

Manual de Aspectos Constructivos de Caminos Naturales



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE AGRICULTURA, PESCA
Y ALIMENTACIÓN



Aviso Legal: Los contenidos de esta publicación podrán ser reutilizados, citando la fuente y la fecha, en su caso, de la última actualización.

Coordinación y elaboración: Dirección General de Desarrollo Rural, Innovación y Formación Agroalimentaria.



MINISTERIO DE AGRICULTURA, PESCA Y ALIMENTACIÓN.

Edita:

©Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación
Secretaría General Técnica
Centro de Publicaciones
Versión 2020

Catálogo de Publicaciones de la AGE:

<https://cpage.mpr.gob.es>

Tienda virtual: www.mapa.gob.es

e-mail: centropublicaciones@mapa.es

NIPO: 003210180



1.

Introducción

1. INTRODUCCIÓN

El presente "Documento de Recomendaciones para la redacción de los proyectos de ejecución de obras para la normalización de los aspectos constructivos de los Caminos Naturales" se desarrolla como un instrumento a utilizar por los técnicos que redactan proyectos para diferentes promotores interesados en que sus propuestas entren a formar parte de la red de Caminos Naturales que promueve el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. De esta manera, se pretende facilitar su ejecución, consiguiendo una homogeneidad que facilite tanto su tramitación, como la consecución de una identidad particular.

2

Es necesario mencionar que este documento es una actualización del publicado en el año 2011 por el Programa de Caminos Naturales.

Este documento recoge en sus capítulos las principales actuaciones que suelen formar parte de las obras de Caminos Naturales, que son, a su vez, las que se ejecutan en prácticamente todos los proyectos. Por otro lado, existen otras actuaciones que también pueden aparecer en proyectos susceptibles de acogerse al Programa, aunque normalmente son tan poco frecuentes que no se considera que se deban incluir en un manual de carácter general como es éste.

De esta forma, en el manual se desarrollan las actuaciones que forman parte de los proyectos y obras que se ejecutan como infraestructuras típicas del Programa de Caminos Naturales.

Adicionalmente, en este documento se establecen una serie de criterios generales que hay que tener muy en cuenta como pautas de diseño y de concepto, antes de que el proyectista proceda a definir las actuaciones necesarias que conducen a la transformación y adaptación de las infraestructuras actuales en itinerarios que puedan definirse e integrarse en la filosofía y tipología de los Caminos Naturales que conforman este Programa.

2.

Antecedentes



Caminos
Naturales

2. ANTECEDENTES

Los actuales Caminos Naturales surgieron como idea en el año 1991, potenciados por el entonces Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente, con el fin de buscar una solución al creciente abandono en que se encontraban miles de kilómetros de itinerarios en desuso o con muy baja utilización (líneas de ferrocarril abandonadas o en desuso, ferrocarriles mineros, vías pecuarias, caminos de servicio de canales, caminos de servidumbre junto al dominio público hidráulico de cauces, calzadas romanas, etc.), al mismo tiempo que se intenta proteger su patrimonio cultural y artístico, evitando así su deterioro y ruina y el peligro para el uso que su abandono suponía. De esta manera, también se daba una respuesta a una creciente demanda social de turismo alternativo y se pretendía incrementar el desarrollo sostenible de las zonas rurales, poniendo en valor recursos naturales semiolvidados hasta el momento.

Debía, pues, darse respuesta a tales circunstancias aprovechando su potencial imbricación con las infraestructuras en desuso para su uso ecoturístico, consiguiendo una oferta alternativa de servicios turísticos, impulsando el desarrollo sostenible de zonas deprimidas, salvaguardando el patrimonio amenazado y mejorando la seguridad del usuario. Así, nació el actual Programa de Caminos Naturales, gestionado por el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación a través de la Dirección General de Desarrollo Rural, Innovación y Formación Agroalimentaria.

Actualmente, pueden acogerse a este Programa aquellos organismos o entes interesados en promocionar este tipo de turismo alternativo, pudiendo ser tanto públicos como privados (Ayuntamientos, Mancomunidades, Diputaciones, Comunidades Autónomas, Administración Central, organizaciones privadas, asociaciones, etc.).

Para ello, además de que la filosofía de la entidad promotora coincida con la del Programa de Caminos Naturales, ésta debe de cumplir una serie de requisitos básicos en la solicitud que realiza, como son:

- Que el itinerario propuesto tenga una longitud suficiente que permita una actuación importante en el territorio. Normalmente, deben ser itinerarios de más de 15 km, siendo interesante que tengan una longitud entre 20 y 30 km.
- Se tiene que solicitar la correspondiente incorporación al Programa mediante propuesta dirigida a la Dirección General de Desarrollo Rural, Innovación y Formación Agroalimentaria.
- Tiene que presentar un proyecto constructivo completo de las obras de acondicionamiento del trazado de la infraestructura que se quiera integrar en el Programa.
- Además, por parte del Promotor, debe haber un compromiso con la Dirección General de Desarrollo Rural, Innovación y Formación Agroalimentaria, en el que se exprese:
 - Que existe disponibilidad de los terrenos para la realización de las obras.

- Que asumirán las labores de mantenimiento y conservación de las obras una vez finalizadas.
- Que asumirán el compromiso de promoción y difusión del Camino Natural y del Programa.
- Que adquieren la responsabilidad patrimonial y extracontractual ante la eventualidad de cualquier hipotético daño o siniestro producido en los terrenos y/o bienes inmuebles integrantes del "Camino Natural" o vinculados a él, o que como consecuencia de un limitado mantenimiento puedan originarse en las propiedades limítrofes, usuarios o personas situadas en las cercanías.
- Que adquieren el compromiso en la difusión y promoción del Camino Natrual y del Programa.

Según estos requisitos, todos aquellos promotores que estén interesados tienen que presentar un proyecto constructivo en el que se definan detalladamente las actuaciones a realizar. En este sentido, el presente documento pretende facilitar dicho trámite siendo una guía de soluciones y propuestas constructivas y, al mismo tiempo, potenciar y mantener una imagen de homogeneidad, identificativa de los propios Caminos Naturales; además, procura facilitar la bondad de su ejecución y la seguridad del itinerario, sin olvidar los requisitos de durabilidad y sencillez en el mantenimiento que todo proyecto debe incluir.



3. Objetivos



Camino
Naturales

3. OBJETIVOS

De acuerdo con los antecedentes mencionados, los objetivos que se persiguen con la redacción del presente Documento de Recomendaciones son los de exponer diferentes soluciones constructivas para las posibles soluciones proyectadas respecto a las circunstancias en la ejecución, los materiales y los procedimientos, lo que permitirá, en la medida de lo posible, homogeneizar los proyectos.

Por ello, se pretende:

- Crear un instrumento que facilite las labores de redacción de los proyectos constructivos de Caminos Naturales, poniendo a disposición de los organismos o entidades interesadas un manual que facilite estos trabajos.
- Anticipar y dejar constancia de determinados condicionantes o problemas con los que pueden encontrarse los promotores, redactores y ejecutores de los proyectos a la hora de abordar el proyecto de un Camino Natural, y que pueden afectar negativamente a la ejecución del proyecto (trámites previos, propiedad de los terrenos, accesos a obras, servidumbres, coordinación con otros planes territoriales, gestión de espacios protegidos, etc.).
- Facilitar la tramitación y supervisión de los proyectos para su rápida ejecución.
- Identificar y concretar las soluciones constructivas desarrolladas en los proyectos, alcanzando la calidad técnica requerida por estas actuaciones, de manera que el proyectista defina clara, precisa y correctamente las actuaciones a ejecutar en obra, indicando adecuada y suficientemente cómo se deben acometer las soluciones constructivas planteadas.
- Conseguir unos proyectos y, por tanto, unas obras que, dentro de la calidad exigida, y dados los ámbitos territoriales donde se desarrollan, impliquen un bajo nivel de mantenimiento que minimice las labores posteriores a su ejecución y, con ello, sus costes.
- Homogeneizar las soluciones aportadas en los proyectos constructivos para conseguir una imagen corporativa adecuada que identifique los Caminos Naturales.



4.

Estructura

4. ESTRUCTURA

Para dar respuesta a los objetivos establecidos en el epígrafe anterior, el presente documento se articula en dos partes fundamentales, aunque con diferente desarrollo y volumen de contenidos.

Por una parte, se definen los "*Criterios generales previos*", donde se establecen las circunstancias iniciales a tener en cuenta para el diseño de las distintas soluciones proyectadas. Estos criterios están orientados a favorecer la viabilidad del proyecto y hacen alusión a la adaptación al medio, la propiedad de los terrenos, los posibles usuarios, el mantenimiento, el impacto generado, etc.

Por otra parte, se desarrolla la "*Normalización de aspectos constructivos*", donde se describen, por capítulos, una serie de actuaciones comunes y de aplicación genérica a la mayoría de los proyectos y obras asociadas al desarrollo y ejecución de los Caminos Naturales. A continuación, se enumeran las actuaciones contempladas:

- Topografía
- Geotecnia
- Explanadas, firmes y pavimentos
- Sistemas de drenaje
- Estabilización de taludes
- Pasos inferiores
- Pasarelas peatonales
- Rehabilitación de estructuras existentes
- Adaptación de túneles al tránsito peatonal
- Vegetación de márgenes y áreas de descanso

Cada capítulo se desarrollará de acuerdo a una estructura común, aunque particularizada para las diferentes actuaciones. El esquema que se ha seguido es el siguiente:

- Criterios a tener en cuenta
- Ensayos y estudios previos necesarios para la obtención de datos de partida para la elección de la solución establecida
- Cálculos
- Definición del proceso constructivo
- Materiales a emplear



5. Criterios generales previos

5. CRITERIOS GENERALES PREVIOS

En este epígrafe, se recogen los criterios generales a tener en cuenta antes de concretar las actuaciones del proyecto. Estos criterios deben servir para adaptar las soluciones planteadas a los requerimientos del entorno y a los correctos planteamientos de diseño.

Los criterios considerados y la elección de posibilidades han de quedar muy claros y estar suficientemente definidos y justificados como parámetros de partida del proyecto constructivo.

Estos criterios se pueden clasificar de acuerdo a diferentes circunstancias del proyecto, como son los condicionantes del medio, la disponibilidad de los terrenos y los permisos de actuación, la afectación a servicios, usuarios, el diseño, la duración y el mantenimiento. En base a esta clasificación, a continuación, se definen los criterios generales previos que deberán tenerse en cuenta a la hora de diseñar las soluciones constructivas de todo proyecto que quiera acogerse e integrarse en el Programa de Caminos Naturales.

11

a) Criterios de adaptación al medio

Para poder afirmar que una solución constructiva de un camino se adapta al medio donde se desarrolla deberán tenerse en cuenta, al menos, los siguientes condicionantes:

- Que la adaptación al medio físico y biótico sea de mínimo impacto, no sólo para la solución final proyectada sino también para los condicionantes y problemas que puedan derivarse de los accesos y métodos de trabajo necesarios para poder ejecutar dichas soluciones. En su caso, estas situaciones pueden condicionar la forma de construir una determinada unidad de obra, y deben venir convenientemente definidas y detalladas en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares del Proyecto.
- Que se tengan en cuenta las actividades productivas y usos de la zona, especialmente las que puedan ser un inconveniente para la ejecución o el mantenimiento de las obras proyectadas. Por ejemplo, la ganadería puede dañar las plantaciones u otras soluciones constructivas o no ser compatibles, aprovechamientos agrícolas que pueden requerir el paso de maquinaria pesada para diferentes labores o el paso de vehículos pesados para sacar las cosechas, etc.
- Que se considere adecuadamente la tipología del camino a potenciar (trazados ferroviarios, Vías Pecuarias, caminos históricos, cauces, tramos costeros, espacios protegidos, etc.) y, por tanto, la solución planteada.

b) Criterios referidos a la disponibilidad de los terrenos y posibilidades de actuación

- Desde un principio, se deberán tener en cuenta las posibilidades de disponibilidad de los terrenos, tanto del trazado principal como de todas y cada una de las actuaciones proyectadas, muy especialmente, en cuanto a los accesos a obras y métodos de

ejecución que conlleven. Todos los terrenos afectados, bien por la solución a construir o los necesarios para entrar a los tajos o para llevar a cabo los mismos, deberán estar libres de carga y puestos claramente a disposición del proyecto y de las obras. Para ello, se deben aportar los documentos necesarios mediante declaración del titular, contrato de arrendamiento, o libre disposición del propietario, autorizando las obras y cediendo los terrenos.

- Tramitación de permisos necesarios para la ejecución de proyecto y obras frente a los organismos implicados. En todos los casos debe haber una comunicación previa, una solicitud de las autorizaciones necesarias y una tramitación de las mismas por parte de los promotores y redactores del proyecto, para conseguir tanto la viabilidad del mismo, como que cuando éste esté redactado y, antes de comenzar las obras, se tengan las autorizaciones pertinentes y se haya dado cumplida solución a las recomendaciones que establezcan estos organismos. De forma general, pueden estar comprendidos los siguientes:
 - Espacios Naturales Protegidos, que poseerán sus Planes de Ordenación y de Uso y Gestión, y a los que deberán adaptarse las distintas actuaciones, quedando reflejada esta situación, si es necesaria, en la tramitación ambiental.
 - Dominio Público Hidráulico, junto a cauces o atravesando los mismos, que requerirá de permisos previos de las Confederaciones para poder actuar; Dominio Público Marítimo-Terrestre, junto al mar, que requerirá de los permisos previos de la Dirección General de Costas.
 - Actuaciones a través de carreteras, o junto a ellas, que dependiendo de la entidad de las mismas requerirán de los correspondientes permisos de la entidad gestora pertinente (Ministerio, Comunidades Autónomas, Diputaciones, etc.).
 - Actuaciones en un entorno condicionado por la planificación territorial (Planes urbanísticos), donde deberá buscarse la compatibilidad de las actuaciones con lo planificado.
 - Patrimonio cultural y arqueológico, estudiando los condicionantes que pudieran existir con las obras del camino y estableciendo las medidas para compatibilizarlo.

c) Criterios referidos a la existencia y compatibilidad con servicios afectados

- Se deben revisar todos los posibles servicios afectados, siendo necesario establecer un contacto directo con cada uno de estos organismos y realizar los trámites oportunos. En todos los casos, se debe pedir con antelación suficiente la correspondiente autorización, indicando en dicha solicitud, con el mayor detalle posible, mediante planos y definición técnica, las actuaciones que pueden interferir con cada uno de los posibles servicios. Asimismo, se deberá dar solución de acuerdo a los condicionantes establecidos por las empresas suministradoras o entidades gestoras.

d) Criterios referidos a los condicionantes que establezcan los potenciales usuarios del camino

- Criterios de accesibilidad a discapacitados y eliminación de barreras arquitectónicas que pueden resultar fundamentales a la hora de establecer tanto trazados como accesos y soluciones constructivas. También, se considerarán criterios para el tránsito de usuarios a caballo, ciclistas, etc., en la medida que pueden condicionar el paso.

e) Criterios de diseño

- Definir si en la solución constructiva prima la facilidad constructiva de las soluciones proyectadas o puede tener otros objetivos, al menos parcialmente, como pueden ser: una mejora importante de los pavimentos, el establecimiento de elementos emblemáticos (puentes, esculturas, rehabilitaciones de elementos constructivos), etc.

f) Criterios de durabilidad y mínimo mantenimiento

- Definir si la solución constructiva tiene en cuenta los criterios de durabilidad y minimización de mantenimiento.

A todos estos criterios deberá darse respuesta y justificación clara en el proyecto constructivo antes de proceder a definir las actuaciones proyectadas.



6. Normalización de aspectos constructivos



Camino
Naturales

6. NORMALIZACIÓN DE ASPECTOS CONSTRUCTIVOS

A continuación, y una vez establecidos los objetivos, definida la estructura y desarrollados los criterios generales previos que se deben fijar y justificar en el proyecto, se desarrolla, de acuerdo a los capítulos mencionados y a la estructura básica general establecida en el apartado anterior, el apartado de "*Normalización de aspectos constructivos*", que señala las pautas a seguir en la ejecución de las actuaciones más significativas de los proyectos de Caminos Naturales.

- 6.1. TOPOGRAFÍA
- 6.2. GEOTECNIA
- 6.3. EXPLANADAS, FIRMES Y PAVIMENTOS
- 6.4. SISTEMAS DE DRENAJE
- 6.5. ESTABILIZACIÓN DE TALUDES
- 6.6. PASOS INFERIORES
- 6.7. PASARELAS PEATONALES
- 6.8. REHABILITACIÓN DE ESTRUCTURAS EXISTENTES
- 6.9. ADAPTACIÓN DE TÚNELES AL TRÁNSITO PEATONAL: OBRA CIVIL E ILUMINACIÓN
- 6.10. VEGETACIÓN DE MÁRGENES Y ÁREAS DE DESCANSO



6.1. Topografía



Camino
Naturales

6.1. TOPOGRAFÍA

6.1.1. INTRODUCCIÓN

Los proyectos de Caminos Naturales presentan trazados y soluciones constructivas dispares que implican la necesidad de realizar levantamientos topográficos para poder definir la solución adecuada.

La realización de topografía será necesaria para definir con exactitud la continuidad y correcto trazado del propio camino, así como para dar solución a problemas puntuales de paso, acuerdos con otros caminos o para el correcto diseño de las obras de drenaje acompañantes (cunetas, caños, badenes, etc.).

La ejecución de otras infraestructuras asociadas a los caminos, como pueden ser las pasarelas, los pasos inferiores bajo infraestructuras lineales existentes o la rehabilitación de túneles o puentes, también requieren la realización de levantamiento topográfico.

Incluso la necesidad de estabilizar taludes puede requerir, en determinadas circunstancias, la realización previa de levantamiento topográfico.

En este apartado, se establecen las directrices mínimas para determinar la necesidad de realización de levantamientos topográficos para los diseños y redacción de los proyectos de Caminos Naturales.

6.1.2. CRITERIOS A TENER EN CUENTA

En todo proyecto se deben incluir, para la correcta ejecución de las actuaciones previstas, los levantamientos topográficos imprescindibles para la definición, medición y ubicación de dichas actuaciones.

Estos datos se deben incorporar en un anejo topográfico, donde deberán quedar correctamente identificadas las bases de replanteo empleadas y su referencia geográfica, así como otros datos necesarios para la correcta identificación del levantamiento ejecutado: grado de precisión requerido para el objetivo establecido, equidistancia de curvas de nivel, equipo empleado, fechas de ejecución, etc. Así mismo, es necesario implementar aquellas antenas usadas durante el proceso para corregir los datos obtenidos mediante tecnología GPS o similar.

En todo momento, el Ministerio podrá reclamar los datos de calibración de las herramientas utilizadas para la toma de estos datos.

Se recogen, a continuación, los criterios, diferenciándolos por tipos de actuación:

a) Definición del camino propiamente dicho y otras explicaciones complementarias

- Será obligatorio el levantamiento topográfico:

- Cuando se trate de un nuevo trazado, para poder definir, no sólo la traza, sino los movimientos de tierras que implica.
- Cuando el cambio de anchura de la traza del camino existente implique movimientos de tierras importantes, que requieran de la topografía para su correcta definición, replanteo y medición de partidas a ejecutar.
- Cuando la realización de otras obras complementarias al camino, por ejemplo explanaciones de tierras sobrantes, aparcamientos, etc., así lo requieran.
- Quedará a criterio del proyectista la realización de levantamiento topográfico:
 - Cuando la buena definición de las obras proyectadas así lo requiera (replanteos, justificación de las mediciones, etc.).

b) Sistemas de drenaje

- Será obligatorio el levantamiento topográfico:
 - Para la correcta definición de excavaciones o definición de vados.
 - Cuando el encaje de cotas de los elementos del sistema de drenaje (cuneta, alcantarilla, caño, etc.) lo requieran.
 - Siempre que el paso del drenaje implique anchuras de obra de fábrica de más de 4 m de luz.
 - Para vados de más de 10 m de largo.
 - Cuando sea necesario realizar cálculos hidrológicos-hidráulicos mediante HEC-RAS o cualquier otra aplicación similar autorizada por el organismo de cuenca correspondiente. En este caso, se tendrá que realizar un levantamiento de, al menos, 100 m aguas arriba y aguas abajo del punto analizado, con una anchura de cauce suficiente para contener la avenida del agua para periodos de retorno de 100 años para zonas rurales y de 500 años para zonas urbanas.
- Quedará a criterio del proyectista la realización de levantamiento topográfico:
 - Cuando la justificación de una buena definición y ejecución de las obras de drenaje proyectadas así lo requiera, aunque no se cumplan los mínimos mencionados para la obligatoriedad.

c) Estabilización de taludes

- Será obligatorio el levantamiento topográfico:
 - Cuando sea necesario establecer una berma en el talud para su estabilización.
 - Cuando sea necesario realizar el cálculo de la estabilidad en el talud.
 - Cuando sea necesario proyectar alguna obra de importancia para la contención de tierras en el talud.
- Quedará a criterio del proyectista la realización de levantamiento topográfico:
 - Cuando la justificación de una buena definición y ejecución de las obras de estabilización proyectadas así lo requiera.

d) Pasos inferiores

- Será obligatorio el levantamiento topográfico:
 - Siempre que se proyecte un paso inferior bajo una infraestructura lineal: camino, carretera o ferrocarril.
 - Se deberá tener también en cuenta el levantamiento de los terrenos cercanos a los propios de actuación, cuando se realicen caminos de obras que impliquen más de 200 m³ de movimientos de tierras, o dichos caminos tengan un trazado mayor a los 150 m totales.

e) Pasarelas peatonales

- Será obligatorio el levantamiento topográfico:
 - Siempre que se proyecten pasarelas peatonales de más de 6 m de luz.
 - Cuando se requiera la ejecución de caminos de obra con importantes desarrollos (más de 150 m en total) y/o movimientos de tierras mayores de 200 m³.
- Quedará a criterio del proyectista la realización de levantamiento topográfico:
 - Cuando la justificación de una buena definición y ejecución de las pasarelas proyectadas así lo requiera.
- Aunque no se realice levantamiento topográfico, siempre se debe llevar a cabo el replanteo (X, Y, Z) de los puntos básicos de la pasarela para su correcta ubicación (cimentaciones, encaje de la pasarela en las cimentaciones, encaje de la pasarela y el camino, etc.).

f) Rehabilitación de estructuras

En general, no será necesario realizar levantamiento topográfico para acometer las obras de rehabilitación de estructuras, normalmente puentes o pasos inferiores presentes en el itinerario de caminos que se quieren incluir en la red de Caminos Naturales.

Si el proyectista, por algún motivo específico, considerara necesario ejecutar levantamiento topográfico para la correcta definición y ejecución de las obras de rehabilitación de estructuras, deberá realizar dicho levantamiento.

g) Adaptación de túneles al tránsito peatonal

Las actuaciones de adaptación de túneles al tránsito peatonal (reparaciones de revestimientos, impermeabilizaciones, iluminación,...), en principio, no requerirán, como paso previo, la realización de un levantamiento topográfico específico.

Al igual que en el caso anterior, si a criterio del proyectista, por algún motivo concreto, fuera necesario ejecutar levantamiento topográfico para la correcta definición y ejecución de las obras de adaptación de túneles, éste deberá realizar dicho levantamiento.

h) Vegetación de márgenes y áreas de descanso

Esta actuación tampoco requiere de levantamiento topográfico especial para su ejecución. Si el proyectista considerara imprescindible su realización para la correcta definición y desarrollo de las plantaciones, deberá ejecutarlo.

6.1.3. CONCLUSIONES

Para la realización de los levantamientos topográficos, es necesario observar lo siguiente:

- Se realizarán levantamientos topográficos de los terrenos en los que van a desarrollarse las actuaciones específicas de los proyectos de Caminos Naturales que así lo requieran, y las mencionadas en los puntos anteriores, a las escalas adecuadas para la correcta definición de las mismas, que permitan trabajar y representar gráficamente las actuaciones. Se utilizará una escala 1/1.000 para actuaciones de mayor superficie o desarrollo (traza de los caminos, cunetas, zanjas de conexión de energía eléctrica a túneles, etc.), y escalas 1/500 o mayores, 1/300 ó 1/200 (pasarelas, plantaciones, áreas de descanso, etc.) e, incluso, 1/50, para actuaciones que requieren un mayor detalle (caños, casetas, detalles constructivos, etc.).
 - Para el levantamiento topográfico, se empleará el Sistema geodésico de referencia establecido para cada zona de trabajo. En el caso del territorio español, se definen dos Sistemas geodésicos de referencia:

EN PENÍNSULA, BALEARES, CEUTA Y MELILLA	ETRS89 (materializado en la Red REGENTE del IGN y sus densificaciones en las distintas CC.AA.)
ISLAS CANARIAS	REGCAN95 (materializado en los vértices REGCAN95)

- Para la obtención de las coordenadas, se empleará la proyección cartográfica U.T.M. (Universal Transverse Mercator), refiriendo las coordenadas al huso oficial establecido para cada zona de trabajo:

EN PENÍNSULA, BALEARES, CEUTA Y MELILLA	NUTM29, NUTM30 ó NUTM31
ISLAS CANARIAS	NUTM27 ó NUTM28

- Para la altimetría del levantamiento topográfico, se emplearán cotas ortométricas que deberán estar referidas al Geoide oficial definido por el IGN, cuyo origen está referido al nivel medio del mar en el mareógrafo de Alicante (para la Península) y los mareógrafos ubicados en el territorio insular (Islas Canarias y Baleares) y las

Ciudades Autónomas de Ceuta y Melilla. El sistema altimétrico esta materializado por las líneas de la Red de nivelación de alta precisión (N.A.P.).

En el caso de utilizar equipos G.N.S.S., las alturas elipsoidales obtenidas, estarán referidas al elipsoide GRS80 y deberán ser transformadas a cotas ortométricas. En esta transformación, se utilizará el modelo de geoide EGM2008-REDNAP (Adaptación del geoide mundial EGM08 a España).

- Para realización de estos levantamientos topográficos, se podrá emplear cualquiera de las tecnologías actuales o combinación de ellas, siempre y cuando se alcancen las precisiones exigidas que dependerán de las escalas de los trabajos. Como norma general, se podrán usar las siguientes tecnologías:
 - Topografía clásica. Consistente en la utilización de estaciones totales que permiten la obtención de las coordenadas de los puntos que definen el ámbito de trabajo. En este caso, habrá que establecer, previamente, vértices que estén enlazados con la geodesia mediante el empleo de equipos G.N.S.S. o mediante la observación de poligonales. Esta tecnología será adecuada en ámbitos abiertos de pequeña extensión.
 - Geodesia espacial (GNSS). Es un sistema que permite la determinación de la posición de un punto mediante el procesado de la señal emitida por los satélites de las constelaciones GPS, GLONASS o cualquier otra disponible actualmente o en un futuro. Con esta tecnología, se pueden alcanzar precisiones centimétricas (si se utiliza métodos de observación diferenciales). Con programas adecuados, se puede catalogar la información capturada en campo, facilitando posteriormente la elaboración de los planos.
 - Plataforma Aérea No Tripulada (RPAS). El proceso consiste en la realización de un vuelo con una plataforma aérea no tripulada con control remoto. La Plataforma Aérea cuenta con un sistema LIDAR que permite la obtención de una nube de puntos, además de un sistema de toma de datos fotogramétricos. Para unir los trabajos LIDAR/fotogrametría a valores absolutos, es necesario realizar la medición de unas dianas mediante tecnología GPS. Posteriormente, estas imágenes serán procesadas mediante programas específicos para la obtención de la posición y orientación de las imágenes, modelos digitales del terreno, ortofotografías, ortomosaicos y cartografía vectorial, a partir de la restitución del vuelo. Con esta tecnología, se puede alcanzar precisiones centimétricas.

La elección de la tecnología a emplear dependerá, en gran medida, de las características de cada ámbito de trabajo.



6.2. Geotecnia

6.2. GEOTECNIA

6.2.1. INTRODUCCIÓN

El término "geotecnia" hace alusión al conjunto de reconocimientos y ensayos o pruebas realizadas al terreno y a la interpretación de los datos obtenidos en los mismos, que permiten conocer las condiciones físicas del entorno y las propiedades mecánicas de los diversos suelos presentes en la zona de estudio, en función de los objetivos y características del proyecto.

El estudio geológico-geotécnico debe contener todos los datos relevantes para la correcta ejecución del proyecto y se elabora en base a ensayos de campo y de laboratorio adecuados al tipo de proyecto, incluyendo las recomendaciones propias en función de la naturaleza de las actuaciones (explanadas, estructuras, taludes, etc.).

Todo ello hace que sea necesario establecer las directrices para determinar la necesidad y aplicación de los estudios geotécnicos en la redacción de los proyectos de Caminos Naturales.

En el presente capítulo, se recoge el apartado de geología y geotecnia de cada una de las actuaciones contempladas en este manual, con las consideraciones necesarias para facilitar la redacción del documento referido a dicho aspecto.

6.2.2. CRITERIOS A TENER EN CUENTA

6.2.2.1. Estudio geológico y geotécnico

Todos los proyectos constructivos deben contener un Estudio geológico y geotécnico que incluya los siguientes puntos:

1. Introducción. En este apartado se indican las hojas y cuadrantes del Mapa Topográfico Nacional que en cada caso se estudian, así como la metodología seguida y el autor o autores del trabajo.
2. Características generales. Este epígrafe recoge una serie de aspectos que permiten efectuar un encuadre de la zona dentro del territorio en el que se localiza: climatología, topografía, geomorfología y estratigrafía general, así como tectónica y sismicidad.
3. Estudio de zonas. Basándose en la caracterización geomorfológica efectuada en el punto anterior, se divide el área de trabajo en zonas relativamente homogéneas, para las que se efectúa un estudio de detalle que incluye, entre otros aspectos, cortes geológicos, columnas estratigráficas, y la determinación de grupos litológicos, para los que se define su litología, estructura y características geotécnicas fundamentales. Estos aspectos se deben reflejar, a su vez, en la cartografía correspondiente que se incluirá en el estudio.
4. Conclusiones generales. En el apartado correspondiente a las conclusiones, se ponen de manifiesto, desde un punto de vista eminentemente práctico y aplicado a la ejecución

del proyecto, los principales aspectos y problemas relativos a la topografía, hidrología, litología, geomorfología y geotecnia.

5. Información sobre yacimientos. Se dará una visión sucinta de las principales canteras y yacimientos rocosos y granulares activos en la zona del proyecto, acompañada de un mapa o esquema resumen.
6. Planos. Se adjuntarán los siguientes planos con la correspondiente escala mínima de presentación:
 - Geológico 1/200.000
 - Geomorfológico 1/200.000
 - Suelos 1/200.000
 - Geotécnico 1/200.000
 - Litológico-estructural 1/50.000

Cada uno de los planos irá acompañado de su correspondiente leyenda en la que se reflejarán, de manera resumida, las características principales señaladas en los restantes apartados para cada zona.

7. Reportaje fotográfico. El estudio deberá incluir un reportaje fotográfico y la localización de las fotografías.

6.2.2.2. Prospecciones de campo

Se detallan los análisis más utilizados en la caracterización geotécnica, teniendo en cuenta su fiabilidad, la rapidez en la ejecución y la conveniencia de su aplicación en función del tipo de terreno.

Cada uno de los ensayos recibirá una identificación formada por una letra, que indica plataforma, desmonte, terraplén o estructura, y un número de orden dentro de cada tipo.

De cada uno de los ensayos se tomarán coordenadas o referencias por distancias a puntos bien definidos de la cartografía. Todos los ensayos se representarán, reflejando su identificación, en los planos geológicos.

Calicatas

Una calicata es una excavación del terreno para la observación directa del mismo. Éstas se realizan de forma habitual mediante medios mecánicos (giratoria, mixta o mini) de potencia suficiente para excavar suelos y roca meteorizada, hasta una profundidad de, al menos, tres metros o hasta encontrar el sustrato rocoso.

En el momento de la excavación debe estar presente un técnico cualificado, quien anotará las principales características de la misma: dificultades de excavación, aparición de agua en el fondo o en las paredes de la misma (con indicación cualitativa del caudal), estabilidad del corte, etc.

Dicho técnico realizará la descripción de los suelos y estimará la consistencia de los materiales cohesivos, encargándose también de la toma de, al menos, dos muestras para la realización de ensayos.

Las calicatas se volverán a rellenar inmediatamente, salvo que se solicite lo contrario para poder observar durante cierto tiempo la afluencia de agua, estabilidad de las paredes, etc.

Este método de investigación deteriora el sustrato base de cimentación, por lo que se recomienda evitar situarlas bajo puntos donde se proyecte apoyar zapatas o cerca de cimentaciones existentes, para prevenir problemas de estabilidad, descalces, etc.

Penetraciones dinámicas

Son los ensayos de Penetración Continua del tipo Borros, sustituidos últimamente por los ensayos D.P.S.H. Este tipo de ensayos consiste en hincar un utensilio metálico de dimensiones normalizadas (puntaza) en el suelo por golpeo o empuje. La forma y el área de la puntaza, la sección del varillaje, el peso de la maza y la altura de la caída deben estar normalizados. Debido a su continuidad, permiten determinar la variabilidad y rigidez del suelo, su compacidad en profundidad y la localización de rellenos en cotas altas.

Por tanto, a partir de los resultados del ensayo, se puede obtener la resistencia dinámica “Qd” del terreno mediante la fórmula holandesa de hincas, la cual estima la resistencia estática unitaria “Rp” (Buisson y otros). Finalmente, la carga admisible del terreno puede calcularse a partir de esta resistencia estática unitaria mediante diversas correlaciones (Sanglerat, Meyerhorf y otros).

La información se suministrará mediante gráficos del ensayo, en los que se anotará, en abscisas, el número de golpes para una penetración de 20 cm y, en ordenadas, hacia abajo, las profundidades de la puntaza del penetrómetro. Sobre este gráfico, se realizará una representación más simplificada, determinando tramos en los que la resistencia a la penetración pueda considerarse constante, anotando en cada tramo la presión de hundimiento. El ensayo se dará por finalizado cuando se alcance el rechazo, es decir, cuando se superen los 100 golpes para un tramo de 20 cm de hincas.

Los ensayos de penetración dinámica se efectuarán conforme a la norma recomendada por el Subcomité Europeo de Normalización de Ensayos de Penetración.

Los terrenos más adecuados para este tipo de ensayos son arenas y limos arenosos, siendo de ninguna utilidad en terrenos rocosos, con presencia de bolos y gravas compactas, con niveles cementados o preconsolidados y en rellenos antrópicos de bloques y fragmentos gruesos.

Resistencia en terrenos blandos

Para caracterizar geotécnicamente y con precisión los suelos blandos o muy blandos, como arcillas no consolidadas, puede aplicarse el CPT (Cone Penetration Test) o cono holandés, que analiza la resistencia, en punta y en el fuste, del terreno según el avance, siendo un ensayo

continuo que finaliza cuando se llega a rechazo, que se alcanzará con la presencia de bolos o gravas o suelos de elevada compacidad/consistencia como arenas densas o arcillas firmes/duras. También se usa el ensayo del molinete (Vane Test), utilizado para registrar la resistencia al corte “in situ” del terreno aplicando una torsión en punta.

Sondeos mecánicos

Estos sondeos son normalmente del tipo de extracción continua de testigo. Según avanza la perforación, se extraen muestras alteradas o inalteradas. Al mismo tiempo que se hacen estos sondeos, también se efectúa el ensayo normalizado de penetración estándar (S.P.T.), en cada cambio de sustrato o cada 3 m en suelos con cohesión y cada 1,5 m en arenas.

En la realización de los S.P.T., se pondrá especial cuidado en que los valores obtenidos sean representativos, para lo que deberán tomarse las siguientes precauciones:

- Independientemente del tipo de suelo, debe evitarse que se produzca sedimentación del material en suspensión, para lo cual debe reducirse al mínimo el tiempo transcurrido entre la realización de la maniobra y la realización del ensayo.
- En el caso de arenas, debe evitarse el sifonamiento del fondo, manteniendo el nivel de agua en el sondeo y extrayendo la batería de forma lenta, con objeto de no producir una succión.
- En la columna del testigo se indicará la cota inicial y final del ensayo y el número de golpes por cada 15 cm de penetración.

Los testigos se ordenan, según la profundidad, en cajas para incorporar al informe y posible consulta. Una vez finalizado el sondeo, existe la posibilidad de dejar una tubería embebida para poder así evaluar el nivel freático.

El informe resultado de los trabajos recogerá la columna litológica de cada sondeo, así como fotografías de las cajas portatestigos. Asimismo, para cada uno de los sondeos, se realizan las siguientes observaciones:

- Nivel de agua en el sondeo.
- Porcentajes de testigos, R.Q.D., grado de alteración de la roca, buzamiento de estratificación y juntas, rugosidad, alteración, espaciado y naturaleza de rellenos.
- Ensayos ejecutados en el interior de los sondeos y resultados de los mismos.
- Cotas de tomas de testigos parafinados o muestras y números asignados a los mismos.
- Tipo y dimensiones de los tomamuestras empleados. Sistemas de penetración de los tomamuestras.
- Tipo y dimensiones de los sistemas de rotación.
- Longitudes de penetración de los tomamuestras, de las muestras extraídas y de las muestras conservadas.
- Peso de la maza y altura de caída en muestras tomadas a percusión. Número de golpes requeridos.

Los suelos más adecuados para la realización de este tipo de ensayo son los suelos granulares; en los suelos cohesivos los resultados obtenidos solo se pueden tomar como orientativos, ya que, en este tipo de suelos, las presiones intersticiales y los rozamientos generados en el momento del golpeo afectan sustancialmente a los valores obtenidos.

6.2.2.3. Ensayos de laboratorio

Como se ha visto anteriormente, dependiendo de la naturaleza del terreno, será posible la ejecución de unos u otros ensayos, que buscan determinar las siguientes propiedades:

- Estado natural e identificación: para la identificación del terreno se usan ensayos que determinan su granulometría, plasticidad (Límites de Atterberg), expansibilidad, etc. Los ensayos que identifican el estado del terreno son los relacionados con su densidad aparente y humedad natural.
- Ensayos mecánicos: dentro de los ensayos de resistencia, se encuentra el ensayo de compresión simple, el de corte directo y los ensayos triaxiales en sus diferentes variantes.
- Ensayos de deformabilidad: Para conocer la deformabilidad del terreno, y para terrenos cohesivos, se emplea el edómetro; con este ensayo, se pueden detectar los parámetros que determinan los asentos y el grado de consolidación del terreno.
- Ensayos químicos: También existen ensayos específicos para detectar las propiedades químicas y posible agresividad del suelo y agua a los cementos de los hormigones; en ellos, se busca el contenido en sulfatos, pH, carbonatos y materia orgánica.

6.2.2.4. Ensayos geofísicos

Para estructuras de especial relevancia o significación, como pueden ser los túneles o los puentes, puede ser necesario o útil emplear estudios o ensayos geofísicos, no intrusivos, que posibilitan una mejora de la información del subsuelo para realizar los cálculos de la estabilidad de la obra civil, permitiendo resolver problemas estructurales con mínimo impacto y, en bastantes ocasiones, con menor coste.

Los métodos más usualmente utilizados son:

- Los más comunes son los métodos eléctricos, basados en la información que proporcionan los cambios de resistividad. Estas técnicas son las calicatas electrónicas, los sondeos eléctricos verticales y las tomografías, que permiten delimitar cambios de materiales y caracterizar la resistividad de los mismos, identificar estructuras geológicas, detectar cavidades, etc., siendo estas últimas utilidades las más apropiadas para la auscultación de túneles.
- Los estudios sísmicos, que permiten valorar las propiedades elásticas de las rocas o valorar una estructura. El más utilizado es la sísmica de refracción y reflexión, que permite establecer los perfiles del suelo, resultando una técnica útil cuando no se

pueden aplicar otras técnicas menos sofisticadas en el estudio de la estabilidad de suelos bajo estructuras existentes, como es el caso de puentes.

6.2.3. ENSAYOS SEGÚN EL TIPO DE ACTUACIÓN

6.2.3.1. Explanada y firmes

Se determinarán las características geotécnicas de la explanada de cara a su utilización como cimiento del firme; para ello, se realizarán sobre las muestras de suelo extraídas (mediante el método determinado por el proyectista) los siguientes ensayos de laboratorio:

- Análisis granulométrico
- Límites de Atterberg.
- Ensayo de compactación estándar (Próctor Normal y Modificado)
- Ensayo de capacidad portante (Índice C.B.R.)
- Contenido en materia orgánica
- Coeficiente de desgaste de Los Ángeles

El número de ensayos será, al menos, uno por cada 10 km de camino y/o uno por tramos homogéneos, es decir, por cada tramo definido en la caracterización geomorfológica efectuada en el Estudio geológico, con un mínimo de tres ensayos por proyecto.

6.2.3.2. Estabilización de taludes

Se realizará una revisión visual de toda la traza, determinándose aquellos puntos que serán objeto de un estudio especial de estabilidad de taludes en aquellos tramos en los que se dé alguno de los siguientes supuestos:

- Para taludes con una altura superior a 10 m.
- Desmontes o terraplenes sobre laderas inestables.
- Terraplenes sobre suelos inadecuados y/o contruidos con materiales inadecuados o con asientos.
- Terraplenes a media ladera con inclinación $> 45^\circ$.
- Aquellos en los que los taludes no cumplen alguno de los requisitos, pero que el proyectista considera necesario realizar dicho estudio basándose en su experiencia y conocimientos.

Para llevar a cabo un estudio detallado de cada talud será necesario realizar una descripción geológica y geométrica de cada uno de ellos. A partir de estos datos, se establecerá una campaña de toma de datos geomecánicos. En estos ensayos se tomarán datos de la geología, de las fisuras, su tamaño, posición y orientación, de bloques en voladizo, de oquedades y de potenciales deslizamientos.

Para cada uno de ellos, se establecerá un cuadro resumen, indicando los datos de cada talud, y las medidas especiales a adoptar, incluyendo un plano de localización. El estudio sobre los taludes aparecerá como un apéndice del Estudio geológico y geotécnico del proyecto.

En los casos no contemplados anteriormente, se realizará cuando la justificación de una buena definición y ejecución de las obras de estabilización proyectadas así lo requiera.

6.2.3.3. Estructuras y pasos inferiores de nueva construcción

Para este tipo de actuaciones se realizará un informe específico que determinará las características de los apoyos y las cimentaciones de las mismas, en los siguientes casos:

- Pasarelas
- Muros
- Pasos inferiores

El informe incluirá un estudio de los riesgos geológicos: sísmicos, por hundimiento, por expansividad, por agresividad del suelo y del agua, así como por ripabilidad.

Se diseñará una campaña de investigación geotécnica que incluirá al menos un ensayo (calicata, penetración dinámica o sondeo) en cada uno de los estribos de la estructura, por paso inferior o por cada tramo de muro a construir, con la toma de dos muestras por ensayo.

Con las muestras obtenidas, se realizarán ensayos de laboratorio para poder definir las características geotécnicas y químicas de los materiales que forman las distintas capas del subsuelo de la zona de estudio, así como las propiedades químicas del agua en caso de existir un nivel freático.

Los ensayos de laboratorio necesarios son:

Ensayos de Identificación

- Análisis granulométrico
- Límites de Atterberg
- Densidad aparente
- Humedad natural

Ensayos Mecánicos

- Ensayo de compresión simple
- Ensayo de corte directo CU
- Ensayo de capacidad portante (Índice C.B.R.)

Ensayos Químicos

- Contenido en sulfatos
- Acidez de Baumann-Gully
- Análisis químico de agua según la EHE-08

En base a los resultados obtenidos, se calculará la resistencia del terreno para cada uno de los casos y se emitirán las recomendaciones para la cimentación de las estructuras. Dichos resultados serán los que se utilicen en los correspondientes cálculos del proyecto.

Quedará a criterio del proyectista la realización de un estudio geotécnico para la construcción de muros de menos de 2 m de altura, cuando el terreno sobre el que se vayan a construir ofrezca las suficientes garantías de proporcionar la capacidad resistente necesaria para su cimentación, que deberá estar claramente indicado en el diseño y justificación de los mismos.

6.2.3.4. Rehabilitación de estructuras

Inicialmente, se realizará una prospección visual de toda la estructura. En el caso de detectarse anomalías que comprometan la estabilidad de ésta, se redactará un informe complementario y exhaustivo, firmado por un técnico competente, y se realizará una campaña de ensayos con las mismas características que en el caso de estructuras de nueva construcción, al objeto de recabar los datos necesarios para comprobar la estabilidad de estribos y pilas.

6.2.3.5. Adaptación de túneles al tránsito peatonal

En todos los casos, se redactará un informe sobre el estado geológico y geotécnico del túnel, con especial atención a las bocas de entrada y salida del túnel, incluyéndose en el mismo los siguientes puntos:

- Características estructurales: tipo de sección, revestimiento, alineación y drenaje
- Aspectos geológicos: litología, hidrogeología, espesor de la montera, orientación de juntas y clasificación geomecánica
- Descripción de los daños observados
- Evolución previsible de los mismos
- Propuesta de actuación

En dicho informe, redactado por un técnico competente, se señalará que el túnel está en un estado aceptable de seguridad para su uso. En caso de que haya dudas al respecto, se deben de realizar los ensayos oportunos en cada caso, que permitan aclarar y concretar las reparaciones a realizar y que, a su vez, deben recogerse y valorarse en el proyecto.

6.2.4. CONCLUSIONES

Tal y como se indica en la Ley 9/2017, de 8 de noviembre, de Contratos del Sector Público, por la que se transponen al ordenamiento jurídico español las Directivas del Parlamento Europeo y del Consejo 2014/23/UE y 2014/24/UE, de 26 de febrero de 2014, en el "Artículo 233. Contenido de los proyectos y responsabilidad derivada de su elaboración", en su punto 3 "Salvo que ello resulte incompatible con la naturaleza de la obra, el proyecto deberá incluir un estudio geotécnico de los terrenos sobre los que ésta se va a ejecutar, así como los informes y estudios previos necesarios para la mejor determinación del objeto del contrato", por tanto, toda

explanada a utilizar en un proyecto o estructura, de nuevo diseño o a rehabilitar, debe de tener su correspondiente estudio geológico-geotécnico, que permita al proyectista definir conjuntamente los parámetros necesarios para el cálculo justificativo de cada una de las unidades del proyecto.



6.3. Explanadas, firmes y pavimentos

6.3. EXPLANADAS, FIRMES Y PAVIMENTOS

6.3.1. INTRODUCCIÓN

Los caminos se han convertido en infraestructura fundamental en el desarrollo de la actividad recreativa y de turismo en el medio rural, completando así las funcionalidades previas de los mismos como sistema de comunicación de sus habitantes y como medio de producción en la actividad agraria y forestal.

