

0,5



Figura 39: Diagramma della spinta attiva di un terreno non coesivo su una parete verticale liscia

Diagrama del empuje activo de un terreno no cohesivo sobre una pared vertical lisa

Empuje con inclinación β igual a 0

$$S_a = \frac{1}{2} \gamma_c \cdot H^2 \cdot \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right)$$

45° - φ/2	45	°	0,785388163	radiants
tan (45° - φ/2)	31	°	0,541052068	radiants
tan ² (45° - φ/2)	0,600860619			
	0,361033483			

EMPUJE ACTIVO	804,09	kg/m
---------------	--------	------

Empuje con inclinación β distinta de 0

$$S_a = \frac{1}{2} \gamma_c \cdot H^2 \cdot K_a$$

CALCULO DE Ka (COEFICIENTE COMPLETO)			
α	radiants	coseno	cos ²
10	0,174532925	0,984807753	0,969846311
$\varphi - \alpha$	radiants	coseno	cos ²
18	0,314159365	0,951058538	0,904558497
$\alpha + \delta$	radiants	coseno	
25	0,426322313	0,906207787	
$\delta + \varphi$	radiants	seno	
43	0,750491578	0,68198836	
$\varphi - \beta$	radiants	seno	
-2	0,034906585	0,034899497	
$\alpha - \beta$	radiants	coseno	
-20	0,34906585	0,939692621	

$$K_a = \frac{\cos^2(\varphi - \alpha)}{\cos^2\alpha \cdot \cos(\alpha + \delta) \cdot \left[1 + \frac{\sin(\alpha + \delta) \cdot \sin(\varphi - \beta)}{\cos(\alpha - \beta) \cdot \cos(\varphi)} \right]}$$

CALCULO DE Ka (COEFICIENTE COMPLETO)	0,76859514	
EMPUJE ACTIVO	1711,82	kg/m

CALCULO DE Ka (COEFICIENTE SIMPLIFICADO)			
φ	radiants	cos	cos ²
33	0,575958653	0,828670568	0,703368322
$\varphi - \beta$	radiants	seno	
-2	0,034906585	0,034899497	
β	radiants	coseno	
30	0,523598776	0,866025404	

$$K_a = \frac{\cos^2(\varphi)}{1 + \frac{\sin(\varphi) \cdot \sin(\varphi - \beta)}{\cos(\beta)}}$$

CALCULO DE Ka (COEFICIENTE SIMPLIFICADO)	0,533563755	
EMPUJE ACTIVO	1188,35	kg/m

Empuje activo de un terreno sujeto a una sobrecarga

$$S_a = \frac{1}{2} \gamma_c \cdot H^2 \cdot K_a + Q \cdot H \cdot K_a$$

EMPUJE ACTIVO	854,38	kg/m
---------------	--------	------

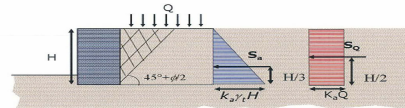


Figura 40: Diagramma della spinta attiva di un terreno non coesivo sottoposto ad un sovraccarico uniformemente distribuito.

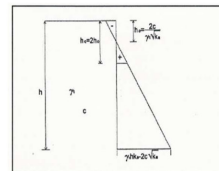
Profundidad grieta de tracción

$$h_g = \frac{2c}{\gamma_c - \sqrt{K_a}}$$

Cohesión	c	72	kg/m ²
----------	---	----	-------------------

Profundidad excavación	h _c	0,11	m
	h _c	0,23	m

resumen : la profundidad de excavación es el doble de h_c

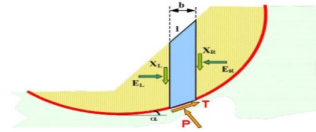


ESTABILIDAD TALUD INFINITO -rotura planar

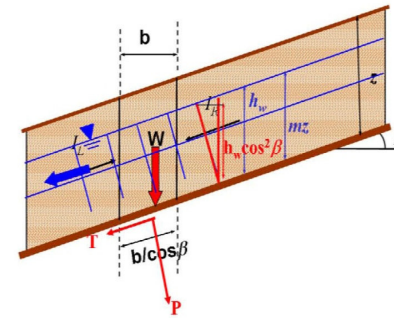
ATENCIÓN: LAS CELDAS A UTILIZAR PARA INTRODUCIR LOS DATOS DEL PROBLEMA TIENE UN FONDO AMARILLO

valor a introducir

SE procede al análisis de estabilidad de un talud suponiendo un apendiente constante y longitud ilimitada con un asuperficie de rotura plana y con una profundidad pequeña en comparación a la longitud de la superficie de rotura. Por tanto, se analiza la estabilidad del talud mediante el método del talud infinito.



Cohesión efectiva del terreno	c'	72	kg/m ²
Ángulo efectivo de rozamiento interno del terreno	φ'	28	°
Ángulo del terreno en el trasdos del entramado	β	30	°
Altura de la capa del terreno	z	0,5	m
Peso específico del terreno	γ_t	1740	Kg/m ³
Peso específico del agua	γ_w	1000	Kg/m ³
Altura de la capa con presión hídrica (presión intersticial)	h_w	0,25	m
Presión hídrica (presión intersticial)	u	250	kg/m ²
Longitud del segmento de la capa del terreno	b	1	m
$\cos^2\beta$		0,75	
$\tan \varphi'$		0,531709	
$\sin \beta$		0,5	
$\cos \beta$		0,866025	
factor de seguridad	FS	0,759217	



$$u = \gamma_w * h_w$$

$$FS = \frac{c + \gamma_t * z * \cos^2\beta - u * \tan\varphi'}{\gamma_t * z * \sin\beta * \cos\beta}$$

RESISTENCIA A DESLIZAMIENTO

ATENCIÓN: LAS CELDAS A UTILIZAR PARA INTRODUCIR LOS DATOS DEL PROBLEMA TIENE UN FONDO AMARILLO

valor a introducir

Verificación de acuerdo a D.M. 10/03/88

			INPUT
ÁNGULO DE ROZAMIENTO INTERNO DEL SUELO	ϕ	28	°
PESO DEL ENTRAMADO POR METRO LINEAL	$P_{complejivo}$	3478	Kg
EMPUJE ACTIVO	S_a	1188	Kg

dato del análisis de cargas

dato del análisis de cargas

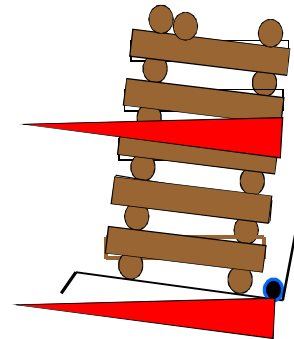
10

0,5

			OUTPUT
ÁNGULO DE ROZAMIENTO INTERNO DEL SUELO	ϕ	0,48869219	RADIANTI
COEFICIENTE DE ROZAMIENTO DE LA BASE DEL ENTRAMADO Y EL TERRENO DE FUNDACIÓN	f	0,53170943	NUM
VERIFICACIÓN A DESLIZAMIENTO	FS deslizam	1,55607974	NUM
	FS admisible	1,3	NUM