En la actualidad, los caminos sobre los que se piensa desarrollar este tipo de proyectos son vías de escasa utilización por los vehículos, que soportan unas intensidades medias diarias de tráfico muy pequeñas, por lo que son consideradas genéricamente como vías de baja intensidad de tráfico.

Las consideraciones anteriores son fundamentales para la definición de las capas que constituyen dichos caminos, las explanadas y los firmes.

La explanada es el terreno preparado sobre el que se apoya un firme, aspecto que condiciona las características de duración y resistencia del mismo. La ejecución de esta explanada será necesaria en los casos de caminos de nueva traza, en aquellos que necesitan la ampliación de la plataforma en la cual se apoyarán, o en aquellos en los que su estado sea notablemente deficiente y sea precisa una mejora de la misma, incluyendo la posible rectificación de una parte del trazado.

Los firmes de los caminos están formados por un conjunto de capas superpuestas, de varios centímetros de espesor y relativamente horizontales y de materiales diferentes compactados adecuadamente. Estas estructuras se apoyan en la explanada y deben poder soportar las cargas de transeúntes y del tráfico durante los años de su periodo de vida útil, sin deterioros que afecten a la integridad del firme y, por tanto, a la seguridad y a la comodidad de los usuarios de los caminos naturales.

Los firmes cumplen las siguientes funciones:

- Proporcionar una superficie de tránsito/rodadura segura, cómoda y de características permanentes bajo las cargas repetidas del tráfico durante un periodo suficientemente largo de tiempo (vida útil o periodo de proyecto).
- Resistir las solicitaciones previstas del tráfico de personas/animales/vehículos, repartiendo las presiones verticales ejercidas por las cargas, de forma que a la explanada sólo llegue una pequeña fracción de aquellas compatibles, en todo caso, con su capacidad de soporte.
- Proteger la explanada de la intemperie y, en particular, de la acción del agua, con su incidencia en la resistencia al esfuerzo cortante de los suelos. En climas muy fríos, el firme constituye, además, una protección contra los efectos de la helada y el deshielo.

6.3.2. SITUACIONES DE PROYECTO

En el caso de los Caminos Naturales, la constitución de explanada y firme vendrá condicionada por la tipología estructural del camino que, en general, va a ser una de las siguientes:

- Caminos sobre plataformas de ferrocarril abandonadas (con o sin balasto), en los que habrá que preparar este firme, con aportación de balasto donde se necesite, con recebo del mismo si es conveniente y con un tratamiento encima de zahorra (con el bombeo adecuado) y sellado de la misma donde proceda.
- Caminos ya existentes, pero que necesitan mejoras y que, en general, comprenderán todas o alguna de las siguientes fases: escarificado, recebo, rasanteo y bombeo (entre el 1% y el 3%, normalmente un 2% a una o dos aguas según el terreno) y aporte de zahorra.
- Caminos nuevos (también sendas), en los que habrá que acometer una fase previa de movimiento de tierras (desmontes, terraplenes, drenajes), ejecución de la plataforma y de la base y, por último, el remate del firme.

Se presenta, a continuación, un cuadro con las principales situaciones que se pueden encontrar, así como una propuesta de actuación:

SEGÚN TIPO DE EXPLANADA PREVIA	PLATAFORMA	TIPO DE PLATAFORMA	TRATAMIENTO DE PLATAFORMA	CAPAS GRANULARES	ACABADO	ANCHO ESTANDAR
SITUACIÓN ACTUAL			PROPUESTA DE ACTUACIÓN			
ANTIGUAS VÍAS FÉRREAS	Existente	Capa de balasto en buen estado	Escarificado, recebado y compactado	Zahorra artificial Según CBR: 15-20 cm	Capa de finos (jabre/sauló o equivalente)	3,5-4 m
	Existente	Sin balasto o insuficiente	Escarificado, aporte de balasto, recebo y recompactado	Zahorra artificial Según CBR: 15-35 cm	Capa de finos (jabre/sauló o equivalente)	3,5-4 m
CAMINOS AGRÍCOLAS	Existente	Adecuada al tráfico existente	Escarificado	Zahorra artificial Según CBR: 15-35 cm	Capa de finos (jabre/sauló o equivalente)	3-5 m
	Existente	Escasa capacidad para tráfico	Mejorada de la explanación, escarificado y recompactado	Zahorra artificial Según CBR: 15-35 cm	Capa de finos (jabre/sauló o equivalente)	3-5 m
SENDAS	Existente	A rehabilitar	Limpieza y recompactación puntual	Zahorra artificial Localmente ≤ 10 cm	Capa de finos (jabre/sauló o equivalente)	1,5 -2 m
	Nueva creación	Apertura	Limpieza y recompactación puntual	Si procede, zahorra artificial ≤ 10 cm	---	1,5-2 m

Tabla 6.3.1. Tipología Estructural Caminos Naturales. Fuente: Elaboración propia.

La anchura final del firme dependerá, en cualquier caso, de la anchura de la explanada sobre la que se apoye.

“Para un Camino Natural normalizado, el firme tipo constará de un pavimento de zahorras, con el espesor que se determine en proyecto y con un sellado o terminación en materiales terrizos de 2 cm de espesor”.

6.3.2.1. Determinación de la anchura mínima de un Camino Natural

Para la determinación de la anchura mínima, que vendrá fijada en proyecto, se debe considerar cuál va a ser el uso a que se destina el camino. Normalmente, y en todos los casos donde sea viable, el tránsito será de peatones y de ciclistas, si es posible, sin uso compartido con vehículos a motor.

Uso ciclista. En este caso, es necesario un espacio disponible de 2,5 m, teniendo en cuenta las siguientes consideraciones de dimensiones mínimas para este uso:

- 75 cm de ancho en posición de reposo y 1 m de ancho en marcha, considerando las desviaciones de la trayectoria propia del pedaleo.
- Entre 2 m y 2,25 m de gálibo vertical.

En el caso normal, la circulación es bidireccional, el espacio necesario será la suma del ancho necesario y preciso para cada uno de los carriles (es decir, 2 x 1 m), más un resguardo de 0,25 m a ambos lados, por seguridad ante los posibles movimientos. Por tanto, el espacio mínimo requerido para la circulación en vías que vayan a ser ciclables será de 2,5 m. Por otro lado, para que circulen los peatones, se requiere una anchura de 1 m. Por tanto, la anchura mínima de un camino tipo de uso compartido será de 3,5 m.

Se define una anchura deseable de 3,5-4 m en las secciones tipo de los Caminos Naturales, siempre teniendo en cuenta que, en algunos casos puntuales, la anchura podría verse reducida por las circunstancias propias del camino.

En el caso de sendas existentes o de nueva apertura, la anchura deseable será la adecuada para que se pueda circular cómodamente por ellas, si el espacio y el entorno lo permiten.

En casos donde se prevea que puede ser una senda ciclable, además del uso peatonal, que siempre tendrán prioridad, si es posible se habilitaran 2 m, y si no 1,5 m. Si no hubiera espacio suficiente, el entorno natural así lo aconseja o las características del itinerario lo indican, se abrirá una senda de nueva traza o se arreglará la existente, con una anchura mínima de 1 m.

En estos casos, puede ser conveniente indicar que los peatones tienen prioridad con respecto a las bicicletas mediante una señal al comienzo de cada tramo de estas características.

6.3.2.2. Secciones tipo

Se indican, a continuación, las secciones más representativas, sobre las que discurren el diseño y construcción de los nuevos Caminos Naturales.

1. Sección tipo de Camino Natural sobre antigua vía férrea con balasto

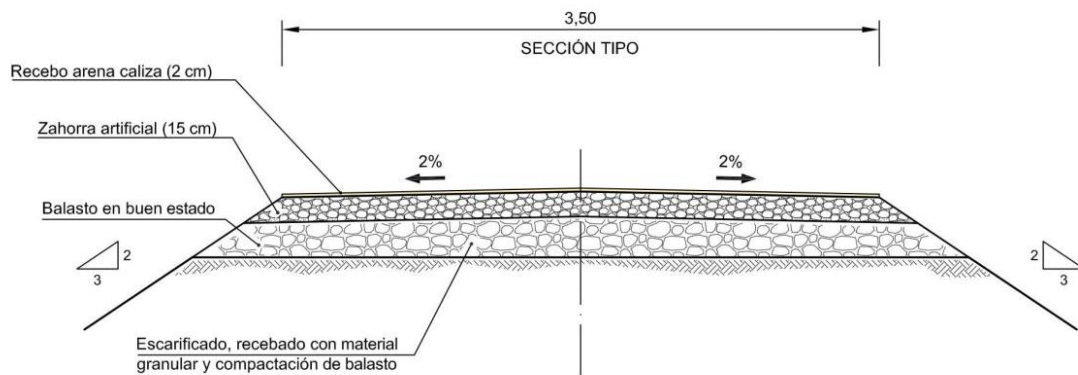


Figura 6.3.1. Sección tipo sobre balasto de vía férrea. Fuente: Elaboración propia.

2. Sección tipo sobre un camino existente con firme

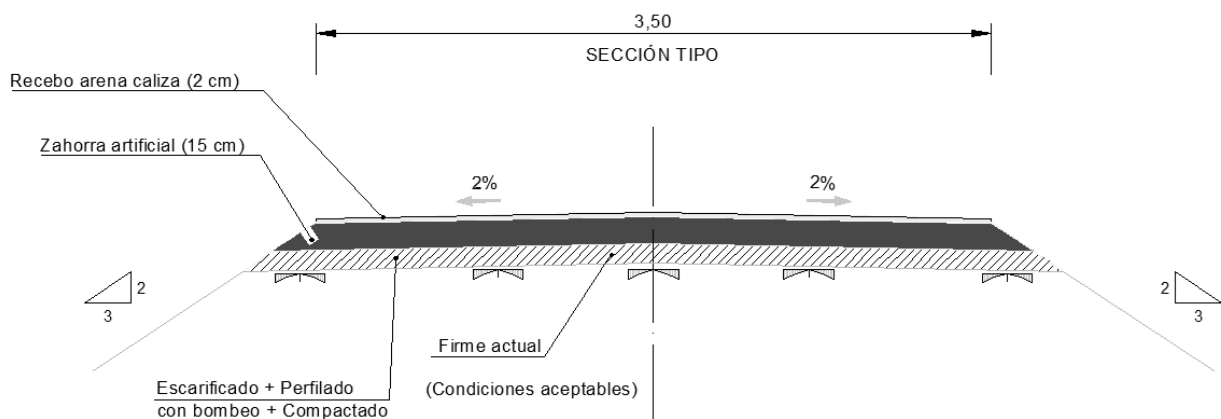


Figura 6.3.2. Sección tipo sobre camino existente. Fuente: Elaboración propia.

El acabado superficial en todas las secciones tipo será definido por el redactor del proyecto, en función de los materiales de la zona a utilizar y de la calidad real de la explanada.

No obstante, durante la ejecución de la obra, la terminación de esta capa puede ir con o sin recebo de arena caliza, dependiendo de la granulometría de la zahorra finalmente utilizada. Si al compactar el material, el sellado superficial es suficiente a juicio del Director de la Obra no será necesario añadir la capa de recebo, pero si la cohesión entre las partículas no es la adecuada, será idóneo utilizar el recebo y compactarlo para que la superficie de rodadura sea adecuada.

3. Sección tipo senda

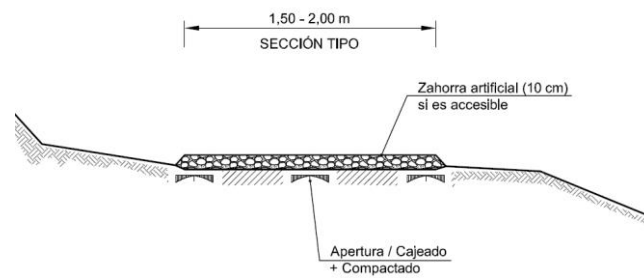


Figura 6.3.3. Sección tipo senda. Fuente: Elaboración propia.

Normalmente, se podrán presentar otros tipos de firmes en situaciones especiales a lo largo del trazado y en tramos concretos del mismo. Por ejemplo, en determinados cruces de caminos será necesario ejecutar un pavimento de hormigón (detalle constructivo en apartado específico de este documento); en tramos de fuerte pendiente, se utilizará un firme específico para protegerlo de la erosión; un puente que lleve adoquín de piedra como capa de rodadura; pasos específicos pavimentados con adoquín prefabricado de hormigón; separaciones entre el carril-bici y el camino peatonal en tramo urbano que aprovechen firmes existentes, etc.

6.3.3. CRITERIOS PARA ELECCIÓN

Elegir la sección de un firme y su explanación, es decir, definir las características geométricas y mecánicas de las diversas capas, así como de su proceso constructivo, deberá tener en consideración los aspectos estructurales (dimensionamiento), funcionales, sociales, ambientales, constructivos y económicos.

Para la elección del firme, hay que tener en cuenta los siguientes factores:

- **Tráfico de personas/vehículos/animales.** Tipo de uso (peatonal, peatonal-ciclista, peatonal-ciclista y a caballo, vehículos de mantenimiento, vehículos autorizados, etc.). Deben tenerse en cuenta las cargas esperadas durante la vida útil de la infraestructura. Del mismo modo, se deben considerar aspectos concretos, como si en algún caso se decide definir en proyecto una superficie de rodadura de cierta adherencia y regularidad de la vía para un uso específico de bicicletas.
- **Normativa o directrices ambientales.** Deben incorporarse al proyecto los requisitos que señalen las disposiciones administrativas referidas a aspectos ambientales, tanto específicos, si discurren por espacios naturales, como generales, aplicables al resto de ámbitos. Se deberán estudiar ambientalmente las zonas de préstamo y vertedero.
- **Clima.** Deben ser objeto de consideración las temperaturas extremas diarias y estacionales, la radiación solar, el régimen y la cuantía de las precipitaciones, la posible presencia de hielo y nieve sobre la superficie, etc.
- **Capas subyacentes.** Se debe tener en cuenta si se dispone de explanación construida, base/subbase y firme preexistente.

- **Materiales disponibles.** Son determinantes para una adecuada selección de la estructura del firme, técnica y económicamente. Por una parte, se debe considerar la disponibilidad de áridos en los yacimientos y canteras de la zona. Además de la calidad requerida, que depende tanto de la naturaleza de los áridos como de los tratamientos a los que se someten, hay que atender a las cantidades disponibles, al suministro y al precio, condicionado en gran medida por la distancia de transporte.
- **Capacidad portante y resistencia a la deformación.** Hay que tener en cuenta la sensibilidad de los firmes a la humedad, tanto en lo que se refiere a su resistencia, como a las eventuales variaciones de volumen (hinchamiento o retracción). En climas muy fríos se debe prestar atención, además, a los fenómenos de helada y deshielo.
- **Diferenciación visual del firme.** Se relaciona con el color de la vía y de su textura superficial y es importante en caso de que se dé un tratamiento diferente a un tramo, por ejemplo, por ser una vía ciclable. En cualquier caso, se debe tener en consideración su integración con el paisaje circundante.
- **Costes.** Para la elección del tipo de firme deberán compararse no sólo los costes iniciales de construcción de las distintas opciones consideradas, sino también los costes globales, que incluirán los de conservación y rehabilitación.
- **Accesibilidad.** Entre los factores a considerar, es importante conocer si el itinerario es accesible o adaptado, dejando claro desde un principio si dichos principios de accesibilidad a personas con discapacidad se cumplen o no en todo o en parte del recorrido proyectado.
- **Otros factores.** Otros factores que afectan de manera importante al proyecto de un firme son los relacionados con el entorno (medio ambiente, ruido, limpieza, estética), las dimensiones de la obra, y ciertas medidas de política general o local (para promover el empleo o la competencia empresarial, por ejemplo).

El proyecto constructivo debe obtenerse a partir de la consideración de los factores mencionados mediante la concreción de:

- Sección de la explanada y firme. Espesores de las diferentes capas y materiales.
- Procedimiento constructivo.

El tipo de pavimento empleado va a influir en aspectos relacionados con su conservación y mantenimiento, como son:

- Deterioro y fisuración en superficie. Ciertos firmes retrasan la aparición de los fenómenos mencionados.
- Presencia de bordillos laterales que evitan la degradación de los bordes, así como la invasión por la vegetación, y facilitan la ejecución de la obra.
- Facilidad de la limpieza.

El proyecto debe definir la serie de firmes y pavimentos a instalar a lo largo del trazado, siendo los más frecuentemente utilizados para el tránsito peatonal/animal los pavimentos terrizos,

tanto de zahorras naturales (poco frecuente) como artificiales, granítica o caliza, con árido reciclado, jabre, etc.

Como se ha señalado, para casos especiales, se podrán utilizar otros materiales y tipos de pavimentos, como los siguientes casos tipo, no excluyentes:

- Para tramos urbanos, caminos históricos, cruces con otros viales o tramos donde sea conveniente diferenciarse del resto del trazado, adoquines de piedra o prefabricados.
- Para áreas o espacios naturales a proteger, zonas encharcadas, dunas o tramos singulares, madera o pasos de piedra.
- Para tramos especiales en que sea necesario o aconsejable separar los tránsitos peatonales de otros, diferenciar pavimentos, etc., tratamientos superficiales con morteros bituminosos (slurry) o de otro tipo.

6.3.4. ENSAYOS Y ESTUDIOS PREVIOS

Los ensayos y estudios previos necesarios para la elección de firmes y pavimentos serán los relativos a la determinación de la capacidad portante del suelo (plataforma) y la posible agresividad de los mismos ante soluciones hormigonadas.

Para su determinación, se deben hacer los ensayos geotécnicos adecuados que, aun siendo para caminos, están basados en los que se usan para la definición de la explanada en la construcción de carreteras, debiendo tenerse en cuenta, al menos, los siguientes ensayos, así como sus normas de referencia:

1. Asociados a la caracterización del suelo y determinación de la capacidad portante:
 - Preparación de muestras para los ensayos de suelos (UNE 103100)
 - Análisis granulométrico (UNE 1030101)
 - Límite líquido e índice de plasticidad (UNE 103103 y UNE 103104, respectivamente)
 - Límites de Atterberg (UNE 103203/4/94)
 - Ensayo de compactación Proctor Modificado (UNE 103501)
 - Determinación del CBR (UNE 103502)
 - Materia orgánica (UNE 103204/93)
 - Placa de carga (UNE 103808)
 - Hinchamiento (UNE 103601)
 - Ensayo de Colapso en suelos (UNE 103406)
2. Asociados a la determinación de la agresividad:
 - Sales solubles (NLT 114)
 - Contenido en sulfatos (NLT-1 15/99)

6.3.5. CÁLCULOS

Los cálculos van asociados a la obtención de la capacidad portante del terreno, al menos, para el posible tránsito de vehículos (de mantenimiento o, en su caso, de vehículos autorizados), lo que

permitirá establecer la necesidad de emplear plataformas y subbases que mejoren dicha capacidad portante para la utilidad y requerimientos previstos para el camino (peatonal, vehículos de mantenimiento, vehículos autorizados, bicicletas, paso de caballerías, etc.).

La repetición de las cargas y la acumulación de sus efectos sobre el firme (fatiga) son fundamentales para el cálculo. Además, hay que tener en cuenta las máximas presiones de contacto, las sollicitaciones tangenciales en ciertas zonas especiales, como las curvas, y las velocidades de aplicación. También, hay que tener en consideración el tráfico existente durante la obra, para que no deteriore las capas del firme durante la ejecución de la misma.

La normativa para realizar el cálculo del espesor de la capa de firme se fundamenta en el Ábaco de Peltier, como se indica más adelante, que basa el espesor del firme en el C.B.R. de la explanación y la intensidad del tráfico.

Si estos valores obtenidos son muy bajos, CBR por debajo de 5, y la explanación se considera no apta para las cargas que se le deben transmitir, se procederá a la mejora de la misma mediante el método que se prevea más adecuado para cada caso concreto, como se indica en el punto 6.3.7.1.1. Explanadas y plataformas.

Una vez determinados los valores del CBR, se realizarán los cálculos necesarios siguiendo el Abaco de Peltier para la obtención de espesores y dosificaciones de las distintas capas estructurales del firme que se recogen en el siguiente punto.

Los vehículos de referencia utilizados en dicho Ábaco (1,5 t) están hoy ampliamente superados, por ello, si fuese necesario, habrá que utilizar la comprobación para cubrir la deficiencia producida por el peso de la normativa de Carreteras (Instrucción de Carreteras; Norma 6.1 I-C "Secciones de firme", de la Instrucción de Carreteras, aprobada por orden FOM 3460/2003, de 28 de noviembre), que indica que dicho espesor se debe calcular en función del tráfico esperado durante la vida útil del camino a proyectar.

6.3.5.1. Capa de zahorras

El espesor de la capa de zahorras que se ha de utilizar en el firme de un camino vendrá determinado por la clasificación y el tipo de tráfico que ha de soportar el mismo, que depende de su intensidad y del tipo de la explanada sobre la que se va a ejecutar dicho camino.

En base a estos datos, se calcula el espesor teórico y, después, el real del firme elegido.

6.3.5.1.1. Intensidad de tráfico

Se estima que en un Camino Natural la intensidad del tráfico será baja, ya que el tipo de tráfico esperado en el camino es peatonal o ciclista. Puntualmente, circulará algún vehículo para mantenimiento y conservación, o bien como acceso controlado a alguna finca.

En algunos casos, sobre todo en los caminos de mayor longitud, podrán existir tramos de tráfico compartido donde la afluencia de tráfico pueda ser mayor. En estos tramos de utilización compartida con vehículos, se evitará, en la medida de lo posible, la actuación en los firmes.

El cálculo del espesor de la capa de zahorras se realiza mediante el ábaco de Peltier, utilizando los valores de intensidad media diaria de tráfico para vehículos pesados, según la siguiente tabla:

CLASE	I.M.D.
A	0-15
B	15-45
C	45-150
D	150-450

Tabla 6.3.2. Clasificación de Intensidad de Tráfico Ábaco Peltier. Fuente: Elaboración propia.

Esta clasificación proporciona la curva de referencia a considerar que, junto con el valor del índice CBR, permitirá obtener el espesor del firme.

6.3.5.1.2. Tipo de explanada

Para definir el tipo de la explanada, se recurrirá a los datos indicados y obtenidos de la Instrucción 6.1.I.C, que se consideran adecuados como datos básicos para la descripción de todo tipo de explanadas, donde se define la capacidad portante del terreno y, por tanto, el elemento resistente donde se soportará la capa de firme de rodadura definitivo.

Las distintas categorías de explanadas dependen del tipo de suelo de la explanación o del terraplén subyacente y de las características y espesores de los materiales utilizados para la formación de la explanada. Se denominan E1, E2, E3 y se basa en los valores del índice CBR.

TIPO DE EXPLANADA SEGÚN C.B.R.	
E1	$5 \leq C.B.R. < 10$
E2	$10 \leq C.B.R. < 20$
E3	$C.B.R. \geq 20$

Tabla 6.3.3. Tipo de explanación según C.B.R. Fuente: Guía de diseño de vías ciclables de la Región de Murcia. 2011.

6.3.5.1.3. Cálculo del espesor teórico del firme

Una vez obtenidos el valor CBR y el valor de Intensidad Media de Tráfico, se han de utilizar dichos valores para el cálculo del espesor de la capa de firme, empleando para ello el ábaco siguiente, siendo lo más usual para Caminos Naturales utilizar la “curva A” debido al tránsito previsto:

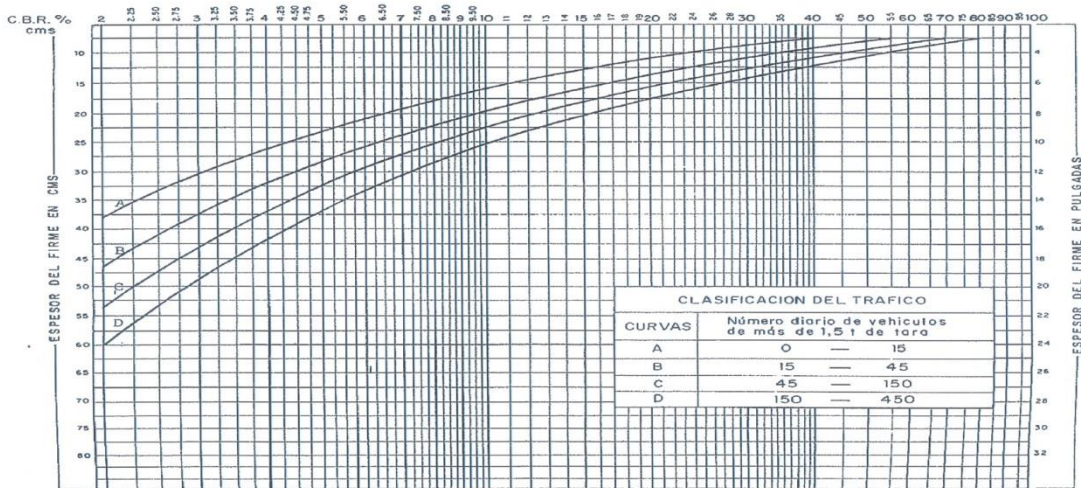


Figura 6.3.4. Determinación del espesor de firmes flexibles en relación con el C.B.R. de la explanación y con la intensidad del tráfico referida a los vehículos de tránsito. Fuente: Ábaco de Peltier. Prontuario Forestal. Colegio de Ingenieros de Montes. 2005.

En aquellos caminos donde vaya a haber tráfico compartido o alta intensidad de vehículos autorizados, se deberá comprobar la coherencia del espesor del firme así calculado con los valores que aparecen en la Instrucción de Firmes de Carreteras (vehículo pesado superior a 3 toneladas), considerando la categoría de tráfico (generalmente, T42) y la categoría de explanada, que se corresponden según dicha instrucción con los espesores de la capa de zahorras de 35-25-20 cm, para las explanadas catalogadas como E1, E2 y E3, respectivamente.

6.3.5.1.4. Cálculo del espesor real del firme

Con el método presentado en el apartado anterior, se calcula el espesor teórico del firme necesario para la explanación existente.

Conociendo el tipo de material que va a constituir el firme, se está en disposición de calcular el espesor real, pues no todos los firmes tienen idéntica calidad, y ha de tenerse en cuenta la calidad de cada material para adoptar el espesor real.

En la siguiente tabla, se muestran algunos coeficientes de calidad a utilizar (coeficiente por el que se divide el espesor teórico para alcanzar el espesor real).

TIPO DE MATERIAL	COEFICIENTE DE CALIDAD
CAPA DE RODADURA ASFÁLTICA EN FRÍO	1,70
GRAVA-CEMENTO	1,50
MACADAM	1,20
ESTABILIZACIÓN A 1"	1,00
ZAHORRA ARTIFICIAL ZA-0/20	1,00
SUELO-CEMENTO	1,00
ZAHORRA ARTIFICIAL ZA-0/32	0,90
ESTABILIZACIÓN A 1 ½"	0,90

TIPO DE MATERIAL	COEFICIENTE DE CALIDAD
ESTABILIZACIÓN A 2"	0,90
ZAHORRAS NATURALES	0,80
SUELO-CAL	0,70

Tabla 6.3.4. Coeficiente de calidad según tipo de material. Fuente: Caminos rurales proyecto y construcción. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, Barcelona, México. 1994.

El espesor real del firme se obtiene una vez conocido el espesor teórico y el coeficiente de calidad de material. En la tabla siguiente, se toma, para el cálculo del espesor teórico, el valor más bajo del CBR del tramo de la categoría de la explanación:

43

CATEGORÍA DE EXPLANACIÓN	TIPO DE MATERIAL	ESPESOR TEÓRICO (M)	COEFICIENTE DE CALIDAD	ESPESOR REAL (M)	ESPESOR DE PROYECTO (M)
E1 5<CBR<10	ZA-0/20	0,235	1	0,24	0,25
	ZA-0/32	0,235	0,9	0,26	0,25
E2 10<CBR<20	ZA-0/20	0,16	1	0,16	0,15
	ZA-0/32	0,16	0,9	0,18	0,20
E3 CBR>20	ZA-0/20	0,11	1	0,11	0,15
	ZA-0/32	0,11	0,9	0,12	0,15

Tabla 6.3.5. Secciones de firme, en función de la categoría de la explanada. Fuente: Elaboración propia.

6.3.5.2. Pavimentos de hormigón

El pavimento de hormigón se utilizará en las siguientes circunstancias:

- En los tramos donde el Camino Natural se cruce con otros caminos con tráfico rodado, prolongándose en 4 metros en todo el ancho de vía a cada lado del Camino Natural.
- En el propio Camino Natural, los pavimentos solo serán de hormigón en tramos especiales, bien porque la pendiente sea muy fuerte y el riesgo de erosión alto, bien por trazados urbanos o trazados especiales necesarios y a justificar por el proyectista.

Como norma general, se utilizará como armadura mallazo electrosoldado de acero B500T (Norma UNE 36731) de Ø06 200 x 200 mm.

6.3.5.2.1. Dimensionado del espesor

Para el dimensionamiento de pavimentos en hormigón, se puede seguir el "Manual de pavimentos de hormigón para vías de baja intensidad de tráfico" del Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones (IECA).

Se parte, al igual que para la determinación del espesor de la capa de zahorras, básicamente de dos parámetros: la calidad de la explanada de apoyo y el tráfico que circulará sobre él. A partir de estos parámetros y del tipo de hormigón a utilizar, se obtiene el espesor del pavimento, las dimensiones de las losas y la necesidad de disponer o no de una subbase.

Calidad de la explanada. Se ha de considerar la caracterización que se ha hecho de la explanada, según su índice CBR, dividiéndose en esta ocasión en tres posibles categorías: S0, con CBR entre 3 y 5; S1, con CBR entre 5 y 10; y S2, con CBR mayor de 10.

En la tabla siguiente, se caracterizan los tipos de explanada según su C.B.R. y las características observables en la inspección visual.

TIPO DE EXPLANADA	CBR	MÓDULO DE DEFORMACIÓN EV ₂ (KP/CM ²)	INSPECCIÓN VISUAL
S0	3-5	150-250	Terrenos de mala calidad, bastante deformables, en los que el paso de unos pocos vehículos pesados sobre la explanada húmeda provoca fuertes roderas, haciendo inviable la circulación. En general, sus partículas son finas y plásticas. Pueden contener también algo de materia orgánica, detectable por su color oscuro y su olor (análogos a los de la tierra vegetal), u otros materiales que pueden provocar deformaciones apreciables. Así mismo, puede ser el caso de rellenos recientes poco compactos que, en general, se reconocen por contener en su interior restos o desechos, por ejemplo, plásticos, cascotes, etc.
S1	5-10	250-500	Terrenos de calidad media, deformables, pero no exageradamente (es posible la circulación), con el paso de unos pocos vehículos pesados sobre la explanada húmeda. Se trata de suelos granulares (gravas, arenas, etc.) con partículas finas relativamente plásticas.
S2	> 10	> 500	Terrenos de buena calidad en los que el paso de vehículos pesados sobre la explanada húmeda no produce prácticamente huella. Están compuestos, en general, por gravas y arenas con pocos finos plásticos.

NOTA: Los terrenos peores que los S0 no son, en principio, aptos para soportar directamente el firme y su posible utilización requeriría tratamientos especiales (sustitución de suelos, estabilización con cemento, etc.). Los caminos antiguos que hayan soportado ya circulación de vehículos pesados pueden considerarse englobados dentro de las explanadas S2. Los valores del módulo de deformación indicados en la tabla corresponden a los obtenidos en el segundo ciclo de carga en el ensayo normalizado por el laboratorio de Ponts et Chaussées francés (placa de 60 cm de diámetro).

Tabla 6.3.6. Tipos de explanada. Cálculo de firmes de hormigón. Fuente: Guía de empleo, proyecto y ejecución de pavimentos de hormigón en entornos urbanos. La respuesta sostenible para nuestros pueblos y ciudades. Instituto español del cemento y sus aplicaciones. 2002.

Tráfico de proyecto. Para el cálculo de la Intensidad de tráfico en tramos a hormigonar de los Caminos Naturales, debe tenerse en cuenta la influencia del tráfico de todas las vías con él conectadas o que lo cruzan.

Se ha de determinar teniendo en cuenta que, en este caso, queda caracterizado en las tres tablas siguientes:

- a) En función del ancho de calzada:

ANCHO DE CALZADA	TRÁFICO DE PROYECTO
≤ 5 m	Total entre los dos sentidos
5-6 m	¾ del total
≥ 6 m	½ del total

Tabla 6.3.7. Determinación de los tráficos de proyecto en función del ancho de calzada. Fuente: Guía de empleo, proyecto y ejecución de pavimentos de hormigón en entornos urbanos. La respuesta sostenible para nuestros pueblos y ciudades. Instituto español del cemento y sus aplicaciones. 2002.

- b) En función del tránsito de camiones previsto en el momento de la puesta en servicio del camino, siendo la más habitual la categoría C4:

CATEGORÍA DE TRÁFICO	TRÁFICO DE PROYECTO (CAMIONES DIARIOS EN EL MOMENTO DE PUESTA EN SERVICIO)
C1	25 a 50
C2	15 a 24
C3	5 a 14
C4	0 a 4

Tabla 6.3.8. Categorías de tráfico. Fuente: Guía de empleo, proyecto y ejecución de pavimentos de hormigón en entornos urbanos. La respuesta sostenible para nuestros pueblos y ciudades. Instituto español del cemento y sus aplicaciones. 2002.

- c) En función de las zonas por las que discurre el camino, zonas rurales, y sus características específicas y de uso:

CATEGORÍA DE TRÁFICO	ZONAS RURALES
C4	Camino de hasta 4 m de ancho en zonas agrícolas, por los que no circulen camiones de gran capacidad
C3	Camino sirviendo sólo a núcleos de menos de 250 habitantes
C2	Camino sirviendo a núcleos de hasta 1.000 habitantes
C1	Carreteras locales sirviendo a núcleos de hasta 5.000 habitantes

Tabla 6.3.9. Determinación de la categoría de tráfico en función del tipo de vía. Fuente: Guía de empleo, proyecto y ejecución de pavimentos de hormigón en entornos urbanos. La respuesta sostenible para nuestros pueblos y ciudades. Instituto español del cemento y sus aplicaciones. 2002.

Con los datos anteriores, se obtiene el catálogo de secciones y espesores del firme de hormigón y su resistencia, que se resumen en el cuadro de la figura adjunta, en función del tipo de explanada y de la clasificación del tráfico para diferentes periodos de vida útil (siendo lo más habitual, la categoría de tráfico C4 y el ancho de calzada menor de 5 m). Se corresponderán con secciones de hormigón HF de resistencia a flexotracción 3,5 Mpa ó 4,0 MPa, con los espesores que mostrados a continuación, según el tipo de explanada:

CATÁLOGO DE SECCIONES

TRÁFICO EXPLANADA						PERIODO DE PROYECTO
	C4	C3	C2	C1		20 AÑOS 30 AÑOS
S0	HF-4,0 14	HF-4,0 16	HF-4,0 18 15	HF-4,0 20 15	HF-4,0 22 15	
			HF-3,5 20 15	HF-3,5 22 15	HF-3,5 24 15	
S1	HF-4,0 14	HF-3,5 18	HF-4,0 18 15	HF-4,0 18 15	HF-4,0 20 15	
			HF-3,5 20 15	HF-3,5 20 15	HF-3,5 22 15	
S2	HF-3,5 16	HF-4,0 14 HF-3,5 16	HF-4,0 16 18	HF-4,0 18 20	HF-4,0 20 22	
			HF 3,5 18	HF-3,5 20 22	HF-3,5 22	

	PAVIMENTO DE HORMIGÓN	HF-4,0 = HORMIGÓN DE RESISTENCIA A FLEXOTRACCIÓN 4,0 Mpa
	SUB-BASE GRANULAR	HF-3,5 = HORMIGÓN DE RESISTENCIA A FLEXOTRACCIÓN 3,5 Mpa

Figura 6.3.5. Catálogo de Secciones. Fuente: Guía de empleo, proyecto y ejecución de pavimentos de hormigón en entornos urbanos. La respuesta sostenible para nuestros pueblos y ciudades. Instituto español del cemento y sus aplicaciones. 2002.

Para los Caminos Naturales donde sea preciso utilizar estos pavimentos a efectos de cálculo de las losas de hormigón, se considera que deben cumplir los siguientes supuestos: periodo de vida útil de 30 años y utilización de hormigón de 4 Mpa de resistencia (HF-4,0), lo que dará los espesores necesarios en función de las características de la explanada y el tráfico, tal como se indica en la tabla anterior.

En los casos contemplados para pavimentos de hormigón en cruces con altas solicitudes por el tipo de terreno y el tráfico, la losa debe tener un espesor mínimo de 20 cm.

6.3.5.2.2. División de las losas

El pavimento de hormigón irá dividido en losas separadas por juntas de contracción, estableciéndose en la tabla adjunta las distancias máximas y recomendables según su espesor.

ESPESOR	DISTANCIA RECOMENDABLE	DISTANCIA MÁXIMA
14 cm	3,50 m	4,00 m
16 cm	3,75 m	4,50 m
18 cm	4,00 m	5,00 m
20 cm	4,25 m	5,50 m
22 cm	4,50 m	6,00 m
24 cm	4,75 m	6,00 m

Tabla 6.3.10. Dimensiones recomendables y máximas de las losas de un pavimento en función de su espesor. Fuente: Elaboración propia.

En las curvas muy cerradas o en entronques y casos muy especiales, se situarán, además, juntas de dilatación, tal como se indica en la siguiente figura:

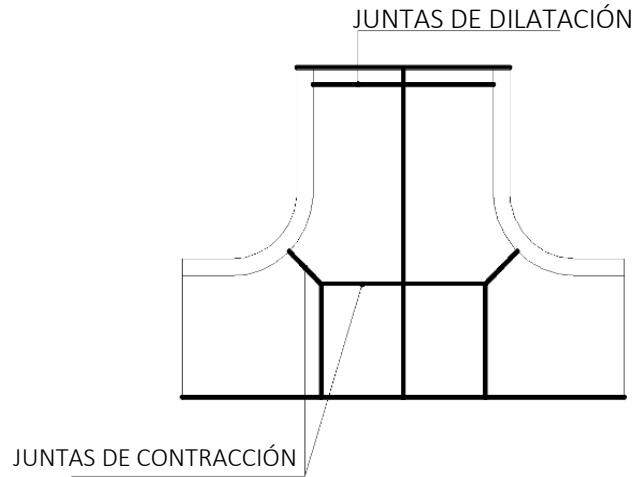


Figura 6.3.6. Disposición de juntas en cruces. Fuente: Elaboración propia.

6.3.5.2.3. Dosificación del hormigón

En la tabla adjunta, se resumen las dosificaciones a emplear de los distintos materiales que componen los hormigones que entren a formar parte de los pavimentos de Caminos Naturales. Se incluye el HF-4 como prioritario, pero también se puede usar el HF-3,5.

TIPO DE HORMIGÓN	DOSIFICACIÓN POR M ³			
	ÁRIDOS (KG)		CEMENTO (KG)	AGUA (L)
HF-4 (Consistencia Plástica)	Arena 0-5 mm	725	300	155
	Gravilla 5-20 mm	600		
	Grava 20-40 mm	650		
HF-4 (Super-plastificado)	Arena 0-5 mm	775	275	130 (+2,75 kg super-plastificante)
	Gravilla 5-20 mm	600		
	Grava 20-40 mm	650		
HF-3,5 (Consistencia Plástica)	Arena 0-5 mm	750	275	150
	Gravilla 5-20 mm	600		
	Grava 20-40 mm	650		
HF-3,5 (Super-plastificado)	Arena 0-5 mm	775	250	125 (+2,75 kg super-plastificante)
	Gravilla 5-20 mm	600		
	Grava 20-40 mm	650		

NOTA: Las dosificaciones indicadas se refieren a cementos de categoría 32,5 N. La dosificación por saco de cemento de 50 kg de peso se obtiene dividiendo los valores indicados por 5, 5,5 o 6. Las dotaciones usuales de aditivos, en caso de utilizarse, oscilan entre los siguientes límites: -Plastificantes: 0,2 a 0,4% sobre peso de cemento (100 a 200 g por saco de cemento); - Aireantes: 0,2 a 0,4% sobre peso de cemento (100 a 200 g por saco de cemento); -Superplastificantes: 0,75 a 1,5% sobre peso de cemento (375 a 750 g por saco de cemento).

Tabla 6.3.11. Dosificaciones. Fuente: Manual de pavimentos de hormigón. Vías de baja intensidad de tráfico. IECA 2002.

6.3.6. SÍNTESIS ESTRUCTURAL DE SECCIONES DE FIRMES

En el siguiente cuadro, se resumen los espesores de las distintas capas de los diferentes materiales de aportación a emplear en la ejecución de los Caminos Naturales:

CATEGORÍA DE EXPLANACIÓN	TIPO DE MATERIAL	ESPESOR MATERIAL COMPACTADO (cm)		
SIN TRÁFICO	TIPO DE MATERIAL	CAMINO	SENDA	TRÁFICO
TODAS	ZA-CN	15	10	No hay

NOTA: La capa de rodadura se podrá sellar con 2 cm compactados de arena para sellado (tamiz 5 UNE).

Tabla 6.3.12. Espesores de materiales de aportación en Explanaciones sin tráfico. Fuente: Elaboración propia.

CATEGORÍA DE EXPLANACIÓN	TIPO DE MATERIAL	ESPESOR MATERIAL COMPACTADO (cm)
CON TRÁFICO	TIPO DE MATERIAL	TRAFICO COMPARTIDO IMD=A
E1 5<CBR<10	ZA-CN	25
	ZA-0/20	25
	ZA-0/32	25
E2 10<CBR<20	ZA-CN	15
	ZA-0/20	15
	ZA-0/32	20
E3 CBR>20	ZA-CN	15
	ZA-0/20	15
	ZA-0/32	15

Tabla 6.3.13. Espesores de materiales de aportación en Explanaciones con tráfico. Fuente: Elaboración propia.

En el cuadro anterior, se han definido los posibles tipos de firmes a usar en la construcción de Caminos Naturales para una Intensidad Media Diaria de tráfico IMD=A.

A continuación, se indican algunas situaciones que no responden a los criterios generales incluidos en la tabla anterior:

- **Firme sin aporte de material:** Los senderos de montaña de pequeña anchura se ejecutan con un simple removido y compactación manual del terreno, puesto que lo habitual es la inaccesibilidad de la zona para las máquinas, incluso las de pequeño tamaño. Generalmente, este tipo de senderos son de uso exclusivamente peatonal.
- **Doble tratamiento superficial:** En aquellos caminos donde se determine su utilización, por necesidades constructivas o de uso, se podrá recurrir a un acabado en doble

tratamiento superficial, con espesor mayor a 2,5 cm según tamaño del árido, en sustitución del acabado en elementos finos.

- **Empedrado:** En secciones concretas, por razones de integración en el entorno u otros motivos se recurrirá a un empedrado como solución, que requerirá de un estudio específico.

6.3.7. DEFINICIÓN DEL PROCESO CONSTRUCTIVO

La definición de la solución elegida para la explanación y el firme quedará recogida en la Memoria y en el Anejo de Actuaciones del Proyecto Constructivo, y la secuencia de procesos para la ejecución de los firmes, materiales a emplear, obligaciones y responsabilidades, en los correspondientes apartados del Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares (PPTP).

El proyecto debe definir perfectamente estos procesos que, para el caso más común, atenderá al siguiente esquema:

- Replanteo y comprobación
- Desbroces y limpiezas
- Tratamiento de las capas existentes: en caso necesario, sustitución o aporte de material mejorado y, lo más usual, escarificado (si es preciso) de la plataforma existente y/o de la superficie de asiento, compactación de capas preexistentes y, en su caso, recebado
- Extensión de capas de firme: extensión, humectación y compactación de tongadas de material (en proyecto, deberá quedar definido el espesor de las tongadas), de manera que se alcance la densidad establecida por la normativa de aplicación
- Refinos y acabados

A continuación, se describen estos procesos para los tipos de firmes más usados en el Programa de Caminos Naturales o de otros que se pueden usar.

6.3.7.1. Caminos con pavimentos de zahorras o materiales equivalentes

Se expone el procedimiento constructivo, distinguiendo para las explanadas los distintos casos de los que se puede partir (camino, plataforma de una vía férrea, sin firme o en mal estado, etc.) y definiendo, posteriormente, las características de los firmes o pavimentos y, finalmente, de los acabados.

6.3.7.1.1. Explanadas y plataformas

Para la determinación de la capacidad portante de una explanada, se seguirán procedimientos habituales de cálculo del CBR y, una vez esté determinado, en caso de que no sea aceptable y sea necesario mejorarlo, se indica la forma de aumentar dicha capacidad con el procedimiento que sea más adecuado.

Una vez aceptada la explanada, será preciso conferirle una geometría superficial adecuada, longitudinal y transversal, con la incorporación de las pendientes de evacuación de aguas

(aspecto fundamental para garantizar la calidad de la plataforma). El proyecto deberá definir dicha pendiente, así como si se va a realizar a una o dos aguas, estando normalmente comprendida entre 1% y 3%, no debiendo ser nunca menor de 1%.

A continuación, se indican las diferentes tipos de explanadas previstas:

a) Existencia de infraestructura previa:

a.1. Vías férreas. En el caso de que el camino natural discorra por el trazado de una vía férrea, se optará por aprovechar las propiedades resistentes de su plataforma, mejorándolas en el caso de que ésta no fuese suficiente. En este caso, la función de transmisión de cargas desde la vía hasta el terreno ha sido desempeñada tradicionalmente por el balasto, que es un material cuya granulometría está casi totalmente integrada dentro del tipo que se denomina grava gruesa. Para todo tipo de líneas y condiciones de explotación ferroviaria, la curva granulométrica del balasto viene determinada según Norma UNE-EN 933-1. En la presente situación, en que el camino natural se va a desarrollar sobre una vía de ferrocarril en desuso, la calidad del balasto existente puede ser muy dispar, en función, entre otras posibilidades, del tiempo transcurrido sin paso de trenes, de la geometría de la sección o de los usos a que ha sido sometida la infraestructura.

En cualquier caso, si existe una capa mínima de 20 cm de balasto que se pueda utilizar como subbase, una vez éste se ha nivelado, perfilado y compactado nuevamente, se recebará superficialmente con suelo seleccionado, garantizando la penetración entre la capa de árido grueso.