Cumple

$$f = \tan \phi = 0,65$$

$$\frac{f * P}{S_a}$$


Resistencia a deslizamiento: fórmula extendida

			INPUT
ÁNGULO DE ROZAMIENTO INTERNO DEL SUELO	ϕ	28	°
COEFICIENTE DE EMPUJE ACTIVO	K_a	0,53356	NUM
INCLINACIÓN DEL ENTRAMADO RESPECTO A LA HORIZONTAL	α	10	°
PESO ESPECÍFICO DE LA OBRA	γ_{op}	1465	Kg/m ³
PESO ESPECÍFICO DEL TERRENO	γ_t	1740	Kg/m ³
PESO ESPECÍFICO DEL AGUA	γ_w	1000	Kg/m ³
ALTURA DEL ENTRAMADO	H	1,6	m
CARGA UNIFORME	Q	0	kg/m ²

dato del análisis de cargas

α	10	°
	0,174533	RADIANTES
	0,176327	TANGENTE
	0,984808	COSENO

			OUTPUT
ANGULO DE ROZAMIENTO INTERNO DEL SUELO	ϕ	0,48869219	RADIANTES
COEFICIENTE DE ROZAMIENTO ENTRE LA BASE DE LA EMPALIZADA	f	0,53170943	RADIANTES
PESO ESPECIFICO EFICACE	γ'	740	kg/m ³
VERIFICA A SCIVOLAMENTO	B ≥	1,50	m

Cumple

base entramado HP
1,5

$$B \geq \frac{1,3}{f + 1,3 \tan \alpha} \cdot \left(\frac{\gamma_w}{2\gamma_{op}} H * \cos \alpha + \frac{\gamma'}{2\gamma_{op}} H * K_a * \cos \alpha + \frac{Q}{\gamma_{op}} K_a \right)$$

2,25
1545,683

CAPACIDAD PORTANTE DEL TERRENO

ATENCIÓN: LAS CELDAS A UTILIZAR PARA INTRODUCIR LOS DATOS DEL PROBLEMA TIENE UN FONDO AMARILLO

valor a introducir

Comprobación de acuerdo a D.M. 10/03/88

			INPUT	
PESO DEL ENTRAMADO POR METRO LINEAL	$P_{\text{complesivo}}$	3478	Kg	dato del análisis de cargas
MOMENTO DE VUELCO	M ribaltante	634	kgm	dato de la comprobación a vuelco
BASE DEL ENTRAMADO	B	150	cm	
PRESIÓN ADMISIBLE		1,50	kg/cm ²	

$$e = \frac{M}{P}$$

			OUTPUT
EXCENTRICIDAD	e	0,18	m

El punto de aplicación de las solicitaciones cae dentro del tercio central de la base del entramado, cuando

$$\begin{aligned} B/6 * e &= 0,05 \text{ m} \\ (B/6 * e) * 3 &= 0,14 \text{ m} \end{aligned}$$

Quindi:

$$\sigma_{\text{max}} = \frac{P}{B} \left(1 + \frac{6e}{B} \right)$$

			OUTPUT
TENSIÓN DE COMPRESIÓN MÁXIMA	σ_{max}	0,23	kg/cm ²
COMPROBACIÓN A CAPACIDAD PORTANTE	FS capacidad portante	6,42281131	NUM
	FS admisible	2	NUM

Cumple

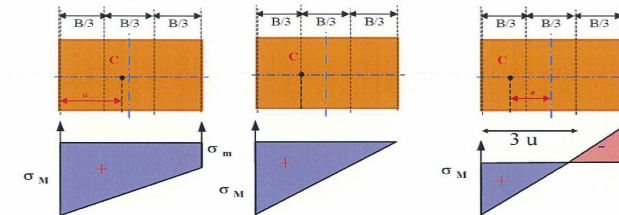
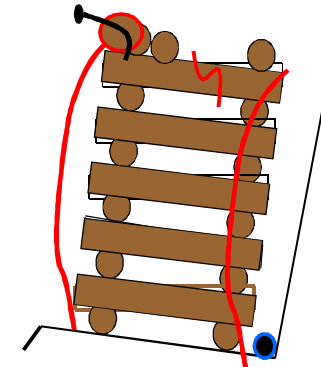


Figura 42: Sezione basale della palificata. Centro di sollecitazione (a) interno al nocciolo centrale della sezione di base; (b) coincidente con l'estremo del nocciolo centrale; (c) interno al terzo medio di valle



Universidad
Zaragoza

ANEXO IV

PRESUPUESTO

Autores

Paola Sangalli (Sangalli, Coronel y Asociados S.L.) y Ander
Fernández Prieto

Presupuesto

Descripción	Unidad	Densidades	Precio Unitario	Medición	
01 Actuaciones previas y acondicionamiento del terreno					
Excavación y reperfilado del terreno con pala mecánica terreno compacto volumen inferior a 2000 m3	pa				800,00 €
Desbroce y limpieza superficial del terreno por medios manuales	pa				600,00 €
02 Bioingeniería y plantaciones					
Empalizadas	m		49,00 €	36,88	1.807,12 €
Fajinas de drenaje 20 cm.Ø	m		28,00 €	100,1	2.802,80 €
Peldaños de leña	ml		30,00 €	39,97	1.199,10 €
Entramado de madera Kreiner	m ³		180,00 €	90,6	16.308,00 €
Hidrosiembra	m ²		1,60 €	500	800,00 €
Arbustos enraizados	Unidad		3,50 €	50	175,00 €
04 Seguridad y salud					
Seguridad y Salud				8%	1.959,36 €

Total ejecución material

26.451,38 €

Gastos generales

13%

3.438,68 €

Beneficio industrial

6%

1.587,08 €

Suma

5.025,76 €

Iva

21%

6.610,20 €

Presupuesto ejecución por contrata

TOTAL	38.087,34 €
--------------	--------------------



Universidad
Zaragoza

ANEXO V

INVENTARIO FAUNÍSTICO DE LA COMARCA DE LA JACETANIA

- Lista de anfibios y reptiles
- Lista de aves
- Lista de aves rapaces
- Lista de mamíferos
- Lista de peces
- Lista de invertebrados