La extensión del árido fino, que debe estar lo más seco posible, se realizará mediante distribuidores de gravilla o a mano. La dotación total del recebo, que será aproximadamente del 30% al 40% en volumen del árido grueso, se repartirá en dos o más aplicaciones. Tras cada una de las aplicaciones de árido fino, se compacta, preferentemente por vibración, y se riega con agua hasta conseguir que penetre totalmente entre los huecos del árido grueso. Deberá evitarse un exceso de vibración que produzca la descompactación del balasto. Las zonas que hayan quedado con algún defecto en el recebo podrán retocarse manualmente con ayuda de cepillos.

En el caso de que el balasto vaya a soportar la acción directa del tráfico antes de la ejecución del pavimento, se evitará la canalización del tráfico y se dejará un exceso de recebo en la superficie, el cual deberá ser barrido antes de las operaciones posteriores.

A la hora de acometer la compactación, se utilizarán compactadores de rodillos metálicos o mixtos. La compactación se continuará hasta que el árido grueso quede bien trabado.

a.2. Caminos agrícolas o vecinales. Cuando la infraestructura de partida sea un camino, habrá que determinar su capacidad portante actual. Si ésta es adecuada, se procederá al aporte de la capa de rodadura que se haya determinado en proyecto, previo escarificado, nivelación y bombeo de la rasante.

b) La infraestructura anterior no existe, es insuficiente o se encuentra en mal estado:

b.1. En el caso de actuaciones sobre antiguas vías férreas donde no exista capa de balasto, encontrarse ésta en mal estado o presentar espesor insuficiente (según relación dimensión del árido grueso/espesor de la capa), se procederá a la escarificación de la plataforma preexistente en el espesor que establezca el proyecto constructivo, siendo un valor indicativo el de 20 cm, como paso previo a la recompactación, a fin de sanearla y dejarla preparada para los posteriores tratamientos del firme.

La escarificación consiste en la completa disgregación de la superficie del terreno por medios mecánicos, para ser compactada posteriormente.

La compactación de los materiales escarificados se llevará a cabo con arreglo a lo especificado en el artículo 330 "Terraplenes" del Pliego de prescripciones técnicas generales para obras de carreteras y puentes. La densidad será igual a la exigible en la zona de obra de que se trate.

En el caso de que exista presencia de balasto abundante, pero en mal estado, el escarificado se sustituirá por la compactación mecánica de la plataforma.

Una vez se ha creado la plataforma, ya sea mediante el uso de balasto preexistente o mediante ejecución de la misma, se procederá a extender las capas de materiales granulares que constituirán la base del firme sobre la que se ejecutará el acabado.

b.2. Cuando se proceda sobre caminos vecinales agrícolas o pistas forestales cuyo material de base no se encuentre en condiciones adecuadas, esté muy deteriorado o carezca de plataforma la explanación, se procederá de forma similar a lo indicado anteriormente. Una vez determinada la explanada, se comprobará la capacidad portante de la misma mediante ensayos C.B.R, obteniéndose los datos de partida sobre los que se decidirá qué tipo de actuaciones posteriores se deben ejecutar.

Según lo indicado en el punto anterior 6.3.5.1.2. Tipo de explanada, existen unas condiciones previas de la explanada que se deben de cumplir. Caso de no ser así, y no cumplir con el mínimo, éstas se deben mejorar mediante el procedimiento que se crea más adecuado en cada caso, como son, la eliminación y sustitución por una capa de material adecuado, o la mejora de la capacidad portante del terreno existente mediante la adición de materiales apropiados para su estabilización in situ, tal y como se explica a continuación:

1. Añadir una capa de subbase con un material tolerable, adecuado o seleccionado, de espesor suficiente para obtener el valor del CBR necesario, que sirva para colocar encima la capa definitiva o pavimento.
2. Mejorar la explanada mediante la utilización de suelos estabilizados in situ, que se define como la mezcla homogénea y uniforme de un suelo con un conglomerante del tipo cal o cemento y eventualmente agua, con el objetivo de disminuir su plasticidad y susceptibilidad al agua o aumentar su resistencia y que, convenientemente compactada, se utiliza en la formación de explanadas y rellenos tipo terraplén. Según sus características finales, se establecen dos tipos

de suelos mejorados in situ, denominados S-EST1 y S-EST2; ambos se podrán conseguir con cal o con cemento y, en ellos, se mejoran considerablemente las propiedades del suelo. Asimismo, la categoría S-EST3, solo estabilizada con cemento, que le proporciona una resistencia mecánica adecuada al suelo, similar a la explanada E3.

En proyecto, se determinará cuál es la solución óptima en cada caso y se indicarán las características, composición y valores de cada uno de los materiales a utilizar. Requiere de unos estudios previos detallados de las características principales y de la homogeneidad de los suelos a tratar, así como de ensayos de laboratorio para su dosificación y la determinación de la fórmula de trabajo.

Suelos. Se deben de tener en cuenta las siguientes particularidades:

- El tipo de suelo, su estado hídrico y las condiciones climáticas prevalentes son los factores para seleccionar el conglomerante más adecuado.
- Existe una limitación de uso cuando el contenido de sulfatos solubles en los suelos es superior al 1% o el contenido en materia orgánica es alto.
- Las especificaciones que deben cumplir para que al estabilizarlos resulte un material con unas características técnicas adecuadas y económicamente admisibles son:

TIPO DE SUELO A ESTABILIZAR		S-EST1	S-EST2	S-EST3	
GRANULOMETRÍA	TAMAÑO MÁXIMO	80			
	SUELO CON CAL	0,063	≥ 15	-----	
	SUELO CON CEMENTO	0,063	< 50	< 35	
		2	> 20		
PLASTICIDAD	SUELO CON CAL	IP	IP ≥ 12	12 ≤ IP ≤ 40	-----
	SUELO CON CEMENTO	LL	-----	≤ 40	
		IP	≤ 15		
MATERIA ORGÁNICA (MO) %		< 2	< 1		
SULFATOS SOLUBLES (S3) %		< 0,7%			

Tabla 6.3.14. Características de los suelos a estabilizar in situ. Fuente: Pliego de prescripciones técnicas generales para obras de carreteras y puentes

Materiales a utilizar en la estabilización de suelos. Son los siguientes:

- Salvo justificación en contrario, para la estabilización de suelos se usarán cales aéreas vivas del tipo CL 90-Q e hidratadas del tipo CL 90-S, conformes a la Norma UNE-EN 459-1, que deberán cumplir las prescripciones del artículo 200 del PG-3 y las especificaciones de la Norma UNE-EN 459-2, según la cual el contenido de agua libre en las cales hidratadas será inferior al 2% en masa.

- Salvo justificación en contrario, la clase resistente del cemento, será la 32,5N para los cementos comunes y la 22,5N o la 32,5N para los cementos especiales tipo ESP VI-1. No se emplearán cementos de aluminato de calcio. Si el contenido ponderal de sulfatos solubles (SO_3) en el suelo que se vaya a estabilizar (Norma UNE 103201) fuera superior al cinco por mil (> 5 ‰) en masa, deberá emplearse un cemento resistente a los sulfatos (SR/SRC) y aislar adecuadamente estas capas de las obras de hormigón. Según el Manual de Estabilización de Suelos con Cemento o Cal, elaborado por IECA, ANTER y ANCADE, 2008, los cementos más adecuados para estabilizar suelos son los que tienen un elevado plazo de trabajabilidad, un moderado calor de hidratación para limitar los efectos de la fisuración y un desarrollo lento de resistencias y módulos de rigidez a edades tempranas, recuperándolas a largo plazo. Son del tipo CEM III, CEM IV y CEM V, según lo indicado en la IRC-16.
- El agua deberá cumplir las prescripciones de la vigente Instrucción de Hormigón Estructural EHE 08.
- Los aditivos de más interés en las estabilizaciones son los retardadores de fraguado, con el consiguiente aumento del plazo de trabajabilidad.

Tipos de tratamiento que se pueden realizar antes de la estabilización y permiten conseguir diferentes calidades de la explanada:

- Secado de suelos: producen una disminución de la humedad del mismo. Se usa principalmente cal viva. Descenso del 3-4% por cada 1% de cal mezclada.
- Suelos mejorados: con una humedad o una plasticidad excesivas. La corrección previa mediante un tratamiento con una dosis moderada de cal permite optimizar la acción del cemento sobre los mismos.

Dosificación. El conglomerante empleado debe ser cemento si el suelo es poco plástico, mientras que si es fino y cohesivo debe utilizarse cal aérea, aunque, en ocasiones, puede convenir un tratamiento mixto, primero con cal para restar plasticidad y después con cemento para aumentar la capacidad de soporte o alcanzar resistencias.

Los suelos que se vayan a estabilizar in situ con cal o cemento cumplirán lo indicado en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares donde se definirán las características, el tipo y la composición del suelo estabilizado, cuyo contenido, conglomerante, resistencia o capacidad de soporte y densidad, una vez estabilizados, deberán cumplir lo especificado en la siguiente tabla:

CARACTERÍSTICAS	TIPO SUELO ESTABILIZADO		
	S-EST1	S-EST2	S-EST3
PORCENTAJE MÍNIMO DE CONGLOMERANTE	≥ 2	≥ 3	
ÍNDICE CBR, A 7 DÍAS	≥ 6	≥ 12	
COMPRESION SIMPLE, A 7 DÍAS MPA			≥ 1,5
DENSIDAD (PRÓCTOR MODIFICADO)	≥ 95	≥ 97	≥ 98
MÓDULO DE COMPRESIBILIDAD E_{v2} MPA	≥ 60	≥ 120	≥ 300

Tabla 6.3.15. Características de los suelos estabilizados in situ. Fuente: Pliego de prescripciones técnicas generales para obras de carreteras y puentes

Con cal: 1-2% para secado; 3-8% para estabilización mixta y para suelos estabilizados con cal; y, 3-12% para suelos estabilizados con cemento. Dosis recomendadas en el Manual de Estabilización de Suelos con Cemento y Cal (IECA, ANTER y ANCADE).

Con cemento: Según la Portland Cement Association de EE.UU., teóricamente cualquier suelo puede estabilizarse con cemento, obteniéndose los siguientes porcentajes de cemento en peso, en función del tipo de suelo:

TIPO DE SUELO	A-1-a	A-1-b	A-2	A-3	A-4	A-5	A-6	A-7
% EN PESO	3-5	5-8	5-9	7-11	7-12	8-13	9-15	10-16

b.3. Para el caso de sendas peatonales, únicamente se establecerán trabajos de limpieza (apertura y desbroce, si no existieran previamente) y reparación de baches con áridos, como trabajos previos al establecimiento del firme.

6.3.7.1.2. Firmes o Pavimentos

Sobre la plataforma formada previamente, se procederá a extender y compactar una capa de material granular. Para Caminos Naturales, se emplean principalmente zahorras, con unas características que se definen a continuación y cuyo espesor se define en proyecto, aunque normalmente está comprendido entre 10 y 30 cm. El cálculo de los espesores de zahorra se ha indicado anteriormente en este documento.

Se define como zahorra (Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares para Obras de Carreteras y Puentes), el material granular de granulometría continua utilizado como capa de firme. Se denomina zahorra artificial, al constituido por partículas total o parcialmente trituradas, en la proporción mínima que se especifique en cada caso. La zahorra natural es el material formado básicamente por partículas no trituradas.

Las características de las zahorras a utilizar son las siguientes:

- Los materiales para la zahorra artificial procederán de la trituración, total o parcial, de piedra de cantera o de grava natural. Para la zahorra natural, procederán de graveras o depósitos naturales, suelos naturales o una mezcla de ambos.
- Angulosidad. La proporción de partículas total y parcialmente trituradas del árido grueso (Norma UNE-EN 933-5) debe ser ≥ 50 y la proporción de partículas totalmente redondeadas del árido grueso ≤ 10
- Forma. El índice de lajas (FI) de las distintas fracciones del árido grueso (norma UNE-EN 933-3) deberá ser inferior a 35.
- Resistencia a la fragmentación. El Coeficiente de Los Ángeles, según la Norma UNE-EN 1097-2 para zahorras artificiales, no podrá ser superior, para tráficos tipo T3 a T4, a un valor de 35. Para materiales reciclados y zahorras naturales, podrá ser cinco unidades superior, si cumplen la granulometría.
- Limpieza. Los materiales estarán exentos de terrones de arcilla, margas, materia orgánica, o cualquier otra que pueda afectar a la durabilidad de la capa. El contenido de finos del árido grueso (Norma UNE-EN 933-1), expresado como porcentaje que pasa por el tamiz 0,063 mm, será inferior al 1% en masa.
- Calidad de los finos. El equivalente de arena (SE4) (Anexo A de la Norma UNE-EN 933-8), para la fracción 0/4 del material, deberá ser EA > 30 . De no cumplirse esta condición, su valor de azul de metileno (Anexo A de la Norma UNE-EN 933-9), para la fracción 0/0,125 deberá ser inferior a diez gramos por kilogramo (MBf < 10 g/kg) y, simultáneamente, el equivalente de arena no deberá ser inferior en más de 5 unidades a los valores EA > 30
- Plasticidad. El material será “No Plástico” según la Norma UNE 103104 para zahorras artificiales.
- Granulometría del material. Según la Norma UNE-EN 933-1, deberá estar comprendida dentro de los husos fijados en las tablas de zahorras artificiales para los correspondientes porcentajes de cernidos acumulados por tamices preestablecidos.
- En todos los casos, el cernido por el tamiz 0,063 mm (Norma UNE-EN 933-2) será menor que los dos tercios del cernido por el tamiz 0,250 mm.
- Las zahorras más comúnmente utilizadas en Caminos Naturales son las denominadas en el PG-3 como ZA-0/20 y ZA-0/32, de acuerdo a su curva granulométrica, en función de los porcentajes de materiales que pasan por los diferentes tamices UNE establecidos.

En el PG3, se define las zahorras artificiales como capa de firme. Normalmente, este firme se diseña en carreteras para que se utilice como subbase, sobre la que se asentará una capa de rodadura definitiva con otro tipo de material, normalmente bituminoso.

Los condicionantes impuestos por el PG3 son válidos para que la zahorra tenga características adecuadas y que el material compacte bien, ya que su finalidad es aumentar la capacidad portante del terreno e, inmediatamente, poner sobre ella una capa de firme, como se ha indicado anteriormente. Por ello, no es necesario que quede bien sellada la capa de zahorras, ya

que la impermeabilidad y el acabado suave para la rodadura, se consigue con la capa bituminosa o del material definitivo que se coloca encima.

CURVAS GRANULOMÉTRICAS DEL PG-3 APERTURA DE LOS TAMICES UNE-EN 933-2 (MM)

	40	32	20	12,5	8	4	2	0,5	0,25	0,063
ZA 0/32	100	88-100	65-90	52-76	40-63	26-45	15-32	7-21	4-16	0-9
ZA 0/20		100	75-100	60-86	45-73	31-54	20-40	9-24	5-18	0-9

Tabla 6.3.16. Husos granulométricos de las zahorras. Fuente: Pliego de prescripciones técnicas generales para obras de carreteras y puentes

56

El presente documento define la curva de un nuevo material que será utilizado en la confección del firme de los caminos integrantes del Programa de Camino Naturales. Este firme tendrá una curva característica y unos parámetros que se definen a continuación. Está basado en la zohorra definida en el PG-3, introduciendo las variaciones que, con arreglo a la experiencia de construcción de estas vías, han resultado ser las más idóneas. El firme del Programa de Caminos Naturales debe estar compuesto por zahorra, con unas características que varían ligeramente respecto a las del PG-3 y que permiten una mayor cohesión de las partículas que la componen y, de esta manera, dificultar la disgregación de la capa de firme con el paso del tiempo y de los vehículos. Con el sellado de la capa de zahorra con arena, se consigue incrementar la impermeabilización de la capa de rodadura, la comodidad de tránsito y la durabilidad de la misma.

Después de los ensayos realizados y de la experiencia recavada en obra, las características de la zahorra artificial (ZA-CN) en los caminos naturales son:

- Granulometría zahorra artificial ZA-CN:

	40	32	20	12,5	8	4	2	0,5	0,25	0,063
ZA CN		100	75-100	60-86	45-73	31-54	20-40	9-24	6-18	6-15

Tabla 6.3.17. Huso granulométrico zahorra Caminos Naturales. Fuente: Elaboración propia.

- La capa construida con este material no se reviste con productos asfálticos; por tanto, las condiciones de plasticidad deben aumentar para dotar a la capa superior de una mayor impermeabilidad al tener más proporción de arcilla o arcilla más plástica. Dichas condiciones serán:
 - $LL < 35$
 - $4 \leq IP \leq 9$
- Si el camino se va a construir en climas muy secos, áridos, con precipitaciones medias anuales del orden de 250 mm o menores, aún se puede elevar más la plasticidad, al no haber riesgo de deslizamiento por embarrado por la rápida evaporación del agua y,

entonces, para conseguir que exista una gran trabazón, por cohesión, entre los diferentes granos de la capa, debemos considerar que:

- $6 \leq IP \leq 12$

A continuación, se muestran las características que debe de tener una zahorra que sea utilizable como firme en las Caminos Naturales, además de la granulometría indicada:

CARACTERÍSTICAS	NORMA UNE	ZAHORRA	RECEBO
Angulosidad. Elementos con 2 o más caras de fractura	EN 933-5	> 50	
Forma. Índice de lascas	EN 933-3	< 35	
Resistencia a la fragmentación. Desgaste Los Ángeles	EN 1097-2	<35	
Calidad del árido fino. Equivalente de arena	EN 933-8	> 25	> 35
Límite líquido	EN UNE 103103	< 35	
Índice de plasticidad	103103-103104	$\geq 4 \text{ y } \leq 9$	NP

Tabla 6.3.18. Características de los áridos para capas de rodadura. Fuente: Elaboración propia

Según se indica en el Libro “Caminos rurales, dimensiones y construcción” de Rafael Dal-Re, en el que, entre otras, se define la Curva de Estabilización Granulométrica a 1, cuando ésta se aplica a los caminos rurales así terminados, se ha comprobado y la experiencia lo demuestra, que la calidad y durabilidad están contrastadas ampliamente. Por tanto, esta curva se podría ajustar correctamente para la ejecución propuesta para los firmes de Caminos Naturales.

6.3.7.1.3. Acabados

Con la utilización de material granular que se incluya dentro del huso granulométrico indicado, debe quedar una capa final de rodadura cohesionada y sin material suelto, por lo que no será necesario realizar ningún tipo de añadido de material y éste será el firme definitivo.

Si esto no ocurriese así por las circunstancias que sean, o se usa zahorra que cumpla con las curvas granulométrica propuestas en el PG3, se debe proceder al sellado con material adecuado de granulometría fina (0/5 mm). La capa de finos así formada tendrá, al menos, 2 cm de espesor tras el extendido y la compactación de la misma, en todo el ancho del firme.

El árido estará formado por arena natural, restos de machaqueo, suelo seleccionado tipo arena caliza de machaqueo, sábrego, albero o similar, etc., sin plasticidad. La arena, aunque no tiene agregados coherentes, es buen material para rellenar. Por su parte, la proporción de arcilla en el árido debe estar muy limitada, ya que cuando está húmeda hace el firme inestable. Su granulometría debe ser tal que los porcentajes en peso que pasan por el tamiz 10 UNE sean del 100%, por el tamiz 5 UNE entre el 85% y el 100%, y por el tamiz 0,080 UNE entre 10% y el 25% y NO plástico.

6.3.7.2. Otros firmes y pavimentos especiales

En algunos casos muy determinados, se deben usar otros tipos de pavimentos, cuyos procesos constructivos serán, según tipologías, los siguientes:

6.3.7.2.1. Doble Tratamiento Superficial

En caso de existir una banda ciclable con una anchura mínima de 2,5 m, excepcionalmente y como opción, se puede considerar para la capa de rodadura el empleo de un doble tratamiento superficial asfáltico (DTS) o riegos con gravilla bicapa (tratamientos superficiales mediante riegos con gravilla (TSRG)), que consiste en la ejecución de dos aplicaciones sucesivas de un ligante hidrocarbonado y un árido de granulometría uniforme sobre la superficie, con tamaños decrecientes. Se emplearán emulsiones bituminosas de los tipos: C65B3 TRG, C65B2 TRG, C69B2 TRG, C65BP3 TRG, C65BP2 TRG o G69BP2 TRG.

En estos tratamientos, se emplearán únicamente áridos gruesos (mayor o igual de 2 mm), naturales o artificiales, siempre que cumplan las especificaciones, no pudiendo emplearse el material procedente del fresado de mezclas bituminosas (RAP).

Estos áridos no serán susceptibles de experimentar ningún tipo de meteorización o alteración física o química bajo las condiciones más desfavorables que pudieran darse en la zona de empleo.

Antes de su aplicación, se debe proceder al barrido del firme y a la realización de un riego de imprimación con un ligante fluido, una emulsión asfáltica catiónica de imprimación, con el objetivo de preparar la superficie de apoyo y de contribuir a la sujeción de la capa bituminosa del tratamiento superficial posterior. La dosis de los riegos de imprimación será, como norma general, de 0,50 kg/m² de ligante residual, de emulsión asfáltica del tipo C50BF4 IMP, aunque en cada caso deberá establecerse por el proyectista, de acuerdo a las circunstancias del camino proyectado.

Cálculo de la dosis de árido. Para su cálculo se pueden utilizar tres métodos que emplean, como variables principales, el tamaño máximo y mínimo del árido).

- Regla del décimo
- Método del Centro de Recherches Routieres (C.R.R)
- Método de Linckenmeyl

Para el cálculo de la dosis definitiva, se recomienda ponderar (media, por ejemplo) los tres métodos.

Cálculo de la dotación de emulsión. Para su cálculo, se pueden utilizar dos métodos

- Regla del décimo
- Método del Centro de Recherches Routieres (C.R.R.)

Para el cálculo de la dosis definitiva se recomienda ponderar (media, por ejemplo) los dos métodos.

La dosis de ligante obtenida se debe modificar en función del contenido en betún asfáltico residual del tipo de emulsión a emplear, y según las condiciones locales.

Dosificación habitual. Se adjunta, a continuación, una tabla resumen con las dosificaciones más habituales:

Aplicación	ÁRIDO		LIGANTE HIDROCARBONADO	
	TIPO	Dotación de árido (l/m ²)	TIPO	Dotación de ligante residual (kg/m ²)
1ª	A 20/12	12 - 16	C69B2	0,9
2ª	A 6/4	6 - 8		1,3
1ª	A 16/8	9 - 12	C65B2	0,8
2ª	A 6/4	5 - 7		1,1
1ª	A 12/6	7 - 9	C69B3	0,6
2ª	A 4/2	4 - 6		0,9
1ª	A 8/4	5 - 7	C65B3	0,5
2ª	A 4/2	4 - 6		0,7

Tabla 6.3.19. Dosificaciones más habituales. Fuente: Elaboración propia.

Es preciso poner un especial cuidado en la dosificación de ligante y árido, evitando que el resultado final del tratamiento presente un exceso de árido suelto (molesto y peligroso para el paso de ciclistas). Por los mismos motivos, será preciso cuidar la granulometría del árido empleado, evitando tamaños máximos excesivamente grandes y limitando el porcentaje del mismo.

El proceso de extendido de la distintas capas será tal que en la culminación del firme se obtengan las pendientes transversales y bombeos designados en proyecto (normalmente, no superiores a 2%, a una o dos aguas, según situaciones, no debiendo ser menor de 1%).

6.3.7.2.2. Pavimentos Tipo Slurry

Es un mortero bituminoso con consistencia de lechada, áridos, polvo mineral y ligante hidrocarbonado, de manera que las partículas quedan cubiertas con una película continua de éste, con un espesor de, al menos, 2 cm, siendo la primera capa de color negro y la segunda capa de color normalmente verde o rojo, con una dosis de 1,5 kg/m² para cada una de ellas, y sellada con una capa de pintura asfáltica del mismo color. Se aplica en frío, generalmente sobre superficies asfálticas o de hormigón. El soporte sobre el que se aplica deberá estar

perfectamente limpio de polvo y sustancias extrañas. Se emplea en tratamientos superficiales de muy pequeño espesor, aportando al pavimento existente una mejora en la impermeabilidad y en las características superficiales (textura superficial y resistencia al deslizamiento). Constituye un manto protector para el firme, que le recubre a su vez con una nueva y eficaz capa de rodadura.

6.3.7.2.3. Pavimentos Terrizos

Son suelos estabilizados con áridos y conglomerantes naturales o artificiales que mejoran las propiedades mecánicas, son resistentes a los fenómenos atmosféricos y no se producen blandones y baches. Previamente a su ejecución, se debe comprobar la capacidad portante del terreno y, en caso de no ser adecuada, se debe proceder a añadir una capa de zahorra o a vaciar el terreno y añadir la capa de zahorra. En algunos casos, será necesario realizar encofrado previo. Se debe hacer un rasanteo del terreno, extendido del material en capas de grosor uniforme (deberá quedar definido en proyecto el espesor de las capas), perfilado de bordes, riego de la capa (deberán quedar definidos los niveles de humedad adecuados y admisibles en proyecto), apisonado y nivelación, tanto para pavimentos terrizos naturales con áridos y conglomerantes naturales, como para compuestos amalgamados con resinas tipo “aripaq” o similares (deberán definirse composiciones en proyecto).

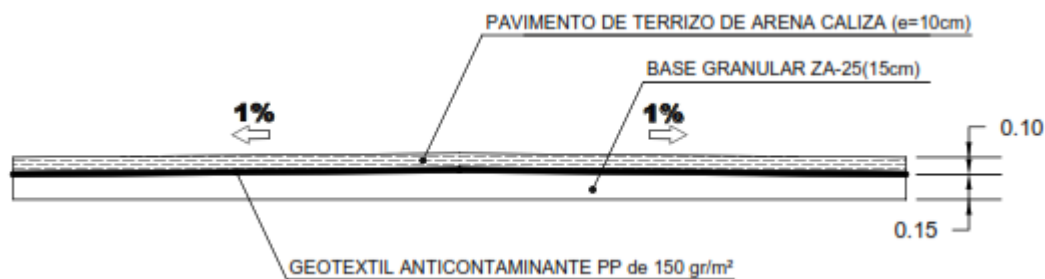


Figura 6.3.7. Detalle pavimento de arena. Fuente: Elaboración propia.

6.3.7.2.4. Pavimentos Adoquinados y Empedrados

Dependiendo del uso peatonal o para el paso de vehículos, presentarán diferentes bases de colocación, pero los propios pavimentos se asentarán, bien sobre morteros de agarre de consistencia plástica de unos 3 cm de espesor, bien sobre camas de arena de unos 10 cm de espesor. Los adoquines o piedras se pueden colocar dejando juntas de unos 2-3 mm, o pegados unos a otros. En caso de dejar juntas, se rellenarán con arena, preferiblemente caliza, de machaqueo. En ambos casos, se terminará la colocación con el recebado de juntas, barrido y compactación. El proyecto deberá dejar explícita y completamente definidos y cuantificados estos aspectos (bases de colocación, morteros de agarre o camas de arena, juntas, material de recebado, tamaño y características de adoquines, etc.).

6.3.7.2.5. Pavimentos Continuos de Hormigón Impreso

Tras la preparación del terreno y la delimitación de las zonas a tratar (con bordillos o encofrados), se colocará y extenderá el hormigón según lo dispuesto por la EHE-08, se nivelará y fratasará, se realizarán los cortes de las juntas de dilatación y retracción (artículo 550 del PG-3) y, una vez seca la superficie, se aplicará mediante pulverización la resina de acabado.

6.3.7.2.6. Pavimento de Hormigón Desactivado

Se trata de una variación del apartado anterior “Pavimento Continuo de Hormigón Impreso”, si bien, en este caso, al hormigón se le refuerza con fibras de polipropileno en dosis 1,2 kg/m³ y, posteriormente, se le aplica un líquido desactivante y un riego a presión, haciendo aflorar 3-4 mm los áridos del hormigón a la superficie.

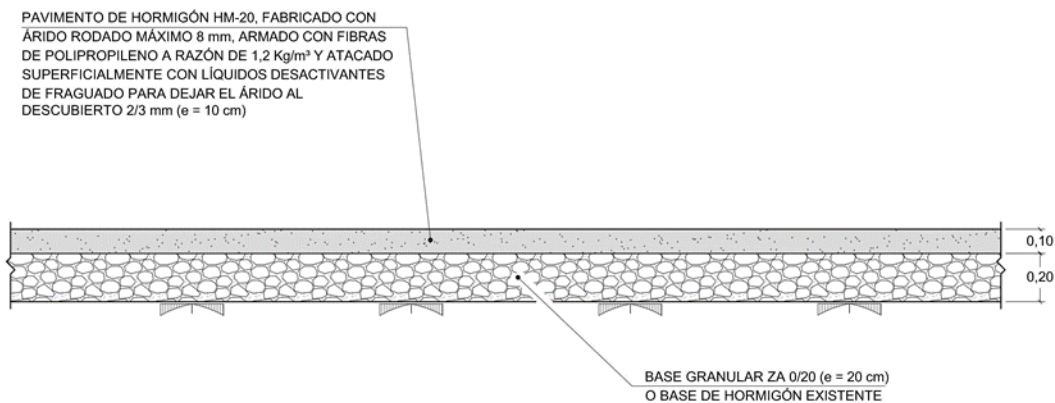


Figura 6.3.8. Detalle pavimento de hormigón desactivado. Fuente: Elaboración propia.

6.3.7.2.7. Pavimentos en Escalera

Para dar respuesta al trazado de caminos, y especialmente para sendas peatonales, en trazados de fuerte pendiente donde sea necesario el control de la erosión de las aguas de escorrentía sobre los firmes y pavimentos, se deberán ejecutar los caminos, y especialmente los senderos, mediante sucesión de escalones con grandes distanciamientos entre peldaños (huellas muy alargadas y con baja pendiente), que permitan salvar la pendiente del terreno. Estos tramos de senderos se construirán con firmes de zahorras, de igual forma a la establecida de manera general, con la única diferencia de utilizar piedra o madera tratada para la definición del escalón y altura de la contrahuella.

6.3.8. MATERIALES A EMPLEAR

El apartado correspondiente a los materiales a emplear en los pavimentos puede quedar mencionado sucintamente en el Anejo de Actuaciones, pero debe estar plenamente desarrollado en el PPTP, donde deberán aparecer descritos los ensayos de recepción en obra de dichos materiales y las condiciones de aceptación y rechazo de los mismos, las correctas

condiciones de acopio en la obra, la normativa de aplicación, los valores a cumplir y los límites admisibles.

1. Materiales básicos que se utilizan en las diversas capas del firme. Se pueden mencionar los siguientes:


- a) Suelos granulares de calidad suficiente
- b) Áridos: naturales rodados o triturados total o parcialmente, áridos artificiales, Residuos de Construcción y Demolición (RCD) valorizados, subproductos industriales,...
- c) Ligantes hidrocarbonados: betunes asfálticos, emulsiones bituminosas, betunes modificados con polímeros, betunes fluidificados, betunes fluxados,...
- d) Conglomerantes hidráulicos y puzolánicos: cementos, escorias granuladas, cenizas volantes, cales aéreas,...
- e) Agua
- f) Otros materiales: maderas, resinas, activantes en mezclas bituminosas, etc.

2. Materiales compuestos. Los suelos y los áridos, a veces con adición y mezcla de ligantes o conglomerantes, son los materiales constituyentes de cada capa del firme. Los más empleados son los siguientes:

- a) Capas granulares, ya sean de granulometría uniforme o continua. Están constituidas exclusivamente por áridos. Éstos pueden proceder de yacimientos (graveras), ser extraídos en canteras o, incluso, tratarse de residuos de construcción y demolición valorizados o de subproductos industriales. Dentro de esta definición genérica, cabe distinguir dos tipos fundamentales de estructuras granulares:
 - Las constituidas por partículas relativamente gruesas de tamaños sensiblemente parecidos (por ejemplo, entre 5 y 10 cm) y, por tanto, con una granulometría uniforme, como en el caso del macadam. Los huecos que quedan entre ellas pueden ser posteriormente rellenados en parte por unos áridos más finos o recebo.
 - Estructuras formadas por áridos de tamaños diversos, de tal manera que los huecos dejados por los más gruesos, que constituyen el esqueleto mineral, van siendo rellenados por las partículas más finas. Son estructuras con una granulometría continua, caracterizadas por altas compacidades, que reciben la denominación tradicional de zahorras.
 - Se emplean también, en ocasiones, unas estructuras con granulometría continua, de las que se han eliminado los tamaños más finos. Se consiguen así unas capas que tienen una gran cantidad de huecos que las dotan de una apreciable drenabilidad (zahorras drenantes).
- b) Materiales granulares estabilizados o tratados, tales como suelos estabilizados con cemento, cal o productos bituminosos (con mezcla in situ o en central),

gravacemento, gravaescoria, gravaemulsión, gravacaliza, etc. Estos materiales pueden ser reciclados procedentes del mismo u otro firme.

- c) Tratamientos superficiales que incluyen los riegos con gravilla, los riegos auxiliares de imprimación, adherencia y curado, y las lechadas bituminosas.
- d) Hormigones vibrados, hormigones magros para bases, hormigones compactados con rodillo, etc.
- e) Mezclas bituminosas, que reciben distintas denominaciones según su constitución y forma de puesta en obra: mezclas en caliente o en frío, mezclas cerradas o abiertas, morteros y hormigones bituminosos.
- f) Reutilización de residuos: se pueden emplear, del mismo modo, materiales procedentes de gestión de residuos de demolición, siempre que cumplan los criterios técnicos de aceptación necesarios. Así, la utilización de árido reciclado es cada vez más habitual en este campo, en ámbitos muy variados como son la construcción de explanaciones (terraplenes y rellenos) y capas de firmes de caminos y carreteras. Los destinos de estos materiales reciclados dependerán de la naturaleza o composición mayoritaria de los residuos.
 - Para explanaciones, se suelen utilizar materiales procedentes tanto de residuos cerámicos, como de asfalto, de hormigón o mezclas de estos.
 - Para firmes, se restringe la utilización de algunos tipos de materiales. Destaca el árido reciclado procedente de los residuos de la demolición de estructuras de hormigón. Para esta valorización, hay que tener en cuenta la homogeneidad del residuo, así como la ausencia de armaduras y contaminantes, y la granulometría. La incorporación de estos materiales reciclados puede hacerse siempre que se cumplan las condiciones técnicas y medioambientales exigidas como áridos reciclados para distintas capas del firme. Las especificaciones técnicas que se refieren a la utilización de estos áridos reciclados se encuentran recogidas dentro de la normativa UNE-EN, el Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3), y el Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Conservación de Carreteras (PG-4). Se pueden utilizar en los siguientes casos:
 - Capas granulares sin tratar (zahorras): Generalmente, se mezcla el material reciclado con arena de aportación que mejora su trabajabilidad y disminuye su permeabilidad.
 - Materiales tratados: El tratamiento del hormigón reciclado con cemento o ligantes bituminosos aumenta la resistencia del material y reduce la susceptibilidad frente al hielo, la permeabilidad y la posible lixiviación. Suele ser necesario un contenido de ligante mayor en la mezcla para compensar la menor densidad del árido reciclado o la posible lixiviación.



6.4. Sistemas de drenaje

6.4. SISTEMAS DE DRENAJE

6.4.1. INTRODUCCIÓN

Los caminos producen una alteración en el drenaje natural, de forma particular en las laderas por las que discurren, e interceptan los cauces de agua; en esta misma línea, la escorrentía superficial corta los caminos en forma de regueros de diferente caudal. Estas alteraciones requieren soluciones de drenaje diferentes; por un lado, será necesario actuar sobre los puntos en los que se corta un drenaje importante (cauce o arroyo) y, por otro, en aquellos en los que hay un cambio de sentido de la pendiente de la rasante.

El objetivo principal del drenaje de caminos es el de reducir o eliminar la energía generada por una corriente de agua y evitar la presencia de agua o humedad excesiva en la calzada, ya que ésta puede repercutir negativamente en las propiedades mecánicas de los materiales con que fue constituida; esto hace que la previsión de un drenaje adecuado sea un aspecto vital para el diseño de caminos.

Muchos de los problemas asociados al drenaje pueden ser evitados a la hora de trazar y diseñar el camino, por lo que resulta necesario incluir un adecuado estudio del sistema de drenaje durante el planeamiento del mismo. Para que éste sea eficaz durante su periodo de vida, se deberán seguir dos criterios fundamentales:

1. Se debe alterar lo menos posible la red de drenaje natural.
2. Se debe drenar el agua superficial y subsuperficial del camino y esparcirla de tal forma que se impida la acumulación excesiva en zonas inestables y la erosión ulterior aguas abajo.

6.4.2. CRITERIOS A TENER EN CUENTA

El proyecto deberá tener en cuenta una serie de pautas para la elección de los sistemas de drenaje, así como para el saneamiento de los caminos y las superficies de actuación, de acuerdo a criterios de:

- Eficacia
- Seguridad de los usuarios (peatonal, bicicletas, vehículos de mantenimiento, vehículos autorizados, etc.)
- Facilidad constructiva
- Durabilidad
- Mantenimiento necesario y su frecuencia
- Satisfacción desde el punto de vista constructivo
- Minimización del impacto

En algunos casos, la posibilidad de aplicación de los criterios anteriores puede verse limitada por la naturaleza del camino o por su ubicación territorial.

El proyecto de un camino o senda natural, una vez aplicados los criterios mencionados, incluirá una combinación de drenajes superficiales y profundos que favorezca la evacuación de las aguas sobrantes.

6.4.2.1. Drenaje transversal

66

Las obras de drenaje transversal deberán perturbar lo menos posible la circulación del agua por el cauce natural, sin excesivas sobreelevaciones del nivel del agua por posibles aterramientos, ni aumentos de velocidad que puedan provocar erosiones potenciales aguas abajo.

A continuación, se exponen los criterios a considerar para este tipo de obras:

- Planta. Las obras de drenaje transversal se dispondrán, a ser posible, en dirección coincidente con el cauce natural.
- Perfil. En la medida de lo posible, se tratará de ajustar el perfil de la obra de drenaje transversal al perfil del lecho del cauce.
- Sección. Se procurará respetar las dimensiones del cauce natural y no provocar fuertes estrechamientos, recurriendo para ello a un sobredimensionamiento.

Al margen de los criterios expuestos, hay que tener en cuenta que para la ejecución de cualquier obra de drenaje transversal en cauces de dominio público hidráulico será necesario obtener la preceptiva autorización por parte de la Administración Hidráulica competente.

Para vadear estos cauces naturales, se dispone de dos opciones: mediante pequeños puentes y pasarelas (losa sobre estribos) o mediante obras de fábrica (caños de diferentes materiales y marcos de hormigón prefabricado). Comparando ambas opciones, se puede afirmar que la primera de ellas es más costosa y constructivamente más complicada, aunque también ofrece soluciones más estéticas que las obras de fábrica.

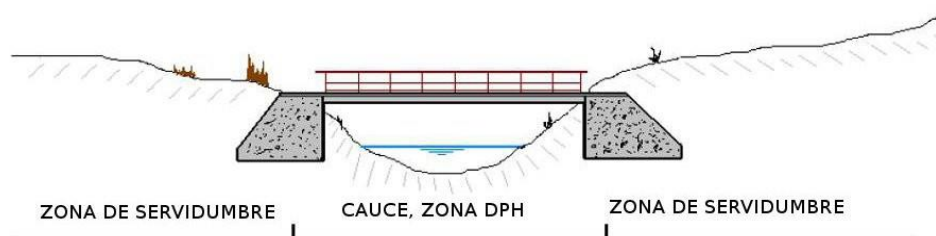


Figura 6.4.1. Croquis de obra de paso compuesta por una losa sobre estribos. Fuente: Confederación Hidrográfica del Guadiana. 2010.

Por lo general, los pequeños puentes o pasarelas se colocarán sobre cauces de agua más o menos permanentes y con poca sección. Las pasarelas suelen estar formadas por piezas prefabricadas de madera tratada, piezas mixtas (madera y metal) o losas de hormigón armado.

Tienen luces comprendidas entre 4 y 10 m, compuestas por un solo vano, con estribos en hormigón armado, piedra del lugar y situados fuera del cauce. La principal ventaja que presentan las pasarelas frente a los caños es que no se aterran u obturan y tienen mejor comportamiento hidráulico. En el capítulo específico dedicado a pasarelas, se hace especial referencia a este tipo de obras.

Para pequeños cauces, lo más conveniente es la colocación de un paso sobre marcos de hormigón prefabricado; de esta forma, se altera menos la morfología del cauce y se mejora el comportamiento hidráulico respecto a un tubo o batería de tubos.

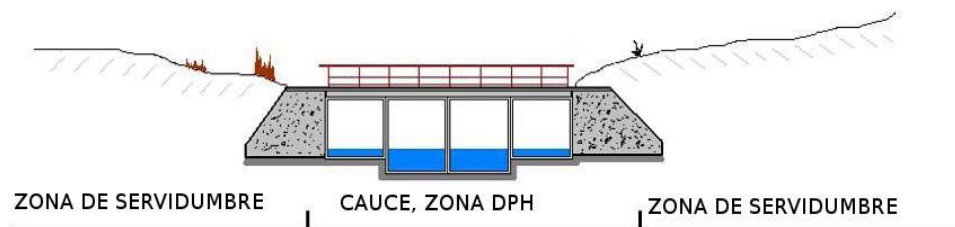


Figura 6.4.2. Croquis de obra de paso compuesta por marcos de hormigón prefabricado. Fuente: Confederación Hidrográfica del Guadiana. 2010.

6.4.2.1.1. Badenes

El badén es un tipo de obra de drenaje que se adecúa a las características geométricas del cauce y tiene por objeto facilitar el tránsito estable tanto de personas como de vehículos. El badén debe tener una longitud aproximadamente igual al ancho del cauce, de manera que la geometría natural del cauce no se vea alterada.

Además, a veces se disponen badenes o tramos de camino a menor cota, especialmente preparados para que las aguas, a partir de un cierto caudal, los desborden, ayudando así a las pequeñas obras de drenaje transversal colocadas aguas arriba del badén.

Entre los factores que se deben tener en cuenta para el diseño y localización de un badén se incluyen los siguientes:

- Niveles mínimos y máximos de agua para el diseño
- Condiciones de la cimentación
- Geometría de la sección transversal del cauce
- Potencial de socavación
- Protección aguas abajo de la estructura contra la socavación
- Estabilidad del cauce y de las márgenes
- Materiales de construcción disponibles

Los badenes pueden ofrecer una alternativa satisfactoria al uso de tubos y puentes para el cruce de arroyos en caminos de bajo volumen de tránsito, siempre que el uso de la vía y las condiciones de flujo del arroyo sean las adecuadas. Éstos se deben construir en lugares

estrechos a lo largo del cauce y ubicarse en zonas con buenas condiciones de cimentación y no deben usarse para el paso de cauces de gran profundidad que implican rellenos altos.

Es importante proteger el cauce aguas abajo del badén debido a que se puede producir erosión remontante que termina por afectar al camino.

De forma general, el badén tendrá un espesor de 20 cm e irá armado con mallazo en cuantía a determinar según las cargas de uso, siendo lo habitual 20x20 Ø6 y, para mayores cargas, 15x15 Ø8.

68

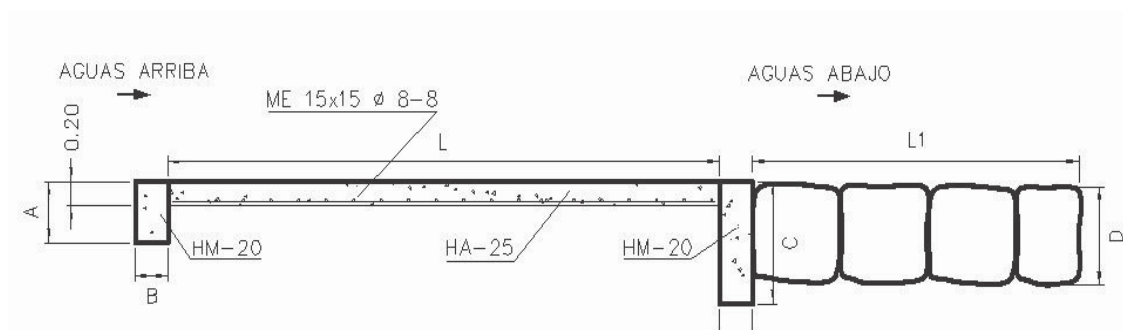


Figura 6.4.3. Detalle de badén armado. Fuente: Elaboración propia.

Las dimensiones se recogen en la siguiente tabla:

A	B	C	L1	D
0,5	0,30	1	0,6L	0,6-1

Tabla 6.4.1. Dimensiones en metros del badén tipo. Fuente: Elaboración propia.

Los badenes se pueden acompañar por una serie de pisas laterales, con el fin de permitir el paso de peatones cuando el badén se encuentra inundado y proteger al propio badén de los arrastres del cauce.

Estas pisas estarán compuestas de bloques de hormigón de 40 x 40 cm (fusiformes en sentido contrario a la circulación del agua) y separados entre ellos otros 40 cm. La altura de los mismos vendrá dada por la altura de la lámina de agua para un periodo de retorno de 5 años, con un resguardo de 1/5 de su altura.

Estas pisas se levantarán sobre la capa de hormigón del badén. En el caso de que no se construya un badén, se montarán sobre una zanja corrida de hormigón armado de dimensiones según el cálculo de caudales y el tipo de arrastres esperados. Se dispondrá de una protección de piedra, aguas arriba del mismo, para evitar su socavación. Esta última medida se llevará a cabo en cauces de sección muy pequeña o que, por cualquier circunstancia, no permitan la construcción de un badén.

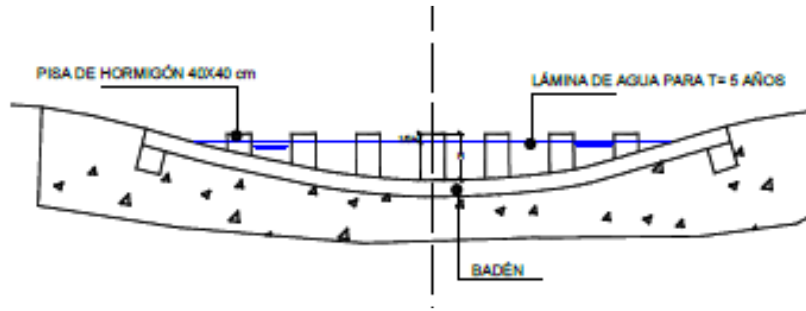


Figura 6.4.4. Sección transversal de badén con pisas laterales para el cruce peatonal. Fuente: Elaboración propia.

También se puede optar por la construcción de badenes cuando es necesario evacuar el agua de las cunetas y no es posible la construcción de una obra de drenaje enterrada en esa ubicación; en tal caso, en la cuneta se va creando una transición que permite pasar de la una forma triangular a una prácticamente plana.

6.4.2.2.2. Caños y marcos

Los caños y marcos se usan generalmente tanto como drenaje transversal, para permitir el paso del agua bajo el camino en cauces naturales y arroyos, como drenes longitudinales, para desalojar el agua de cunetas.

Estos drenes podrán ser marcos prefabricados o caños de sección circular y de diferentes materiales. Estos últimos se utilizan principalmente para desaguar el drenaje longitudinal en cunetas (aspecto que se aborda en el epígrafe 6.4.2.3.) y barranqueras de poca sección, mientras que los marcos se emplean para el vadeo de cauces de cierta entidad (como mejor opción, en lugar de baterías de tubos).

El tubo de drenaje transversal se debe colocar en el fondo del terraplén; la entrada se protegerá con una embocadura y/o arqueta de captación, de hormigón o mampostería, y la zona de descarga se debe proteger contra la socavación.

Los cruces de caminos sobre drenajes naturales serán, en la medida de lo posible, perpendiculares a la dirección del drenaje, a fin de disminuir la longitud del tubo o marco y el área afectada.

Con objeto de minimizar el riesgo de obstrucción en los cauces, se colocarán tubos individuales de gran diámetro o marcos en lugar de varios tubos de menor diámetro. Cuando éstos sean muy anchos, los marcos múltiples son más recomendables para mantener la distribución del flujo natural a través del cauce. Igualmente, para sitios con altura limitada, se utilizarán marcos que maximicen la capacidad, al mismo tiempo que minimicen la altura.

Los drenajes transversales enterrados serán lo suficientemente largos para que ambos extremos sobrepasen el pie del terraplén del camino.

Los caños o marcos se dispondrán sobre el fondo y en la parte media del cauce natural, de tal manera que la instalación no afecte a la alineación del canal del cauce ni a la elevación del

fondo del cauce. Los drenajes no deben causar represamiento ni estancamiento de agua, ni tampoco deben aumentar significativamente la velocidad de la corriente.

En las obras de paso susceptibles de taponarse, se colocará una rejilla aguas arriba del tubo, o a la entrada del mismo, para evitar que los arrastres obturen la obra. Las rejillas se pueden construir con troncos, tubos, redondos corrugados, traviesas de ferrocarril, perfiles de acero, etc. Sin embargo, hay que tener en cuenta que las rejillas, en general, implican mantenimiento y limpieza adicional, por lo que no se recomienda su utilización si son posibles otras alternativas, como la instalación de un tubo o marco de mayor diámetro.

6.4.2.2. Drenaje de la Plataforma

Las áreas generadoras de escorrentía que vierten sobre el propio camino y no a un curso de agua se denominan áreas de drenaje directo. Estas áreas son las que, de forma general, terminan por malograr un camino, ya que pueden llegar a utilizarlo como cauce y, por tanto, afectar a amplios tramos del mismo.

Los factores que condicionan la aparición de regueros y deterioran el firme de los caminos son: la intensidad de la precipitación, la pendiente del camino y la erosionabilidad del mismo.

El drenaje de la plataforma se determinará en función de la sección transversal: el bombeo a dos aguas o la simple inclinación a uno de los lados (en ambos casos, pendiente transversal del 1% al 3%, generalmente el 2%) para permitir el escurrimiento del agua.

En los caminos con perfiles transversales de desmonte o a media ladera, para evacuar el agua de los drenajes longitudinales, se intercalan frecuentemente drenajes trasversales. Los drenajes superficiales interceptan la corriente de agua longitudinal o descendente, disminuyendo al mínimo la erosión superficial en la plataforma del camino.

El objeto del drenaje transversal superficial será permitir que las aguas de escorrentía desagüen hacia la ladera de aguas abajo. Las principales ventajas de la colocación de este tipo de drenajes son las que se enumeran a continuación:

- Se reduce la instalación de caños, cuya colocación es más costosa.
- Evita el arrastre de sedimentos a los cauces de los arroyos.
- Disminuye la interrupción de la escorrentía natural del agua.
- En los perfiles a media ladera, admiten un diseño de camino sin cunetas, disminuyendo el volumen de desmonte.
- La supresión de las cunetas permite una menor anchura de ocupación del camino, reduciendo el movimiento de tierras y la altura de los taludes.
- Al desaguar poco caudal en diversos puntos, disminuye la socavación de los materiales aguas abajo del desagüe.
- Son muy eficaces en los caminos de altas pendientes y en los que se ciñen al terreno natural.

Se pueden distinguir tres tipos de drenajes superficiales: los vados ondulantes, los caballones desviadores y las tajeas o alcantarillas abiertas. Los vados y los caballones son más duraderos que las tajeas y necesitan de un menor mantenimiento, sin embargo, tienen la limitación de la pendiente, no siendo aconsejables para pendientes mayores del 12%.

6.4.2.2.1. Vados ondulantes

Los vados ondulantes deben tener las dimensiones adecuadas para el tránsito de vehículos de mantenimiento (normalmente, de 15 a 60 metros de longitud), aunque el uso prioritario sea peatonal o ciclista.

Las pendientes longitudinales variarán entre el 2% y el 12% y el punto de descarga se protegerá con escollera de piedra como si fuera una obra de paso.

Los vados formarán un ángulo de entre 0 y 25 grados con la perpendicular al camino, con una pendiente transversal hacia fuera del 3% al 5% (según se indica en la figura). En el caso de que exista una cuneta desagüe sobre el vado, se revestirá toda su superficie con, al menos, 15 cm de hormigón armado o mampostería para evitar la aparición de regueros; en caso contrario, se revestirá, al menos, una anchura de 2 m a cada lado de la línea de desagüe. A la salida de las aguas, se colocará una protección de escollera.

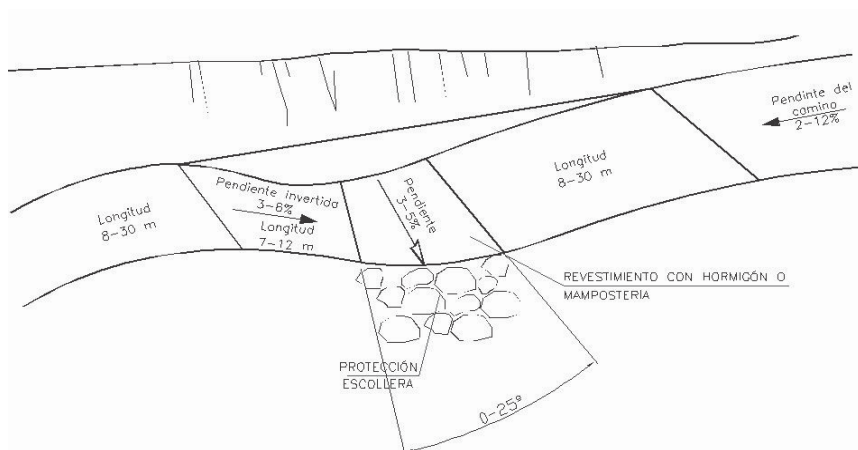


Figura 6.4.5. Croquis de vado ondulado sin cuneta longitudinal. Fuente: Elaboración propia.

La separación entre vados ondulantes se calcula en función de la pendiente longitudinal del camino y el tipo de sustrato, según se indica a continuación.

PENDIENTE DEL CAMINO (%)	SUELOS DE BAJA A NULA EROSIONABILIDAD ⁽¹⁾	SUELOS EROSIONABLES ⁽²⁾
0-3	120	75
4-6	90	50
7-9	75	40
10-12	60	35

(1) Suelos rocosos, grava y ciertas arcillas. (2) Suelos finos desmenuzables, limos, arenas finas.

Tabla 6.4.2. Separación en metros entre vados ondulantes en función de la pendiente y del tipo de suelo. Fuente: US Agency for International Development (USAID). 1998.

6.4.2.2.2. Caballones desviadores

Los caballones desviadores o zanjas transversales de drenaje superficial se dispondrán formando un ángulo de entre 0 y 25 grados con la perpendicular del camino, además, se les dotará de una pendiente transversal, como en el caso anterior, de entre 3% y el 5%, y una profundidad de 0,3 a 0,6 metros.

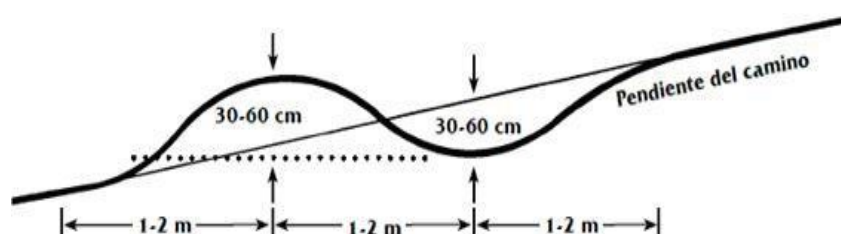


Figura 6.4.6. Sección transversal de caballón desviador. Fuente: USDA, Forest Service. 1997.

Los caballones desviadores se colocarán más cercanos entre sí que los vados. Como en el caso anterior, la separación entre zanjas transversales se calcula en función de la pendiente longitudinal del camino y el tipo de sustrato.

PENDIENTE DEL CAMINO (%)	SUELOS DE BAJA A NULA EROSIONABILIDAD ⁽¹⁾	SUELOS EROSIONABLES ⁽²⁾
0-5	75	40
6-10	60	30
11-15	45	20
16-20	35	15

(1) Suelos rocosos, grava y ciertas arcillas. (2) Suelos finos desmenuzables, limos, arenas finas.

Tabla 6.4.3. Separación en metros entre caballones desviadores en función de la pendiente y del tipo de suelo. Fuente: US Agency for International Development (USAID). 1998.

Los vados ondulantes y los caballones desviadores son idóneos para drenar el agua desde una cuneta interior con talud vertical (cuneta americana), que consiste en dotar a la banda (0,75 m de anchura) interior del camino de una pendiente transversal mayor que la del propio camino, con el fin de encauzar el agua de escorrentía generado por la plataforma por dicha banda. Esta banda se combina con un talud interior lo más vertical posible; de esta forma, se minimiza la ocupación del camino, aumentando la anchura útil del mismo, siendo únicamente recomendable cuando los taludes sean rocosos y la plataforma del camino esté formada por materiales poco erosionables.

6.4.2.2.3. Tajeas

Las tajeas o alcantarillas abiertas son sistemas de evacuación del agua de la plataforma del camino formados por canales abiertos de diferentes materiales (madera, acero, mampostería, adoquín,...).

Para favorecer su autolimpieza, las tajeas se dispondrán en un ángulo entre 30° y 45° respecto al eje transversal del camino y con un gradiente del 2% al 4% a favor de pendiente, favoreciendo así el autolavado del canal.

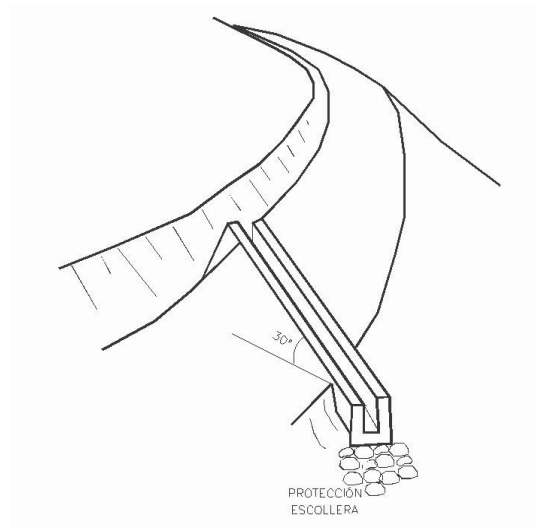


Figura 6.4.7. Esquema de colocación de tajea abierta de madera. Fuente: Elaboración propia.

Las dimensiones recomendadas para una tajea de madera o acero de sección rectangular son 7-10 cm de anchura y 10-20 cm de profundidad.

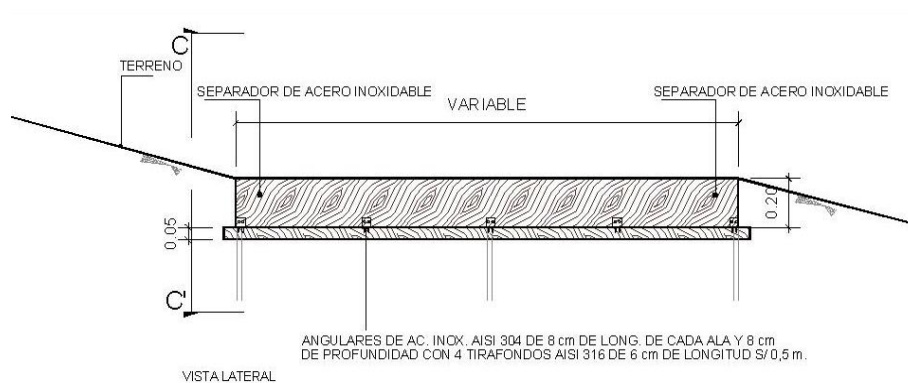


Figura 6.4.8. Sección tipo de tajea o alcantarilla abierta de madera. Fuente: Elaboración propia.

En el caso de las tajeas de mampostería, las dimensiones mínimas serán de 40 cm de anchura y 7-10 cm de profundidad.

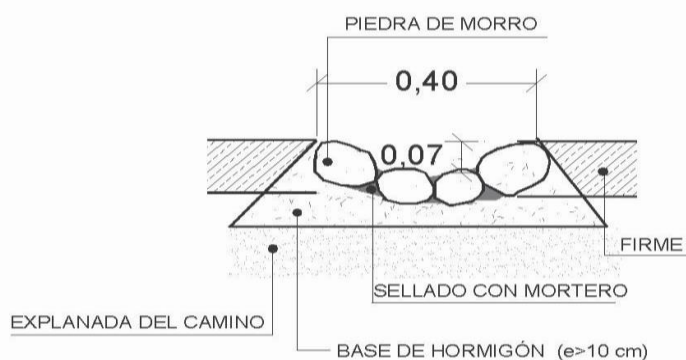


Figura 6.4.9. Sección y dimensiones de tajea de piedra. Se puede sustituir la piedra por adoquines de hormigón prefabricado.
Fuente: Elaboración propia.

En ambos casos, las dimensiones se calcularán en función de la capacidad de desagüe necesaria en cada punto, del uso preferente del camino y del tránsito de vehículos de mantenimiento.

La separación entre las mismas dependerá del coeficiente de escorrentía, de la intensidad de la precipitación y del área drenada. De forma general, no se recomiendan distancias mayores de 50 metros (Elorrieta et. al, 2006), ya que se pueden producir socavaciones en la base de la tajea por la energía cinética acumulada en la corriente de agua; tampoco son recomendables distancias menores de 30 metros, por encarecer su posterior mantenimiento.

La gran desventaja de las alcantarillas abiertas es el mantenimiento, ya que deben encontrarse limpias para su correcto funcionamiento.

6.4.2.3. Drenaje longitudinal

El drenaje longitudinal evita la acumulación de agua en los márgenes de los caminos o sendas, favoreciendo su circulación a lo largo del mismo mediante cunetas o permitiendo su paso bajo la plataforma y facilitando que escurra ladera abajo. Según los casos y la sección tipo, se utilizarán distintos tipos de drenajes longitudinales: cunetas en tierras, cunetas revestidas o cunetas dren.

6.4.2.3.1. Cunetas en tierra

En las secciones transversales en desmonte, en terraplén y, en algunos casos, a media ladera, lo más adecuado será la colocación de cunetas a uno o ambos lados del camino, intentando minimizar sus dimensiones con el fin de mover el menor volumen de tierra durante su construcción.

Las cunetas recogerán el agua procedente de la propia plataforma y de los taludes, canalizándola hasta los puntos de desagüe, bajo el camino (cauces naturales, arquetas y caños) o sobre el mismo (vados, caballones y tajeas abiertas).

Las cunetas de secciones triangulares son más fáciles de construir y tienen menor tendencia a la sedimentación; sin embargo, su conservación es más costosa debido a la dificultad de limpieza

de la zona baja y, si no están revestidas, sus taludes se erosionan con facilidad para caudales altos.

En las obras pertenecientes al Programa de Caminos Naturales, la sección de las cunetas será triangular, siempre con una pendiente longitudinal mínima del 1% para que el agua circule por la misma, lo que deberá preverse en el perfil longitudinal del camino. Las pendientes mayores del 10% pueden causar erosiones en la misma, debiéndose calcular en cada caso la velocidad del agua.

La dimensión tipo aparece en la Figura 6.4.10, siendo la profundidad mínima (margen de tolerancia mínimo para la sedimentación) de 30 cm. La inclinación de los taludes será 1:1 en el lado exterior y 1:2 en el interior. La capacidad hidráulica del drenaje longitudinal se deberá justificar mediante los cálculos que se indican más adelante.

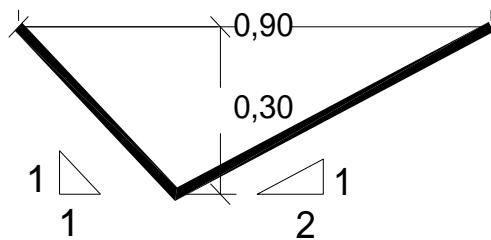


Figura 6.4.10. Croquis con las dimensiones mínimas de la cuneta triangular. Cotas en metros. Fuente: Elaboración propia.

6.4.2.3.2. Cunetas revestidas

El revestimiento de las cunetas suele ser de piedra en seco, de mampostería (piedra embebida en hormigón o mortero) o de hormigón.

Para analizar la necesidad de revestir las cunetas, se tendrán en cuenta los siguientes criterios generales:

- Revestir las cunetas para pendientes mayores del 12% en zonas con clima de lluvias suaves (España húmeda), superiores al 10% en zonas de clima más irregular (España seca), o cuando las pendientes sean menores del 1% para evitar sedimentaciones.
- Adoptar precauciones especiales contra la erosión y las socavaciones cuando las pendientes sean superiores al 10%.

En el caso de revestimientos con mampostería:

- La piedra utilizada será canto rodado o piedra de morro.
- El espesor de la cama de mortero, de dosificación 1:3, será al menos de 10 cm.
- La separación entre piedras será de 3 a 5 cm.

En el caso de revestimientos con hormigón:

- La resistencia mínima a compresión del hormigón será $F_{ck} = 13,7 \text{ MPa}$ (140 Kg/cm^2).
- El espesor mínimo del revestimiento será de 10 cm.

- Se dispondrán juntas ranuradas cada 6 m para el control de las grietas durante el fraguado del hormigón y juntas de expansión cada 30 m, debidamente impermeabilizadas.

6.4.2.3.3. Cunetas dren

Este tipo de drenaje longitudinal se utilizará en tramos en los que no se aconseje, por cualquier circunstancia, la cuenta abierta, o en los casos, como en antiguos túneles ferroviarios, en los que ya existe una cuneta o canaleta longitudinal que recoge las aguas de la plataforma. Permite reutilizar un sistema de drenaje ya existente y dar uso a toda la anchura del camino, recubriendo la cuneta.

El diámetro del tubo dren se determinará en función de las dimensiones de la cuneta existente y del caudal a desaguar, con un diámetro no inferior a 20 cm, y se colocará sobre una cama de arena de río de espesor 0,1 veces el diámetro del tubo.

El relleno envolvente del tubo será de material filtrante con un recubrimiento mínimo de 0,1 veces el diámetro del tubo; todo el relleno de material filtrante irá envuelto por un geotextil anticontaminante. Por último, se añadirá una capa final de árido compactada al 95% del PN.

Para el caso particular de túneles, se pueden emplear otros sistemas longitudinales tales como canales prefabricados, abiertos o con tapa, y canales caz prefabricados.

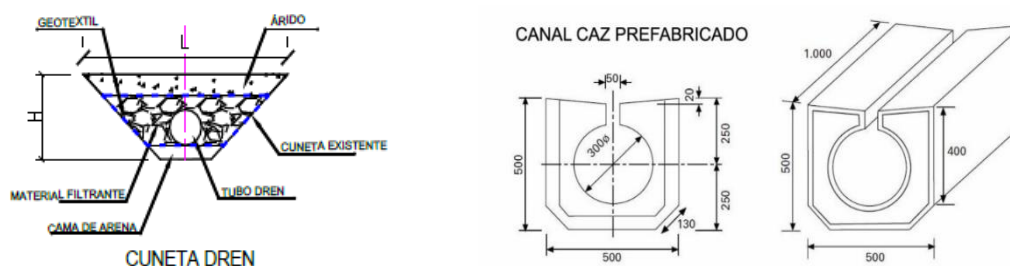


Figura 6.4.11. Tipos de drenaje longitudinal. Fuente: Elaboración propia.

6.4.2.3.4. Obras de desagüe

Para el desagüe de cunetas, cuando éstas no acaban en cauces naturales, se utilizan habitualmente obras de paso bajo el camino. Estos drenes, tal y como se ha comentado con anterioridad, están formados por tubos de sección circular y diferentes materiales (hormigón en masa, hormigón armado, materiales plásticos,...).

El tubo de drenaje transversal se debe colocar en el fondo del relleno, debiéndose proteger la entrada con una embocadura y/o arqueta de captación; por otro lado, también será necesaria la protección de la zona de descarga contra la socavación.

Se recomienda utilizar tubos de diámetro mínimo comprendido entre 30 cm y 45 cm, en función de la sección. En zonas con taludes de corte inestables y con problemas de

desmoronamientos, es recomendable la instalación de tubos de 60 cm de diámetro (o mayores) que eviten el aterramiento de los mismos.

La pendiente del tubo de drenaje transversal para desaguar cunetas debe ser mayor que el gradiente de la cuneta (más inclinada que ésta) o, al menos, del 2%, y enviada entre 0 y 30 grados perpendicular al camino; esta inclinación adicional ayuda a evitar que el tubo se obstruya con los arrastres.

Los tubos deberán desaguar al pie del terraplén a nivel del terreno natural, al menos, a una distancia de 0,5 metros hacia fuera del pie del talud del terraplén. La boca de salida del tubo se protegerá con mampostería o escollera y no se verterá sobre terraplenes desprotegidos, en taludes inestables o directamente en los arroyos.

En terraplenes de gran altura, se podrán necesitar sistemas de bajada para transportar el agua hasta el pie del talud. En estos casos, la bajante podrá ser tubos, canaletas de hormigón o cunetas de mampostería u hormigón.

6.4.2.4. Embocaduras y arquetas de recogida

La colocación de caños se completará con la instalación de arquetas de recogida, en el caso de desagüe de drenaje longitudinal, o embocaduras, para cruce de pequeños cursos de agua. Lo habitual es que se evite la fabricación de hormigón en obra por motivos económicos y ambientales y que ambas sean de hormigón prefabricado, reduciendo su impacto visual mediante el enmascaramiento con materiales de la zona (piedra, mampostería,...).

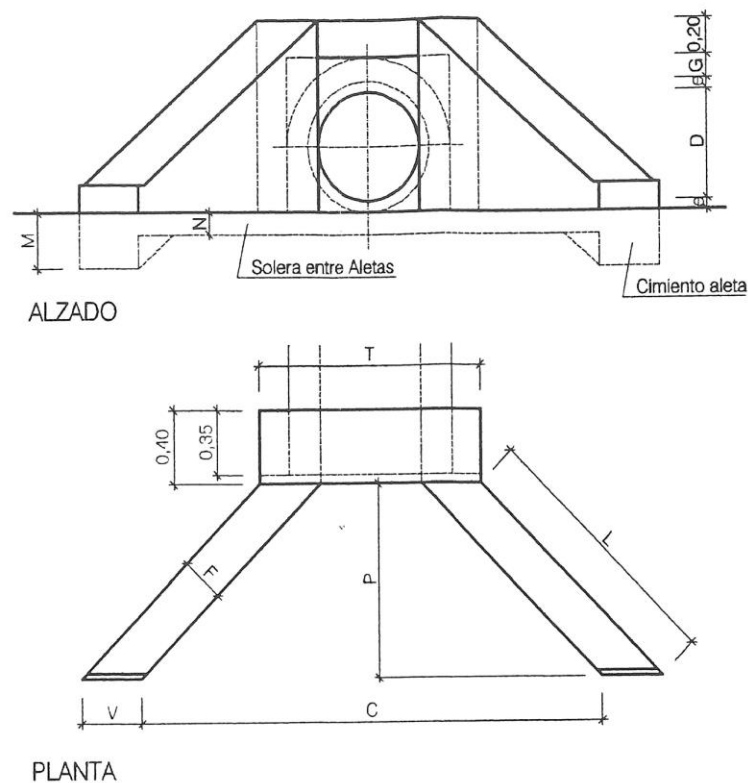


Figura 6.4.12. Embocadura tipo. Fuente: Elaboración propia.

C	$2P + DN$
D	DN
F	$DN/2 - 0,05$. ESPESOR MÍNIMO 0,20 M
G	$0,2DN$. ESPESOR MÍNIMO 0,10 M
L	$2,5DN$
M	$F + 0,05$
N	$0,2DN$. ESPESOR MÍNIMO 0,10 M
P	$1,75DN$
T	$1,2(DN + 4G)$
V	$1,4F$
e	DN- DI

Tabla 6.4.4. Dimensiones de la embocadura en función del diámetro nominal. Cotas en metros. Fuente: Elaboración propia.

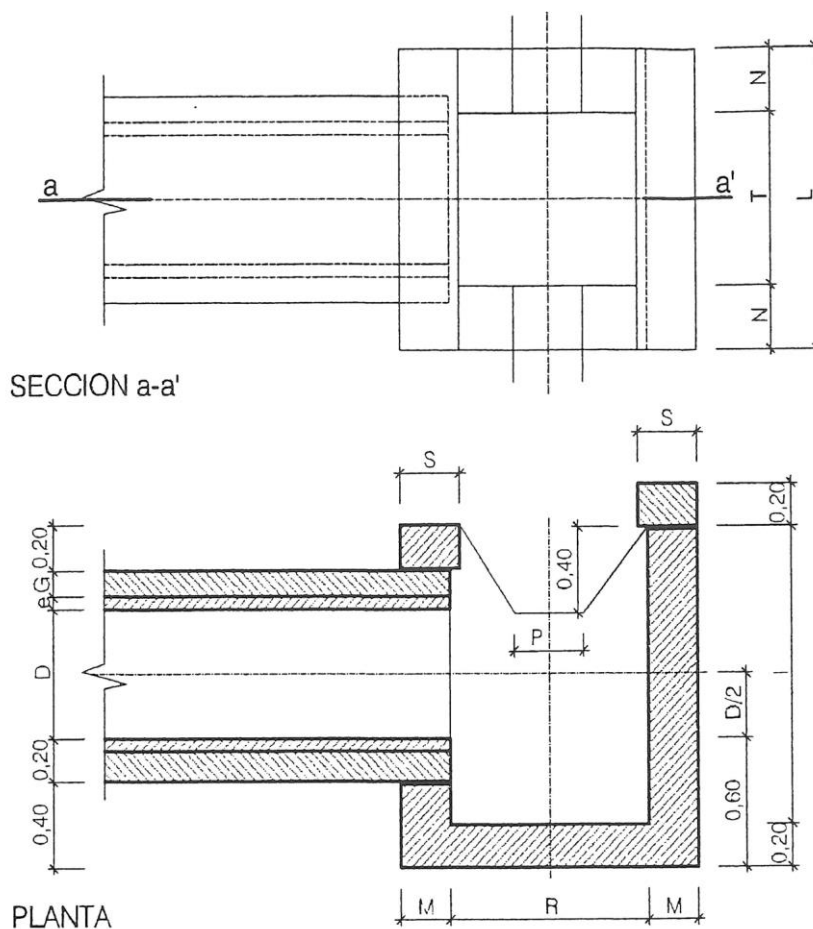


Figura 6.4.13. Arqueta tipo. Fuente: Elaboración propia.

D	Dn
G	0,2 x Dn. Espesor mínimo 0,10 m
L	T+2N
M	Dn/2 -0,05. Espesor mínimo 0,20 m
N	M+0,05
P	Dn/2
R	Dn + 0,4
T	0,2 + Dn
S	M+0,05
e	Dn- Di

Tabla 6.4.5. Dimensiones de la arqueta en función del diámetro nominal. Cotas en metros. Fuente: Elaboración propia.

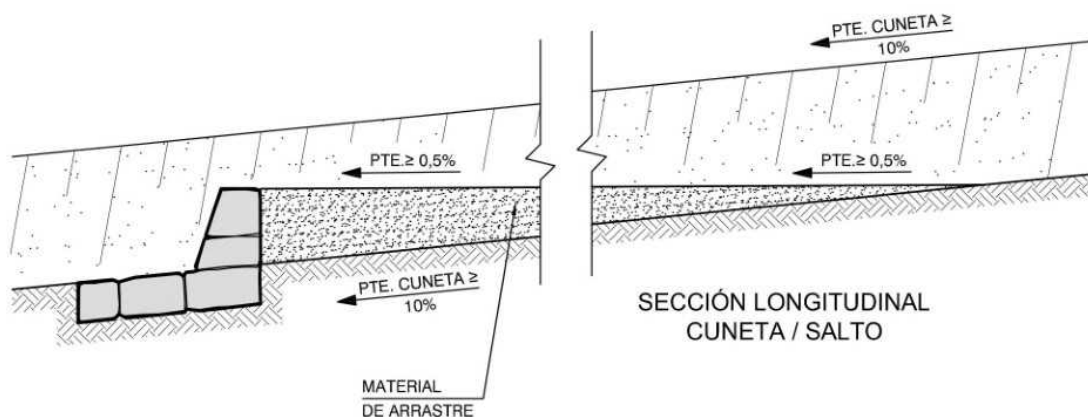
6.4.3. CONTROL DE LA EROSIÓN

6.4.3.1. Disminución de la velocidad en cunetas

Con el fin de evitar, en la medida de lo posible, el revestimiento de cunetas, se diseñarán sistemas que disminuyan la pendiente longitudinal, lo que reducirá la velocidad del agua y, por tanto, su capacidad de erosionar.

Para ello, se dispondrán en la cuneta diques de piedra en seco o tomada con mortero, hormigón, material vegetal con postes de madera, etc.

En el diseño de la obra, se preverá un vertedero para evacuar los caudales medios y mantener el flujo en la cuneta.



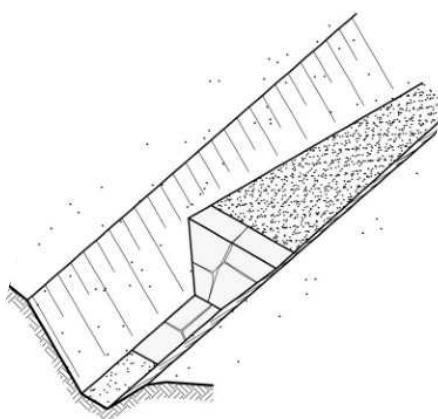


Figura 6.4.14. Sección longitudinal y vista en perspectiva de salto en mampostería en cuneta. Fuente: Elaboración propia.

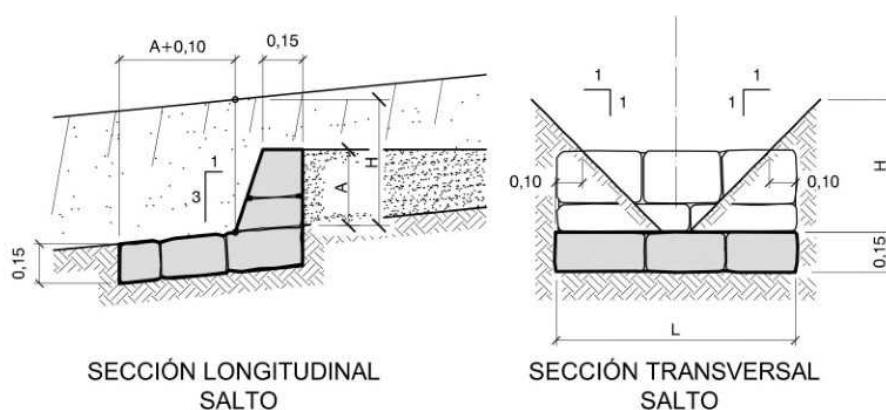


Figura 6.4.15. Alzado y perfil de salto en mampostería en cuneta. Fuente: Elaboración propia.

Las dimensiones se recogen en la siguiente tabla:

ALTURA CUNETA, H	ALTURA SALTO, A	ANCHURA SALTO, L
0,3	0,2	0,75
0,5	0,3	0,90
0,75	0,5	1,30

Tabla 6.4.6. Dimensiones del salto en función de la altura H de la cuneta. Cotas en metros. Fuente: Elaboración propia.

6.4.3.2. Protección en obras de drenaje

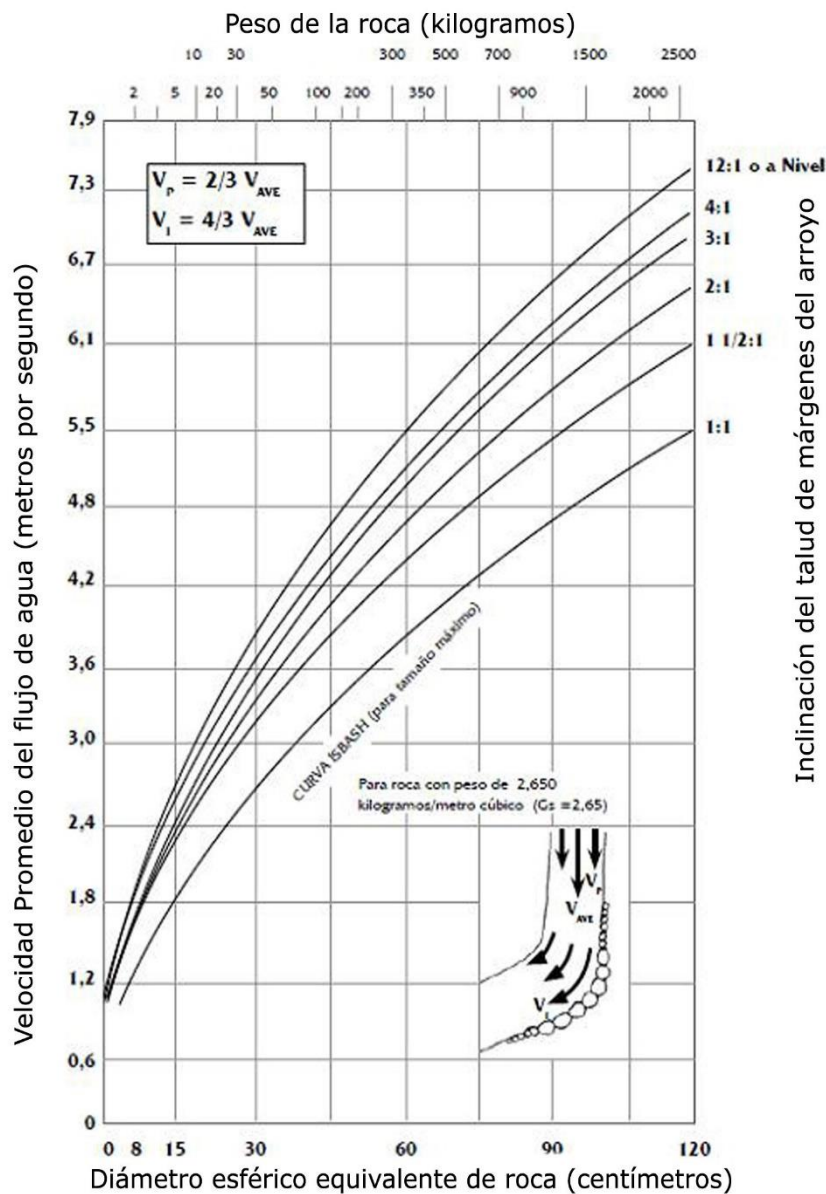
Las altas velocidades del flujo en las cunetas con frecuencia producen erosión, socavación o formación de barranqueras. La socavación puede erosionar la base de las obras de desagüe y producir el fallo de estas estructuras.

A la salida de las obras de drenaje, se dispondrán protecciones con la doble finalidad de disipar energía y evitar la erosión. Lo más habitual será la colocación de un enchachado de piedra.

En la Figura 6.4.16, se presenta una correlación útil entre la velocidad del agua (velocidad del flujo) y el tamaño de la piedra de protección (diámetro) necesario para evitar el arrastre. Se presentan granulometrías comunes, tamaños y pesos de diferentes tipos de piedra de protección.

La escollera o manto de piedra se colocará en una capa con un espesor de, al menos, 1,5 veces el diámetro de la roca de mayor tamaño especificado, situándose en la zona de mayor espesor en la base de la escollera y, todo ello, sobre una capa de filtro de geotextil o de grava.

La longitud L a proteger será, de forma general, $L > 6D$, siendo D, el diámetro de la obra o la anchura del marco.



NOTA: V_p = Velocidad del flujo paralelo. V_{ave} = Velocidad promedio. V_i = Velocidad en una sección curva. La escollera de protección en un área con flujo relativamente rápido, meandro de un canal, soportará mayores esfuerzos y necesitará fragmentos más grandes de piedra que los del tamaño necesario en un tramo recto del canal.

Figura 6.4.16. Ábaco que relaciona peso y tamaño de la piedra con la velocidad del agua. Fuente: Adaptado del FHWA Hydraulic Engineering, 1996.

6.4.4. DATOS Y ESTUDIOS PREVIOS

Las dimensiones de las estructuras de drenaje deberán estar basadas en un caudal de diseño adecuado para las características de la zona de estudio, siendo de vital importancia para que la estructura pueda funcionar correctamente.

El caudal máximo anual Q_T , correspondiente a un determinado período de retorno, se debe determinar en todos los casos a partir de la información sobre caudales máximos que proporcione la Administración Hidráulica competente, a través de la aplicación Mapa de Caudales Máximos (CauMax) desarrollada por el CEDEX, y puesta a disposición del público en general, siendo de obligada utilización.

Si la Administración Hidráulica no dispone de datos sobre caudales máximos, la elección del método de cálculo más adecuado a cada caso concreto debe seguir el siguiente procedimiento:

1. En cuencas de área inferior a cincuenta kilómetros cuadrados ($A < 50 \text{ km}^2$):
 - Se debe aplicar el Método Racional, que supone la generación de esorrentía en una determinada cuenca a partir de una intensidad de precipitación uniforme en el tiempo, sobre toda su superficie.
2. En cuencas de área superior o igual a cincuenta kilómetros cuadrados ($A \geq 50 \text{ km}^2$):
 - Cuando existan estaciones de aforo próximas, que se consideren suficientemente representativas, se utilizará el método estadístico.
 - Cuando los caudales no puedan estimarse a partir de estaciones de aforo, se deben aplicar métodos hidrológicos adecuados a las características de la cuenca, que se deben contrastar con la información de que se disponga sobre caudales de avenida. En la realización de estos estudios se tendrá en cuenta la información disponible sobre avenidas históricas o grandes eventos de precipitación.

Los métodos de determinación del caudal implican la definición o estimación del área de drenaje, que se realiza mediante la delimitación del área de la cuenca de captación sobre un mapa topográfico a una escala adecuada en función de la longitud del cauce y del grado de detalle. Mediante la cartografía de los distintos servicios cartográficos estatales o autonómicos, pueden desarrollarse los cálculos hidrológicos en gabinete.

En aquellos lugares donde no haya datos a disposición, se utilizara para el cálculo del Caudal máximo, el Método Racional. El modelo de transformación a aplicar será el Cálculo Hidrometeorológico de Caudales Máximos según la Versión del Método Racional de la Dirección General de Carreteras de España, que permite determinar los caudales de avenida en pequeñas cuencas. Es el denominado Método Racional Modificado del Profesor Témez, del CEDEX, recomendado por el MOPU. La metodología se basa en el Método Racional aplicable a cuencas menores de 20 km^2 , pero con una serie de modificaciones que amplían su rango de validez hasta los 3.000 km^2 y con tiempos de concentración (T_c) comprendidos entre 0,25 y 24 horas.

FÓRMULA GENERAL DE CÁLCULO

Siguiendo el Método Racional, el caudal máximo anual Q_T , correspondiente a un período de retorno T , se calcula mediante la fórmula:

$$Q_T = \frac{I(T, t_c) \cdot C \cdot A \cdot K_t}{3,6}$$

donde:

- Q_T (m^3/s) Caudal máximo anual correspondiente al período de retorno T , en el punto de desagüe de la cuenca, según la figura anexa.

El cálculo de los datos restantes se describirá en los siguientes apartados.

- A (km^2) Área de la cuenca o superficie considerada.
- $I(T, t_c)$ (mm/h) Intensidad de precipitación correspondiente al período de retorno considerado T , para una duración del aguacero igual al tiempo de concentración t_c de la cuenca.
- C (adimensional) Coeficiente medio de escorrentía de la cuenca o superficie considerada.
- K_t (adimensional) Coeficiente de uniformidad en la distribución temporal de la precipitación.

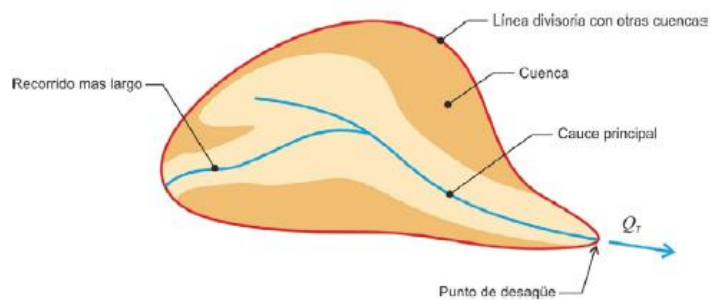


Figura 6.4.17. Esquema de cuenca. Fuente: Instrucción de Carreteras 5.2-IC. 2016.

La fórmula anterior es válida para cuencas homogéneas. Dado el tamaño de la infraestructura y las posibles cuencas que la afecten, se considera este valor general para toda la cuenca.

En cualquier caso, e independientemente de la zona geográfica en la que se encuentren las obras, siempre que existan datos sobre caudales o referencias sobre inundaciones históricas, se deben contrastar con los resultados obtenidos.

A continuación, se desarrolla el cálculo de cada una de las variables del modelo:

6.4.4.1. Definición de las cuencas de aporte o unidades hidrológicas

El estudio de las cuencas de aporte que componen la zona de actuación comenzará con la delimitación de las cuencas asociadas a los cursos de agua (continua o temporal) que tienen una superficie vertiente significativa para desarrollar una metodología de cálculo de caudales; como mínimo, se analizarán las cuencas en las que la longitud entre el punto de desagüe y el punto más alejado del mismo sea superior a 1,5 km.

En primer lugar, se obtendrán las características físicas de las cuencas y las relacionadas con la respuesta hidrológica a la precipitación en la cuenca vertiente, con el fin de obtener los parámetros esenciales de los modelos de transformación de escorrentía.

Las características físicas de las unidades hidrológicas (superficie, longitud, cotas extremas y pendiente del curso principal) se calcularán a partir de la cartografía de la zona.

En el proyecto constructivo, se incluirá un mapa sobre la topografía, a escala adecuada, en el que se reflejen las distintas cuencas de aporte y que incluya el trazado de la senda o camino.

A los efectos de esta norma, se considera como área de la cuenca A, la superficie medida en proyección horizontal (planta) que drena al punto de desagüe.

El método de cálculo que se utiliza supone unos valores únicos de la intensidad de precipitación y del coeficiente de escorrentía para toda la cuenca, correspondientes a sus valores medios. Esta hipótesis sólo es aceptable en cuencas que sean suficientemente homogéneas, tanto respecto de la variación espacial de la precipitación como del coeficiente de escorrentía.

6.4.4.2. Análisis pluviométrico

6.4.4.2.1. Precipitación máxima en 24 horas

Para la estimación del máximo caudal de avenida, al no disponer normalmente de datos de aforos que se puedan trasponer a la cuenca, se utilizarán exclusivamente métodos hidrológicos; para ello, se necesitarán, como dato de partida básico, las precipitaciones máximas registradas en 24 horas.

El análisis del régimen de precipitaciones se realizará en base a la publicación “Máximas lluvias diarias en la España Peninsular” (Ministerio de Fomento, 1999). En dicha publicación, el modelo de distribución seleccionado que permite obtener la precipitación esperada con una probabilidad dada de no ser superada es el SQRT-Et max.

Este método, de una manera simple y fiable, proporciona valores de las precipitaciones en 24 horas a partir de coordenadas geográficas o U.T.M., en función de los distintos periodos de retorno exigidos.

La metodología distingue las siguientes fases para la obtención de los resultados:

- Selección de estaciones pluviométricas y recopilación de los datos correspondientes a las máximas lluvias diarias en cada una de ellas.
- Modelación estadística de las series anuales de máximas lluvias diarias, realizando una estimación regional de parámetros y cuantiles.
- Análisis de la distribución del valor medio de las series anuales de máximas lluvias diarias, estimado directamente a partir de las muestras.

El cálculo de las precipitaciones máximas se realiza mediante aplicaciones informáticas, por ejemplo, la aplicación MAXPLU. La aplicación debe disponer de las siguientes opciones generales para el análisis de precipitaciones máximas diarias en España:

- Obtención del valor medio de la máxima precipitación diaria anual (P_m) y del coeficiente de variación C_v . Este coeficiente se calcula mediante una interpolación espacial en una malla por el método del inverso de la distancia al cuadrado. Los datos empleados para la interpolación son los correspondientes a las 1.545 estaciones “básicas” a las que se asigna el C_v regional correspondiente.
- Estimación de la precipitación diaria máxima correspondiente a diferentes periodos de retorno, partiendo de su media y su coeficiente de variación, asumiendo una distribución SQRT-ET máx.

A partir de dichos parámetros, se obtendrá la precipitación máxima en 24 horas para distintos periodos de retorno (T).

6.4.4.2.2. Periodo de retorno (T)

El periodo de retorno se define siempre en correspondencia con un valor numérico que mide la magnitud de un fenómeno (intensidad de lluvia, caudal de avenida,...), y es el tiempo promedio, en años, en que el valor del caudal máximo de una corriente es igualado o superado por lo menos una vez; el inverso del periodo de retorno se entiende como una medida de la probabilidad de que se presente el fenómeno en este lapso de tiempo.

La selección de un caudal de referencia para el que debe proyectarse un elemento de drenaje está relacionada con la frecuencia de su aparición, que se puede definir por su período de retorno: cuanto mayor sea éste, mayor será el caudal.

Se recomienda, por tanto, adoptar períodos de retorno no inferiores a los que se indican en la Orden FOM/298/2016, de 15 de febrero, por la que se aprueba la norma 5.2-IC Drenaje Superficial de la Instrucción de Carreteras, que, para obras de drenaje superficial de la plataforma y el tipo de caminos considerados, será de 10 años. No obstante, se podrán adoptar otros valores debidamente justificados, habida cuenta del coste del elemento de drenaje superficial.