Autor

Ander Fernández Prieto

LISTA DE ANFIBIOS Y REPTILES	CEAA	CEEA
Sapillo pintojo ibérico (<i>Discoglossus galganoi</i>)	No Amenazada	No Amenazada
Sapillo moteado (<i>Pelodytes ibericus</i>) (antes <i>Pelodytes punctatus</i>)	No Amenazada	No Amenazada
Lagarto ocelado (<i>Timon lepidus</i>) (antes <i>Lacerta lepida</i>)	No Amenazada	No Amenazada
Culebra bastarda (<i>Malpolon monspessulanus</i>)	No Amenazada	No Amenazada
Influencia atlántica:		
Tritón jaspeado (<i>Triturus marmoratus</i>)	No Amenazada	No Amenazada
Salamandra (<i>Salamandra salamandra</i>)	De interés especial	No Amenazada
Rana pirenaica (<i>Rana pyrenaica</i>)	Sensible a la alteración de su hábitat	Vulnerable
Lución (<i>Anguis fragilis</i>)	No Amenazada	No Amenazada
Lagarto verde (<i>Lacerta viridis</i>)	No Amenazada	No Amenazada
Culebra verdeamarilla (<i>Hierophis viridiflavus</i>) (antes <i>Coluber viridiflavus</i>)	De interés especial	No Amenazada
Piso subalpino:		
Rana bermeja (<i>Rana temporaria</i>)	No Amenazada	No Amenazada
Lagartija roquera (<i>Podarcis muralis</i>)	No Amenazada	No Amenazada
Víbora áspid (<i>Vipera aspis</i>)	No Amenazada	No Amenazada
Piso alpino:		
Lagartija de turbera (<i>Zootoca vivípara</i>) (antes <i>Lacerta vivípara</i>)	No Amenazada	No Amenazada

Figura 98: Anfibios y reptiles de La Jacetania.

Fuente: (Pedrocchi Renault, C., 2004), (Alcántara de la Fuente, M., 2007) y (BOE, 2011)

LISTA DE AVES	CEAA	CEEA
Influencia mediterránea:		
Perdiz común (<i>Alectoris rufa</i>)	No Amenazada	No Amenazada
Bisbita campestre (<i>Anthus campestris</i>)	No Amenazada	No Amenazada
Cogujada común (<i>Galerida cristata</i>)	No Amenazada	No Amenazada
Cogujada montesina (<i>Galerida Theklae</i>)	No Amenazada	No Amenazada
Curruca rabilarga (<i>Sylvia undata</i>)	No Amenazada	No Amenazada
Alcaudón real meridional (<i>Lanius meridionalis</i>)	No Amenazada	No Amenazada
Alcaudón común (<i>Lanius senator</i>)	No Amenazada	No Amenazada

Collalba gris (<i>Oenanthe oenanthe</i>)	No Amenazada	No Amenazada
Collalba rubia (<i>Oenanthe Hispanica</i>)	No Amenazada	No Amenazada
Escribano triguero (<i>Miliaria calandra</i>)	De interés especial	No Amenazada
Escribano hortelano (<i>Emberiza hortulana</i>)	No Amenazada	No Amenazada
Roquero rojo (<i>Monticola saxatilis</i>)	No Amenazada	No Amenazada
Colirrojo tizón (<i>Phoenicurus ochruros</i>)	No Amenazada	No Amenazada
Influencia atlántica:		
Halcón abejero (<i>Pernis apivorus</i>)	No Amenazada	No Amenazada
Chocha perdiz (<i>Scolopax rusticola</i>)	No Amenazada	No Amenazada
Pito real (<i>Picus viridis</i>)	No Amenazada	No Amenazada
Pico picapinos (<i>Dendrocopos major</i>)	No Amenazada	No Amenazada
Pito negro (<i>Dryocopus martius</i>)	No Amenazada	No Amenazada
Pico dorsiblanco (<i>Dendrocopos leucotos</i>)	En peligro de extinción	En peligro de extinción
Trepador azul (<i>Sitta europaea</i>)	No Amenazada	No Amenazada
Agateador norteño (<i>Certhia familiaris</i>)	No Amenazada	No Amenazada
Carbonero palustre (<i>Poecile palustris</i>) (antes <i>Parus palustris</i>)	No Amenazada	No Amenazada
Herrerillo capuchino (<i>Lophophanes cristatus</i>) (antes <i>Parus cristatus</i>)	No Amenazada	No Amenazada
Petirrojo (<i>Erithacus rubecula</i>)	No Amenazada	No Amenazada
Acentor común (<i>Prunella modularis</i>)	No Amenazada	No Amenazada
Zorzal común (<i>Turdus philomelos</i>)	No Amenazada	No Amenazada
Curruca capirotada (<i>Sylvia atricapilla</i>)	No Amenazada	No Amenazada
Curruca mosquitera (<i>Sylvia Borin</i>)	No Amenazada	No Amenazada
Dorsirrojo (<i>Lanius collurio</i>)	No Amenazada	No Amenazada
Lúgano (<i>Carduelis spinus</i>)	De interés especial	No Amenazada
Camachuelo común (<i>Pyrrhula pyrrhula</i>)	No Amenazada	No Amenazada
Escribano cerillo (<i>Emberiza citrinella</i>)	No Amenazada	No Amenazada
Piso subalpino:		
Verderón serrano (<i>Serinus citrinella</i>)	No Amenazada	No Amenazada
Reyezuelo sencillo (<i>Regulus regulus</i>)	No Amenazada	No Amenazada
Carbonero garrapinos (<i>Parus ater</i>)	No Amenazada	No Amenazada

Agateador norteño (<i>Certhia familiaris</i>)	No Amenazada	No Amenazada
Piquituerto (<i>Loxia curvirostra</i>)	No Amenazada	No Amenazada
Urogallo (<i>Tetrao urogallus</i>)	Sensible a la alteración de su hábitat	Vulnerable
Mirlo collarizo (<i>Turdus torquatus</i>)	No Amenazada	No Amenazada
Collalba gris (<i>Oenanthe oenanthe</i>)	No Amenazada	No Amenazada
Roquero rojo (<i>Monticola saxatilis</i>)	No Amenazada	No Amenazada
Colirrojo tizón (<i>Phoenicurus ochrurus</i>)	No Amenazada	No Amenazada
Piso alpino:		
Bisbita ribereño alpino (<i>Anthus spinoletta spinoletta</i>)	No Amenazada	No Amenazada
Acentor alpino (<i>Prunella collaris</i>)	No Amenazada	No Amenazada
Treparriscos (<i>Tichodroma muraria</i>)	No Amenazada	No Amenazada
Perdiz pardilla (<i>Perdix perdix</i>)	Vulnerable	No Amenazada
Perdiz nival (<i>Lagopus muta</i>) (antes <i>Lagopus mutus</i>)	Vulnerable	Vulnerable
Gorrión alpino (<i>Montifringilla nivalis</i>)	No Amenazada	No Amenazada
Río:		
Martín pescador (<i>Alcedo atthis</i>)	No Amenazada	No Amenazada
Mirlo acuático (<i>Cinclus cinclus</i>)	No Amenazada	No Amenazada
Garza real (<i>Ardea cinerea</i>)	No Amenazada	No Amenazada
Cormorán grande (<i>Phalacrocorax carbo</i>)	No Amenazada	No Amenazada

Figura 99: Aves de La Jacetania.

Fuente: (Pedrocchi Renault, C., 2004), (Alcántara de la Fuente, M., 2007) y (BOE, 2011).