El riesgo de obstrucción de las obras de drenaje transversal, producido fundamentalmente por vegetación arrastrada por la corriente, dependerá de las características de los cauces y de las

zonas inundables, clasificándose como alto si existe peligro de que la corriente arrastre árboles u otros objetos de tamaño parecido.

En consecuencia, para la comprobación de las condiciones de desagüe transversal, se establecerá en el proyecto el riesgo de obstrucción de las obras de drenaje, dimensionando las mismas para un período de retorno de, al menos, $T=25$ años, con el objetivo de minimizar los daños producidos en el propio elemento de drenaje y en la plataforma. Como norma general, en zonas rurales se debe establecer en un valor superior o igual a cien años ($T \geq 100$ años), que resulte compatible con los criterios sobre el particular de la Administración Hidráulica competente. Como en el caso anterior, se podrán adoptar otros valores, siempre que se justifique debidamente.

6.4.4.2.3. Estimación de la intensidad máxima anual para una duración y un periodo de retorno determinados

La estimación de caudales resulta fundamental en el diseño de infraestructuras, la planificación del territorio o la caracterización de sistemas fluviales; en este sentido, los modelos hidrometeorológicos constituyen actualmente una herramienta imprescindible. Estos modelos requieren, a su vez, conocer la precipitación máxima diaria anual para distintos períodos de retorno y las leyes Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF), variables cuyo estudio ha evolucionado de manera distinta:

- La metodología para estimar la precipitación máxima diaria anual para distintos períodos de retorno se ha actualizado y está contemplada en la publicación "Máximas lluvias diarias en la España Peninsular".
- En cuanto a las leyes IDF, Témez estableció en 1978 un protocolo para estimar la intensidad máxima para distintas duraciones y períodos de retorno y proporcionó un mapa de isóneas de K (siendo " K " el cociente I_d/I_{24}) para extender los resultados obtenidos en estaciones con pluviógrafo al resto del territorio. Esta metodología se recogió posteriormente en la Instrucción de Drenaje 5.2-IC, incorporando como novedad un mapa actualizado de isóneas (Témez, 1987).

Por lo tanto, las leyes IDF que se manejan actualmente han sido modificadas, utilizando las estaciones repartidas por toda España y ajustando a la función Gumbel, ya que, al menos, en territorio de influencia mediterránea, dicha función produce estimaciones por defecto.

Con objeto de solventar estas deficiencias, los profesores De Salas-Carrero-Fernández Yuste en su publicación "Estimación de la intensidad máxima anual para una duración y período de retorno determinados en la España peninsular mediante la aplicación informática Maxin" (2008) revisaron en profundidad estas leyes para incorporar los nuevos registros que se han producido y utilizar nuevas funciones de distribución. Además, se propone aplicar el análisis "regional" al estudio de esta variable, metodología que permite mejorar la robustez de las estimas.

En la citada publicación, se describen de manera secuencial y esquemática las fases que cubrieron este trabajo, que concluye con una aplicación práctica denominada MAXIN (Versión 2.0. de enero de 2008), desarrollada a partir de un sistema de información geográfica (GIS), que permite estimar las intensidades máximas anuales para cada duración y período de retorno en cualquier punto de España.

La duración del intervalo de intensidad máxima dependerá de las dimensiones de las cuencas vertientes a la senda o camino, utilizándose para su determinación un valor igual al tiempo de concentración asociado a la mencionada cuenca, con un límite inferior fijado en 10 minutos. El sentido de dicho límite se pone de relevancia en las cuencas pequeñas, que llevan asociado un tiempo de concentración pequeño y proporcionan valores de duración de intensidad que pueden ser tan bajos que se obtenga un valor exagerado de las intensidades.

Conocidos los datos determinados en el Análisis Pluviométrico, se aplicará un modelo de transformación de esorrentía que permita convertir esorrentía (mm/h) en caudal (m³/s), una vez delimitadas las distintas Unidades Hidrológicas atravesadas por el camino.

La intensidad de precipitación $I(T, t)$, correspondiente a un período de retorno T y a una duración del aguacero t , a emplear en la estimación de caudales por el Método Racional, se obtendrá por medio de la siguiente fórmula:

$$I(T, t) = I_d \cdot F_{int}$$

CÁLCULO DE LA INTENSIDAD MEDIA DIARIA (ID, MM/H)

Intensidad media diaria de precipitación corregida, correspondiente al período de retorno T .

$$I_d = \frac{P_d \cdot K_A}{24}$$

- P_d (mm). Precipitación diaria correspondiente al período de retorno T
- K_A (adimensional). Factor reductor de la precipitación por área de la cuenca

El factor reductor de la precipitación por área de la cuenca, K_A , tiene en cuenta la no simultaneidad de la lluvia en toda su superficie. Se obtiene a partir de la siguiente fórmula:

$$\begin{array}{ll} \text{Si } A < 1 \text{ km}^2 & K_A = 1 \\ \text{Si } A \geq 1 \text{ km}^2 & K_A = 1 - \frac{\log_{10} A}{15} \end{array}$$

donde:

- K_A (adimensional). Factor reductor de la precipitación por área de la cuenca
- A (km²). Área de la cuenca

Para la determinación de la precipitación diaria, correspondiente al período de retorno T , se debe adoptar el mayor valor de los obtenidos a partir de:

- Datos publicados por la Dirección General de Carreteras.
- Estudio estadístico de las series de precipitaciones diarias máximas anuales, medidas en los pluviómetros existentes en la cuenca o próximos a ella. Se debe ajustar a la serie de precipitaciones máximas registrada en cada pluviómetro, la función de distribución extremal más apropiada a los datos de la zona, considerando, al menos, las funciones Gumbel y SQRT ET-max.

CÁLCULO DE FACTOR DE INTENSIDAD FINT (ADIMENSIONAL)

El factor de intensidad introduce la torrencialidad de la lluvia en el área de estudio y depende de:

- La duración del aguacero, t
- El período de retorno, T , si se dispone de curvas intensidad-duración-frecuencia (IDF), aceptadas por la Dirección General de Carreteras, en un pluviógrafo situado en el entorno de la zona de estudio que pueda considerarse representativo de su comportamiento.

Se tomará el mayor valor de los obtenidos de entre los que se indican a continuación:

$$F_{int} = \text{máx} (F_a, F_b)$$

donde:

- F_{int} (adimensional). Factor de intensidad
- F_a (adimensional). Factor obtenido a partir del índice de torrencialidad (I_1/I_d)
- F_b (adimensional) Factor obtenido a partir de las curvas IDF de un pluviógrafo próximo.

CÁLCULO DE FACTOR DE INTENSIDAD FA

$$F_a = \left(\frac{I_1}{I_d} \right)^{3,5287 - 2,5287 t^{0,1}}$$

donde:

- F_a (adimensional). Factor obtenido a partir del índice de torrencialidad (I_1/I_d). Se representa en la figura del Factor F_a
- t (horas). Duración del aguacero.

Para la obtención del factor F_a , se debe particularizar la expresión para un tiempo de duración del aguacero igual al tiempo de concentración ($t = t_c$).

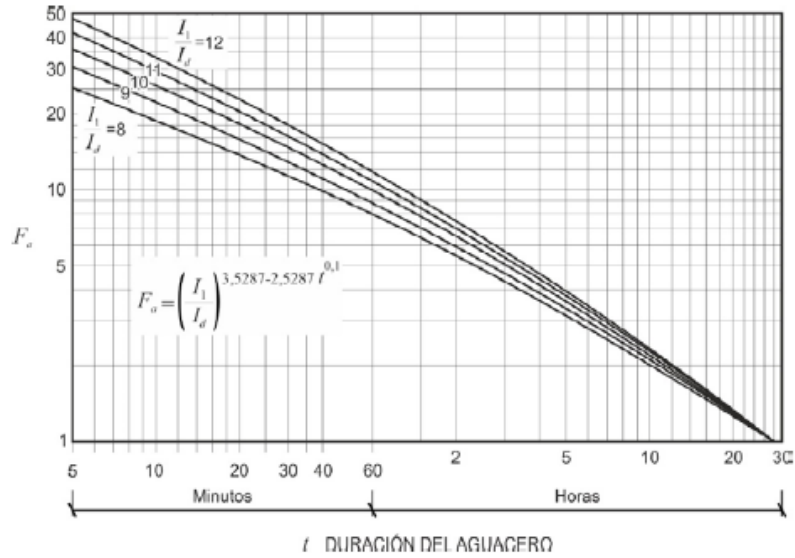


Figura 6.4.18. Duración del aguacero (t). Fuente: Instrucción de Carreteras 5.2-IC. 2016.

- I_1/I_d (adimensional). Índice de torrencialidad que expresa la relación entre la intensidad de precipitación horaria y la media diaria corregida. Su valor se determina en función de la zona geográfica, a partir del mapa del Índice de la torrencialidad.

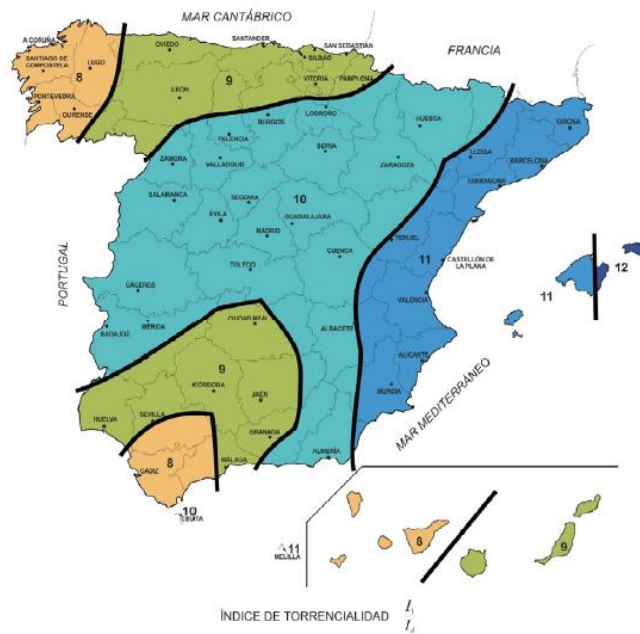


Figura 6.4.19. Relación entre las Intensidades de lluvia horaria y diaria (I_1/I_d). Fuente: Instrucción de Carreteras 5.2-IC. 2016.

CÁLCULO DE FACTOR DE INTENSIDAD FB

$$F_b = k_b \frac{I_{IDF}(T, t_c)}{I_{IDF}(T, 24)}$$

donde:

- F_b (adimensional). Factor obtenido a partir de las curvas IDF de un pluviógrafo próximo.
- $I_{IDF}(T, t_c)$ (mm/h). Intensidad de precipitación correspondiente al período de retorno T y al tiempo de concentración t_c , obtenido a través de las curvas IDF del pluviógrafo según figura.
- $I_{IDF}(T, 24)$ (mm/h). Intensidad de precipitación correspondiente al período de retorno T y a un tiempo de aguacero igual a veinticuatro horas ($t = 24$ h), obtenido a través de curvas IDF de la figura.
- k_b (adimensional). Factor que tiene en cuenta la relación entre la intensidad máxima anual en un período de veinticuatro horas y la intensidad máxima anual diaria. En defecto de un cálculo específico, se puede tomar $k_b = 1,13$

90

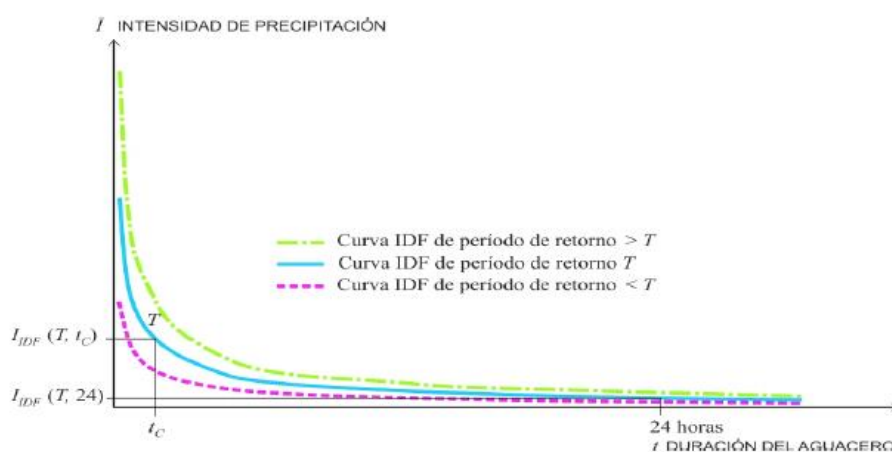


Figura 6.4.20. Obtención del Factor F_b . Fuente: Instrucción de Carreteras 5.2-IC. 2016.

La intensidad de precipitación a considerar en el cálculo del caudal máximo anual para el período de retorno T , en el punto de desagüe de la cuenca Q_T , es la que corresponde a una duración del aguacero igual al tiempo de concentración ($t = t_c$) de dicha cuenca.

La duración D de la lluvia neta se hace coincidir con el tiempo de concentración, que es el tiempo mínimo necesario, en horas, desde el comienzo del aguacero para que toda la superficie de la cuenca esté aportando escorrentía en el punto de desagüe. Se obtiene calculando el tiempo de recorrido más largo desde cualquier punto de la cuenca hasta el punto de desagüe. Para su cálculo, se utiliza la fórmula de t_c propuesta por Témez:

$$t_c = 0,3 \cdot L_c^{0,76} \cdot J_c^{-0,19}$$

donde:

- t_c = Tiempo de concentración en horas
- L_c = Longitud del curso principal en km
- J_c = Pendiente del curso principal en tanto por uno

A partir de la primera fórmula, se deduce L para el período deseado, multiplicando el valor de I/I_d obtenido, por el valor de I_d que coincide con $P_{24}/24$, siendo P_{24} , la precipitación máxima diaria en mm para el período de recurrencia deseado.

6.4.4.3. Cálculo del Coeficiente de Escorrentía (C)

El umbral de escorrentía se define como la mínima cantidad de agua que tiene que llover inicialmente hasta que empieza a escurrir por el terreno. En función de la pendiente y naturaleza del terreno y del uso del suelo, se estima para cada cuenca un valor inicial del umbral de escorrentía, P. En aquellas cuencas donde coexistan distintos terrenos y cultivos, P total es la media ponderada de los distintos P obtenidos.

Para la determinación de los valores del umbral de escorrentía asociado a las cuencas que afluyen al trazado de la nueva plataforma, se ha caracterizado, en cada una de ellas, el complejo suelo-vegetación y las condiciones iniciales de humedad, mediante su discretización en recintos diferentes según la combinación de las pendientes, los usos del suelo y el grupo hidrológico del suelo.

El coeficiente de escorrentía define la parte de la precipitación de intensidad I (T, tc) que genera el caudal de avenida en el punto de desagüe de la cuenca.

El coeficiente de escorrentía, C, se obtendrá mediante la siguiente formula:

$$\begin{aligned} \text{Si } P_d \cdot K_A > P_0 & \quad C = \frac{\left(\frac{P_d \cdot K_A}{P_0} - 1\right) \left(\frac{P_d \cdot K_A}{P_0} + 23\right)}{\left(\frac{P_d \cdot K_A}{P_0} + 11\right)^2} \\ \text{Si } P_d \cdot K_A \leq P_0 & \quad C = 0 \end{aligned}$$

donde:

- C (adimensional). Coeficiente de escorrentía
- P_d (mm). Precipitación diaria correspondiente al período de retorno T considerado
- K_A (adimensional). Factor reductor de la precipitación por área de la cuenca
- P_0 (mm). Umbral de escorrentía.

Se representa gráficamente en la figura siguiente:

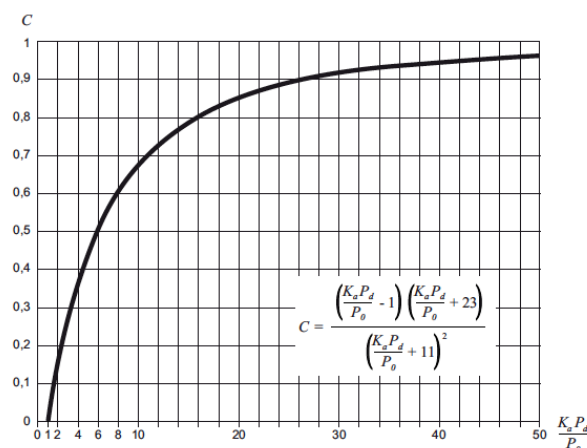


Figura 6.4.21. Determinación del coeficiente de escorrentía. Fuente: Instrucción de Carreteras 5.2-IC. 2016.

Para el cálculo del Coeficiente de escorrentía, es necesario determinar el umbral de escorrentía P_0 , que representa la precipitación mínima que debe caer sobre la cuenca para que se inicie la generación de escorrentía. Se determinará mediante la siguiente fórmula:

$$P_0 = P_0^i \cdot \beta$$

donde:

- P_0 (mm). Umbral de escorrentía
- P_0^i (mm). Valor inicial del umbral de escorrentía
- β (adimensional). Coeficiente corrector del umbral de escorrentía

Para su determinación, se analiza el complejo hidrológico de la cuenca vertiente, es decir, la capacidad de producir escorrentía directa, para un aguacero dado, que posee dicha cuenca. Este complejo hidrológico depende, además de factores menos representativos, de los siguientes:

- El tipo de recubrimiento del terreno por la vegetación o tipo de cultivo, es decir, el uso del suelo.
- La condición hidrológica para la infiltración de los suelos de la cuenca vertiente.
- El tratamiento o explotación del terreno (si los cultivos se realizan de acuerdo con prácticas de conservación de suelos o no y, en caso afirmativo, del tipo de prácticas conservacionistas que se utilizan).

En este sentido, el U.S.D.A.-S.C.S. distingue, al efecto, cuatro grandes grupos hidrológicos de suelo, clasificados de la siguiente manera:

- GRUPO A. Es el que ofrece menor escorrentía. Incluye los suelos que presentan gran permeabilidad, incluso cuando están saturados, comprendiendo los terrenos profundos, sueltos, con predominio de arena o grava y con muy poco limo o arcilla.

- GRUPO B. Incluye los suelos de permeabilidad moderada cuando están saturados, comprendiendo los terrenos arenosos menos profundos que los del grupo A, aquellos otros de textura franco-arenosa de mediana profundidad y los francos profundos.
- GRUPO C. Incluye los suelos que ofrecen poca permeabilidad cuando están saturados porque presentan un estrato impermeable que dificulta la infiltración o porque en conjunto su textura es franco-arcillosa o arcillosa.
- GRUPO D. Es el que ofrece mayor escorrentía. Incluye los suelos que presentan gran impermeabilidad, tales como los terrenos arcillosos profundos con alto grado de tumefacción, los terrenos que presentan en la superficie o cerca de la misma una capa de arcilla muy impermeable y aquellos otros con subsuelos muy impermeables próximos a la superficie.

Cuando se disponga de información más detallada, en el proyecto se puede justificar el cambio del grupo hidrológico de suelo en alguna cuenca concreta, según los criterios de las siguientes figuras que se reflejan en la Instrucción:

Grupo	Infiltración (cuando están muy húmedos)	Potencia	Textura	Drenaje
A	Rápida	Grande	Arenosa Areno-limosa	Perfecto
B	Moderada	Media a grande	Franco-arenosa Franca Franco-arcillosa-arenosa Franco-limosa	Bueno a moderado
C	Lenta	Media a pequeña	Franco-arcillosa Franco-arcillo-limosa Arcillo-arenosa	Imperfecto
D	Muy lenta	Pequeño (litosuelo) u horizontes de arcilla	Arcillosa	Pobre o muy pobre

Nota: Los terrenos con nivel freático alto se incluirán en el Grupo D.

Figura 6.4.22. Grupos hidrológicos de suelo a efectos de la determinación del valor inicial del umbral de escorrentía. Fuente: Instrucción de Carreteras 5.2-IC

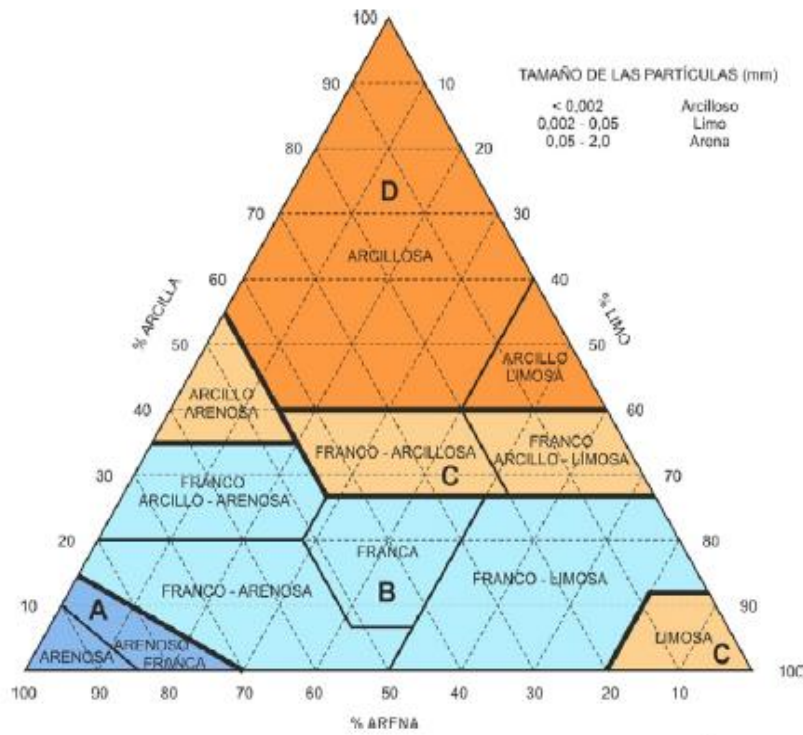


Figura 6.4.23. Diagrama triangular para determinación de la textura en materiales tipo suelo. Fuente: Instrucción de Carreteras 5.2-IC

La determinación de los grupos hidrológicos de suelo presentes en la cuenca se debe realizar a partir del mapa de la figura siguiente:

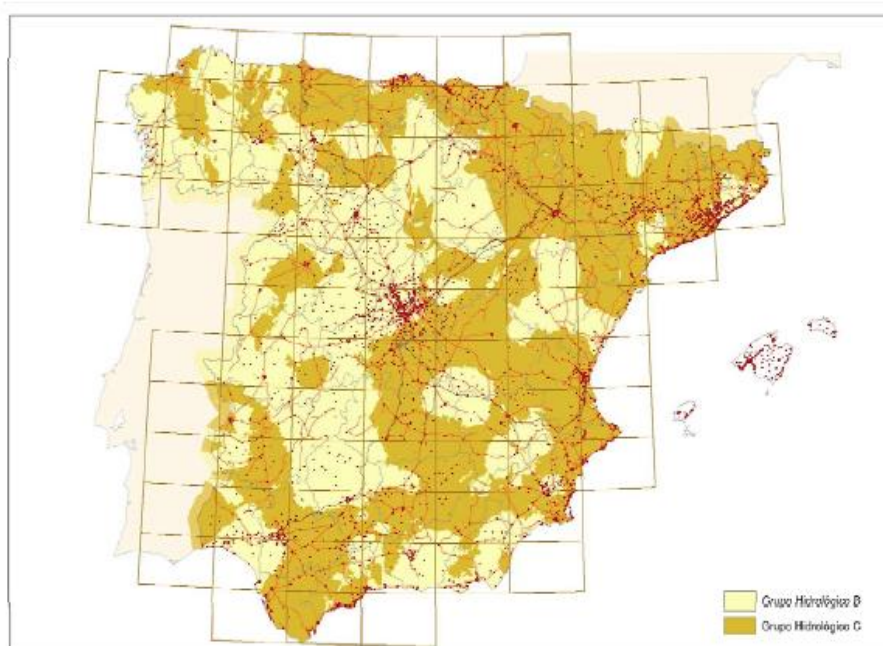


Figura 6.4.24. Mapa de grupos hidrológicos de suelo. Fuente: Instrucción de Carreteras 5.2-IC

6.4.4.3.1. Cálculo del Valor Inicial del Umbral de Escorrentía

Se utilizan las series de datos o mapas publicados por la Dirección General de Carreteras, en los que se obtiene directamente el valor de P_0^i para una determinada localización geográfica. Normalmente, dicho valor en cada punto se obtendrá como promedio en la cuenca vertiente al punto de cálculo de una determinada discretización espacial llevada a cabo sobre el territorio.

Se utilizarán los valores la Tabla 2.3. Valor Inicial del Umbral de Escorrentía P_0^i (mm), para condiciones de humedad medias, del Capítulo 2. Cálculo de Caudales, de la Norma 5.2-IC "Drenaje Superficial"

6.4.4.3.2. Cálculo del coeficiente corrector del umbral de escorrentía β

La formulación del Método Racional efectuada en los epígrafes precedentes requiere una calibración con datos reales de las cuencas, que se introduce en el método a través de un coeficiente corrector del umbral de escorrentía β .

Cuando no se disponga de información suficiente en la propia cuenca de cálculo o en cuencas próximas similares, para llevar a cabo la calibración, se puede tomar el valor del coeficiente corrector a partir de los datos de la Tabla 6.4.7, correspondientes a las regiones de la Figura 6.4.25.

Se debe aplicar el producto del valor medio de la región del coeficiente corrector del umbral de escorrentía por un factor dependiente del período de retorno T , considerado para el caudal de proyecto en el elemento de que en cada caso se trate:

$$\beta^{PM} = \beta_m \cdot F_T$$

donde:

- β^{PM} (adimensional). Coeficiente corrector del umbral de escorrentía para drenaje de plataforma y márgenes, o drenaje transversal de vías auxiliares
- β_m (adimensional). Valor medio en la región del coeficiente corrector del umbral de escorrentía
- F_T (adimensional). Factor función del período de retorno T

Región	Valor medio, β_m	Desviación respecto al valor medio para el intervalo de confianza del			Período de retorno T (años), F_T				
		50% Δ_{50}	67% Δ_{67}	90% Δ_{90}	2	5	25	100	500
11	0,90	0,20	0,30	0,50	0,80	0,90	1,13	1,34	1,59
12	0,95	0,20	0,25	0,45	0,75	0,90	1,14	1,33	1,56
13	0,60	0,15	0,25	0,40	0,74	0,90	1,15	1,34	1,55
21	1,20	0,20	0,35	0,55	0,74	0,88	1,18	1,47	1,90
22	1,50	0,15	0,20	0,35	0,74	0,90	1,12	1,27	1,37
23	0,70	0,20	0,35	0,55	0,77	0,89	1,15	1,44	1,82
24	1,10	0,15	0,20	0,35	0,76	0,90	1,14	1,36	1,63
25	0,60	0,15	0,20	0,35	0,82	0,92	1,12	1,29	1,48
31	0,90	0,20	0,30	0,50	0,87	0,93	1,10	1,26	1,45
32	1,00	0,20	0,30	0,50	0,82	0,91	1,12	1,31	1,54
33	2,15	0,25	0,40	0,65	0,70	0,88	1,15	1,38	1,62
41	1,20	0,20	0,25	0,45	0,91	0,96	1,00	1,00	1,00
42	2,25	0,20	0,35	0,55	0,67	0,86	1,18	1,46	1,78
511	2,15	0,10	0,15	0,20	0,81	0,91	1,12	1,30	1,50
512	0,70	0,20	0,30	0,50	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
52	0,95	0,20	0,25	0,45	0,89	0,94	1,09	1,22	1,36
53	2,10	0,25	0,35	0,60	0,68	0,87	1,16	1,38	1,56
61	2,00	0,25	0,35	0,60	0,77	0,91	1,10	1,18	1,17
71	1,20	0,15	0,20	0,35	0,82	0,94	1,00	1,00	1,00
72	2,10	0,30	0,45	0,70	0,67	0,86	1,00	-	-
81	1,30	0,25	0,35	0,60	0,76	0,90	1,14	1,34	1,58
821	1,30	0,35	0,50	0,85	0,82	0,91	1,07	-	-
822	2,40	0,25	0,35	0,60	0,70	0,86	1,16	-	-
83	2,30	0,15	0,25	0,40	0,63	0,85	1,21	1,51	1,85
91	0,85	0,15	0,25	0,40	0,72	0,88	1,19	1,52	1,95
92	1,45	0,30	0,40	0,70	0,82	0,94	1,00	1,00	1,00
93	1,70	0,20	0,25	0,45	0,77	0,92	1,00	1,00	1,00
941	1,80	0,15	0,20	0,35	0,68	0,87	1,17	1,39	1,64
942	1,20	0,15	0,25	0,40	0,77	0,91	1,11	1,24	1,32
951	1,70	0,30	0,40	0,70	0,72	0,88	1,17	1,43	1,78
952	0,85	0,15	0,25	0,40	0,77	0,90	1,13	1,32	1,54
101	1,75	0,30	0,40	0,70	0,76	0,90	1,12	1,27	1,39
1021	1,45	0,15	0,25	0,40	0,79	0,93	1,00	1,00	1,00
1022	2,05	0,15	0,25	0,40	0,79	0,93	1,00	1,00	1,00

En Ceuta y Melilla se adoptarán valores similares a los de la región 61.
 Pueden obtenerse valores intermedios por interpolación adecuada a partir de los datos de esta tabla
 En todos los casos $F_{10}=1,00$

Tabla 6.4.7. Coeficiente corrector del umbral de escorrentía: valores correspondientes a calibraciones regionales. Fuente: Instrucción de Carreteras 5.2-IC.2016



Figura 6.4.24. Regiones consideradas para la caracterización del coeficiente corrector. Fuente: Instrucción de Carreteras 5.2-IC

6.4.4.4. Cálculo del Coeficiente de Uniformidad (K)

El Coeficiente de Uniformidad intenta compensar la modificación que se produce con el aumento del tamaño de la cuenca en la hipótesis relativa al supuesto reparto uniforme de la escorrentía dentro del intervalo de cálculo de duración igual a T_c .

Este coeficiente varía de un aguacero a otro, pero su valor medio en una cuenca concreta depende, principalmente, del valor de su tiempo de concentración característico. Esta dependencia es tan acusada que, a efectos prácticos, puede despreciarse la influencia de las restantes variables, como el régimen de precipitaciones, la torrencialidad del clima, etc.

Su valor medio puede estimarse según la siguiente ecuación:

$$K_t = 1 + \frac{t_c^{1,25}}{t_c^{1,25} + 14}$$

Para calcular el tiempo de concentración, se emplea la fórmula del tiempo de concentración de Témez antes reseñada.

6.4.4.5. Cálculo del Caudal (Q)

El sistema de drenaje se proyectará de modo que sea capaz de desaguar el caudal máximo correspondiente a un determinado periodo de retorno considerado (10 años para drenaje longitudinal y 25 años para drenaje transversal).

Para cada una de las cuencas de aporte, se toma una intensidad de lluvia igual a su tiempo de concentración, que es el caso más desfavorable, con un límite inferior de 10 minutos para evitar la obtención de caudales exagerados.

El caudal calculado se obtendrá para la condición de humedad II, es decir, para condiciones de humedad del suelo normales (suelo que aún no se encuentra saturado de agua cuando se produce el aguacero). En la Tabla 6.4.8., se muestran los principales datos que se deberán obtener para cada una de las cuencas de aporte o unidades hidrológicas.

TIEMPO DE CONCENTRACIÓN	T_c (H)
PRECIPITACIÓN DIARIA MÁXIMA PARA T AÑOS	P_{24} (MM)
COEFICIENTE REDUCTOR DE NO SIMULTANEIDAD	KA
INTENSIDAD MEDIA DIARIA REDUCIDA	ID (MM/H)
COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA	C (II)
INTENSIDAD MEDIA DEL AGUACERO $T=T_c$	IT (MM/H)
CAUDAL	Q (M ³ /S)

Tabla 6.4.8. Relación de datos hidrológicos necesarios para la obtención de Q. Fuente: Elaboración propia.

6.4.4.6. Comprobación de la Capacidad de Desagüe

Los criterios básicos para el dimensionado y la comprobación de los elementos de drenaje, tanto transversal como longitudinal, se obtienen a partir del análisis pluviométrico (incluye la estimación de las precipitaciones máximas, los periodos de retorno, las intensidades y los tiempos de concentración).

6.4.4.6.1. Drenaje Transversal

La comprobación hidráulica de las obras de drenaje se realiza admitiendo la validez de la fórmula de Manning-Strickler para régimen libre:

$$Q_{CH} = \frac{J^{1/2} R_H^{2/3} S_{Max}}{n} \geq Q_P$$

donde:

- Q_{CH} (m³/s). Capacidad hidráulica del elemento de drenaje. Caudal en régimen uniforme en lámina libre para la sección llena, calculado igualando las pérdidas de carga por rozamiento con las paredes y fondo del conducto a la pendiente longitudinal
- J (adimensional). Pendiente geométrica del elemento lineal
- S_{Max} (m²). Área de la sección transversal del conducto
- R_H (m). Radio hidráulico $R_H = S/p$
- S (m²). Área de la sección transversal ocupada por la corriente
- p (m). Perímetro mojado

- n ($s/m^{1/3}$). Coeficiente de rugosidad de Manning, dependiente del tipo de material del elemento lineal. Salvo justificación en contrario, se deben tomar los valores de la Tabla 6.4.9.

La velocidad media del agua para el caudal de proyecto, debe ser menor que la que produce daños en el elemento de drenaje superficial, en función de su material constitutivo.

$$V_P = \frac{Q_P}{S_P} \leq V_{Max}$$

- Q_P (m^3/s). Caudal de proyecto del elemento de drenaje
- V_P (m/s). Velocidad media de la corriente para el caudal de proyecto
- S_P (m^2). Área de la sección transversal ocupada por la corriente para el caudal de proyecto
- V_{Max} (m/s). Velocidad máxima admisible en el elemento de drenaje transversal, dada por la Tabla 6.4.11, en función del material del que está constituido

6.4.4.6.2. Drenaje Longitudinal

La velocidad del agua en la cuneta es función de la sección transversal, la rugosidad y la pendiente. Para una sección triangular típica, la velocidad se calcula a partir de la fórmula de Manning-Strickler, antes reseñada:

$$V = n^{-1} \times R^{2/3} \times J^{1/2}$$

Esta comprobación se efectuará por tramos en los que el caudal, la pendiente y la geometría, así como los materiales de la sección permanezcan constantes.

En la siguiente tabla, se muestran los Coeficientes de Rugosidad de Manning, según el tipo de material del elemento lineal:

MATERIAL		n ($sm^{-1/3}$)
Cuneta	Sin vegetación. Superficie uniforme	0,020-0,025
	Sin vegetación. Superficie irregular	0,020-0,033
	Con vegetación herbácea segada	0,033-0,040
	Con vegetación herbácea espesa	0,040-0,050
	En roca. Superficie uniforme	0,029-0,033
	En roca. Superficie irregular	0,033-0,050
	Fondo de grava. Cajeros de hormigón	0,017-0,020
	Fondo de grava. Cajeros encachados	0,022-0,033
	Encachado	0,020-0,029
	Hormigón proyectado	0,017-0,022
Revestida con hormigón in situ	0,013-0,017	
Pavimento con mezclas bituminosas		0,013-0,018
Hormigón en marcos y otras estructuras in situ		0,014-0,017
Gaviones		0,020-0,040
Tubo de hormigón		0,012-0,017
Tubo de fundición		0,010-0,015
Tubo de acero		0,010-0,014
Tubo de materiales poliméricos		0,008-0,013

Nota: Los valores inferiores de cada uno de los rangos resultan de aplicación a conductos recién instalados, rectos, sin arquetas ni piezas especiales intermedias, limpios y en buen estado de conservación. El envejecimiento de los conductos se suele traducir en un incremento del valor del número n de Manning que no suele superar el límite superior de esta tabla.

Tabla 6.4.9. Coeficiente de rugosidad n ($sm^{-1/3}$) a utilizar en la fórmula de Manning. Fuente: Instrucción de Carreteras 5.2-IC. 2016.

Por otra parte, a continuación, se muestra la velocidad del agua, en m/s, para diferentes valores de n y pendientes en la cuneta tipo triangular de taludes 1:1 y 2:1, profundidad 0,3 m y radio hidráulico igual a 0,12:

PENDIENTE (%)	N		
	0,02	0,03	0,04
2	1,7	1,2	0,9
4	2,5	1,6	1,2
6	3,0	2,0	1,5
8	3,5	2,3	1,7
10	3,9	2,6	1,9
12	4,3	2,9	2,1
15	4,8	3,2	2,4
18	5,3	3,5	2,6

Tabla 6.4.10. Velocidad del agua en m/s para diferentes valores de n y pendientes. Válido para cunetas triangulares de taludes 1:1 y 2:1 y profundidad 0,3 m. Fuente: Elaboración propia.

En general y, de acuerdo con la Instrucción de Carreteras 5.2-IC "Drenaje Superficial", las velocidades máximas previsibles en las obras de drenaje longitudinal no deberían rebasar los valores límite incluidos en esta Tabla:

NATURALEZA DE LA SUPERFICIE	V _{MAX} (M/SEG)
Terreno sin vegetación arenoso o limoso	0,20 - 0,60
Terreno sin vegetación arcilloso	0,60 - 0,90
Terreno sin vegetación en arcillas duras y margas blandas	0,90 - 1,40
Terreno sin vegetación en gravas y cantos	1,20 - 2,30
Terreno parcialmente cubierto de vegetación	0,60 - 1,20
Terreno con vegetación herbácea permanente	1,20 - 1,80
Rocas blandas	1,40 - 3,00
Mampostería, rocas duras	3,00 - 5,00
Hormigón	4,50 - 6,00

Tabla 6.4.11. Velocidad máxima del agua. Fuente: Instrucción de Carreteras 5.2-IC. 2016.

En caso de sobrepasar dichas velocidades, se preverá un revestimiento de las mismas.

6.4.5. CÁLCULOS

6.4.5.1. Cálculos mecánicos para tubos

6.4.5.1.1. Cálculo de la rigidez anular para materiales plásticos

Los tubos están sometidos a unas cargas externas debido al material de relleno de la zanja y a las cargas móviles del tráfico. Estas cargas provocan que el tubo tienda a deformarse, por lo que la característica más importante es su rigidez anular.

La rigidez anular, SN (Nominal Stiffness), es la resistencia de un tubo o accesorio al aplastamiento en unas condiciones definidas en la norma UNE-EN-ISO 9969. La rigidez anular se calcula utilizando la siguiente fórmula:

$$SN = \frac{E \times I}{D_m^3}$$

donde:

- SN = Rigidez anular (kN/m²)
- E = Módulo de elasticidad (N/mm²).
- I = Momento de inercia (mm⁴/mm)
- D_m = Diámetro medio (mm)

En el "Pliego de prescripciones técnicas generales para tuberías de saneamiento de poblaciones (MOPU)", se recomienda que la rigidez mínima a corto plazo de las tuberías a utilizar sea igual a 4 kN/m²; en el caso que nos ocupa y, dadas las características técnicas de los nuevos materiales plásticos, se recomienda una rigidez anular de 8 kN/m².

6.4.5.1.2. Cálculos mecánicos en tubos de hormigón armado

Para la realización de los cálculos mecánicos, se seguirán las Normas UNE-EN 1916 y ASTM-C76.

OBTENCIÓN DE LA CARGA DE CÁLCULO

La carga de cálculo se obtendrá a partir de la siguiente expresión:

$$\text{kN/m}^2 = q_{\text{total}} \delta \text{ seg} / (F_a D)$$

donde:

- q_{total} es la suma de la carga del relleno, la carga móvil y cualquier otra carga actuante sobre el tubo, expresada en kN/m.
- δseg es el coeficiente de seguridad que, normalmente, se toma igual a 1,5 a rotura y 1 a fisuración.
- F_a es el factor de apoyo, definido como la relación entre la capacidad resistente de la tubería enterrada y la capacidad resistente de esa misma tubería sometida al ensayo de flexión transversal. El valor varía entre 1,5 y 2,1 para cama de apoyo con material granular y entre 2 y 4 para cama de hormigón en masa.

- D es el diámetro interior.

CLASE EXIGIBLE

La clase exigible al tubo será la que soporta una carga mayor o igual a la obtenida en el apartado anterior. Si se ha seguido el criterio de carga de fisuración, habrá que compararla con la carga de fisuración mínima que exige la Norma UNE-EN 1916. En el caso de seguir el criterio de rotura, será necesario compararla con la carga de rotura que exige la norma ASTM-C76. Esta comparación definirá la clase resistente.

La Norma UNE-EN 1916 define las clases 60, 90, 135 y 180 como valores a rotura para tubos de hormigón armado y clases N y R para tubos de hormigón en masa.

La Norma ASTM-C76 define 5 clases (I, II, III, IV, V) con 60, 75, 100, 150 y 175, como valores a fisuración para tubos de hormigón armado.

En la tabla siguiente, se muestran las equivalencias entre las dos normas aplicadas.

KN/m	T/m ²	ASTM	UNE	KN/m	T/m ²
39,2	4	CLASE I	CLASE 60	40	4,08
49	5	CLASE II		50	5,1
58,8	6	CLASE III	CLASE 90 (CLASE N)	60	6,12
68,6	7			70	7,14
78,4	8			80	8,16
88,2	9	CLASE IV	CLASE 135 (CLASE R)	90	9,18
98	10			100	10,2
107,8	11		CLASE 180	110	11,22
117,6	12			120	12,24
127,4	13	130		13,26	
137,2	14	CLASE V		140	14,28

Tabla 6.4.12. Equivalencias entre clases y normas para tubos de hormigón armado. Fuente: Pretensados Ejea. 2008.

CONDICIONES DEL TERRENO Y DE LA ZANJA

Las condiciones del terreno y de la zanja en la que se aloja el tubo son parámetros que determinan la clase de tubo a utilizar. Éstas varían en función del tipo de terreno, el diámetro interior del tubo (D_i), el diámetro exterior del tubo (D_e), la diferencia de cotas (H_r) entre la clave del tubo y la rasante del terreno y la anchura de la zanja (b), calculándose ésta a partir del talud de la zanja y del resguardo lateral.

CARGAS PRODUCIDAS POR VEHÍCULOS

Los vehículos que transitan sobre la superficie del relleno de un terraplén producen una acción dinámica que se transmite a la conducción en forma de carga adicional al peso de las tierras.

Esta sobrecarga puede calcularse aplicando la teoría de Boussinesq, supuesto el suelo como un material elástico e isótropo. Sin embargo, en la práctica, se obtiene suficiente precisión, considerando que una carga Q aplicada sobre la superficie se transmite, en profundidad, según un tronco de pirámide cuyas caras laterales forman un ángulo de 35º con la vertical.

Se adoptarán los casos de carga a que se refiere la "Instrucción del Instituto Eduardo Torroja para Tubos de Hormigón Armado o Pretensado" (Anejo 4-2.1.4).

Para el tipo de actuación objeto del presente capítulo y, de forma general, se considerarán, al menos, cargas en un eje simple de 13 t. Esto es debido a que, si bien el uso principal de las sendas y caminos naturales es peatonal, durante su construcción y a lo largo de su vida útil, serán transitados por vehículos de obra y de mantenimiento.

CARGAS DE COMPACTACIÓN

Las cargas de compactación se evalúan teniendo en cuenta el tipo de compactador, la profundidad y el tipo y estado del relleno. En las zonas con recubrimientos inferiores a un metro, se deben extremar las medidas de precaución, tanto para la elección del compactador como para la ejecución de la compactación.

RESULTADOS

A partir de las mencionadas condiciones de partida y las cargas consideradas, se calculan las clases de tubos según UNE y ASTM, en función del apoyo (hormigón o granular) y del relleno de la zanja.

6.4.6. DEFINICIÓN DEL PROCESO CONSTRUCTIVO

En la definición del proceso constructivo quedarán suficientemente especificadas las fases de ejecución de los sistemas de drenaje necesarios, bien sea de la propia plataforma del camino (abombamiento de la superficie, pendiente transversal, etc.), bien sea de los sistemas de drenaje longitudinal (cunetas, en tierra o revestidas) y transversal (pasarelas, marcos prefabricados, caños, alcantarillas abiertas, etc.).

6.4.6.1. Tubos

Las obras de fábrica permiten vadear pequeños cauces y evacuar el flujo proveniente del drenaje longitudinal y, por lo general, estarán formadas por uno o varios caños de diversos materiales (PVC, polietileno, polipropileno, hormigón armado y en masa, chapa ondulada,...). En el caso concreto de los caminos, sus peculiaridades (anchura de la sección, acceso complicado, uso preferentemente peatonal, etc.) hacen que los materiales más idóneos sean los sintéticos, como el polipropileno, el PVC o el polietileno, por su manejabilidad, fácil transporte y flexibilidad, que permiten que se adapten mejor a las deformaciones del terreno.

Los tubos, tanto los elaborados en materiales plásticos como los de hormigón (en masa o armado), se unen entre ellos mediante una junta elástica colocada en los valles del perfil del extremo de uno de los tubos.

La colocación de un tubo incluye los siguientes trabajos:

- Replanteo
- Excavación de la zanja
- Comprobación del lecho de apoyo y eliminación de elementos gruesos
- Aporte, rastrillado y apisonado de la cama de apoyo (granular u hormigón)
- Colocación y unión de los tubos
- Relleno de la zanja
- Compactación de la zanja
- Extendido del material sobrante
- Limpieza

ZANJA

La profundidad de la zanja dependerá de si se trata de una obra de paso de un pequeño cauce o barranquera, o si es una obra de desagüe de cunetas.

En el primer caso, la profundidad de la zanja se ceñirá a las dimensiones del cauce, mientras que en el desagüe de cunetas, la zanja tendrá una anchura mínima de 3 veces el diámetro del tubo y una profundidad que variará en función de la altura del terraplenado, el diámetro del tubo y el espesor del paquete de firme.

CAMA DE APOYO

La cama de asiento de los caños de hormigón en masa o armado estará formada por tierras arenosas, arena de río lavada o gravilla procedente preferentemente de áridos naturales, o bien del machaqueo y trituración de piedras de canteras o gravas naturales. El tamaño de la gravilla estará comprendido entre 5 y 25 mm.

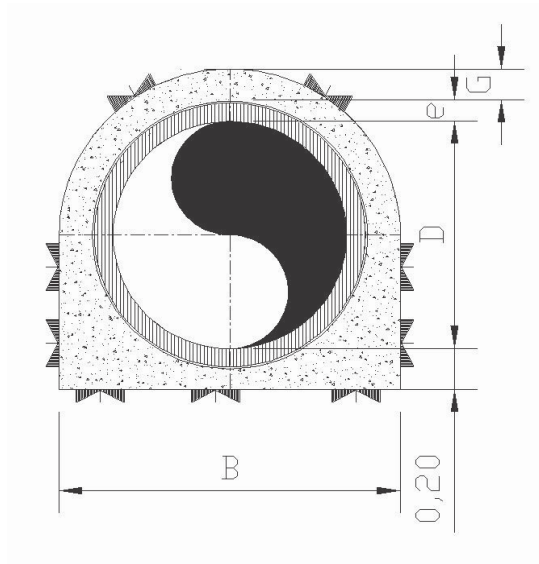
Por otro lado, cuando se utilicen caños de materiales plásticos, se realizará una cama de hormigón en masa.

En todos los casos, el espesor de la cama será de hasta 1/3 del diámetro del tubo.

RELLENO ENVOLVENTE

Los tubos de materiales plásticos irán envueltos por una capa de hormigón en masa, de baja dosificación y con una resistencia máxima a la compresión simple de 30 Kp/cm². Las dimensiones de los diferentes espesores se calcularán en función del diámetro nominal del tubo.

Se recomienda un espesor mínimo de 15 cm de relleno inicial por encima del cuerpo de la tubería y de 10 cm por encima de la junta.



D	Dn
B	1,75Dn
e	0,1Dn
G	0,25Dn

Figura 6.4.25. Caño de material plástico envuelto en hormigón en masa. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6.4.13. Dimensiones en función del diámetro nominal. Cotas en metros. Fuente: Elaboración propia.

RELLENO SUPERIOR

El relleno superior es el que se realiza por encima del relleno envolvente y hasta la primera capa de firme.

El tapado de las tuberías de hormigón hasta una altura de 60 cm o, en el caso de tubos plásticos, hasta 30 cm sobre la clave, se realizará preferentemente con arenas naturales formadas por partículas estables y resistentes, arenas artificiales procedentes del machaqueo y trituración de piedras de cantera, gravas naturales o una mezcla de ambos materiales; en todos los casos, estarán exentas de áridos mayores de 2 cm. La compactación será superior o igual al 95% del Proctor Normal.

COMPACTACIÓN

Una vez extendido el material, y con su humedad correcta, se procede a su compactación. Esta operación debe hacerse de forma ordenada, controlando bien el número de pases y su distribución homogénea.

Uno de los problemas que pueden aparecer durante el proceso de instalación de tuberías de drenaje radica en la posible rotura de las mismas a consecuencia del paso de maquinaria pesada por la vertical de los tubos. En este sentido, también es importante considerar las cargas debidas a los compactadores y su repercusión sobre los tubos. Estos métodos de compactación se tendrán en cuenta a la hora de valorar económicamente la unidad de obra.

El medio de compactación más efectivo para instalaciones en zanja, cuando el espacio está limitado, son las apisonadoras neumáticas o de impacto mecánico. Las apisonadoras de impacto, que actúan por peso estático y acción de amasado, son usadas principalmente en suelos arcillosos, mientras que los suelos granulares se consolidan más efectivamente por

vibración. La utilización de apisonadoras de impacto obliga a tomar una serie de precauciones en la compactación, así como a la introducción de las capas a ambos lados del tubo para que queden uniformes.

Al rellenar la zanja, se deben distinguir dos zonas: hasta la clave del tubo y por encima de la clave. La primera debe rellenarse de forma compensada para evitar desplazamiento de los tubos, en tongadas de 30 cm como máximo, debiendo compactarse con medios ligeros, generalmente pisonos o ranas.

En aquellos casos en los que los rellenos tengan poco espesor, se deben ejecutar por tongadas de anchura comprendida entre 10 cm y 15 cm, compactándolas con máquinas ligeras, como rodillos arrastrados a mano, bandejas vibrantes, pisonos, etc.

106

6.4.6.2. Marcos

Los marcos son elementos de hormigón armado con geometría rectangular y esquinas interiores acarteladas. La versatilidad de esta solución ha extendido su aplicación en drenajes transversales.

Los marcos más utilizados son los denominados marcos cerrados, que están compuestos por una sola pieza y pueden cubrir diferentes tamaños. Los módulos están diseñados con dos dispositivos de unión: junta machihembrada y junta plana, dependiendo de las medidas y sistemas de fabricación utilizados en cada caso.

Para el cálculo de estos elementos es de aplicación la EHE-08 (Instrucción de Hormigón Estructural) y las instrucciones específicas de cada uno de sus usos.

La instalación de marcos incluye los siguientes trabajos:

- Replanteo
- Comprobación del lecho de apoyo y de la carga admisible del terreno para aguantar la presión del marco ($> 0,035 \text{ N/mm}^2$)
- Colocación y unión de los marcos
- Relleno
- Compactación
- Extendido del material sobrante
- Limpieza
- Prueba de estanqueidad

CAMA DE APOYO

La cama de apoyo de estas piezas puede ser de material granular o de hormigón de limpieza, si bien, en circunstancias especiales, como rellenos no consolidados, terrenos inestables o de baja capacidad portante, habrá que recurrir a soluciones específicas. En cualquier caso, la cama de

apoyo deberá estar siempre bien nivelada y tener el espesor preciso y la capacidad resistente suficiente para servir de cimentación a los elementos prefabricados.

Los valores de espesor recomendados para circunstancias normales de terrenos y profundidades son:

- Cama granular: 15-20 cm
- Cama de hormigón: 7-10 cm

Cuando se utilice una cama de hormigón, es conveniente situar una fina capa de nivelación entre ésta y la pieza prefabricada (3 a 5 cm). Esta capa puede ser de arena o de mortero y tendrá la pendiente de proyecto.

COLOCACIÓN

Los marcos se colocan de abajo hacia arriba, con la boquilla macho, si la hubiere, ubicada “aguas abajo”, mientras que la boquilla hembra se sitúa “aguas arriba”, preparada para recibir la siguiente pieza a instalar. Antes de su colocación, se deben revisar las piezas cuidando la limpieza y los daños puntuales, especialmente en las zonas de unión.

RELLENO

El relleno se realizará con material seleccionado, de manera que ambos laterales vayan subiendo a la vez en tongadas de 20 a 30 cm de espesor, con una diferencia de nivel entre los dos laterales no superior a 50 cm. El relleno inicial en la parte superior de la pieza se hará también en tongadas del mismo espesor, evitando bolos y piedras que pudieran dañarla. Los medios de compactación que se utilizarán serán ligeros o manuales para evitar posibles daños.

Si el marco se ha de instalar con una altura de relleno inferior a 50 cm y tiene que soportar el paso de cargas móviles, será necesario colocar una losa armada sobre el mismo que evitará el movimiento relativo entre los distintos elementos.

MARCOS EN BATERÍA

En el caso de que sea necesaria la instalación de varios marcos en batería “bicelular” o “multicelular”, es conveniente que exista un contacto continuo entre los distintos marcos mediante relleno compacto, mortero u otro material que transmita las cargas.

El proceso de unión no comenzará hasta que no esté totalmente terminado el de relleno y compactación, sobre todo en obras donde los vehículos de aporte de tierras o montaje pasen por encima de los marcos recién colocados.

Para evitar que la tierra penetre en el interior de la junta, es conveniente colocar un geotextil, una lámina de polietileno o una banda asfáltica en la zona de la junta en contacto con ésta.

El tipo de unión puede ser elástica o rígida según los materiales empleados en el rejuntado y sellado. En el primer caso, se recomienda un relleno con cordón elastomérico o de cauchobutilo y una junta final de sellado interior a base de masilla elástica monocomponente de poliuretano

con polimerización acelerada y elasticidad permanente. El sellado externo puede realizarse con banda asfáltica.

Si se opta por una unión rígida, el sellado interior y el rejuntado deben realizarse con mortero de cemento especial antirretracción. El sellado externo puede realizarse también con banda asfáltica.

6.4.6.3. Badenes

La ejecución de badenes incluye las siguientes operaciones:

- Preparación de la superficie de asiento
- Replanteo de las juntas de hormigonado
- Tendido de niveles mediante toques, maestras, maestras de hormigón o reglas
- Encofrado
- Riego de la superficie base
- Colocación del mallazo
- Vertido, extendido y compactación del hormigón
- Ejecución de juntas
- Aplicación de la resina impermeabilizante de acabado para el curado del hormigón
- Protección del hormigón fresco frente a lluvias, heladas y temperaturas elevadas

Se observarán rigurosamente todas las recomendaciones y prescripciones contenidas en el PG-3 (artículo 610) y en la Instrucción de Hormigón Estructural (EHE-08) relativas a condiciones de materiales, fabricación, puesta en obra, vibrado, curado del hormigón, etc.

La base de apoyo estará perfectamente nivelada y compactada, correspondiendo el ensayo Proctor Modificado al 98% en probeta seca.

La superficie de apoyo deberá estar contenida en un plano paralelo a la superficie final del pavimento terminado, con el fin de obtener un espesor uniforme en este último. Deberá evitarse especialmente la existencia de salientes en la base que, al disminuir el espesor de la losa en dicha zona, puedan provocar la fisuración del badén.

La puesta en obra del hormigón se realizará de forma que no pierda ni su consistencia ni su homogeneidad. De evitará, en la medida de lo posible, que se disgreguen los elementos componentes, quedando prohibido arrojar el hormigón con la pala a gran distancia, distribuirlo con rastrillo o hacerlo avanzar más de un metro dentro de los encofrados.

El hormigón en masa se extenderá por capas de espesores inferiores a 25 cm para la consistencia plástica y a 15 cm para la consistencia seca, que se vibrarán cuidadosamente para evitar las coqueas. La colocación se cuidará particularmente junto a los paramentos y rincones del encofrado.

La compactación de los hormigones se realizará por vibración de modo que, sin que se produzcan disgregaciones locales, se consiga que el efecto se extienda a toda la masa.

Paralelamente, será necesario prever las pendientes transversales en la superficie, en función del sentido de la corriente, a efectos de evacuar el agua.

6.4.6.4. Cunetas

Una cuneta es una zanja longitudinal abierta en el terreno junto a la plataforma del camino, con el fin de recibir y canalizar las aguas.

A partir de la superficie natural del terreno o de la explanación, se procederá a la ejecución de la excavación de la caja que requiera la cuneta y a la nivelación, refino y preparación del lecho de asiento.

La excavación se realizará, en lo posible, de aguas abajo hacia aguas arriba, manteniéndose con nivelación y pendiente tales que no produzca retenciones de agua ni encharcamientos.

Durante la construcción de las cunetas, se adoptarán las medidas oportunas para evitar la erosión y la modificación de las características en el lecho de asiento.

6.4.6.5. Cunetas revestidas

El revestimiento de las cunetas consiste en el acondicionamiento y el recubrimiento con hormigón o piedra asentada con mortero de cemento de las mismas.

REVESTIMIENTO DE HORMIGÓN

La ejecución incluye las siguientes operaciones:

- Replanteo
- Excavación y perfilado
- Montaje y desmontaje del encofrado
- Suministro y colocación del hormigón
- Ejecución de juntas
- Rellenos

Durante la construcción de cunetas revestidas, se deberán dejar juntas de contracción a intervalos no mayores de 3 m. Los bordes de estas juntas serán verticales y normales al alineamiento de la cuneta. Cuando las cunetas se construyan adosadas a un pavimento rígido, las juntas deberán coincidir con las juntas transversales del pavimento.

En las uniones de las cunetas con las arquetas de entrada de las obras de drenaje, se ejecutarán juntas de dilatación, cuyo espesor estará comprendido entre 15 y 20 mm.

Después del curado del hormigón, las juntas se deberán limpiar, colocando posteriormente los materiales de relleno, sellado y protección.

Se observarán rigurosamente todas las recomendaciones y prescripciones contenidas en el PG-3 (artículo 610) y en la Instrucción de Hormigón Estructural (EHE-08) relativas a condiciones de materiales, fabricación, puesta en obra, vibrado, curado del hormigón, etc.

REVESTIMIENTO DE MAMPOSTERÍA

La ejecución incluye las siguientes operaciones:

- Replanteo
- Excavación y perfilado
- Preparación y vertido del mortero
- Colocación de las piedras
- Relleno de juntas
- Ejecución de lechada de sellado
- Rellenos

110

Una vez terminado el acondicionamiento (excavación y relleno), se procederá al perfilado y compactado de la superficie de apoyo. Previamente a la compactación, el material deberá humedecerse hasta obtener una superficie llana y firme. Asimismo, antes de asentar las piedras, la superficie de apoyo se humedecerá y éstas se situarán sobre el mortero.

Las piedras se colocarán con sus superficies planas hacia arriba y sus dimensiones más largas en ángulo recto a la línea central de la cuneta. Se asentarán en hileras rectas, sobre una cama de mortero de 10 cm de espesor, para obtener el mejor amarre posible y un contacto estrecho entre piedras contiguas. No se admitirán intersticios o juntas que excedan los 3 cm de ancho.

Las piedras colocadas serán completamente apisonadas hasta obtener una superficie firme y en conformidad en rasante, alineamiento y sección transversal a la superficie final.

Las juntas entre piedras se rellenarán con mortero y, antes del endurecimiento del mismo, se deberá enrasar la superficie del empedrado.

6.4.7. MATERIALES A EMPLEAR

6.4.7.1. Normativa

El "Pliego de prescripciones técnicas generales para tuberías de saneamiento de poblaciones", aprobado el 15 de septiembre de 1986 por el MOPU, no se ha actualizado, por lo que no refleja la situación real en cuanto a los materiales que se están utilizando actualmente.

Por otro lado, la "Guía técnica sobre redes de saneamiento y drenaje urbano" (2007), elaborada por el Ministerio de Fomento y el antiguo Ministerio de Medio Ambiente a través del CEDEX, sustituye técnicamente al Pliego, incluyendo, además de los materiales tradicionales, los materiales plásticos (PE, PP, PVC y PRFV).

6.4.7.2. Tuberías de materiales sintéticos

En comparación con los materiales tradicionales para tubos de conducción de agua, como el acero, la fundición y el hormigón, los tubos de plástico se consideran como nuevos materiales. El desarrollo de los tubos de plástico ha tenido lugar principalmente durante el siglo XX, siendo los tubos de PVC y PE y, considerando los últimos 20 años, también los de PP, los primeros en utilizarse como material para tubos de obras de drenaje y saneamiento.

Los tubos fabricados en estos materiales son tuberías flexibles que se ovalan por la carga, recibiendo una tensión más pequeña que una tubería rígida cuya sección transversal no cambia, lo que hace que el mismo tubo sea el que absorbe las cargas externas.

111

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS

Las dimensiones comerciales para los tubos de materiales sintéticos más habituales se reflejan en las siguientes tablas.

DIÁMETRO NOMINAL (mm)	ESPELOR NOMINAL DE LA PARED DEL TUBO (mm)	DIÁMETRO INTERIOR (mm)
250	7,3	235,4
315	9,2	298,6
400	11,7	376,6
500	14,6	470,8
630	18,4	593,2

Tabla 6.4.14. Secciones comerciales para tubos de PVC SN-8. Fuente: Elaboración propia.

DIÁMETRO NOMINAL (mm)	ESPELOR NOMINAL DE LA PARED DEL TUBO (mm)	DIÁMETRO INTERIOR (mm)
250	31,2	218,8
315	42	273,0
400	51,8	348,2
500	66,6	433,4
630	84,8	545,2

Tabla 6.4.15. Secciones comerciales para tubos de polipropileno SN-8. Fuente: Elaboración propia.

6.4.7.3. Tubos de hormigón

6.4.7.3.1. En masa

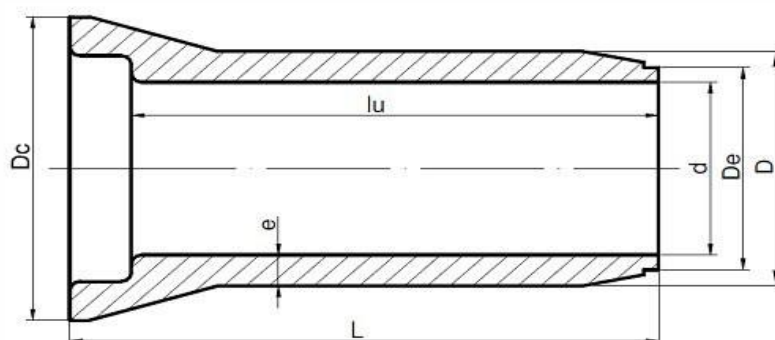
Los tubos prefabricados de hormigón en masa, con enchufe de campana de sección interior circular, se destinan principalmente a conducir, en canalizaciones generalmente enterradas, aguas pluviales y aguas de superficie por gravitación o baja presión.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

- Fabricados según especificaciones de la Normativa UNE-EN 1916:2008.
- Fabricados con hormigón HM-30 ($F_{ck} = \text{MPa}$)
- Los tubos se suministran con sus juntas de goma.
- Fabricación de las siguientes calidades según resistencia al aplastamiento:
 - Norma UNE-EN 1916 (Clases N-R)
 - MOPU (Clases B-C-D)

112

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS



Dimensiones y peso aproximado								
Diámetro Nominal DN mm	Diámetro Interior d mm	Diámetro Exterior D mm	Espesor e mm	Diámetro Campana Dc mm	Diámetro Enchufe (macho) De mm	Longitud Útil lu mm	Longitud Total L mm	Peso Unidad TN
300	300	410	55	505	390	2000	2100	0,350
400	400	524	67	624	497	2000	2100	0,530
500	500	637	69	760	614	2000	2100	0,685
600	600	754	77	910	738	2400	2500	1,102

Figura 6.4.26. Características geométricas de los tubos de hormigón en masa. Fuente: Pretensados Ejea. 2008.

6.4.7.3.2. Armado

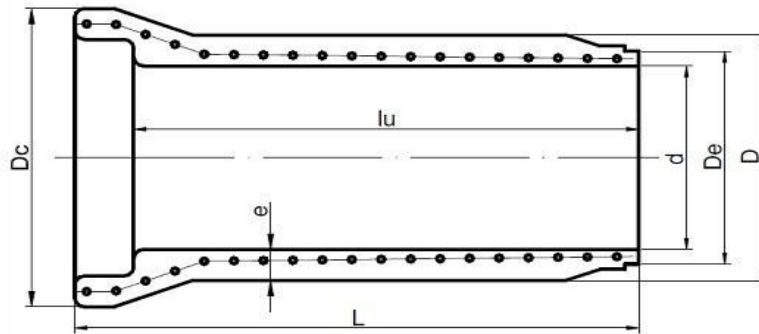
Los tubos prefabricados de hormigón armado, machihembrados de sección interior circular con enchufe de campana para diámetros de 400 a 1.200 mm y directos para diámetros de 1.500 a 2.500 mm, se utilizan principalmente para conducir, en canalizaciones generalmente enterradas, aguas pluviales y aguas de superficie por gravitación u, ocasionalmente, a baja presión.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

- Fabricados según especificaciones de la Normativa UNE-EN 1916
- Los tubos se suministran con la junta de goma incorporada hasta tuberías de 1.200 mm y por separado para diámetros superiores.

- Fabricación de las siguientes calidades según resistencia al aplastamiento:
 - Norma UNE-EN 1916 (Clases 60, 90, 135, 180)
 - Norma ASTM C-76 (Clases I a V).
- Resistencia característica mínima del hormigón 40 N/mm²
- La cuantía mínima del acero en cm²/m será la indicada en la Norma UNE 127916 ó ASTM C-76, según corresponda.

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS



Dimensiones y peso aproximado								
Diámetro Nominal DN mm	Diámetro Interior d mm	Diámetro Exterior D mm	Espesor e mm	Diámetro Campana Dc mm	Diámetro Enchufe (macho) De mm	Longitud Útil lu mm	Longitud Total L mm	Peso Unidad TN
500	500	640	70	760	600	2400	2500	0,820
600	600	754	77	910	738	2400	2500	1,102
800	800	990	95	1160	968	2400	2500	1,768
1000	1000	1220	110	1460	1204	2400	2500	2,680
1200	1200	1480	140	1632	1404	2400	2500	3,700
1500	1500	1840	170	LISO	1640	2300	2420	4,800
1800	1800	2190	195	LISO	1953	2250	2380	6,700

Figura 6.4.27. Características geométricas de los tubos de hormigón armado. Fuente: Pretensados Ejea. 2008.

6.4.7.3.3. Marcado

Desde 2007, está en vigor la Directiva Europea que obliga al marcado CE de las tuberías de hormigón (Reglamento (UE) nº 305/2011 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 9 de marzo de 2011, por el que se establecen condiciones armonizadas para la comercialización de productos de construcción y se deroga la Directiva 89/106/CEE del Consejo). Esta Directiva obliga al fabricante a garantizar que el producto instalado cumple con los ensayos de calidad y seguridad indicados por la Norma europea UNE-EN 1916:2008.

Todos los tubos de hormigón (en masa o armado) son marcados para su correcta identificación con los siguientes conceptos:

- Diámetro nominal

- SAN (tubo de saneamiento)
- Fecha de fabricación
- HM o HA, según se trate de tubo de hormigón en masa o armado, respectivamente
- Siglas UNE-EN 1916 o ASTM C-14 (masa) y UNE EN 1916 o ASTM C-76 (armado)
- Clase resistente
- SR, si el cemento es antisulfatos

6.4.7.4. Marcos

Los marcos de hormigón armado son estructuras del tipo cajón, formadas por dos losas (dintel y solera) empotradas en muros laterales.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

- Fabricados según las Normas UNE-EN 14844 e Instrucción de hormigón estructural EHE-08 (coeficientes de ponderación de la resistencia del hormigón y del acero)
- Autorizaciones de uso
- Uniones machihembradas y, opcionalmente, suministrados con junta de goma
- Fabricados con hormigón HA-35 ($F_{ck} = 35$ MPa)
- Armadura:
 - Barras corrugadas de acero B-500-S y límite elástico (f_{yk}) de 500 N/mm²
 - Mallas electrosoldadas de acero B-500-T

6.4.7.4.1. Marcado

Desde el 1 de mayo de 2008, es obligatorio que los Marcos Prefabricados, como elementos estructurales, dispongan del Marcado CE acreditado por un Organismo Notificado, que garantiza el cumplimiento de los requisitos de diseño y control de la producción en fábrica según la Norma UNE-EN 14844.

La nomenclatura según medidas interiores es: MR HA BxHxE/L

donde:

- MR = Marco
- HA = Hormigón armado
- B = Anchura
- H = Altura
- E = Espesor de la pared
- L = Longitud

Los diferentes tipos de marcos se clasifican según su capacidad de carga: X HR Z

donde:

- X = Carga móvil considerada:
 - Tipos:
 - 0 - Peatonal - 5 kN/m²
 - 1 - Vehículo de 30 kN
 - 2 - Vehículo de 160 kN
 - 3 - Tren de cargas de 600 kN de la instrucción IAP-11
- HR Z = Altura de relleno, en milímetros, para la que está diseñado el marco


Con esta nomenclatura se marcan en fábrica, junto con el logotipo del fabricante, la fecha de fabricación y el número de serie, tanto en el interior como en el exterior. En la losa superior, se marca con la palabra techo y en la inferior con la palabra suelo.

6.4.7.5. Otros Materiales

El resto de materiales que entren a formar parte de las obras cumplirán los requisitos exigidos por las normativas oficiales vigentes. Para los que no exista reglamentación expresa, se exigirá que sean de la mejor calidad entre los de su clase.

De forma general, los materiales utilizados cumplirán la siguiente normativa técnica:

- Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3/75), aprobado por Orden Ministerial de 6 de febrero de 1976, y todas sus modificaciones posteriores
- Instrucción para la Recepción de Cementos (RC-08)
- Real Decreto 1313/1988, de 28 de octubre, por el que se declara obligatoria la homologación de los cementos para la fabricación de hormigones y morteros para todo tipo de obras y productos prefabricados
- Instrucción de hormigón estructural (EHE-08)



6.5. Estabilización de taludes

6.5. ESTABILIZACIÓN DE TALUDES

6.5.1. INTRODUCCIÓN

En el caso de que el camino natural discorra por secciones a media ladera o en trinchera, en las que se conozca la existencia de desprendimientos o se estime que pueden llegar a producirse, se procederá a evaluar la posibilidad de que éstos puedan afectar al camino.

Del mismo modo, puede llegar a ser necesario el refuerzo del pie de un talud del camino en determinadas zonas, de manera que no se comprometa su estabilidad en el periodo de vida de la infraestructura previsto en el proyecto.

En general, los caminos naturales discurrirán sobre zonas en las que existía previamente una vía de comunicación (férrea, camino forestal, agrícola), en los que la sección transversal ya esté definida, a falta de concretar la explanación y el firme. La apertura de zonas de nuevo trazado y los movimientos de tierra asociados serán necesarios únicamente en tramos de nueva construcción.

En algunos casos, además, puede ser conveniente completar las actuaciones de estabilización con actividades de revegetación, ya que las plantas protegen la superficie del suelo contra la erosión y colaboran en su estabilidad. El uso de plantas como material para afianzar el suelo está frecuentemente asociado al empleo de materiales secundarios, cuya finalidad es ayudar a establecer unas condiciones físicas en las primeras fases de la implantación, cuando todavía el material vegetal no tiene prácticamente efectividad.

6.5.2. CRITERIOS A TENER EN CUENTA

Las acciones sobre los taludes serán de tipo puntual, debiendo justificarse adecuadamente en proyecto. Dichas actuaciones tendrán como objeto la protección del camino natural; por tanto, también se ha de indicar la forma de ejecución prevista, así como los condicionantes necesarios que se deben de tener en cuenta para mejorar la integración ambiental de estas intervenciones.

En el presente capítulo, se van a definir una serie de soluciones estructurales tipo, que podrán ser acompañadas o no de técnicas de integración ambiental adicionales (bioingeniería), en el caso de que éstas no vayan incluidas en la propia solución estructural.

Siempre que sea posible, y como paso previo a la aplicación de otras técnicas, se diseñarán actuaciones de remodelación de la geometría de los taludes, que permitan la disminución de la pendiente y/o de la longitud de ladera, tales como:

- Descabezado de taludes
- Retirada de materiales inestables
- Tendido o reperfilado de taludes
- Banqueo de los taludes

Este tipo de actuaciones son unidades de obra de movimiento de tierras, por lo que no necesitan de una explicación específica dentro de este manual, ya que se definirán en el proyecto de acuerdo a sus características.

El siguiente paso a la remodelación geométrica será, siempre que sea viable, la utilización de técnicas blandas propias de la bioingeniería (mantas y redes vegetadas, hidrosiembras, fajinas, plantaciones de cobertura, etc.), que deberán primar sobre tratamientos duros basados en estructuras (de hormigón, mampostería, gaviones, etc.) o en el control de los desprendimientos mediante diferentes tipos de mallas metálicas y, si es posible, se utilizaran técnicas mixtas, donde se mezclan estructuras con plantaciones.

En todo caso, dadas las características intrínsecas de los proyectos y obras que nos ocupan, los elementos de protección y contención deberán estar integrados en el paisaje, estar formados, siempre que sea factible, por materiales de la zona, ser duraderos y tener bajos costes de ejecución y mantenimiento.

Asimismo, la elección de la solución dependerá de ciertas condiciones asociadas al proyecto, como estudio de los riesgos, espacio disponible, plazo de ejecución, impacto ambiental, etc.

Los diferentes sistemas de protección y contención a aplicar en cada caso, dependerán del tipo de talud o ladera, de los materiales que lo forman y de los factores que afectan a la estabilidad de los mismos.

6.5.3. SOLUCIONES DE TIPO ESTRUCTURAL

Las soluciones de tipo estructural consisten básicamente en muros de contención y sostenimiento de diferentes tipos y materiales:

- Muros de hormigón en masa y armado
- Muros de escollera
- Muros de gaviones

Se define muro como toda estructura continua que, de forma activa o pasiva, produce un efecto estabilizador sobre una masa de terreno (Ministerio de Fomento, 1999).

- **Muros de hormigón armado.** Son muros amados interiormente con barras de acero, diseñado para poder soportar esfuerzos de tracción.

Las principales ventajas de este tipo de muros son:

- Suponen un consumo mínimo de hormigón.
- Pueden emplearse en alturas grandes (superiores a cuatro metros).

Como desventajas, se pueden mencionar:

- Requieren mejores terrenos de cimentación.
- Pueden ser antieconómicos en alturas superiores a siete metros.

- Su poco peso los hace poco efectivos en casos de estabilización de deslizamientos de masas grandes de suelo.
- El armado mediante redondos de acero en su estructura obliga a realizar una ejecución cuidadosa.
- **Muros de hormigón o de gravedad.** Son muros con gran masa que resisten el empuje mediante su propio peso y con el peso del suelo sobre el que se apoyan. No están diseñados para trabajar a tracción.

Como ventajas de los muros de gravedad, se pueden destacar:

- Son de construcción rápida y simple.
- Pueden construirse en curva y con diferentes formas.
- Admiten fácilmente el chapado de sus paramentos, lo que favorece su integración ambiental.

Las desventajas son:

- Necesitan un volumen considerable de hormigón.
- Generalmente, son antieconómicos para alturas mayores de tres metros.
- No se adaptan a los movimientos del terreno.
- **Muros de escollera.** Las obras de escollera están constituidas por bloques pétreos, con formas más o menos prismáticas y superficies rugosas.

Entre las ventajas que presentan, se puede destacar:

- Costes bajos
- Capacidad drenante importante a través de los orificios creados por los bloques de roca. Para facilitar el drenaje, es necesario dejar material granular filtrante, de tamaño menor de 15 cm, en el trasdós.
- Amortigua los posibles movimientos del talud sin perder sus propiedades resistentes.
- Se integra perfectamente en el medio ambiente debido al carácter natural de sus componentes, siendo fácilmente revegetados.

Las desventajas que presentan son:

- Requieren de la utilización de bloques de tamaño relativamente grande.
- Este tipo de estructuras deben ser estudiadas aplicando los principios de la mecánica de suelos, ya que existe la posibilidad de que se puedan producir procesos de roturas internas dependiendo de la geometría del contrafuerte. Por esta razón, para llevar a cabo un estudio teórico de estabilidad del muro de escollera, será imprescindible tener en cuenta el ángulo de rozamiento interno y la densidad de las rocas que forman la escollera.

- **Muros de gaviones.** Están formados por la superposición de cajas de forma prismática, fabricadas generalmente de enrejado de alambre galvanizado y rellenas de rocas de pequeño tamaño.

Como ventajas principales de los muros de gaviones, cabe comentar:

- No precisan cimentación.
- Adaptación al terreno.
- Fácil diseño y rápida construcción.
- Mano de obra no especializada.
- Trabajan fundamentalmente por gravedad.
- Son flexibles y son capaces de soportar ciertos asentamientos sin fracturarse.
- Presentan condiciones de drenaje y durabilidad excelentes.
- Utilización de materiales de la zona.
- Bajo coste.

Las principales desventajas son:

- Las mallas de acero galvanizado se corroen fácilmente en ambientes ácidos.
- Los bloques de roca no necesariamente están disponibles en todos los sitios y pueden condicionar el coste de la obra.
- Su espesor aumenta proporcionalmente con la altura, por lo que para grandes alturas el volumen de piedra aumenta de tal forma que puede hacer antieconómica la solución.

6.5.3.1. Cálculos

Para el cálculo de las estructuras de gravedad que actúan por su propio peso (hormigón en masa, escollera y gaviones), se realizarán las siguientes comprobaciones de la estabilidad estructural:

- Comprobación a deslizamiento
- Comprobación a vuelco
- Comprobación a núcleo central
- Cálculo de la puntera
- Cálculo del talón
- Comprobación de tensiones en el terreno

Además, para el caso de muros de hormigón armado, se realizarán los siguientes cálculos adicionales.

- Cálculo del alzado:
 - Comprobación a flexión
 - Comprobación a esfuerzo cortante
 - Comprobación a esfuerzo rasante en las juntas de hormigonado

- Comprobación a fisuración

A continuación, se indican y se desarrollan las componentes de las fuerzas actuantes, correspondientes a muros de contención y/o sostenimiento de gravedad u hormigón armado

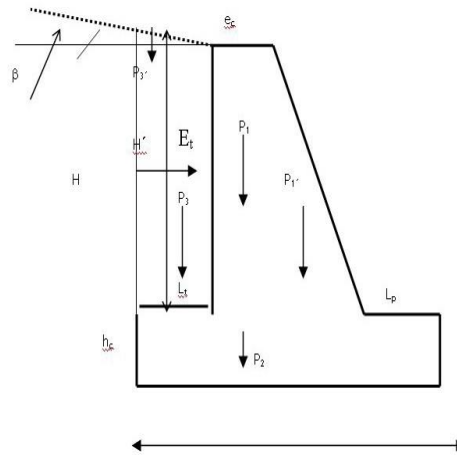


Figura 6.5.1. Fuerzas actuantes sobre un muro de contención. Fuente: Elaboración propia.

Las fuerzas actuantes son las siguientes:

- a) Empuje de tierras:

$$E_t = \gamma_t / 2 \times (H + hc) \times \lambda h$$

donde, h es el coeficiente horizontal de empuje activo, según la teoría de Coulomb:

$$\lambda_h = \frac{\text{sen}^2(\alpha + \phi)}{\text{sen}^2 \alpha \left[1 + \frac{\text{sen}(\phi + \delta) \text{sen}(\phi - \beta)}{\text{sen}(\alpha - \delta) \text{sen}(\alpha + \beta)} \right]^2}$$

- b) Peso del alzado del muro:

$$P_1 = \gamma_f \times e \times H$$

$$P_1' = \frac{1}{2} \gamma_f \times a_z \times H \text{ (Nulo en el caso de muros de hormigón armado)}$$

- c) Peso de la zapata del muro:

$$P_2 = h_c \times l_c \times \gamma_f$$

- d) Peso del terreno sobre el talón de la zapata:

$$P_3 = \gamma_t \times H \times l_t$$

$$P_3' = \frac{\gamma_t \times (H' - H) \times l_t}{2}$$

Por otra parte, teniendo en cuenta los brazos de todas estas fuerzas con respecto al extremo aguas abajo de la cara inferior de la zapata, se calculan los momentos respecto a dicho punto:

Sumatorio de fuerzas horizontales: $F_h = E_t$

Sumatorio de fuerzas verticales: $F_v = P_1 + P_{1'} + P_2 + P_3 + P_{3'}$

6.5.3.2. Definición del proceso constructivo

Para definir como se ejecutan los muros de hormigón, armados o en masa, se deben de seguir las recomendaciones de la publicación Tipología de Muros de Carretera (Ministerio de Fomento, 1997).

A continuación, se hace una síntesis de los resultados obtenidos en los cálculos de unos muros tipo, que pueden ser de aplicación directa en un proyecto, siempre que se cumplan los parámetros indicados previamente. En cualquier otro caso, se debe de proceder a realizar los cálculos correspondientes según la EHE08.

Muros de hormigón armado

Con el fin de facilitar el diseño y medición de muros de contención de tierras de hormigón armado, se incluyen, a continuación, tres muros de tres alturas diferentes para unas características dadas del terreno y de los materiales. Los parámetros de cálculo a considerar son:

PESO ESPECÍFICO DEL RELLENO DE CONTENCIÓN	$\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$
COHESIÓN DEL TERRENO DE CONTENCIÓN	$c = 0 \text{ kN/m}^2$
SOBRECARGA SOBRE EL TERRENO DE CORONACIÓN	$q = 0 / 5 \text{ kN/m}^2 \text{ }^{(1)}$
COEFICIENTE DE ROZAMIENTO ZAPATA-TERRENO	$f_t = 0,58$
TENSIÓN ADMISIBLE POR EL TERRENO DE CIMENTACIÓN	$\sigma_{adm} = 0,2 \text{ N/mm}^2$
ÁNGULO DE ROZAMIENTO ENTRE TERRENO DE RELLENO	$\Phi = 30^\circ$
ÁNGULO DE ROZAMIENTO ENTRE TERRENO DE RELLENO Y PARAMENTO DEL MURO	$\delta = 0^\circ$
ÁNGULO QUE FORMA LA SUPERFICIE DEL TERRENO DE RELLENO CON LA HORIZONTAL	$\beta = 0 / 30^\circ \text{ }^{(1)}$
ÁNGULO DEL TRASDÓS DEL MURO	$\alpha = 90^\circ$
ACERO	B500s
HORMIGÓN	25 N/mm ²
RECUBRIMIENTO DE LA ARMADURA	35 mm
NIVEL DE CONTROL	Normal
COEFICIENTE DE MINORIZACIÓN DEL HORMIGÓN	$\gamma_c = 1,50$
COEFICIENTE DE MINORIZACIÓN DEL ACERO	$\gamma_s = 1,15$
COEFICIENTE DE MAYORACIÓN DEL EMPUJE	$\gamma_{fc} = 1,50$
COEFICIENTE DE SEGURIDAD AL DESLIZAMIENTO	$Cs_d > 1,50$
COEFICIENTE DE SEGURIDAD AL VUELCO	$Cs_v > 1,80$
COEFICIENTE DE SEGURIDAD GLOBAL (CIRCULO DE DESLIZAMIENTO)	$Cs_{c,D} > 1,20$

(1) Se han considerado 2 situaciones de cálculo: una situación correspondiente a una sobrecarga en coronación de 0 kN/m² cuando la superficie de terreno de relleno forma un ángulo β de 30° con horizontal, y una situación correspondiente a una sobrecarga en coronación de 5 kN/m² cuando la superficie de terreno de relleno es horizontal.

Tabla 6.5.1. Datos orientativos para el diseño de muros de hormigón armado. Fuente: Muros de contención y muros de sótano, 2001.

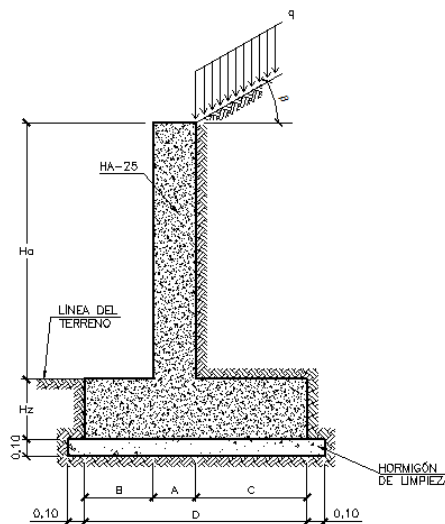


Figura 6.5.2. Dimensiones de muro tipo de hormigón armado. Fuente: Elaboración propia.

MURO HA (M)	A	B	C	D	HZ
1,00	0,25	0,30	0,50	1,05	0,35
1,50	0,25	0,40	0,65	1,30	0,35
2,00	0,25	0,50	0,90	1,65	0,40

Tabla 6.5.2. Dimensiones del muro (en mm) en función de su altura H. Fuente: Elaboración propia..

Del resultado de estos cálculos, se obtienen las siguientes mediciones resultantes:

124

MEDICIONES	MURO DE 1 M DE ALTURA	MURO DE 1,5 M DE ALTURA	MURO DE 2 M DE ALTURA
VOLUMEN DE HORMIGÓN POR METRO LINEAL DE MURO*	0,75 m ³	0,98 m ³	1,35 m ³
DIÁMETRO DE LOS REDONDOS	12 mm	12 mm	12 mm
CUANTÍA DEL ACERO POR METRO LINEAL DE MURO	51,69 kg	65,88 kg	80,44 kg

Tabla 6.5.3. Mediciones por metro lineal de muros de diferentes alturas de hormigón armado. Fuente: Elaboración propia.

*Incluye la cimentación y la nivelación con 10 cm de hormigón de limpieza HL-150.

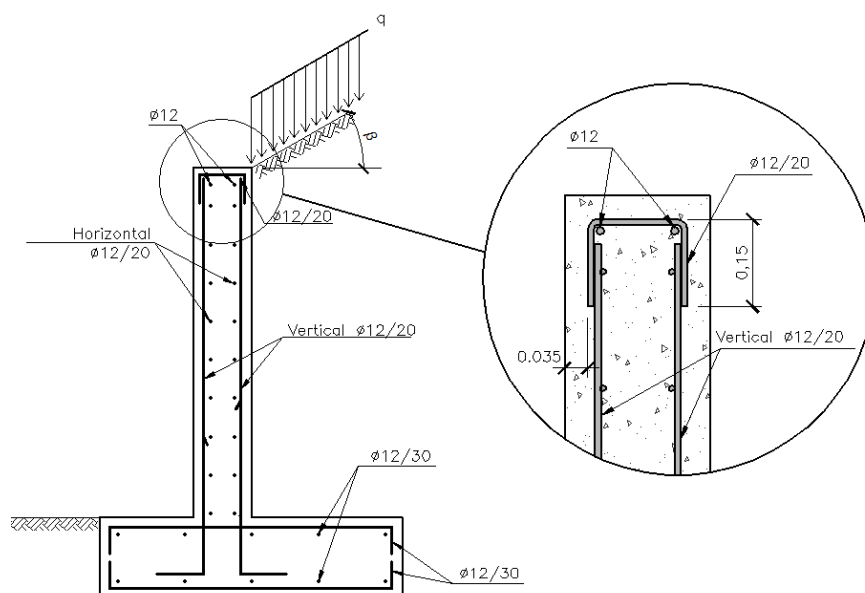


Figura 6.5.3. Perfiles de muro tipo de hormigón armado. Fuente: Elaboración propia.

Muros de gravedad o de hormigón en masa

Se muestran, a continuación, las dimensiones orientativas de un muro de hormigón en masa tipo para unas características dadas del terreno y de los materiales. Los parámetros de cálculo a considerar son 2 metros de altura útil (3 metros hasta la base de la cimentación), teniendo en cuenta las condiciones de la Tabla 6.5.1.

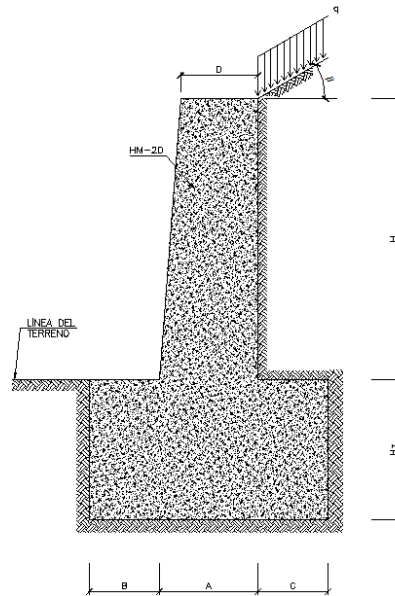


Figura 6.5.4. Dimensiones de muro tipo de hormigón en masa. Fuente: Elaboración propia.

ALTURA H MURO (M)	A	B	C	D	HZ	VOLUMEN DE HORMIGÓN POR METRO LINEAL DE MURO
2,00	0,80	0,50	0,50	0,55	1,00	3,20 m ³

Tabla 6.5.4. Dimensiones de muro de hormigón en masa de 2 metros de altura (cotas en mm). Fuente: Elaboración propia.

Muros de escollera

Son muros formados por la colocación de grandes bloques de piedras naturales sanas, compactas y resistentes. Se utilizan para dar suficiente peso cerca del pie de un talud inestable y, de esta manera, prevenir el movimiento.

Cuando estos materiales están disponibles en las proximidades del lugar donde se va a acometer la obra, este método resulta ser el más práctico y económico. En la construcción de un muro de escollera, se siguen dos fases: una primera de preparación de los cimientos, y una segunda de colocación de los bloques.

La cimentación de un muro de escollera se realiza vertiendo hormigón de limpieza en la base de éste, bajo la rasante del muro. Esta capa de hormigón proporciona una mayor rigidez, nivelando y unificando los asientos y redistribuyendo las tensiones del terreno.

Las hiladas del cuerpo del muro mantendrán la inclinación media de 3H:1V hacia el trasdós del muro. El paramento visto (intradós) no deberá ser más vertical que 1H:3V. Estos bloques no deben estar a una distancia superior de 12 cm unos de otros, apoyándose cada uno de ellos sobre otros dos, con el objeto de mejorar los asientos entre bloques y proporcionar una mayor solidez al muro.

El trasdós se rellenará de material granular filtrante con un tamaño máximo de 15 cm. colocado por tongadas a medida que avanza la construcción del muro. De esta forma, se asegura que el drenaje del muro se realiza de forma natural a través de los huecos dejados en la escollera. Para recoger las aguas que no filtren por la escollera, se colocará un tubo dren al pie del trasdós.

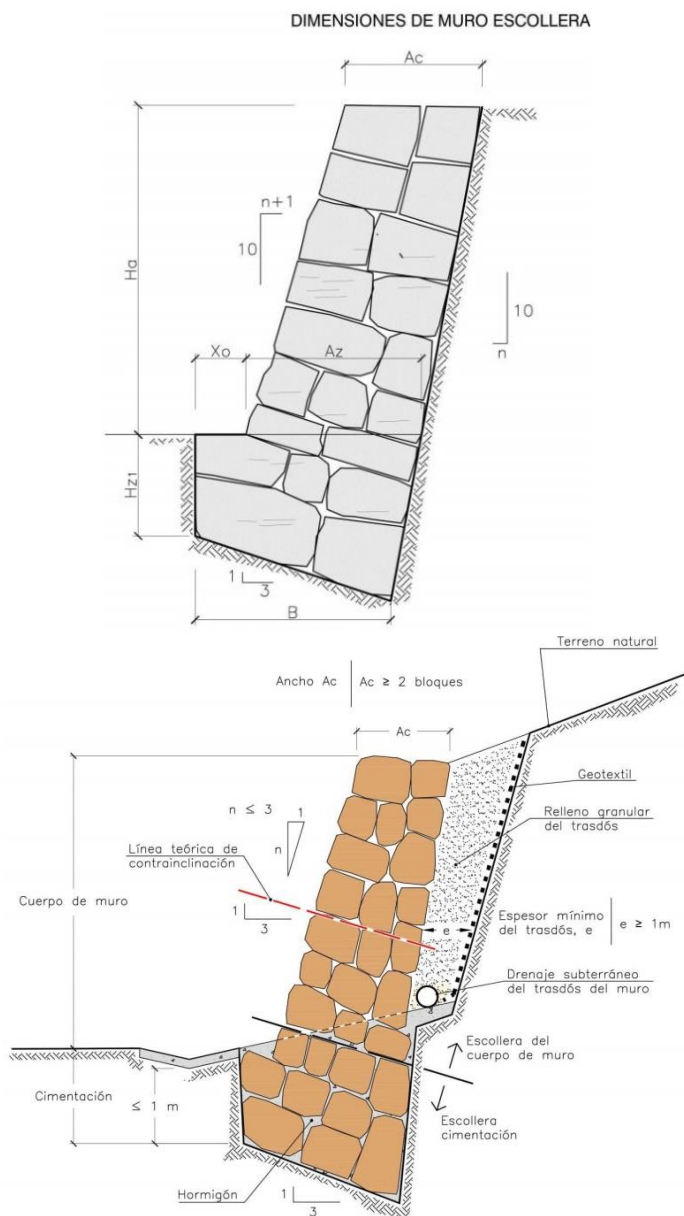


Figura 6.5.5. Esquema constructivo de un muro de escollera. Fuente: Guía para el proyecto y la ejecución de muros de escollera en obras de carretera, 2006.