LISTA DE AVES RAPACES	CEAA	CEEA
Azor (<i>Accipiter gentilis</i>)	No Amenazada	No Amenazada
Gavilán (<i>Accipiter nisus</i>)	No Amenazada	No Amenazada
Ratonero (<i>Buteo buteo</i>)	No Amenazada	No Amenazada
Milano negro (<i>Milvus migrans</i>)	No Amenazada	No Amenazada
Milano real (<i>Milvus milvus</i>)	Sensible a la alteración de su hábitat	En peligro de extinción
Halcón común (<i>Falco peregrinus</i>)	No Amenazada	No Amenazada
Cernícalo común (<i>Falco tinnunculus</i>)	No Amenazada	No Amenazada
Alcotán (<i>Falco subbuteo</i>)	No Amenazada	No Amenazada

Águila real (<i>Aquila chrysaetos</i>)	No Amenazada	No Amenazada
Águila culebrera (<i>Circaetus gallicus</i>)	No Amenazada	No Amenazada
Águila calzada (<i>Hieraetus pennatus</i>)	No Amenazada	No Amenazada
Alimoche (<i>Neophron percnopterus</i>)	Vulnerable	vulnerable
Buitre común (<i>Gyps fulvus</i>)	No Amenazada	No Amenazada
Quebrantahuesos (<i>Gypaetus barbatus</i>)	En peligro de extinción	En peligro de extinción

Figura 100: Aves rapaces de La Jacetania.

Fuente: (Pedrocchi Renault, C., 2004), (Alcántara de la Fuente, M., 2007) y (BOE, 2011).

LISTA DE MAMÍFEROS	CEAA	CEEA
Influencia mediterránea:		
Ciervo (<i>Cervus elaphus</i>)	No Amenazada	No Amenazada
Corzo (<i>Capreolus capreolus</i>)	No Amenazada	No Amenazada
Jabalí (<i>Sus scrofa</i>)	No Amenazada	No Amenazada
Garduña (<i>Martes foina</i>)	De interés especial	No Amenazada
Gineta (<i>Genetta genetta</i>)	De interés especial	No Amenazada
Zorro (<i>Vulpes vulpes</i>)	No Amenazada	No Amenazada
Influencia atlántica:		
Oso (<i>Ursus arctos</i>)	En peligro de extinción	En peligro de extinción
Marta (<i>Martes martes</i>)	De interés especial	No Amenazada
Piso subalpino:		
Jabalí (<i>Sus scrofa</i>)	No Amenazada	No Amenazada
Zorro (<i>Vulpes vulpes</i>)	No Amenazada	No Amenazada
Liebre (<i>Lepus europaeus</i>)	No Amenazada	No Amenazada
Sarrío (<i>Rupicapra rupicapra</i>)	No Amenazada	No Amenazada
Piso alpino:		
Armiño (<i>Mustela erminea</i>)	No Amenazada	No Amenazada
Río:		
Nutria (<i>Lutra lutra</i>)	Sensible a la alteración de su hábitat	No Amenazada

Figura 101: Mamíferos de La Jacetania.

Fuente: (Pedrocchi Renault, C., 2004), (Alcántara de la Fuente, M., 2007) y (BOE, 2011).

LISTA DE PECES	CEAA	CEEA
Trucha común (<i>Salmo trutta fario</i>)	No Amenazada	No Amenazada
Pez lobo (<i>Neomacheilus barbatulus</i>)	No Amenazada	No Amenazada
Colmilleja (<i>Cobitis maroccana</i>)	No Amenazada	No Amenazada
Lamprehuela (<i>Cobitis calderoni</i>)	Sensible a la alteración de su hábitat	No Amenazada

Figura 102: Peces de La Jacetania.

Fuente: (Pedrocchi Renault, C., 2004), (Alcántara de la Fuente, M., 2007) y (BOE, 2011).

LISTA DE INVERTEBRADOS	CEAA	CEEA
Influencia mediterránea:		
Ciervo volante (<i>Lucanus cervus</i>)	De interés especial	No Amenazada
Procesionaria (<i>Thaumatopoea pityocampa</i>)	No Amenazada	No Amenazada
Piso alpino:		
Saltamontes (<i>Cophopodisma pirenaea</i>)	No Amenazada	No Amenazada

Figura 103: Invertebrados de La Jacetania.

Fuente: (Pedrocchi Renault, C., 2004), (Alcántara de la Fuente, M., 2007) y (BOE, 2011).



Universidad
Zaragoza

ANEXO VI

DECLARACIÓN RESPONSABLE PARA ACTUACIONES MENORES DE CONSERVACIÓN EN EL DOMINIO PÚBLICO HIDRÁULICO Y EN SU ZONA DE POLICÍA

- Declaración responsable para actuaciones menores de conservación en el dominio público hidráulico y en su zona de policía
- Instrucciones para rellenar el impreso de la declaración responsable para actuaciones menores de conservación en el dominio público hidráulico y en su zona de policía

Autor

Confederación Hidrográfica del Ebro



DECLARACIÓN RESPONSABLE PARA ACTUACIONES MENORES DE CONSERVACIÓN EN EL DOMINIO PÚBLICO HIDRÁULICO Y EN SU ZONA DE POLICÍA

El declarante abajo firmante manifiesta, bajo su responsabilidad, que los datos consignados en la presente declaración son ciertos y que cumple con los requisitos establecidos en la legislación de aguas, que dispone de la documentación que así lo acredita y que se compromete a mantener su cumplimiento durante el tiempo inherente a dicho reconocimiento o ejercicio.

Para completar esta declaración, se deben consultar las “Instrucciones para rellenar el impreso de declaración responsable para actuaciones de conservación en el dominio público hidráulico y en su zona de policía”.

1. Datos del declarante

Denominación social*.....CIF*.....
 Dirección*.....Localidad*.....
 Municipio*.....Provincia*.....Cód. Postal*.....
 Teléfono*.....Móvil:.....correo electrónico:.....

2. Representante legal firmante de la declaración responsable

Nombre y apellidos *.....NIF*.....
 Dirección de contacto*.....Localidad*.....
 Municipio*.....Provincia*.....Cód. Postal*.....
 Teléfono*.....Móvil:.....correo electrónico:.....

3. Localización*

Coordenadas UTM ETRS89: X..... Y:..... Provincia:.....
 Término municipal:..... Polígono:..... Parcela:.....
 Embalse:..... Cauce:..... Lago/Laguna:.....
 Cauce Zona de policía margen izquierda margen derecha

LAS ACTUACIONES EN ESPACIOS PROTEGIDOS NO PODRÁN ACOGERSE A ESTE PROCEDIMIENTO, REQUIRIENDO AUTORIZACIÓN, SALVO QUE SE APORTE INFORME DE MEDIO AMBIENTE DE LA COMUNIDAD AUTÓNOMA AVALANDOLAS

4. Datos de la actuación*

Tipo de Actuación:

<input type="checkbox"/> Retirada árboles muertos	<input type="checkbox"/> Mantenimiento estación aforos
<input type="checkbox"/> Plantación especies autóctonas de ribera y de buen comportamiento hidráulico	
<input type="checkbox"/> Retirada especies alóctonas invasoras	
<input type="checkbox"/> Poda	<input type="checkbox"/> Mantenimiento obra de paso
<input type="checkbox"/> Limpieza bajo línea eléctrica	<input type="checkbox"/> Actuación en parque
<input type="checkbox"/> Retirada de arrastres	<input type="checkbox"/> Construcción zona no inundable
<input type="checkbox"/> Reparación bien inmueble	<input type="checkbox"/> Otras (especificar).....
.....	