Las dimensiones de estas escolleras, para diferentes alturas, se indican a continuación.

HA M	HZ ₁ M	XO M	AC M	AZ M	B M	TALUD					
						EXT		INT		ZAPATA	
						V	H	V	H	V	H
1	0,5	0,3	0,5	0,6	0,73	10,00	3,33	10,00	2,33	3,00	1,00
2	1	0,5	1	1,2	1,36	10,00	3,33	10,00	2,33	3,00	1,00
3	1,1	0,8	1,4	1,7	2,5	10,00	3,33	10,00	2,33	3,00	1,00

Tabla 6.5.5. Dimensiones de muro de escollera (cotas en m). Fuente: Elaboración propia.

Los datos de partida sobre los que se han realizado estos cálculos son los de la siguiente tabla:

TIPO DE SUELO DE CONTENCIÓN	Granular
PESO ESPECÍFICO DEL RELLENO	18 kN/m ³
COHESION	C = 0 kN/m ²
ANGULO DE ROZAMIENTO RELLENO	30 °
PESO ESPECÍFICO DE LA ESCOLLERA	19 kN/m ³
ANGULO DE ROZAMIENTO INTERNO ESCOLLERA	tgΦE = 2
PRESIÓN ADMISIBLE DE CIMENTACIÓN	1,50 kg/m ²
ANGULO DE ROZAMIENTO INTERNO DE CIMENTACIÓN	30 °
ÁNGULO DEL TERRENO SOBRE EL MURO	B = 0 - 30 ° (2)
ÁNGULO DE ROZAMIENTO TERRENO-MURO	20 °
SOBRECARGA INDEFINIDA EN EL TERRENO	q = 0- 5,0 kN/m ² (2)

(2) Se han considerado 2 situaciones de cálculo: una situación correspondiente a una sobrecarga en coronación de 0 kN/m² cuando la superficie de terreno de relleno forma un ángulo β de 30° con horizontal, y una situación correspondiente a una sobrecarga en coronación de 5 kN/m² cuando la superficie de terreno de relleno es horizontal.

Tabla 6.5.6. Parámetros de partida. Fuente: Elaboración propia.

Muros de gaviones

La mampostería gavionada consiste en una estructura paralelepípedica elaborada con mallas metálicas de alambre galvanizado de triple torsión y rellenas con las piedras más próximas a la obra.

Los muros de gaviones suelen ser de una altura no superior a 6 metros. Para obtener la relación entre la altura total H y el ancho de la base B, se recomienda utilizar la siguiente fórmula:

$$B = \frac{1}{2} \times (1 + H)$$

Los datos utilizados usualmente en el diseño de los muros de gaviones son:

COEFICIENTE DE ROZAMIENTO ENTRE GAVIONES	0,75
PESO ESPECÍFICO DE LA PIEDRA	1,8-2,4 t/m ³
TANTO POR CIENTO DE HUECOS	20%
PESO DEL GAVIÓN	1,8 t/m ³
COEFICIENTE DE ROZAMIENTO ENTRE EL TERRENO Y EL GAVIÓN	0,70
COEFICIENTE MINIMO DE COMPRESIÓN DE SEGURIDAD AL VUELCO	0,25 MPa

Tabla 6.5.7. Datos orientativos para el diseño de muros de gaviones. Fuente: Manual de estabilización y revegetación de taludes, 2002.

El cálculo de los muros de gaviones se aborda de forma similar al de los muros de gravedad, con la salvedad de que al tratarse de elementos separados (superposición de cajas), se pueden producir movimientos y giros entre éstos. El primer paso es determinar los empujes que sufre el muro de gaviones, tal como se hace con un muro de gravedad. Se determinan los pesos de todos los elementos que conforman el muro: los pesos de tierras y los pesos de gaviones, ya que cada elemento vendrá afectado de su peso específico. Como los muros de gaviones suelen tener un tanto por ciento de huecos elevado (20-30%), realmente el peso del gavión, teniendo en cuenta los huecos, puede rondar los 18 kN/m³. Se deben realizar las siguientes comprobaciones:

- Comprobación al deslizamiento. Verificar que las fuerzas desestabilizadoras no superan a las estabilizadoras con un adecuado coeficiente de seguridad.
- Comprobación al vuelco. Verificar que los momentos desestabilizadores no superan a los estabilizadores con un adecuado coeficiente de seguridad.
- Comprobación al hundimiento. La comprobación es igual que si verificáramos la zapata de un muro de contención. Pasa por determinar la distribución de tensiones sobre el terreno y verificar que no se supera la tensión admisible.

A continuación, se muestran cuatro formatos de tipos de muro de contención de gaviones en función de su modo de ejecución y disposición. Se indican dimensiones para dos diferentes alturas H y anchuras B.

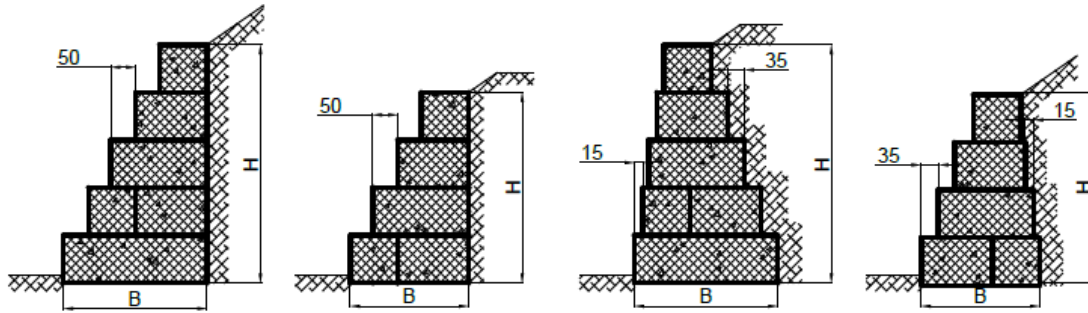


Figura 6.5.6. Muros de gaviones tipo en función de su altura H y anchura B. Cotas en cm. Fuente: Manual de estabilización y revegetación de taludes, 2002.

NÚMERO DE NIVELES	TIPO	ALTURA H MURO (m)	ANCHURA B (m)
5	Fachada escalonada Relleno plano	4	3,5
4	Fachada escalonada Relleno plano	3	2,5
5	Fachada escalonada Relleno escalonado	4	3,5
4	Fachada escalonada Relleno escalonado	3	2,5

Tabla 6.5.8. Dimensiones del muro de gaviones en función de su altura H y su tipo de perfil. Fuente: Ingeniería de Caminos Rurales. USDA, Forest Service, 2005.

La primera fila de gaviones se hace enterrada y sirve de cimiento para el muro; por tanto, la altura real de los muros indicados en la tabla anterior es de 4 m ó de 3 m, respectivamente.

Los elementos fundamentales utilizados en la forma de construcción de gaviones son las jaulas o mallas metálicas que se transportan hasta la zona de obra plegadas en paquetes, desdoblándose, sobre una base plana, en el lugar donde van a ser colocadas. Después, se ensambla la jaula mediante alambres de acero galvanizado, dejando la tapa abierta, y se procede a unir varios módulos, cosiendo unas jaulas a otras mediante alambres de acero galvanizado reforzado de 2,40 mm de diámetro. También es frecuente el uso de jaulas de diafragma, lo que aumenta la resistencia de las mismas.

En la estructura metálica, es necesario colocar un encofrado con bastidores metálicos o de madera que mantengan la tensión en los paramentos y, posteriormente, colocar en el interior de las jaulas unos tirantes de alambre galvanizado, que eviten los procesos de abultamiento o deformación que se pueden generar durante el relleno. Estos tirantes se pueden situar orientados de forma diagonal o paralela a las caras de la estructura.

El relleno de los gaviones se puede realizar manualmente o con máquinas, generalmente retroexcavadoras. El último paso consiste en el cierre de la jaula mediante alambre galvanizado.

6.5.3.3. Materiales a emplear

Muros de hormigón

El hormigón, las armaduras, así como los materiales de relleno y filtrantes, cumplirán las condiciones de la vigente Instrucción de hormigón estructural (EHE-08) y el Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3).

Muros de escollera

Los bloques han de ser de piedras naturales sanas, compactas y resistentes, tales como caliza, granito, gabros, cuarcitas, etc., procedentes de zonas próximas a los lugares donde se pretende realizar las obras, con un peso específico superior a 2,6 t/m³ y una resistencia a compresión simple superior a 70 MPa.

El peso de los bloques debe superar los 250 kg y ser de morfología prismática, pudiendo estar alguna de las caras a media labra.

Muros de gaviones

La jaula estará realizada con alambre de acero galvanizado. Por lo general, se utilizan mallas de triple torsión, con una resistencia a la tracción comprendida entre 410 y 500 MPa, con un contenido mínimo de zinc de 240g/m³ para una malla de 5 x 7 de escuadría, diámetro de 2mm y de 260 g/m² para mallas de 8 x 10 de escuadría, con diámetros de 2,40 y 2,70 mm.

Los alambres constituyentes de la malla, aparte de estar galvanizados en los casos donde vayan a estar sometidos a condiciones extremas (por ejemplo, zonas de aguas agresivas) suelen llevar un recubrimiento de cloruro polivinílico. El galvanizado de zinc proporciona una buena adherencia a la estructura, a la vez que la protege contra la corrosión, por lo que se aumenta su vida útil.

En cuanto a los materiales de relleno, por lo general, se suele utilizar roca caliza, granito, cuarcita o productos procedentes de demoliciones como ladrillo u hormigón. No es conveniente mezclar distintos tipos de materiales en el relleno, ya que, de esta manera, se puede romper la uniformidad de las propiedades resistentes del muro. Estos materiales deben tener un alto peso específico y el tamaño de los bloques debe ser del orden de 1,5 veces mayor que la abertura de malla. No son recomendables las rocas foliadas o frágiles.

6.5.4. SISTEMAS PARA EL CONTROL DE DESPRENDIMIENTOS

Fundamentalmente, se utilizan mallas de triple torsión, aunque existen fabricantes que aseguran la misma resistencia con una malla de simple torsión. Por este motivo, en este manual, nos remitiremos al uso de mallas sin especificar si es de simple o triple torsión. El proyectista deberá determinar la resistencia necesaria que debe tener cada una de las mallas. En fase de obra, el contratista y la Dirección de Obra tomarán la decisión de usar un determinado modelo.

Antes de definir la colocación de un sistema de control o estabilización de un talud, el proyectista deberá describir dicho talud desde el punto de vista geomecánico.

Se utilizan las mallas para el control de desprendimientos con el fin de:

- Evitar que las rocas que se desprenden de los taludes caigan sobre el camino, guiando los bloques desprendidos a zonas sin riesgo.
- Estabilizar el talud, evitando el desprendimiento de cualquier bloque rocoso.

En el primer caso, la solución que se aplica en la mayoría de las situaciones es la instalación de mallas de guiado que encauzan el movimiento de los desprendimientos, favoreciendo que se realice lo más lento posible hasta el pie del talud, donde se van acumulando los desprendimientos. Existen dos tipos:

- El primero es la combinación de malla con los bulones que evita la caída de cuñas y bloques de grietas abiertas. Consiste en la colocación de malla, anclada en la parte superior con barras de anclaje de acero y cogida al talud mediante bulones de cosido con una profundidad calculada en proyecto, formado por barra de acero corrugado y lechada de cemento. Para estas mallas, es necesario realizar una labor de mantenimiento para eliminar los embolsamientos de materiales desprendidos que se producen con el paso del tiempo. El mantenimiento consiste en el levante de la malla, la recogida del material desprendido y la colocación de la malla y los bulones de adose en idéntica posición. Este tipo de mallas son efectivas para taludes con material suelto de tamaño menor de 50 cm.
- El segundo es el que más se suele utilizar y consiste en una malla de guiado (colgada) que se extiende sobre el talud anclándose únicamente en la parte superior. La parte inferior se lastra mediante elementos que funcionan como contrapeso. Este tipo de mallas son efectivas para taludes constituidos por materiales sueltos y muy fracturados.

En ambos casos, se deberá asegurar que la colocación de los anclajes superiores en coronación no favorezca la inestabilidad del talud. Por este motivo, el proyectista deberá definir el tipo de anclaje, la profundidad y la distancia a la que colocará el anclaje con respecto al borde del talud.

En el segundo caso, para tratar de evitar los desprendimientos de bloques rocosos, la solución pasa por anclar y fijar estos bloques de manera segura por medio de bulones, mallas de cables o redes de cables que sujeten el conjunto del macizo rocoso. Se pueden utilizar varios tipos de protección:

- Utilización de mallas reforzadas con cables de acero, colocadas en diagonal, formando rombos en cuyos vértices se anclan bulones de profundidad no inferior a 1,5m. Existen fabricantes que utilizan mallas reforzadas con cables alineados horizontal y verticalmente. Preferiblemente, se usarán las mallas con disposición en diagonal, pero se podrán utilizar las demás siempre y cuando cumplan los criterios de resistencia necesarios para asegurar la estabilidad del talud.
- Colocación de una malla cubriendo todo el bloque o zona que se desea proteger y sujetarlo mediante una red de cables. Mientras que la malla cubre desde la coronación del talud hasta el mismo pie, la red de cables se dispone en paños de diferentes dimensiones y con diferentes tamaños de abertura. En cada vértice del paño, se dispondrán bulones anclados a la roca con una profundidad tal que permita asegurar el sistema a roca sana. Para ello, se deberá definir el estrato rocoso y su potencia.
- En ocasiones puntuales, se podrá realizar el anclaje mediante bulones de longitud adecuada para coser bloques rocosos a la superficie sana. Para determinar la longitud del bulón, es necesario el aporte de datos geomecánicos de los estratos rocosos.

Es necesario mencionar que en el mercado existen diferentes soluciones de control de desprendimientos y que deberán ser tenidas en cuenta a la hora de determinar la solución idónea.

6.5.4.1. Ensayos y estudios previos

Para el diseño de las actuaciones de control de desprendimientos, se realizará un estudio en el cual se analizarán los siguientes factores:

- Topográficos:
 - Localización
 - Orientación
 - Exposición
 - Pendiente
 - Longitud de ladera
- Edafológicos:
 - Pedregosidad y erosionabilidad
 - Estado de conservación del suelo superficial
- Geotécnicos:
 - Presencia de procesos activos naturales (erosión, desprendimientos, deslizamientos, etc.)

- Altura del talud y superficie
- Inclinación del talud
- Cohesión del suelo, peligro de corrimientos y de desprendimientos de parte del suelo
- Geomecánicos:
 - Fisuración del talud. Dimensiones y orientación
 - Inclinación
 - Existencia de bloques inestables
 - Determinación del círculo de rotura
 - Determinación del factor de seguridad del talud
- Climatológicos:
 - Altitud
 - Pluviometría media y distribución
 - Precipitaciones máximas
- Hidrológicos:
 - Presencia de cursos de agua
- Paisajísticos:
 - Análisis del entorno

6.5.4.2. Definición del proceso constructivo

Menos en el anclaje mediante bulones sueltos, en el resto de los procesos, se parte de la colocación de la malla y, luego, se completa con el procedimiento que se considere adecuado. Por ello, de forma previa a la actuación, se procederá al saneo de los taludes a proteger y a la retirada de material suelto y piedras semidesprendidas, bien manualmente si fuese necesario o mediante maquinaria situada a pie de talud o en su cabecera.

Siempre que sea posible, se realizará una correa de hormigón en la parte superior del talud, que debe servir de anclaje a los piquetes de colgado de la malla. Esta correa tendrá una anchura de 20 cm y una profundidad variable en función del tipo de sustrato.

Si no es posible construir la correa de hormigón, la malla se anclará en la cabecera del talud, a una distancia de entre 2 y 4 metros del borde, mediante bulones de acero corrugado, de diámetro no inferior a 20 mm y, al menos, 1 metro de longitud, separados entre sí de 2 a 4 metros y asegurados con lechada de mortero. La malla se ancla a los bulones de cabecera mediante una barra de acero corrugado de 10 mm de diámetro.

En el caso de que el estudio geomecánico determine que la colocación de los anclajes de la malla en cabecera suponga o amplie la inestabilidad del talud, se buscarán métodos de anclaje mediante eslingas que permitan el retranqueo de los anclajes varios metros alejados del borde de talud.

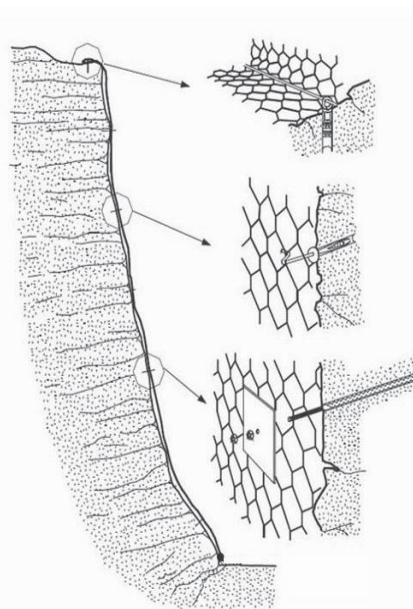


Figura 6.5.7. Revestimiento de un talud con malla (en este caso, de triple torsión). Fuente: Modificado de Maccaferri, 1998.

Colocación de la malla

Una vez consolidados en la correa de hormigón los piquetes de anclaje, o bien simplemente clavados a la roca en la forma descrita, se doblará el enrejado por uno de los extremos de la pieza, en dos pliegues de un metro aproximadamente y se fijará a los piquetes de anclaje por los agujeros de las mallas, atando éstas fuertemente a aquellos con alambre. Cuando sea conveniente conseguir una mayor repartición de esfuerzos, una vez ancladas las mallas del enrejado, la parte sobrante anterior a la alineación de piquetes se coserá en forma de solapa a una barra de acero fijada entre los mismos. A continuación, se irán descolgando los rollos de la malla hacia la parte baja.

Se medirá la altura requerida en cada tramo cubierto por el ancho del lienzo empleado. Se cortará la malla al largo necesario y se colocará en el tramo a proteger. Para ello, se puede o bien dejar caer desde el borde superior, o bien dejar el trozo de lienzo cortado en la base del talud, atando al extremo unas cuerdas e izándola tirando desde el borde superior.

Los rollos se unen entre sí, cosiendo los bordes de cada uno con alambre de atar. Los bordes, para un mejor y más resistente cosido, deberán solaparse al menos 30 cm, pasando un alambre a lo largo de los bordes de los paños de arriba abajo.

En la cara del talud, la malla se mantiene libre, lastrando la parte inferior, atando a todo lo largo barras de acero para permitir su contacto con el talud, o bien el enrejado se fijará al pie del talud, hincándose piquetes cada metro por los orificios de las mallas, de forma que pueda levantarse el enrejado por esta parte.

La parte inferior de la malla se termina entre 0,5 m y 1 m por encima del pie del talud para facilitar el mantenimiento.

Malla reforzada. Cuando sea necesario, para mejorar la estabilidad del talud, reforzar la malla, la fijación del enrejado al talud se realizará mediante el empleo de bulones de acero con cabeza completa constituida mediante placa y tuerca, que se colocarán en cantidad de 1 bulón cada 16 m² (4H x 4V), instalándose, como refuerzo de la malla, cable de refuerzo de 12 mm de diámetro en disposición perimetral y diagonal.

Red de cables. En el caso concreto de tener que sujetar paredes rocosas con riesgo de desprenderse grandes bloques de piedra, se procederá a fijar éstos mediante una red de cables de paso variable y con dimensión de paño adecuado a cada zona y a la disposición de los bulones de anclaje, que se colocarán sobre la malla colgada.

Los anclajes se fijan a la pared rocosa con un espaciado correspondiente a las dimensiones de los paneles y una profundidad tal que penetre suficientemente en roca sana (el dimensionamiento de la profundidad es función tanto de la naturaleza de la roca como de su estado de fracturación y de la resistencia a tracción del anclaje). En la cabeza del anclaje, se dispone una argolla para permitir la unión de los cables y de una chapa de reparto de los esfuerzos. Los paneles están unidos entre sí mediante cables de ligado que poseen las mismas características resistentes que el cable de la red. Los terminales de los cables permanecerán fijos, por medio de elementos como mordazas o prensacables, previa la interposición de un guardacabo.

Las dimensiones de los anclajes vendrán determinadas por los ensayos geomecánicos realizados sobre el propio talud

6.5.4.3. Materiales

Malla de alambre de simple o triple torsión

Está constituida por una serie de alambres que, después de ser tejidos en torsiones, forman un rombo (en el caso de mallas de simple torsión) y un hexágono (en el caso de mallas de triple torsión), alargados en sentido de una de sus diagonales.

Las mallas serán de alambre galvanizado reforzado de 2,7 mm de diámetro, de malla hexagonal o romboidal de 8 mm x 10-16 mm, con una resistencia a la tracción comprendida entre 410 y 500 MPa y un contenido mínimo de zinc de 260 g/m³.

Malla reforzada

Se utilizará una malla de simple o triple torsión. Sobre la misma, se diseñará un refuerzo en disposición perimetral y diagonal o cruzada con cable de acero monofilar de 12 mm de diámetro.

Red de cable

Los paneles de red serán de acero monofilar, de dimensiones de abertura de malla de 200 x 200 mm a 400 x 400 mm y una carga mínima de rotura de panel 45 KN/m², generalmente, sin cables de borde y con el diámetro del cable de la malla de 8 mm, con alma metálica galvanizada según la Normativa UNE 7404-74 clase AB. Las mallas están fijadas en sus nudos por mordazas o grapas cerradas a presión, de manera que resistan una fuerza de apertura cercana a 300 kg (mínimo), galvanizadas electrolíticamente. Las dimensiones de los paneles serán de 3 m a 6 m según el espaciado requerido entre los anclajes.

Elementos de anclaje

Son elementos de cosido al terreno capaces de resistir esfuerzos, mediante un bulón o anclaje.

- **Bulón.** Lo más habitual es que se utilicen del tipo pasivo, es decir, que entra en tracción por sí solo al oponerse la cabeza al movimiento del terreno inestable o de la estructura. Los anclajes pasivos o pasadores serán barra roscada B 500 acero.
- **Malla colgada.** Los piquetes para sujeción y anclaje de la malla serán redondos de acero galvanizado y pintado con pintura anticorrosiva de 12 mm a 14 mm de diámetro y longitud variable entre 80 cm y 125 cm, según la altura y las características del desmonte.
- **Malla reforzada.** Igual que el anterior, pero de diámetro 25 mm y profundidad a definir, con un mínimo de 1,50 m y con calidad mínima de 1030 N/mm², inyectados con lechada de cemento (relación agua/cemento = 0,5 hasta 1,5 veces el volumen teórico).
- **Red de cables.** Generalmente, los anclajes son barras de acero embebidas en hormigón o mortero, no galvanizado, de diámetro 20-25 mm, con un extremo roscado. Su profundidad es de, al menos, 3 m, el diámetro del agujero es de 32-35 mm y está relleno, después de la introducción de la barra, con lechada de cemento o resinas cementantes.

6.5.5. SOLUCIONES DE BIOINGENIERÍA

Las técnicas de bioingeniería se basan en la utilización de plantas vivas como elemento constructivo, conjuntamente o no con material inerte (material leñoso, piedras, mallas metálicas, geotextiles o productos sintéticos).

Estas técnicas se pueden dividir en tres grandes grupos:

Técnicas de recubrimiento

Son técnicas destinadas a evitar la erosión superficial. Dentro de este grupo, se distinguen:

- Siembras de diversos tipos, con o sin acolchados
- Hidrosiembras, tanto de especies herbáceas como de especies leñosas
- Mantas y redes orgánicas

Técnicas de estabilización

Estas técnicas permiten estabilizar el terreno hasta dos metros de profundidad y se basan en la disposición de plantas leñosas obtenidas por reproducción vegetativa y colocadas en filas horizontales.

Las plantas tienen que tener la capacidad de emitir raíces adventicias, de manera que formen un entramado que permita la sujeción del terreno. Dentro de estas técnicas, se pueden enumerar:

- Fajinas vivas
- Paquetes de matorral
- Estaquillados de sauces
- Lechos de ramaje
- Esteras de ramas
- Empalizada

Técnicas mixtas

Estas técnicas conjugan la utilización de elementos vegetales con materiales inertes, tales como madera, acero galvanizado, piedra, hormigón, etc. El material inerte actúa como estabilizador hasta que las plantas sean capaces de realizar esta función. Dentro de estas técnicas, se encuentran:

- Fajinas mixtas
- Gaviones revegetados
- Geoceldas y geomallas volumétricas

6.5.5.1. Ensayos y estudios previos

Para el diseño de las actuaciones, se realizará un estudio en el cuál se analizarán los siguientes factores:

- Topográficos:
 - Localización
 - Orientación
 - Exposición
 - Pendiente
 - Longitud de ladera
- Edafológicos:
 - Capa de suelo enraizable
 - Textura y estructura
 - Reacciones del suelo (valor del pH), contenido de nutrientes, contenido en materia orgánica, contenido de carbonatos, etc.

- Permeabilidad del suelo y capacidad de retención de agua
- Pedregosidad y erosionabilidad
- Estado de conservación del suelo superficial
- Geotécnicos:
 - Presencia de procesos activos naturales (erosión, desprendimientos, deslizamientos, etc.)
 - Altura del talud y superficie
 - Inclinación del talud
 - Cohesión del suelo, peligro de corrimientos y de desprendimientos de parte del suelo
- Climatológicos y fitoclimatológicos:
 - Altitud
 - Pluviometría media y distribución
 - Precipitaciones máximas
 - Temperaturas medias, máximas y mínimas
 - Índices fitoclimáticos (ETP, ETR, balance hídrico, climodiagramas, clasificaciones de Rivas Martínez y Allué, etc.)
 - Mapa de Series de Vegetación de Rivas Martínez
 - Valor del factor R de la ecuación universal de pérdidas de suelo
- Hidrológicos:
 - Nivel de la capa freática
 - Presencia de cursos de agua
- Paisajísticos:
 - Análisis del entorno

A partir del estudio de los factores ambientales, se establecerán las características de los tratamientos a diseñar y, sobre todo, del tipo de vegetación a implantar:

- Determinación de las especies más acordes, según los condicionantes edáficos y climáticos. Árboles y arbustos, preferentemente de la vegetación climática.
- Características botánicas de la especie (tipo de reproducción, velocidad de crecimiento, tipo de sistema radical, etc.).
- Características fisiológicas de la especie (tolerancia a la sequía, al encharcamiento, a la salinidad, cal, acidez, etc.).
- Características propias de cada especie referentes a:
 - Facultad de colonizar terrenos degradados (especies pioneras)
 - Capacidad de emisión de raíces adventicias
 - Capacidad de enraizamiento de estacas y ramas
 - Resistencia a la tracción mecánica de raíces y brotes
 - Capacidad de cobertura de la superficie
 - Capacidad de supervivencia postplantación

6.5.5.2. Definición del proceso constructivo

Siembras e hidrosiembras

Las hidrosiembras están recomendadas para taludes con inclinaciones hasta 35° (aproximadamente, 70% de pendiente).

Los componentes y la aplicación de las hidrosiembras, que habrá que ajustar para cada caso concreto, se detallan a continuación:

- Época de siembra: septiembre-febrero
- Forma de aplicación: hidrosiembra en dos fases. La primera aplicación contendrá todos los componentes principales: semillas, parte del acolchado (mulch), parte del fijador y agua.

La segunda aplicación tiene como objetivo cubrir las semillas para favorecer su germinación, utilizando una mezcla con el resto de acolchado, fijador y agua.

- Composición en especies: de 10 a 15 especies presentes en la vegetación climática, entre ellas, al menos una especie de crecimiento rápido (estárter), por ejemplo, *Lolium rigidum*. Se recomienda distribuir las especies de la forma siguiente:
 - 2-4 gramíneas (1 especie anual como máximo)
 - 2-4 leguminosas (1 especie anual como máximo)
 - 2-4 herbáceas de cobertura (1 especie anual como máximo)
 - 4-7 arbustos y matas
- Dosis total de semillas: 350 kg/ha. Se recomienda que la proporción de especies (en número de semillas) sea la siguiente:
 - 50% especies de fijación (gramíneas)
 - 25% especies fijadoras de nitrógeno (leguminosas)
 - 15% herbáceas de cobertura
 - 10% arbustos y matas

En el caso de algunos arbustos y matas, es posible que deban realizarse pretratamientos antes de incorporar las semillas a la mezcla, para aumentar su capacidad de germinación:

- Acolchado: 600-1.000 kg/ha de fibra corta (madera, paja, coco o similar)
- Fijador orgánico o inorgánico: 100-150 kg/ha
- Agua: 25-50 m³/ha
- Fertilizantes inorgánicos, para corregir las deficiencias del sustrato

En el caso que la zona a tratar presente actividad importante de herbívoros, se puede incorporar algún producto repelente para disminuir la predación.

Mallas y mantas orgánicas

Se utilizan para proteger la superficie del talud frente a la erosión, retener las capas superficiales del terreno y aportar materia orgánica en su descomposición. Asimismo, favorecen los procesos de enraizamiento y desarrollo de la vegetación.

Las mantas se utilizan en taludes con mayor pendiente, pudiéndose superar los 45°, y con problemas erosivos fuertes. En el caso de las mallas o redes, se utilizan generalmente en taludes de menor pendiente y cuando se pretende una estabilización temporal, ya que las mallas se descomponen en menor tiempo que las mantas y su coste es menor que el de las mantas.

Los materiales más habituales para las mallas son el yute y el coco. Las de yute tienen una vida más corta (se descomponen en un año) y son de menor coste. Las de coco son más resistentes y presentan diferentes gramajes y tamaños de luz (más densa, cuanto mayor sea la pendiente o cuanto más intensa sea la erosión), descomponiéndose en dos años aproximadamente. En función de la pendiente del talud, se pueden definir los materiales que componen las mallas.

INCLINACIÓN DEL TALUD	MATERIAL
< 3:1	Yute 500 gr/m ²
2:1	Yute 900 gr/m ² y coco 400 gr/m ²
3:2	Coco 700 gr/m ²
>3:2	Coco 900 gr/m ²

Tabla 6.5.9. Materiales y gramajes para mallas orgánicas en función de la pendiente del talud. Fuente: Elaboración propia.

Para las mantas, los materiales son paja, coco, y esparto, pudiéndose mezclar dos componentes (paja-coco, paja-esparto y esparto-coco). Como en el caso anterior, se pueden definir los materiales que componen las mantas en función de la pendiente del talud.

INCLINACIÓN DEL TALUD	MATERIAL
< 3:1	Paja
2:1	Paja-coco y paja-esparto
1:1	Coco
> 1:1	Esparto y esparto-coco

Tabla 6.5.10. Materiales para mantas orgánicas en función de la pendiente del talud. Fuente: Elaboración propia.

La instalación de las mallas y mantas orgánicas incluye las siguientes operaciones:

- Anclaje de la malla o manta a la cabecera del talud mediante una zanja de 20x20 cm o 30x30 cm. Se fija con una hilera de grapas, separadas 0,50 cm, al fondo de la misma.
- El desenrolle se realizará longitudinalmente, a lo largo del talud, sin tensar y procurando que esté en pleno contacto con el suelo, facilitando su adherencia y el crecimiento de las plantas.
- Fijación mediante grapas adecuadas a la dureza o penetrabilidad del terreno.

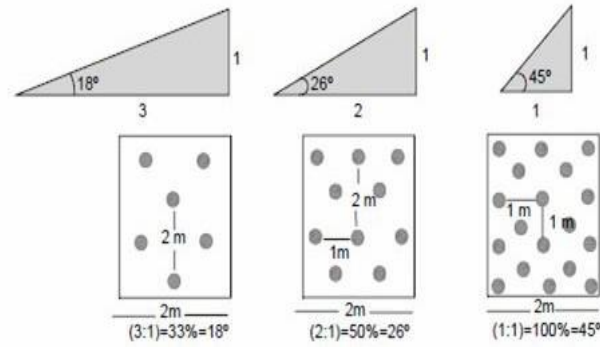


Figura 6.5.8. Anclaje de grapas al talud según la pendiente del mismo. Fuente: Bon Terra Ibérica, 2010.

- Los solapes de las tiras serán, como mínimo, de 10 cm, tanto lateralmente como a principio y final de la manta, debiendo, en este caso, montar la manta remontante sobre la descendente y anclarlas mediante una hilera de grapas distantes no más de 50 cm.
- Anclar las tiras de manta adyacentes extremo sobre extremo a una distancia máxima de 2 metros y mínima de 1 metro.

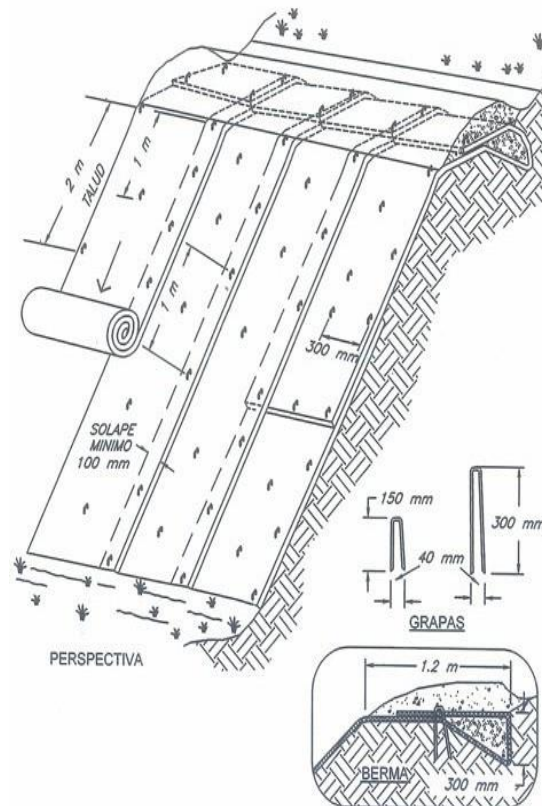


Figura 6.5.9. Instalación de mantas orgánicas. Fuente: Manual de estabilización y revegetación de taludes, 2002.

Fajinas vivas

Las fajinas vivas están construidas a partir de especies leñosas: sauces, taráis, alisos o chopos, formando fardos con una estructura cilíndrica. La disposición de las estacas estará orientada según las curvas de nivel, dotándolas de una ligera pendiente hacia los laterales del talud para

drenar el exceso de humedad. Las fajinas se colocarán al trespelillo, con el fin de disminuir la longitud de la ladera, minimizando los procesos erosivos.

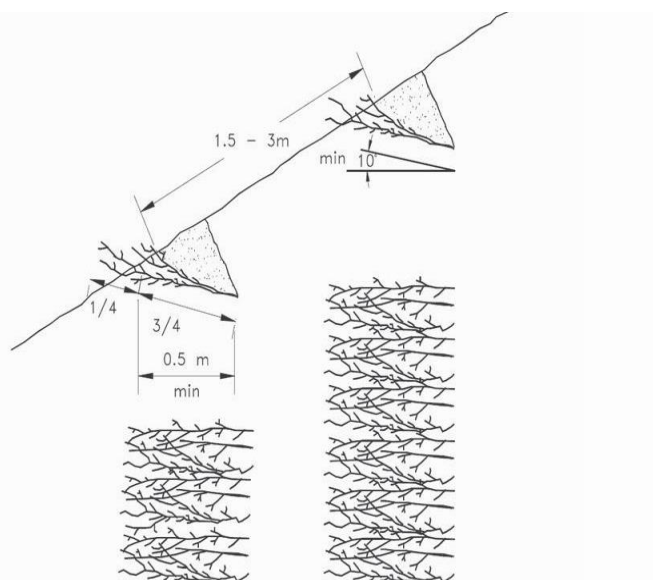


Figura 6.5.10. Fajinas vivas. Fuente: *Deslizamiento y estabilidad de taludes en zonas tropicales, 1998.*

El material vivo de la fajina enraíza y pasa a formar parte de la cobertura estabilizadora. Las fajinas vivas proporcionan un incremento inmediato de la estabilidad de la superficie y pueden aumentar la estabilidad del suelo hasta una profundidad de 0,75-1 m a medida que las raíces se van desarrollando.

Al elegir el material vegetal, conviene tener en cuenta que los sauces jóvenes, menores de 1 año, desarrollan las yemas de crecimiento con mucha facilidad, los ejemplares adultos tienen mayores reservas vegetativas y los de mayor edad son más resistentes. Conviene, por tanto, mezclar material de todas las edades, procurando que la mayoría corresponda a ejemplares de entre 1 y 4 años.

Para construir la fajina, se emplean ramas de entre 1 y 9 m de longitud y entre 15 y 30 mm de diámetro. Las ramas se agrupan para formar un haz y se atan cada 30-50 cm con bramante o cuerda fina hecha con fibras vegetales. Las dimensiones recomendadas para la fajina completa son de 15 a 30 cm de diámetro y de 2 a 10 m de longitud, aunque estas dimensiones pueden variar dependiendo de las condiciones particulares de la zona de actuación.

Las yemas apicales de crecimiento deben quedar orientadas en la misma dirección y los extremos de las ramas y tallos uniformemente distribuidos a lo largo de la fajina. Para anclar las fajinas, pueden utilizarse estaquillas o estacas de madera maciza. Las estaquillas deben tener unos 0,5 m de longitud como mínimo, si el talud es en desmante, y 0,75 m, si está construido en terraplén. Las estacas de madera maciza deben tener entre 0,6 y 1 m de longitud.

Las estacas deben clavarse en la ladera verticalmente y con profundidad suficiente para quedar enrasadas con la parte superior de la fajina.

Es conveniente construir las fajinas de ladera comenzando desde la parte inferior de ésta, por lo que la instalación comienza por la base del talud excavando una zanja transversal a la pendiente de longitud igual o ligeramente superior a la de la fajina y anchura variable, dependiendo del ángulo de pendiente del talud (0,3 - 0,5 m). La profundidad de la zanja debe ser aproximadamente la mitad del diámetro de la fajina.

Fajinas mixtas

Cumplen las mismas funciones que las vivas, solo que en lugar de ramas, se utilizan en su construcción rollizos de madera y/o redondos de acero.

Están formadas por estacas de pino de 1 m de longitud y 10 cm de diámetro, hincadas en el suelo 50 cm, a las que se clavan otros cinco rollizos de 2 m de longitud y el mismo diámetro, hasta formar una pantalla de 50 cm de altura. Se rellenan de tierra vegetal y se procede a la plantación de especies leñosas de fácil arraigo.

El proceso constructivo es muy similar a las fajinas vivas.

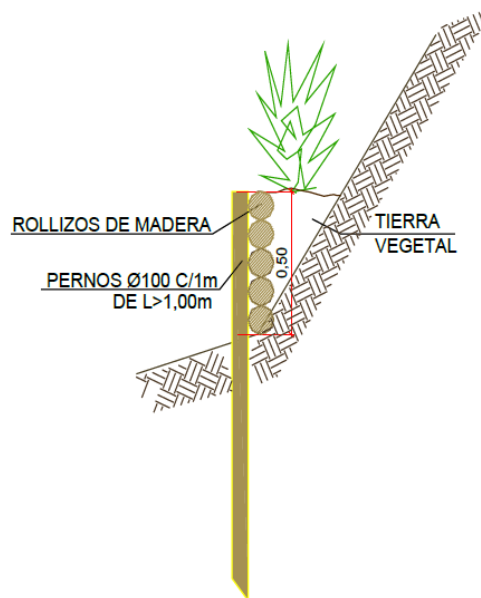


Figura 6.5.11. Vista lateral de fajina mixta revegetada. Fuente: Elaboración propia.

Desde la base del talud hacia su parte alta, se van instalando sucesivas filas de fajinas hasta completar el tratamiento. Siempre que sea posible, es conveniente instalar una o dos filas de fajinas sobre la parte superior del talud. La distancia entre las sucesivas filas de fajinas varía en función de la pendiente y la longitud del talud.

PENDIENTE EN GRADOS	DISTANCIA ENTRE FAJINAS (m)	LONGITUD MÁXIMA DE LA PENDIENTE (m)
11-14	2,75-3,00	18
14-18	2,50-2,75	15
18-20	2,00-2,50	12
20-25	1,50-2,00	9
25-33	1,25-1,50	6
33-45	0,80-1,25	5

Tabla 6.5.11. Distancia en metros entre fajinas. Fuente: Manual de estabilización y revegetación de taludes, 2002.

Este tipo de construcciones sólo debe realizarse durante la estación de reposo vegetativo.

Paquetes de matorral

Esta técnica de corrección de cárcavas en taludes consiste en rellenar la cárcava con capas alternas de ramas de matorral enraizante, tierras de relleno compactadas y tierra vegetal, fijando el conjunto con una serie de rollizos de madera clavados en el fondo de la depresión.

Esta técnica es efectiva para el refuerzo y la estabilidad frente a fenómenos erosivos. Las ramas actúan como tirantes que refuerzan el suelo una vez instaladas. Cuando comienzan a crecer y desarrollan follaje, frenan la escorrentía y disipan su energía erosiva. Las raíces enlazan el material de relleno y lo anclan al sustrato de suelo natural, formando una masa unificada. La vegetación desarrollada actúa como barrera, reduciendo la erosión y el socavamiento de los materiales.

Se utilizarán ramas de 10 a 50 mm de diámetro y longitud suficiente para llegar a contactar con la superficie del talud en el fondo de la depresión que se está reparando y sobresalir ligeramente por la parte externa de ésta. Los rollizos de madera tendrán entre 1,5 y 2,5 m de longitud y de 75 a 100 mm de diámetro.

La instalación comienza por el punto más bajo de la zona a reparar, hincando las estacas de madera verticalmente a una profundidad entre 1 y 1,25 m, distanciadas entre si de 15 a 30 cm.

Se sitúa una capa de ramas de entre 10 y 15 cm de espesor en el fondo del deslizamiento, entre las estacas verticales, perpendicularmente a la cara del talud. Las ramas deben situarse entrelazadamente con los extremos de las yemas de crecimiento orientadas hacia la superficie del talud. Las siguientes capas de ramas se colocan con el extremo final más bajo que el extremo que tiene las yemas de crecimiento.

Cada capa de ramas se cubre con una capa de tierra vegetal compactada para asegurar un íntimo contacto con el suelo. Una vez concluida la instalación, el perfil final del relleno de ramas y tierra debe enrasar con la superficie del talud, sobresaliendo ligeramente las ramas

sobre la capa de relleno. La tierra vegetal de relleno debe de humedecerse para evitar que las ramas se des sequen.

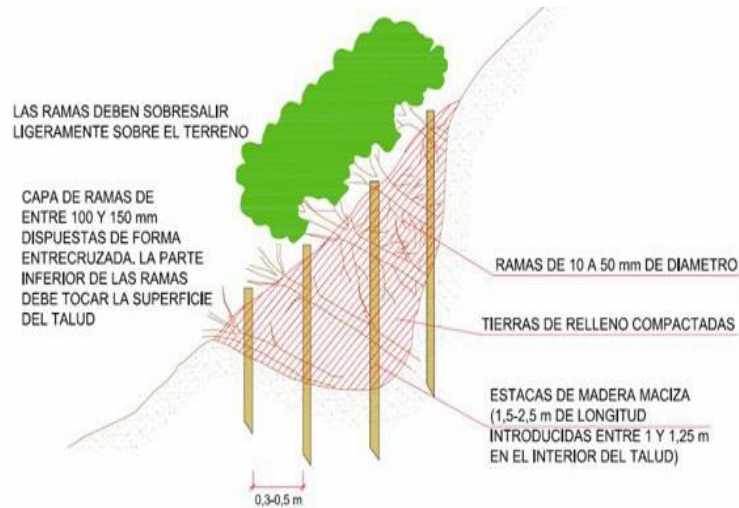


Figura 6.5.12. Paquete de matorral. Fuente: Adaptado del Manual de estabilización y revegetación de taludes, 2002.

Estaquillados de sauces

El talud se estaquillará con especies de sauce (*Salix atrocinerea*), insertadas directamente en el talud. Las prescripciones, de forma resumida, son las siguientes:

- Las estaquillas tendrán una longitud de unos 60-100 cm y un diámetro mínimo de 2 cm, preferentemente, de 3-5 cm.
- Se cortarán a la medida adecuada y se introducirán en el talud con golpe de martillo, realizando previamente un agujero con una barrena metálica.
- Las estaquillas se colocarán aproximadamente con 10° respecto de la horizontal y con la debida polaridad.
- Se introducirán 2/3 en el terreno y se dejará 1/3 a la vista. Se repararán las puntas dañadas.
- Se realizará en el periodo de parada vegetativa de las plantas.
- La densidad de estaquillado será de 2 estacas/m²

Lechos de ramaje

Comenzando por el pie de la ladera, se cavan terrazas de 15 a 100 cm de anchura, ya sea a mano o con maquinaria. La plataforma de la terraza debe tener una inclinación del 10 por ciento, como mínimo, hacia el exterior, de modo que las ramas puedan enraizar en toda su longitud.

Las ramas deben tener, por lo menos, un metro de longitud y no deben sobresalir del borde de la terraza más de un quinto o un cuarto de su longitud total. Las ramas se colocan cruzadas, y no paralelas entre sí, de tal modo que todas ellas queden cubiertas de suelo lo máximo posible. La colocación de las ramas de forma cruzada en las terrazas permite también el

empleo de ramas más largas. Es muy importante no sólo mezclar ramas de distintas especies, sino también emplear ramas de distinta edad y diámetro. Esto permite que las raíces penetren en el suelo a mayor profundidad y que se desarrolle una mayor variedad de crecimientos por encima del terreno. Deben emplearse ramas de plantas leñosas vivas, en número no inferior a unas 20 unidades por metro longitudinal, incluyendo aquéllas que tengan todas las ramas laterales intactas. El material se debe colocar durante la estación de reposo.

En laderas con suelos adherentes, se pueden cavar zanjas o bermas más profundas y estrechas, sin el riesgo de que falle la ladera. Sin embargo, siempre que existe el riesgo de que falle la ladera, las zanjas sólo se deben cavar en pequeños tramos y la colocación inmediata de ramas evita también la desecación del suelo.

La construcción de lechos de ramaje comienza desde la parte baja de la ladera y avanza hacia arriba. La zanja inferior se rellena con el material sobrante de la zanja situada encima. Una vez que se han completado varios lechos de ramaje, comienza automáticamente una clasificación conveniente del material, a medida que la tierra rueda por la ladera. Las piedras ruedan hasta el fondo, mientras que los materiales más pequeños y finos quedan retenidos por los lechos de ramaje, lo que se traduce en la mejoría del suelo y la retención de la humedad.