Propiedad de la finca: Sí No Otros

Propiedad de la finca colindante: Sí No Otros

Con * son campos de obligado cumplimiento

El declarante manifiesta que conoce, acepta y se compromete a cumplir las “instrucciones para rellenar el impreso de la declaración responsable para actuaciones menores de conservación en el Dominio Público Hidráulico y su Zona de Policía” actualizadas y disponibles en www.chebro.es, o contactando con el Organismo de cuenca. Asimismo declara que:

1. Respeta los fines e integridad del dominio público hidráulico y, en particular, la calidad y el caudal de las aguas.
2. Conoce que la inexactitud, falsedad u omisión, de carácter esencial, en cualquier dato, manifestación o documento que se acompañe o incorpore a la declaración responsable, o la no presentación ante la Administración competente de la declaración responsable, determinará la imposibilidad de continuar con el ejercicio de la actividad afectada desde el momento en que se tenga constancia de tales hechos, sin perjuicio de las responsabilidades, penales, civiles o administrativas a que hubiera lugar.
3. Conoce que la actividad prevista en la declaración responsable deberá realizarse conforme a lo manifestado en ella y en el plazo de tiempo indicado. Si no se hubiera desarrollado la actividad en ese plazo no podrá llevarse a cabo, salvo que se presente nueva declaración. Si se detectaran desviaciones entre lo ejecutado y lo declarado, se compromete a restituir las cosas a su estado original. En caso de detectarse desviaciones, se asume que se considerará que se ha cometido falsedad y que podrá ser sancionado con multas de entre 10.001 y 50.000 euros.
4. Incluso en caso de finalización anticipada de la actividad dejará el cauce en condiciones normales de desagüe, pudiendo el Organismo de cuenca adoptar las medidas necesarias para asegurar el cumplimiento de esta obligación.
5. Es responsable de cuantos daños se puedan producir al dominio público hidráulico y a los bienes de particulares o del Estado que puedan existir en el tramo objeto de actuación.
6. Conoce que trabajará en zona inundable, por lo que analiza los riesgos y adopta las medidas adecuadas frente a éstos; no siendo responsable este Organismo de cuenca de afecciones a causa de esta circunstancia.
7. Esta declaración no exime al beneficiario de la obligación de obtener las autorizaciones que pudiesen ser necesarias de otros Organismos de la Administración Central, Autonómica o Local, aun cuando se tratase de Órganos de esta misma Confederación. **Se coordinará con la Administración Autonómica, previamente al inicio de los trabajos, para que se determinen las fechas de ejecución y las medidas necesarias de minimización de impactos sobre el Medio Ambiente.**
8. Queda obligado a informarse sobre el estado de la masa de agua en la que va a actuar en referencia a la presencia de larvas o adultos de mejillón cebra. Si las aguas se encuentran infectadas por la plaga deberá:
 - Aplicar, tanto en la maquinaria de trabajo como en los elementos que entren en contacto con aguas infectadas, los protocolos de desinfección elaborados explícitamente por la Confederación Hidrográfica del Ebro para evitar la propagación de larvas o adultos de mejillón cebra a aguas no infectadas.
 - Asimismo se tendrá presente al planear cualquier actuación en cauces, la prohibición de mover aguas previsiblemente infectadas a otras masas de aguas libres de mejillón cebra.
9. Con carácter general, con las actuaciones a realizar no se afectará a la vegetación de ribera ni a la de la zona de servidumbre.
10. El acceso al cauce se realizará por las zonas más alteradas, minimizando la afección a la vegetación de ribera y de la zona de servidumbre y a los taludes del cauce.
11. Los trabajos dentro del cauce se realizarán, preferentemente, en época de estiaje,
12. Se limitará al mínimo el uso de maquinaria del cauce.
13. Se adoptarán las medidas necesarias para evitar cualquier tipo de enturbiamiento o degradación de las aguas debiendo, en caso de producirse ese tipo de situaciones, suspender los trabajos por el tiempo necesario y tomar las medidas oportunas.
14. Las podas se realizarán en parada vegetativa, y con herramientas o maquinarias adecuadas para que los cortes sean limpios.
15. Se retirarán de las inmediaciones del cauce tanto los restos procedentes de las podas como el material retirado del cauce, quedando expresamente prohibido su acopio en forma de cordones o cualquier otra forma a lo largo de las márgenes del cauce.

Esta declaración responsable deberá registrarse en la Confederación Hidrográfica del Ebro con un periodo mínimo de antelación de 15 días hábiles (tres semanas naturales) antes de iniciar la actuación. Transcurrido dicho plazo el interesado podrá comenzar la actuación, aún cuando no haya recibido comunicación expresa al efecto. En caso de incompatibilidad, se le notificará al declarante la imposibilidad de llevar a cabo la actividad.

En cumplimiento de la LOPD (Ley Orgánica 15/1999, de 13 de diciembre, de Protección de Datos de carácter personal), la Confederación Hidrográfica del Ebro, le informa que los datos recogidos en la presente declaración serán incorporados y tratados en un fichero informático cuya finalidad es el seguimiento de declaraciones responsables, y podrán ser cedidos de acuerdo con la normativa vigente. Podrá ejercitar el derecho de acceso, rectificación, oposición y cancelación de sus datos en la Secretaría General de la Confederación Hidrográfica del Ebro.

Doy mi consentimiento para que, en la tramitación de este expediente, mis datos de identidad puedan ser consultados a través del Sistema de Verificación de Datos de Identidad (SVDI). (Real Decreto 522/2006, de 28 de abril y Orden PRE/3949/2006, de 26 de diciembre).

En caso contrario marque esta casilla.

En a de de

FIRMADO: EL DECLARANTE O SU REPRESENTANTE LEGAL

EXMO. SR. PRESIDENTE DE LA CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO
COMISARÍA DE AGUAS. Paseo de Sagasta 24-28 50071 Zaragoza



INSTRUCCIONES PARA RELLENAR EL IMPRESO DE LA DECLARACIÓN RESPONSABLE PARA ACTUACIONES MENORES DE CONSERVACIÓN EN EL DOMINIO PÚBLICO HIDRÁULICO Y EN SU ZONA DE POLICÍA

Estas instrucciones se mantendrán actualizadas y se podrán consultar www.chebro.es, o bien contactando con este Organismo de cuenca:

Confederación Hidrográfica del Ebro
Oficina de Información al Ciudadano
Paseo de Sagasta 24-28
50071 - Zaragoza (ESPAÑA)

Teléfono: +34 976 711 000
Fax: +34 976 01 17 15
E.mail: informacionalciudadano@chebro.es

■ ¿QUÉ ES UNA DECLARACIÓN RESPONSABLE PARA ACTUACIONES MENORES DE CONSERVACIÓN EN EL DOMINIO PÚBLICO HIDRÁULICO Y EN SU ZONA DE POLICÍA?

Se entiende por declaración responsable el documento suscrito por un interesado en el que manifiesta, bajo su responsabilidad, que cumple con los requisitos establecidos en la normativa vigente para la realización de actuaciones menores de conservación del dominio público hidráulico en la cuenca del Ebro, que dispone de la documentación que así lo acredita, y que se compromete a mantener su cumplimiento durante el ejercicio de la actividad que motiva la declaración¹.

La omisión, inexactitud o falsedad, de carácter esencial, en cualquier dato, manifestación o documento que se acompañe o incorpore a esta declaración responsable, o la no presentación ante la Confederación Hidrográfica del Ebro de la misma, determinará la imposibilidad de continuar con el ejercicio de la actividad afectada desde el momento en que se tenga constancia de tales hechos, sin perjuicio de las responsabilidades penales, civiles o administrativas, a que hubiera lugar².

Esta declaración responsable deberá registrarse en la Confederación Hidrográfica del Ebro con un **periodo mínimo de antelación de 15 días hábiles** (tres semanas naturales) antes de iniciar la actuación para que pueda comprobarse su compatibilidad con los usos previstos para las aguas, protegiendo su calidad.³

Este plazo iniciará a partir de la fecha en que la declaración responsable haya tenido entrada en cualquiera de los registros de la Confederación Hidrográfica del Ebro.

Presentación telemática de documentación: Disponible el Registro Electrónico Común (REC) en el Punto de Acceso General de la AGE:

https://sede.administracion.gob.es/PAG_Sede/ServiciosElectronicos/RegistroElectronicoComun.html

El nuevo Plan Hidrológico del Ebro, aprobado por Real Decreto 1/2016, de 8 de enero, en su artículo 46, señala lo siguiente en relación a las actuaciones menores en dominio público hidráulico:

"1.- Se consideran actuaciones menores de conservación en el Dominio Público Hidráulico y su Zona de Policía, siempre que se realicen fuera de espacios protegidos, las siguientes:

- a) Retirada de árboles muertos y podas de árboles que impidan accesos al cauce o su servidumbre de paso, siempre que no impliquen pérdida del sustrato arbóreo de la ribera.*
- b) Retirada de árboles muertos y podas de árboles que mermen la capacidad de desagüe del cauce, así como las podas tradicionales de los denominados "chopos cabeceros" o similares.*
- c) Retirada de elementos arrastrados por la corriente que obstruyan el cauce y en especial en las obras de paso sobre el mismo, o que constituyan un elemento de degradación o contaminación del dominio público hidráulico.*
- d) Mantenimiento de las secciones de aforo de las redes oficiales de estaciones de aforo.*

¹ De acuerdo con lo establecido en el artículo 69.1 de la Ley 39/2015, de 1 de octubre, del procedimiento administrativo común de las Administraciones Públicas.

² De acuerdo con lo establecido en el artículo 69.4 de la Ley 39/2015, de 1 de octubre, del procedimiento administrativo común de las Administraciones Públicas.

³ De acuerdo con lo establecido en el artículo 51.2 del Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, por el que se aprueba el Reglamento del Dominio Público Hidráulico, que desarrolla los títulos preliminar, I, IV, V, VI y VII de la Ley 29/1985, de 2 de agosto, de Aguas, en la redacción que le da el artículo 5 del Real Decreto 367/2010, de 26 de marzo y el artículo 46.2 del Real Decreto 1/2016, de 8 de enero (Plan Hidrológico del Ebro).

- e) Limpieza de vegetación bajo líneas eléctricas y cualquier otra actuación que venga determinada por aplicación de otra legislación distinta de la de aguas y no suponga aprovechamiento, ocupación o utilización de bienes del Dominio Público Hidráulico.
- f) Actuaciones de los Ayuntamientos en parques urbanos y periurbanos.
- g) Retirada de especies vegetales alóctonas invasoras y de mal comportamiento hidráulico, así como la plantación de especies autóctonas y de buen comportamiento hidráulico.
- h) Plantaciones o cortas de choperas en terrenos cultivados tradicionalmente por particulares.
- i) Construcciones en suelo no urbanizable fuera de la zona de flujo preferente o de la lámina inundable teórica producida por el caudal máximo correspondiente a un periodo de retorno de cien años, en tramos de ríos en los que exista delimitación de dichas zonas proveniente de estudios de inundabilidad validados por el Organismo de cuenca.
- j) Labores de pequeña reparación exigidas por la normal conservación de bienes inmuebles existentes.

2.- La ejecución de estas actuaciones se realizará previa presentación ante el Organismo de cuenca, con quince días de antelación, de la declaración responsable por la que el promotor se comprometa al cumplimiento de los requisitos establecidos. El modelo de declaración responsable será aprobado y publicado por el Organismo de cuenca conforme al artículo 71 bis de la Ley 30/1992, de 26 de noviembre, de Régimen jurídico de las Administraciones Públicas y del Procedimiento Administrativo Común. La Administración se reserva la facultad de comprobar la veracidad y exactitud de los datos consignados en la declaración, disponiendo a tal fin de las labores de inspección del personal dependiente jerárquicamente de la Comisaría de Aguas.

3.- Se promoverá la colaboración con las entidades locales para la ejecución de estas actuaciones.”

EL PRESENTE MODELO DE DECLARACIÓN RESPONSABLE NO INCLUYE LAS ACTUACIONES DEL PUNTO H, QUE CONLLEVARÍAN EL COBRO DE CANON DE UTILIZACIÓN DEL DOMINIO PÚBLICO HIDRÁULICO, Y POR TANTO SERÁN OBJETO DE UN MODELO DE DECLARACIÓN RESPONSABLE ESPECÍFICO.

ASIMISMO, RESTRINGE LO ENLOBADO EN LOS SIGUIENTES APARTADOS:

F) LAS ACTUACIONES SOLICITADAS POR AYUNTAMIENTOS EN PARQUES URBANOS Y PERIURBANOS NO PODRÁN INCLUIR OBRAS EN CAUCE

I) LA PRESENTE DECLARACIÓN SOLO SE PODRÁ UTILIZAR PARA ACTUACIONES FUERA DE ZONAS INUNDABLES, EN TRAMOS DE RÍOS EN LOS QUE EXISTA DELIMITACIÓN DE DICHAS ZONAS PROVENIENTE DE ESTUDIOS DE INUNDABILIDAD VALIDADOS POR EL ORGANISMO DE CUENCA, Y SIEMPRE RESPETANDO LOS 5 METROS DE ZONA DE SERVIDUMBRE

J) EN NINGÚN CASO INCLUIRÁN AUMENTO DE DIMENSIONES

■ ACERCA DEL DECLARANTE

El declarante es la persona física o jurídica que asume la ejecución de las actuaciones objeto de la declaración responsable. Queda bajo su responsabilidad el cumplimiento de los requisitos que vienen reflejados en su declaración, y se compromete a mantener su cumplimiento durante el ejercicio de la actuación que motiva la declaración.

El declarante es responsable de que todas aquellas personas que participen en las actividades que se describen en la declaración responsable cumplan los requisitos establecidos en la misma.

■ ¿CÓMO CONSEGUIR LOS MODELOS DE DECLARACIÓN RESPONSABLE?

Puede descargarse el modelo de la declaración responsable en la página web del Organismo de cuenca (<http://www.chebro.es>) o bien contactando con el Servicio de Control del Dominio Público Hidráulico:

Confederación Hidrográfica del Ebro
Paseo Sagasta, 24-28
Zaragoza-50071
Tfno: 976 71 10 00
informacionalciudadano@chebro.es

■ ¿COMO RELLENAR LA DECLARACIÓN RESPONSABLE?

A continuación se pasa a describir los requisitos y forma de rellenar cada uno de los campos que compone la declaración responsable.

Rellene estos campos con letras mayúsculas o caracteres de imprenta fácilmente legibles.

Las declaraciones responsables que no cumplan con todos los requisitos descritos serán denegadas y no permitirán el inicio de la actividad objeto de la declaración.

Los campos señalados con asterisco (*) en la declaración responsable son de obligado cumplimiento.

Lea atentamente cada uno de los siguientes apartados para asegurarse que cumple en cada caso con los requisitos exigidos:

1. Datos del declarante:

Indique los datos de contacto del declarante que se responsabiliza del cumplimiento de los requisitos que vienen reflejados en su declaración.

2. Representante legal firmante de la declaración responsable:

Rellene estos campos cuando los datos de contacto, para el envío de información al declarante, no coinciden con los datos de contacto del declarante.

Si el declarante es una persona jurídica, deberá indicar los datos de contacto de su representante legal con poder de firma.

Cuando la información enviada por la Administración no encuentre destinatario, se archivará el expediente correspondiente sin perjuicio de las responsabilidades penales, civiles o administrativas, a que hubiere lugar⁴.

3. Localización:

En el caso en el que las actuaciones se vayan a realizar en diferentes ubicaciones, se adjuntará una tabla en la memoria a presentar.

SE RECUERDA QUE LAS ACTUACIONES EN ESPACIOS PROTEGIDOS (RED NATURA 2000, ESPACIOS NATURALES PROTEGIDOS, RESERVAS NATURALES FLUVIALES) DEBERÁN SER OBJETO DE AUTORIZACIÓN ESPECÍFICA, salvo que se aporte informe del Departamento de Medio Ambiente de la Comunidad Autónoma avalando la actuación.

4. Datos de la actuación:

Se deberá indicar el tipo de actuación y si es propietario de la finca, o de la fina colindante en su caso.

5. Plazo declarado:

El plazo máximo será de 3 meses o inferior, debiéndose marcar entre qué fechas se pretende llevar a cabo la actuación, Esta fechas deberán ser posteriores a los 15 días hábiles en los cuales la declaración puede ser denegada.

ANTES DEL INICIO DE LA ACTUACIÓN, SE DEBERÁ LLAMAR AL SERVICIO DE POLICÍA DE CAUCES PARA COMUNICAR LAS FECHAS EXACTAS DE EJECUCIÓN, DE ACUERDO CON EL SIGUIENTE CUADRO DE DISTRIBUCIÓN:

PROVINCIA	TELÉFONO	PROVINCIA	TELÉFONO
PAÍS VASCO (Agencia Vasca del Agua)	945 01 18 98	LA RIOJA	941 25 45 36
BARCELONA (Agencia Catalana del Agua)	973 28 96 20	LLEIDA (Agencia Catalana del Agua)	973 28 96 20
BURGOS	947 31 24 84	NAVARRA	947 31 24 84
CANTABRIA	947 31 24 84	PALENCIA	947 31 24 84
CASTELLÓN	973 23 03 40	SORIA	976 01 17 30
GIRONA (Agencia Catalana del Agua)	973 28 96 20	TARRAGONA (Agencia Catalana del Agua)	977 44 61 55
GUADALAJARA	976 01 17 30	TERUEL	973 23 03 40
HUESCA	973 23 03 40	ZARAGOZA	976 01 17 30

6. Memoria:

Para valorar los efectos perniciosos que las actividades proyectadas pudieran tener en el medio hídrico y su compatibilidad con la protección del dominio público hidráulico debe realizarse una memoria descriptiva de las actuaciones: Breve descripción de las mismas, que incluya una valoración de su magnitud, justificación de por qué son necesarias, modo de ejecución, maquinaria a emplear, mediciones (superficie, metros lineales, etc), gestión de los residuos generados (cómo se retiran y se eliminan sin afectar al medio hídrico), otros aspectos que considere relevantes.

7. Croquis:

Croquis o plano de planta de la zona, en la que quede marcada la superficie sobre la que se pretende actuar, con referencia a las márgenes del cauce/embalse afectado, a una escala adecuada.

Localización: Adjuntar planos en los que se localice la zona de actuación.

⁴ Véase Sentencia de 17 de noviembre de 2003 de la Sala Tercera del Tribunal Supremo, por la que se fija doctrina legal en relación con el artículo 58.4 de la Ley 30/1992, de 26 de noviembre de Régimen Jurídico de las Administraciones Públicas y del Procedimiento Administrativo Común.

8. Documentación adjunta (en caso de ser necesario o complementaria a los puntos anteriores 6 y 7):

En caso de que el espacio proporcionado no sea suficiente, se necesite aportar más información o se disponga de proyectos detallados así como planos y mapas más precisos, por favor, adjúntense.

9. Otras aclaraciones:

A continuación se incluyen algunas aclaraciones acerca de las declaraciones contenidas en la página nº2 de la declaración responsable que el declarante cumple y se compromete a mantener durante el plazo de ejercicio de la actividad descrita.

- Esta declaración no supone ni excluye otras autorizaciones que puedan ser necesarias de otros Organismos de la Administración Central, Autonómica o Local para el ejercicio de la actividad declarada.

- Deberán respetarse las limitaciones impuestas por otras Administraciones que puedan condicionar el ejercicio de las actividades proyectadas: Por ejemplo limitaciones impuestas por las Administraciones Autonómicas para realizar actividades por razones medioambientales, necesidad de licencias municipales, etc. **Se coordinará con la Administración Autonómica, previamente al inicio de los trabajos, para que se determinen las fechas de ejecución y las medidas necesarias de minimización de impactos sobre el Medio Ambiente.**

- La comprobación por parte de la administración pública de la inexactitud o falsedad en cualquier dato, manifestación o documento, de carácter esencial, que se hubiere aportado o del incumplimiento de los requisitos señalados en la legislación vigente determinará la imposibilidad de continuar con el ejercicio del derecho o actividad desde el momento en que se tenga constancia de tales hechos, sin perjuicio de las responsabilidades penales, civiles o administrativas a que hubiera lugar⁵.

- La actividad prevista en la declaración responsable deberá realizarse conforme a lo manifestado en ella y en el plazo de tiempo indicado. Si no se hubiera desarrollado la actividad en ese plazo no podrá llevarse a cabo, salvo que se presente una nueva declaración responsable. **Si se detectaran desviaciones entre lo ejecutado y lo declarado, se compromete a restituir las cosas a su estado original. En caso de detectarse desviaciones, se asume que se considerará que se ha cometido falsedad y que podrá ser sancionado con multas entre 10.001 y 50.000 euros.**

- Se asume la responsabilidad de cuantos daños se puedan producir al dominio público hidráulico y a los bienes de particulares o del Estado que puedan existir en el tramo objeto de actuación.

- Se trabajará en una zona potencialmente inundable, por lo que se deberán analizar convenientemente los riesgos y adoptar las medidas adecuadas frente a éstos; no siendo responsable este Organismo de cuenca de afecciones a causa de esta circunstancia.

- Es necesario informarse sobre el estado de la masa de agua en la que va a actuar en referencia a la presencia de larvas o adultos de mejillón cebra. Si las aguas se encuentran infectadas por la plaga deberá:

- Aplicar, tanto en la maquinaria de trabajo como en los elementos que entren en contacto con aguas infectadas, los protocolos de desinfección elaborados explícitamente por la Confederación Hidrográfica del Ebro para evitar la propagación de larvas o adultos de mejillón cebra a aguas no infectadas.
- Así mismo se tendrá presente al planear cualquier actuación en cauces, la prohibición de mover aguas previsiblemente infectadas a otras masas de aguas libres de mejillón cebra.

- Con carácter general, con las actuaciones a realizar no se afectará a la vegetación de ribera ni a la de la zona de servidumbre.

- El acceso al cauce se realizará por las zonas más alteradas, minimizando la afección a la vegetación de ribera y de la zona de servidumbre y a los taludes del cauce.

- Los trabajos dentro del cauce se realizarán, preferentemente, en época de estiaje,

- Se limitará al mínimo el uso de maquinaria del cauce.

- Se adoptarán las medidas necesarias para evitar cualquier tipo de enturbiamiento o degradación de las aguas debiendo, en caso de producirse ese tipo de situaciones, suspender los trabajos por el tiempo necesario y tomar las medidas oportunas.

- Las podas se realizarán en parada vegetativa, y con herramientas o maquinarias adecuadas para que los cortes sean limpios.

- Se retirarán de las inmediaciones del cauce tanto los restos procedentes de las podas como el material retirado del cauce, quedando expresamente prohibido su acopio en forma de cordones o cualquier otra forma a lo largo de las márgenes del cauce.

Se recuerda que se considerará infracción administrativa⁶:

- ✓ La no presentación de declaración responsable o el incumplimiento de las previsiones contenidas en la declaración responsable para el ejercicio de una determinada actividad o de las condiciones impuestas por la Administración para el ejercicio de la misma.
- ✓ La inexactitud, falsedad u omisión en los datos, manifestaciones o documentos que se incorporen o acompañen a la declaración responsable

⁵ De acuerdo con lo establecido en el artículo 69.4 de la Ley 39/2015, de 1 de octubre, del procedimiento administrativo común de las Administraciones Públicas.

⁶ De acuerdo con lo establecido en el artículo 116.3 i) y j) del Texto Refundido de la Ley de Aguas aprobado por Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, en la redacción que le da el artículo 33 de la Ley 25/2009, de 22 de diciembre, de modificación de diversas leyes para su adaptación a la Ley sobre el libre acceso a las actividades de servicios y su ejercicio, y en los artículos 316.h) y 318 del Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, por el que se aprueba el Reglamento del Dominio Público Hidráulico, que desarrolla los títulos preliminar, I, IV, V, VI y VII de la Ley 29/1985, de 2 de agosto, de Aguas .

■ HE ACABADO DE RELLENAR LA DECLARACIÓN RESPONSABLE... ¿CUANDO PUEDO EMPEZAR A REALIZAR LA ACTUACIÓN?

Una vez que haya rellenado su declaración responsable el declarante deberá:

1. Fechar y firmar la declaración. Deberá firmar el representante legal con poder de firma del declarante.

2. Podrá presentar su declaración responsable en las oficinas de registro de la Confederación Hidrográfica del Ebro o por cualquier otro medio establecido legalmente, incluido la presentación en las Oficinas de Correo para el envío a la siguiente dirección:

Confederación Hidrográfica del Ebro
Registro General
Paseo de Sagasta 24-28
50071 - Zaragoza (ESPAÑA)

También se podrá presentar telemáticamente a través del **Registro Electrónico Común (REC)** en el Punto de Acceso General de la AGE.

La declaración responsable deberá presentarse con un **periodo mínimo de antelación de 15 días hábiles (tres semanas naturales) antes de iniciar la actividad, contados a partir de la fecha de registro de entrada de la declaración responsable en las oficinas de la Confederación Hidrográfica del Ebro.**⁷

No se registrarán las declaraciones responsables enviadas por correo electrónico, fax o cualquier otro medio que no establezcan las disposiciones vigentes.⁸

3. El Servicio de Control del Dominio Público Hidráulico de la Confederación hidrográfica del Ebro comprobará la compatibilidad del contenido de la declaración responsable con la protección y los fines del dominio público hidráulico.⁹

Tras la presentación de la declaración responsable, y una vez transcurrido el plazo de 15 días hábiles (tres semanas naturales) fijado por el organismo de cuenca, el interesado podrá iniciar la actividad declarada, aun cuando no haya recibido comunicación expresa al respecto, y previo aviso telefónico al Servicio de Policía de Cauces.

En caso de incompatibilidad del contenido de la declaración responsable con la protección y los fines del dominio público hidráulico, se notificará al declarante, mediante resolución y de forma motivada la imposibilidad

⁷ De acuerdo con lo establecido en el artículo 51.2 del REAL DECRETO 849/1986, de 11 de abril, por el que se aprueba el Reglamento del Dominio Público Hidráulico, que desarrolla los títulos preliminar, I, IV, V, VI y VII de la Ley 29/1985, de 2 de agosto, de Aguas, en la redacción que le da el artículo 5 del Real Decreto 367/2010, de 26 de marzo.

⁸ De acuerdo con lo establecido en el artículo 16 de la Ley 39/2015, de 1 de octubre, del procedimiento administrativo común de las Administraciones Públicas.

⁹ De acuerdo con lo establecido en el artículo 51 bis.3 del REAL DECRETO 849/1986, de 11 de abril, por el que se aprueba el Reglamento del Dominio Público Hidráulico, que desarrolla los títulos preliminar, I, IV, V, VI y VII de la Ley 29/1985, de 2 de agosto, de Aguas, en la redacción que le da el artículo 5 del Real Decreto 367/2010, de 26 de marzo.