En zonas secas, es mejor comprimir el material contra las ramas para asegurarse de que cada una de las ramas está completamente encajada y cubierta de tierra, lo que favorece la formación de raíces. El resto de la zanja se rellenará con el material que rueda por la ladera, procedente de la excavación de la zanja que está encima.

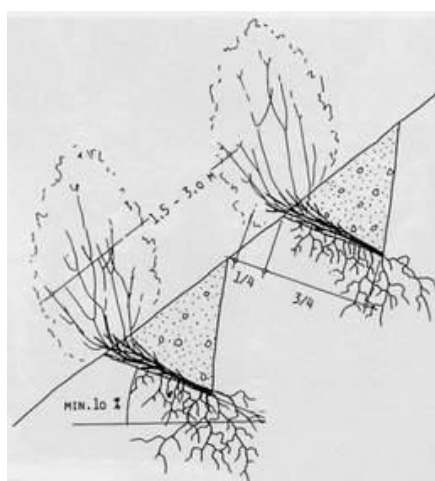


Figura 6.5.13. Lechos de ramaje. Fuente: Manual de la FAO de Ordenación de Cuencas Hidrográficas.

Esteras de ramaje

Son usadas especialmente en las riberas para evitar de forma eficaz la erosión de los márgenes. Se trata de un recubrimiento de las márgenes del río con estacas y varas de vegetación de ribera, capaz de reproducirse vegetativamente (sauces, chopos, tarajes, etc.).

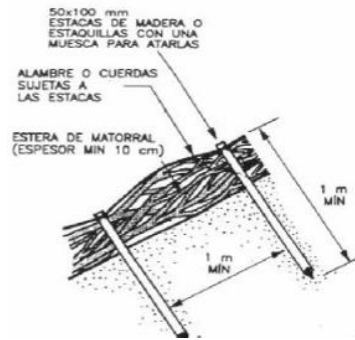


Figura 6.5.14. Esteras de ramaje. Fuente: Manual de la FAO de Ordenación de Cuencas Hidrográficas.

Empalizada viva

Consiste en la creación de una estructura de contención a través de un entramado de troncos de madera –unidos entre ellos y fijados al terreno–, con tierra de relleno en su interior para su revegetación –con siembra y/o con clavado de estacas vivas–, que puedan enraizar y desarrollarse hasta revegetar el conjunto, estabilizando así el suelo de la ladera.

Se clavan en el terreno estacas de madera de 3 a 10 cm de diámetro y de 100 cm de longitud, o estacas de acero de longitud similar, a una distancia aproximada de 100 cm. Entre ellas, se colocan otras estacas más cortas o estaquillas, clavadas en el terreno a intervalos de unos 30 cm aproximadamente.

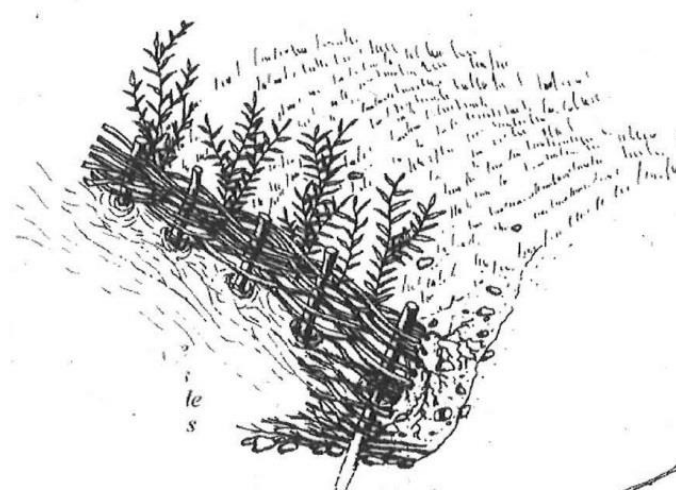


Figura 6.5.15. Trenzado vivo. Fuente: www.naturalea.eu

A continuación, las estacas se entrelazan y enrollan con ramas vivas, largas y flexibles, de una especie de fácil enraizamiento a partir de trozos de rama (por ejemplo, Salix). Cada rama viva debe apretarse hacia abajo después de haberla entrelazado con las estacas. Normalmente, deben colocarse, una sobre otra, de tres a siete pares de ramas. En vez de ramas, pueden emplearse también alfombras prefabricadas de ramas entrelazadas para sujetarlas a las estacas. Las estacas no deben sobresalir más de 5 cm del dispositivo de ramas (alfombras) y, por lo menos, dos tercios de su longitud total debe estar dentro del suelo.

Gaviones revegetados

Se extiende sobre el terreno una tela metálica fina en el lugar de construcción, cubierta de grava gruesa o piedra machacada, y se entremezcla con ramas vivas y plantas con raíces. Para garantizar que se cubran adecuadamente las ramas, hay que levantar y sacudir repetidamente la tela metálica para facilitar que se asiente la grava. Hay que sacar un poco las ramas y las estaquillas de las plantas a través de la tela metálica. Pueden colocarse plantas con raíces, de modo que se introduzcan en las juntas por la tela metálica. Finalmente, se tira del conjunto de la tela metálica y se cose con alambre, dándole una forma apropiada para el sitio. Si el gavión puede ser desplazado por fuerzas mecánicas (de tensión o compresión), debe sujetarse con fuertes estacas de acero introducidas en el terreno lo suficiente. Para proteger los gaviones contra su lavado y arrastre (especialmente, en construcciones longitudinales siguiendo los márgenes de los cursos de agua), lo mejor es colocarlos encima de lechos de ramaje.

Con gaviones fabricados con tela metálica muy pesada y que se rellenan con piedras grandes, no se pueden colocar ramas ni plantas vivas entre las piedras, sino únicamente en las juntas existentes entre gaviones.

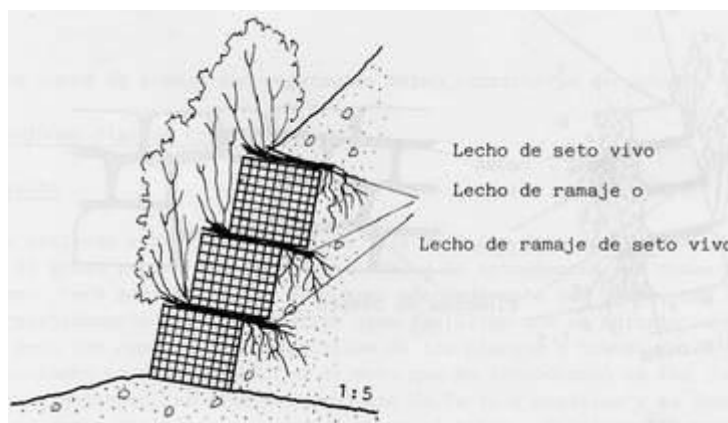


Figura 6.5.16. Gaviones revegetados. Fuente: *Manual de la FAO de Ordenación de Cuencas Hidrográficas*.

Se necesita una tela metálica con un tamaño máximo de malla de 5 cm, grava gruesa, alambre para atar, estacas de acero (si es necesario), ramas vivas y plantas con raíces. Si el agua es extraordinariamente ácida, se corroerá rápidamente la tela metálica; en este caso, deben emplearse mallas hechas de materiales flexibles, como, por ejemplo, el polipropileno.

La mejor época para la construcción de gaviones rígidos es la estación de reposo. De hecho, la instalación subsiguiente es casi imposible. Sin embargo, dependiendo de las condiciones climáticas, se pueden añadir cuidadosamente plantas con raíces durante el período vegetativo.

Plantación de juntas de muro

Esta técnica consiste en disponer rocas en un talud e introducir esquejes de plantas de ribera dentro de los huecos existentes entre las rocas.

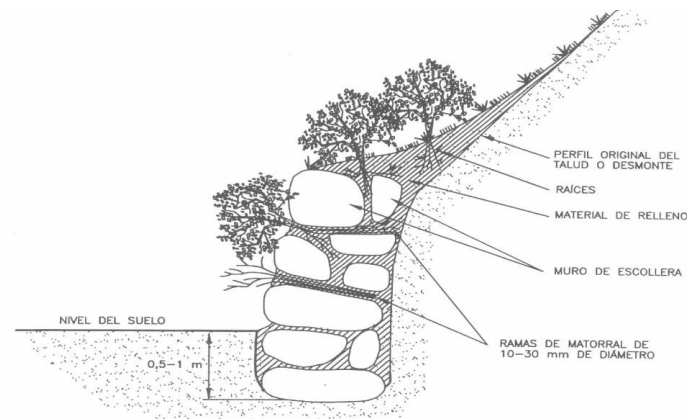


Figura 6.5.17. Escolleras vegetadas. Fuente: Elaboración propia a partir de Ingeniería de Caminos Rurales. USDA, Forest Service, 2005

Se hincan estaquillas en las juntas de muros de piedra y de montones de piedra sin mortero. Deben ser suficientemente largas para penetrar en el terreno existente detrás de los muros de piedra. Después de haber plantado las juntas, es conveniente llenarlas con material fino húmedo.

Deben colocarse, por lo menos, dos estaquillas por metro cuadrado; en áreas sujetas a una presión considerable, deben emplearse cinco estaquillas por metro cuadrado. El número de estaquillas necesarias depende del tamaño de las piedras de la escollera, colocando más estaquillas cuanto menor tamaño tienen las piedras. Con esta técnica, hay que esperar una pérdida de plantas del 30 al 50 por ciento.

Deben emplearse estaquillas sanas, de uno a dos años (sin ramas), de 2 a 4 cm de diámetro, y con una longitud mínima de 40 cm. Si hay poca agua o su retención es mala, la longitud de las estaquillas debe aumentarse hasta 60 cm. Las estaquillas se deben plantar durante la estación de reposo. Para evitar la desecación, las ramas no deben sobresalir del muro más de 30 cm.

Geoceldas

Es un sistema de confinamiento celular de elementos geosintéticos tridimensionales formados por una estructura alveolar de tiras de poliéster, polietileno o polipropileno de alta densidad, perforadas para facilitar el movimiento lateral de las partículas de suelo o agregados. Este material se ha diseñado para paliar los efectos negativos de la erosión del agua y el viento superficial, sobre todo aplicado a terraplenes y taludes. Las paredes de las celdas actúan permitiendo el drenaje del agua y del viento por encima de la superficie. Se rellena con tierra de siembra; las celdas permiten la hidrosiembra y protegen las distintas raíces que se forman.

El sistema de cavidades o alveolos permite retener materiales o incorporar diversos tipos y cantidades de suelos en función de la altura de las celdas. El sistema de fabricación de las geoceldas, la densidad de celdas por metro cuadrado y el uso de tendones permite su refuerzo y uso en fuertes pendientes, anclando, para ello, los paneles al terreno mediante

piquetas metálicas, y con una zanja para anclaje en coronación de talud. De esta forma, las celdas constituyen un espacio estable que permite el desarrollo de la vegetación.

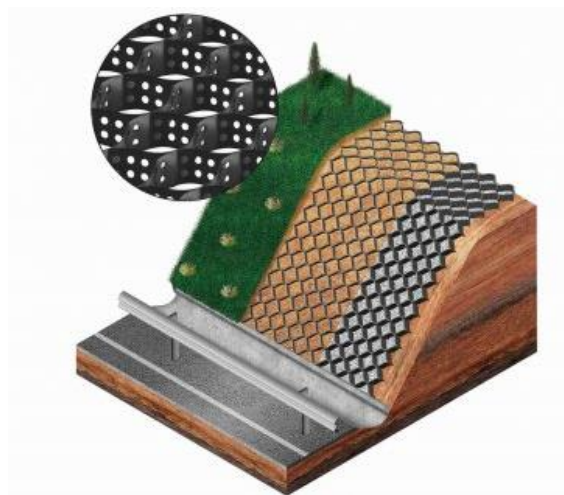


Figura 6.5.18. Geoceldas. Fuente: Catálogo Tex Delta (<https://texdelta.com>)

La estructura se abre como acordeón y, por lo tanto, puede ser transportada y almacenada con un mínimo de espacio y, posteriormente, abierta durante la instalación, creando una serie de celdas interconectadas (los diámetros varían entre 100 y 300 mm). Una vez expandidos a su máxima extensión y rellenos con suelo (o grava), la estructura se vuelve inextensible y de comportamiento monolítico, proporcionando un confinamiento efectivo para suelos no consolidados y previniendo su movimiento, incluso en taludes pronunciados.

Geomallas volumétricas

Son sistemas tridimensionales formados por tres mallas combinadas: la malla de polipropileno (PP), que actúa como base del conjunto, y las otras dos mallas de polietileno de alta densidad (PEAD), que forman la estructura tridimensional con sus ondulaciones, a las que se les aplican tratamientos para resistir las radiaciones ultravioleta. Actúan como filtro, dejando pasar el agua, pero no los finos de la capa superficial del suelo, evitando, de esta forma, el lavado de finos y dificultando la acción de la erosión; asimismo, potencian la formación de una cubierta vegetal. Las raíces de la vegetación al crecer se enredan en la malla y forman una losa flexible armada en superficie que impide la erosión, estabiliza el terreno, mantiene la materia orgánica y consigue que se renueve la vegetación.

Forman una protección permanente contra la erosión de los suelos desde su misma instalación. Incluso, cuando todavía no se ha producido el crecimiento de la vegetación, minimizan la energía erosiva del agua de lluvia al golpear contra ella antes de llegar al talud, reduciendo de forma efectiva la erosión.

Se pueden usar en grandes pendientes, por lo que están indicadas para desmontes donde no sea posible aportar suelo para mejorar el substrato. Se adoptan también en combinación con otras técnicas de bioingeniería.



Figura 6.5.19. Geomalla volumetrica. Fuente: Catálogo Tex Delta (<https://texdelta.com>)

6.5.5.3. Materiales

Semillas

Muchas de las especies usadas en restauración son plantas forrajeras. El Reglamento Técnico de control y certificación de semillas y plantas forrajeras regula estas especies y detalla los requisitos que deben cumplir sus semillas. No obstante, gran parte de las especies no están reguladas por ninguna normativa de calidad y suelen obtenerse por recolección en áreas naturales, siempre que no se trate de plantas protegidas o de recolección regulada.

Para las especies con categoría certificada y comercial debe asegurarse que las etiquetas incluyan la información exigida en el Reglamento Técnico (número de control, peso del envase, especie, porcentaje de germinación, pureza, etc.); por tanto, la calidad del lote debe estar garantizada por el suministrador.

Para el resto de especies, si el suministrador no puede facilitar la información de las características del lote mencionadas más arriba, es aconsejable realizar unos controles de calidad previos, antes de adquirir y/o utilizar el material. Entre los parámetros más importantes debe mencionarse el análisis de pureza, la capacidad germinativa y el peso de 1000 semillas. Esta información puede utilizarse para realizar cálculos más precisos de las dosis de siembra.

Dado que la mayoría de las especies no están reguladas por ninguna normativa de calidad, la información aportada es bibliográfica. Dicha información debe considerarse orientativa, ya que puede existir mucha variabilidad entre lotes distintos.

Material leñoso vivo

La vegetación leñosa, en comparación con la vegetación herbácea, enraíza más profundamente, hasta 2 m de profundidad, y proporciona una protección mayor contra los deslizamientos de tierra. Se distinguen diferentes tipos de material:

- Los fragmentos no enraizados de especies leñosas con capacidad de multiplicación vegetativa son la parte más importante de los materiales de construcción vivos para las técnicas de estabilización. Se deben preparar durante el reposo vegetativo del vegetal y se recolectan de la vegetación existente en la proximidad. Para ello, se emplean:
 - Estacas: brotes no ramificados y leñoso, de tres a diez centímetros de diámetro y de 50 a 100 cm de longitud.
 - Ramas: brotes ramificados con una longitud mínima de 60 cm. y de diferente espesor.
 - Varas: brotes torcidos poco ramificados, elásticos, de una longitud mínima de 120 cm.
 - Grandes varas o bastones: brotes rectos, poco ramificados, con una longitud de 100 a 200 cm.
- Planta joven enraizada o estaquilla enraizada: se emplean en lechos de ramaje, cuando se ejecutan fuera del periodo de reposo vegetativo o, en todas las técnicas, como complemento para favorecer la diversidad y la sucesión vegetal.
- Material vegetal de viveros especializados: el material vegetal de los viveros especializados en la producción de estaquillas y plantas enraizadas es una fuente de suministro de material vegetal apropiada; sin embargo, es necesario observar un adecuado periodo de cultivo para su suministro en condiciones adecuadas para su utilización.

Geoceldas y geomallas

Este término se aplica a un grupo heterogéneo de productos poliméricos, agrupados por familias, cuya aplicación permite reemplazar o incrementar las propiedades físicas, mecánicas e hidráulicas del suelo.

La geomalla tridimensional de refuerzo es un material ligero y flexible que se distribuye en el talud rápidamente. Este refuerzo está formado mediante poliéster de alta tenacidad (PEAD) y con recubrimiento polimérico de PVC. Posteriormente, se puede sembrar y cubrir con tierra vegetal.

La geocelda es una malla tridimensional cuya estructura está fabricada a partir de un polietileno de alta densidad estabilizado frente a la radiación UV y se utiliza para confinar áridos, grava o tierra con el fin aumentar la capacidad portante del terreno.

Deben cumplir con la siguiente normativa:

- ISO 13426-1. Geotextiles y productos relacionados. Resistencia de las uniones estructurales internas. Parte 1: Geoceldas.
- ISO 10318-1. Geosintéticos. Parte 1: Términos y definiciones.
- UNE-EN 13253. Revestimiento de taludes

Por otro lado, los productos que lleguen a la obra se suministrarán en forma de bobinas o rollos, con un embalaje opaco que evite su deterioro por la acción de la luz solar. Cada suministro irá acompañado de un albarán y de la información relativa al etiquetado y marcado CE de la norma UNE-EN del producto correspondiente.

El nombre y tipo de producto estarán estampados de forma clara e indeleble en el propio producto, de acuerdo con la norma UNE-EN ISO 10320, a intervalos máximos de cinco metros, para que pueda identificarse una vez eliminado el embalaje. Es recomendable que queden igualmente estampadas la partida de producción y la identificación del rollo o unidad.

El control de recepción de los productos deberá incluir, al menos, una primera fase de comprobación de la documentación y del etiquetado. Independientemente de la aceptación de la veracidad de las propiedades referidas en el marcado CE, si se detectara alguna anomalía durante el transporte, almacenamiento o manipulación de los productos, se podrá disponer en cualquier momento la realización de comprobaciones y ensayos sobre los materiales suministrados a la obra. Dichas muestras se prepararán conforme a la norma UNE-EN ISO 9862 y se efectuarán, al menos, los siguientes ensayos:

- Masa por unidad de superficie (Norma UNE-EN ISO 9864)
- Resistencia a tracción (Norma UNE-EN ISO 10319)
- Punzonado estático (ensayo CBR) (Norma UNE-EN ISO 12236)
- Resistencia a la perforación dinámica (Norma UNE-EN ISO 13433)



6.6. Pasos inferiores

6.6. PASOS INFERIORES

6.6.1. INTRODUCCIÓN

Los pasos inferiores se dividen en dos grupos. El primero de ellos lo forman los pasos destinados a cruces de caminos o vías secundarias. Estos pasos son estructuras rígidas enterradas, cuya carga principal es el relleno de tierras actuando encima de ellas y cuyo gálibo horizontal es pequeño.

El segundo grupo de pasos inferiores está constituido por estructuras más convencionales, donde el tablero es parte de la calzada superior y suelen tener más gálibo horizontal. Normalmente, son los pasos de carreteras que cruzan bajo la vía principal, cuya cota de tierras es insignificante o no existe.

En ambos casos, la geometría del Camino Natural condiciona la tipología del paso inferior como estructura.

En este Manual, se enumeran algunos criterios a considerar dentro del Proyecto y Ejecución de los pasos inferiores del primer tipo, que es el que se aplicará para los pasos de Caminos Naturales bajo infraestructuras.

6.6.2. SOLUCIONES POSIBLES

La Dirección General de Carreteras (año 2000) clasifica, según su luz libre, las obras de paso en:

TIPO DE OBRA DE PASO	TAJEA	ALCANTARILLA	PONTÓN	PUENTE
LUZ DEL VANO MAYOR (L, EN M)	$L < 1,00$	$1 < L < 3$	$3 < L < 10$	$L > 10$

Tabla 6.6.1. Luz libre de las obras de paso. Fuente: Obras de paso de nueva construcción. Conceptos generales. Ministerio de Fomento, 2000.

Dentro de esta clasificación, para los pasos inferiores, se establecen las tipologías correspondientes a puentes y a pontones, ya que se considera que la ejecución de las otras tipologías se realiza para obras de drenaje. Éstos se denominan pasos enterrados y se utilizan cuando el Camino Natural pasa por debajo de la estructura. De acuerdo con la altura del relleno de tierras sobre esa estructura y con los condicionantes de cimentación, se pueden distinguir las siguientes tipologías estructurales:

- Estructuras tipo Pórtico
- Estructuras tipo Marco o Bóveda
- Pasos Circulares de Acero galvanizado

A continuación, se describe cada solución.

6.6.2.1. Estructuras tipo pórtico

Las estructuras tipo pórtico constan de una losa dintel y 2 muros hastiales abiertos, sin losa inferior, que se apoyan en zapatas continuas.

Estas estructuras se emplean en zonas de terrenos competentes, donde es posible realizar cimentaciones con tensiones admisibles superiores a 3 kg/cm^2 .

Se emplean con rellenos de tierras de espesor moderado sobre el dintel, hasta una altura comprendida entre 6 y 8 metros.

En relación a las aletas, es aconsejable que éstas sean de tipo abierto, formando 30° con el eje de camino inferior.

6.6.2.2. Estructuras tipo marco o bóveda

La tipología marco o bóveda es similar a la del tipo pórtico, con la única salvedad de que, en este caso, existe una losa inferior que une las bases de los muros hastiales como cimentación.

Esta solución se usa cuando el terreno es de peor calidad y, aun así, es aceptable una cimentación superficial. Las tensiones de trabajo sobre el terreno pueden ser inferiores a 2 kg/cm^2 .

Para alturas de tierras de hasta 6 u 8 metros es recomendable el dintel plano; sin embargo, para alturas de rellenos superiores, se utilizará la bóveda. Si el relleno de tierras es importante, y siempre y cuando la luz lo permita, es conveniente articular la bóveda en dos o tres puntos.

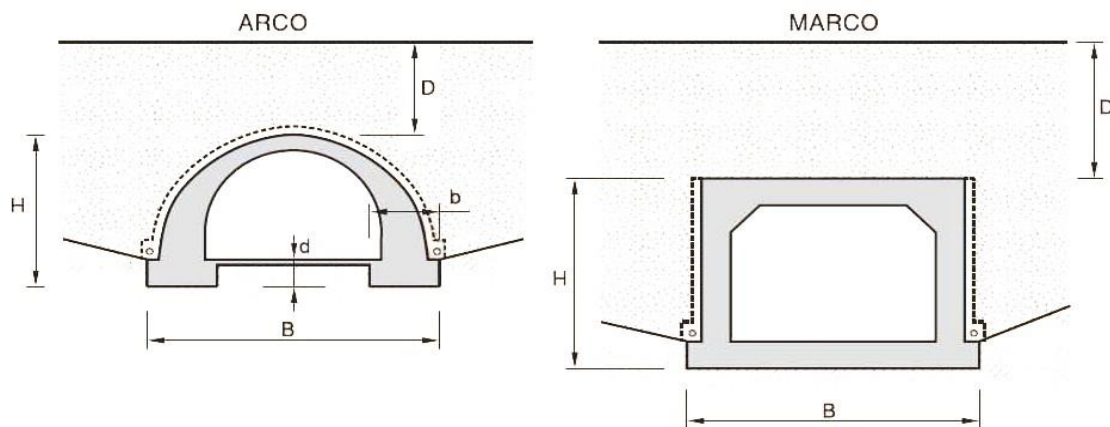


Figura 6.6.1. Arco y marco. Fuente: Guía de cimentaciones en obras de carretera. Ministerio de Fomento, 2009.

donde:

- B = Anchura del techo de cálculo de la obra de fábrica enterrada
- D = Profundidad del techo de cálculo de la obra de fábrica enterrada
- H = Altura total de la obra incluida la cimentación
- b = Anchura máxima de la bóveda
- d = Espesor máximo de la losa

6.6.2.3. Pasos circulares de acero galvanizado

El uso de pasos circulares de acero galvanizado suele ser más limitado. Presentan luces de menor tamaño, pues se usan preferentemente como vías de drenaje, o bien como paso de fauna o de ganado.

6.6.3. CRITERIOS A TENER EN CUENTA

A continuación, se recogen los diferentes criterios a tener en cuenta en el diseño de pasos inferiores referidos a sus dimensiones, condicionantes estéticos y condicionantes ambientales.

157

6.6.3.1. Dimensiones de los pasos inferiores dependiendo de su uso

En la medida de lo posible, para los caminos recreativos, la anchura de la vía inferior a diseñar será de 2,5 a 4 metros, medidos perpendicularmente al eje del camino.

La distancia vertical desde la cota del camino hasta la cota inferior de la clave de la estructura debe ser de, al menos, 2,5 metros, altura suficiente para que un ciclista circule sin problema. En este sentido, es importante que se mantenga la altura mínima especificada en todo el ancho del camino, sobre todo, en los pasos abovedados.

6.6.3.2. Condicionantes estéticos

La condición estética de un paso inferior viene determinada, en muchos casos, por las soluciones creadas para la estructura que atraviesa a nivel superior. Cualquier variación en el número de vanos y luces, el derrame de taludes en los estribos o la tipología de las aletas hacen que el paso inferior sea menos angosto.

La amplitud del paso siempre es aconsejable, por lo que, en la medida de lo posible, se evitará la utilización de estribos cerrados, eliminando así un efecto pantalla no deseable. El empleo de vanos laterales, con sus derrames en los taludes, hace que se reduzca el coste de los estribos.

La apariencia global de la obra depende de sus proporciones, entre ellas, la relación entre la altura o gálibo y las luces de los vanos; en este sentido, son recomendables unas relaciones del orden de 1/1 a 1/2.

Es de particular relevancia la solución detallada del drenaje tanto de la calzada superior, si es coincidente con el paso inferior, como el drenaje de los rellenos de tierras colocados sobre la estructura y, finalmente, el propio drenaje de la plataforma del camino inferior.

6.6.3.3. Condicionantes de diseño

Los pasos inferiores se proyectarán de forma que los procesos de mantenimiento durante la vida útil de la estructura, en unas condiciones determinadas, lleven asociados los mínimos costes posibles.

En consecuencia, será necesario crear una cierta disposición estructural, emplear unos materiales y adoptar unas protecciones y procesos constructivos determinados:

- Se intentará reducir el número de juntas de dilatación, al ser potenciales caminos de paso del agua. Los pasos inferiores suelen poseer pequeñas luces y sus movimientos previsibles son pequeños, por lo que el tablero o losa dintel se diseñará de forma integral con el resto de la estructura.
- La presencia de cursos de agua y las posibles socavaciones de las cimentaciones influyen especialmente en la profundidad a adoptar para las zapatas y en la protección necesaria, según el caso.
- Para ambientes agresivos, se cuidará especialmente la estructura frente a las condiciones de durabilidad; la instrucción española protege convenientemente estos aspectos. A veces, una pintura protectora adicional es una solución complementaria aconsejable y no excesivamente costosa.
- Se dotará al paso con un sistema de drenaje adecuado y de fácil mantenimiento, utilizando, para ello, drenes laterales, arquetas, etc.

El diseño de estas obras tendrá en cuenta, igualmente, diferentes aspectos relacionados con la protección del medio ambiente:

- Minimización y gestión de residuos
- Restitución de las alteraciones de la obra

6.6.4. ESTUDIOS PREVIOS

Se realizará un levantamiento topográfico de la zona donde se proyecte un paso inferior bajo una infraestructura lineal: camino, carretera o ferrocarril.

Al igual que cualquier otra estructura, es necesario acometer un análisis o reconocimiento geológico-geotécnico del área donde irá ubicada. Este estudio debe seguir los criterios marcados de forma general en el capítulo de Geotecnia del presente manual.

El Informe Geotécnico incluirá una campaña de investigación que incluirá, al menos, un ensayo (calicata, penetración dinámica o sondeo) en cada paso inferior.

En el capítulo dedicado a geología y geotecnia, se comentan los métodos más fiables para la realización de una campaña geotécnica, tales como los sondeos, normalmente del tipo de extracción continua de testigo, los Ensayos de Penetración Continua del tipo Borros y los ensayos DPSH.

En terrenos blandos, como arcillas no consolidadas y saturadas, o en terrenos no cohesivos, con predominio de grava o arena, debido a la dificultad de la extracción y manipulación de muestras inalteradas, puede aplicarse el CPT (Cone Penetration Test) o el ensayo del molinete (Vane Test).

Por último, las calicatas son empleadas con frecuencia por su bajo coste y la rápida determinación.

Con las muestras obtenidas, se realizarán ensayos de laboratorio para definir las características geotécnicas y químicas de los materiales, siendo los ensayos de laboratorio necesarios los siguientes:

- Ensayos de Identificación y de Estado: análisis granulométrico, Límites de Atterberg y expansividad (ensayos más comunes de identificación); densidad aparente y humedad natural (ensayos típicos de definición de estado)
- Ensayos Mecánicos: ensayo de compresión simple, ensayo de corte directo CU y ensayo de capacidad portante (Índice C.B.R.)
- Ensayos Químicos: contenido en sulfatos, acidez de Baumann-Gully y análisis químico de agua según la EHE-08.

En base a los resultados obtenidos, se calculará la resistencia del terreno para cada uno de los casos y se emitirán las recomendaciones para la cimentación del paso.

Toda la investigación será recogida en un Informe que incluirá, como mínimo, los trabajos realizados, el encuadre geológico del lugar donde se implanta la estructura, la caracterización geológica y geotécnica del terreno, el cálculo de tensiones admisibles en zapatas, resistencia por fuste, por punta y tope estructural en pilotes o micropilotes, asientos previstos, las recomendaciones de cimentación y todos los anejos con las columnas litológicas, ensayos realizados, etc.

Dichos resultados serán los que se utilicen en los correspondientes cálculos del proyecto.

6.6.5. CÁLCULOS ESTRUCTURALES

En el Anejo de Cálculo Estructural correspondiente a este tipo de pasos, se deben recoger las exigencias estructurales de acuerdo con la normativa que sea aplicable:

- Cumplimiento de los Estados Límite Últimos. Se incluye la comprobación del agotamiento de las secciones por tensiones, la estabilidad local o global de la estructura y la comprobación de la fisuración.
- Cumplimiento de los Estados Límite de Servicio. Se comprobará si las deformaciones, los asientos y el estado de vibraciones cumplen las limitaciones correspondientes.

Para definir la estructura que se va a proyectar, se realizarán todos los cálculos que se consideren necesarios con objeto de determinar correctamente los parámetros de la solución constructiva que se plantee, que irá adecuadamente reflejada en los planos y en el presupuesto del proyecto.

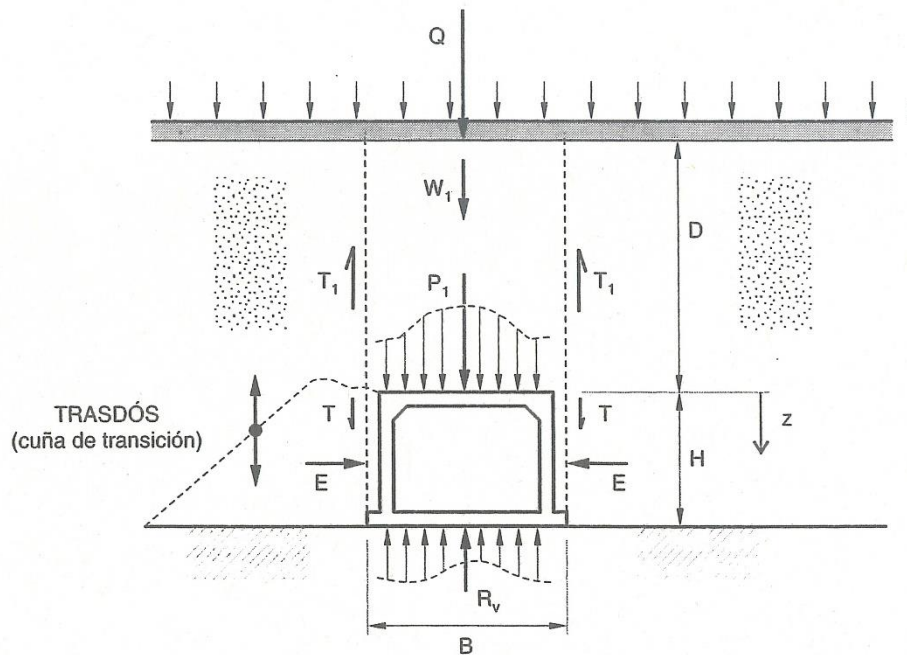


Figura 6.6.2. Esquema de acciones en una obra enterrada. Fuente: Adaptado de Guía de cimentaciones en obras de carretera. Ministerio de Fomento, 2003.

donde:

- B = Anchura del techo de cálculo de la obra de fábrica enterrada
- D = Profundidad del techo de cálculo de la obra de fábrica enterrada
- H = Altura total de la obra, incluida la cimentación

6.6.5.1. Normativa

Para el cálculo de pasos inferiores, la norma vigente en España, respecto a las acciones a considerar es la Norma IAP-11 "Instrucción sobre las acciones a considerar en el proyecto de puentes de carretera". En ella, se contemplan todas las tipologías de puentes, incluso los pasos inferiores. Asimismo, hay que tener en cuenta, en su caso, la Norma IAPF "Instrucción de acciones a considerar en puentes de ferrocarril". La vida útil del elemento o estructura del proyecto, según estas Normas, se establece en 100 años.

Para las acciones sísmicas deberá tenerse en cuenta la Norma de Construcción Sismorresistente: Puentes (NCSP-07).

Por otro lado, la Instrucción de Hormigón Estructural (EHE-08) será la normativa de referencia para las estructuras de hormigón armado.

6.6.5.2. Cargas sobre la estructura enterrada

Para pórticos, marcos y arcos o bóvedas enterradas, los esfuerzos resultantes pueden ser analizados como estructuras bidimensionales, considerando una deformación plana por su gran longitud, tomando una anchura de cálculo de 1,00 m.

6.6.5.3. Cargas sobre el dintel

Dependiendo de la secuencia de construcción de la estructura respecto del relleno de tierras, las cargas a considerar varían ligeramente.

En el caso más habitual de que el relleno lleve ejecutado bastantes años y se proceda a incluir el paso inferior dentro del mismo, la carga debida al rozamiento negativo de las tierras será ascendente, en sentido contrario al resto de las cargas, por lo que se puede prescindir de dicha carga en el cálculo, manteniéndose así del lado de la seguridad.

De esta forma, las cargas a considerar sobre el dintel recto o en arco de un paso inferior enterrado son:

$$P1 = W1 + (p^* + q^* + r) \cdot B$$

donde:

- P1: Es la carga vertical total sobre el plano del dintel.
- W1: Es la carga total de tierras sobre el ancho total del paso (rectángulo BxD), considerada desde el dintel hasta la cota de la calzada superior, sin consideración alguna de un "posible arco de descarga".
- p*: Es la presión media, a cota del dintel, de la carga uniforme repartida a considerar a nivel de la calzada p.
- q*: Es la presión media, a cota del dintel, de las cargas puntuales a considerar a nivel de la calzada Q.
- T1: Es el rozamiento negativo en cada una de las caras verticales que produce una compresión en sentido contrario.
- r: Es la presión uniforme sobre el dintel debido al rozamiento, en este caso, negativo (-r) con respecto al resto de cargas.
- T: Es la componente vertical del empuje sobre los hastiales.
- Rv: Es la reacción del terreno ante las cargas verticales.

Las cargas enumeradas se deben considerar también en el caso de que el paso inferior se construya después de ejecutarse el terraplén, mediante excavación en el mismo o hinca, siempre que el relleno general sea de ejecución reciente y el proceso de consolidación se estime que no esté totalmente finalizado, siendo, en estos casos, la presión del dintel debida al rozamiento en sus caras verticales de signo positivo (+r).

Las losas del dintel así proyectadas no deberán tener espesores menores de 0,30 m.

6.6.5.4. Cargas sobre los muros hastiales

Los empujes de tierras horizontales considerados en estas estructuras conservan la condición de empujes al reposo K_0 . En el cálculo del empuje total E, se incluirán además de las tierras del trasdós, las cargas p y q procedentes del tráfico u otras cargas sobre la calzada.

En función de los niveles freáticos y de la existencia o no de un sistema de drenaje, se incluirá o no, de forma adicional, el empuje del agua sobre el trasdós. En este punto, es necesario ser cauto, pues la efectividad de desalajo de aguas puede que no sea total o, si lo es, puede que varíe en función del tiempo.

El espesor mínimo de los muros será de 0,30 m.

6.6.5.5. Cimentación

En general, las estructuras tipo marco o bóveda y la estructura abierta tipo pórtico adoptan una cimentación superficial. Sin embargo, en aquellos casos en los que el terreno no presente una capacidad portante suficiente, se deberá pensar en adoptar una cimentación profunda.

Las cimentaciones superficiales pueden ser abiertas (zapatas corridas) o cerradas (losa de cimentación), en función de la calidad del terreno encontrado.

A efectos del cálculo de las cimentaciones, es necesario tener en cuenta la componente vertical adicional del empuje de tierras en los hastiales de los muros. El incremento T (por cada muro) puede estimarse según la siguiente ecuación:

$$T = E \cdot \operatorname{tg} \emptyset$$

donde:

- E es el empuje al reposo horizontal de las tierras.
- \emptyset es el ángulo de rozamiento interno del terreno.

6.6.6. PROCESOS DE EJECUCIÓN

El apoyo de la estructura sobre el terreno debe de ejecutarse de forma que la calidad sea lo más uniforme u homogénea posible, en toda su longitud. Para ello, deben de eliminarse los puntos excesivamente blandos, así como los excesivamente "duros". En este sentido, es recomendable hacer una estimación de asientos, en función del terreno realmente encontrado.

La limpieza del fondo ha de vigilarse, especialmente, en casos donde el cimientado puede verse afectado por cursos de agua. En el caso de estructuras con gran carga de tierras, los cimientados están fuertemente comprimidos, por lo que si la homogeneidad de apoyo no se alcanza de forma natural con la excavación, será preciso tratar la base con saneos locales, rellenos controlados u hormigón de limpieza según el caso.

Por ejemplo, no serán compatibles cimentaciones de la estructura, apoyando en parte sobre roca y en parte sobre suelos firmes. En este caso, si es posible, es preferible profundizar un poco más en la zona de suelo, alcanzar la roca y rellenar con hormigón pobre desde la roca hasta la base de la estructura. Si la roca aparece en puntos muy aislados (no en toda la longitud) y si, además, es inalcanzable en esas zonas, es preferible sanear la zona de roca en cierto espesor y crear en toda la superficie un relleno compactado granular.

En los pasos inferiores formados con obras de fábrica enterradas, puede darse el caso de que la carga de tierras que actúa sobre el dintel sea mayor que la carga geostática; esto se debe, principalmente, al incremento de presión debido a la rigidez vertical de la estructura respecto al terreno que la circunda. La introducción de una obra de fábrica, que es más rígida que el terreno al que desplaza o sustituye, hace que el asiento de la calzada pueda ser menor sobre la estructura, aumentando las tensiones verticales como consecuencia de la transmisión de rozamientos negativos por parte de los laterales.

Hay tres formas de construcción de los pasos inferiores:

- **Construcción "in situ".** Suele ser la más usual para todos los pasos inferiores bajo infraestructuras, ejecutándose todos los elementos estructurales en la zona de la obra. Sin embargo, hay elementos que se fabrican en talleres con hormigón pretensado prefabricado y, una vez terminados, se transportan a obra. Para ello, es necesario que las dimensiones de la superestructura no sean excesivas.

Los marcos, bóvedas y pórticos enterrados, donde las secciones no son manejables, también se ejecutan "in situ". Se crean juntas de construcción entre losa de cimentación, coronación de hastiales o arranque de dintel o bóveda. Si existe presencia de agua, se realizará el drenaje del trasdós, colocándose alguno de los diferentes sistemas de impermeabilización de juntas de trabajo, por ejemplo, mediante perfiles hidroexpansivos, sistemas de inyección de resinas hidrodilatables para la impermeabilización de juntas, o bien, mediante cintas waterstop de PVC. En sentido longitudinal, es buena práctica la construcción en secciones de corta longitud y por tramos.

- **Construcción mediante prefabricados.** En el caso de pórticos y marcos más pequeños, éstos suelen prefabricarse en taller o en obra, fuera de la zona de trabajo, pero en las cercanías. Su colocación definitiva se lleva a cabo sobre una base de hormigón o terreno granular ya preparado. La construcción adquiere así mayor rapidez y la calidad final suele ser más alta.
- **Construcción mediante el hincado.** Se utilizan en aquellas ocasiones en las que el paso inferior se sitúa bajo una vía de carretera o ferrocarril donde el servicio de tráfico no pueda verse interrumpido para efectuar la excavación y la colocación de la estructura a nivel inferior. Cuando la longitud del paso no sea excesiva y el terreno lo permita, se recurrirá a la hincada de la estructura.

La operación de hincado consiste en colocar los marcos prefabricados en secciones de pequeña longitud (o con la longitud total, si el paso es corto), adosados a la vía existente. Éstos se situarán bajo la vía a la cota definitiva y se colocarán en un gran foso de ataque donde, aparte de los marcos, se ubicarán los elementos de empuje, compuestos por gatos hidráulicos, y los elementos de perforación que, en función de la tipología del terreno, van excavando el frente. Se irá abriendo camino y empujando

lentamente y, de forma simultánea, los sucesivos elementos prefabricados hasta el cruce total.

Cuanto mayor sea el espesor de tierras que queda entre el techo del marco hincado y la rasante del vial existente, menor será la probabilidad de afección sobre dicho vial (carretera o ferrocarril), pero es bastante frecuente que las cotas queden bastante condicionadas por la realidad. El mínimo espesor de tierras necesario entre el marco hincado y la infraestructura vial existente dependerá de las vibraciones que provoque el tránsito, pues ha de tenerse en cuenta que la hinca se utiliza para no interrumpir dicho tránsito, especialmente en ferrocarriles, cuando no son viables otras soluciones constructivas, pues es una técnica cara. No obstante, serán las empresas especializadas, de acuerdo a los sistemas de trabajo que apliquen y, especialmente, a los procesos de entibación necesarios, las que definirán si las diferencias de cota entre el vial y el techo del cajón hincado permiten la ejecución de la hinca.

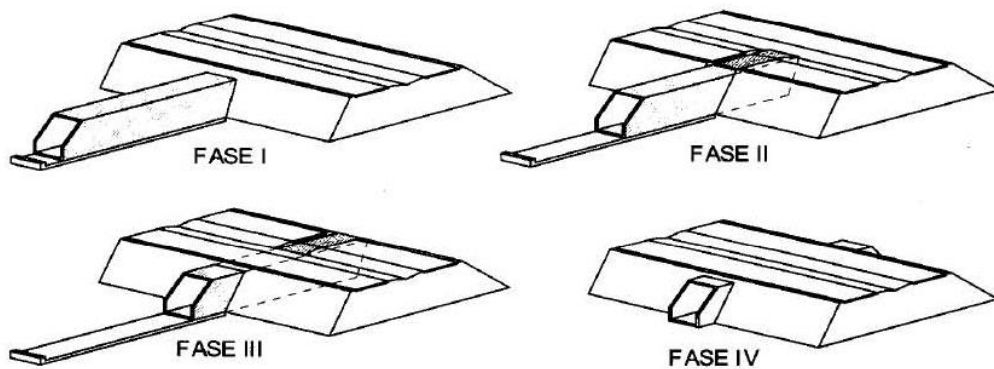


Figura 6.6.3. Hinca. Fuente: Obras de paso de nueva construcción. Conceptos generales. Ministerio de Fomento, 2000.

En cualquier caso, el procedimiento de ejecución, como en el resto de tipos de paso, debe venir recogido de forma detallada en el proyecto, justificado su uso y adecuadamente valorado en las correspondientes unidades.

Anteriormente, se ha mencionado que las aletas usuales son de tipo abierto, estando unidas monolíticamente con los muros hastiales del paso. Funcionan como muros de contención, por lo que es recomendable dotarles de dispositivos de drenaje en su trasdós. Su coronación debe rematarse con una albardilla de hormigón prefabricado, al objeto de evitar la suciedad y el deterioro en los paramentos por el chorreo de agua de lluvia. En situaciones donde no hay prevista solera o losa inferior, en el borde de su zapata junto al paso, se suele rematar con un muro vertical, a modo de rastrillo, que proteja la cimentación ante posibles erosiones.

Los extremos exteriores de la bóveda o de la losa superior suelen rematarse con una imposta de hormigón, al objeto de desviar el agua y la suciedad fuera del hueco del paso.

Las soleras o losas inferiores suelen rematarse con sendos rastrillos (similar a las cimentaciones de las aletas) en sus bordes y, a veces, se extienden hasta el límite de las aletas. Otras veces quedan cortadas en las mismas embocaduras del paso inferior.

Las escolleras estarán bien colocadas y compactadas; si se prevé presencia de agua, es conveniente la extensión hasta el límite de las aletas, o bien añadir un pequeño sellado de juntas con hormigón de relleno.

Según el espesor de tierras previsto entre el paquete de firmes de la carretera o del camino y la coronación del paso inferior, en función de la transmisión de cargas del vial hacia la estructura del paso inferior, o como medida para evitar la creación de socavones o escalones en el firme al borde de la estructura del paso inferior, si el espesor de tierras es pequeño, puede ser necesaria, en muchos casos, la colocación de una losa de hormigón armado entre ambos elementos. Dicha losa deberá calcularse para el cometido previsto:

- Si la coronación de la estructura del paso inferior queda muy próxima al paquete de firmes de la carretera y el relleno de tierras (menor de 0,5 m) puede resultar insuficiente para absorber uniformemente las cargas del tránsito del vial, con el consiguiente peligro de formación de baches y escalones en los bordes de la estructura, será necesario colocar una losa de hormigón armado con un espesor mínimo de 20 cm, calculada en función del tipo de terreno y del tráfico soportado. Dicha losa deberá sobresalir, al menos, 1 metro por cada lado del paso inferior en la dirección del vial bajo el que pasa, para evitar la posibilidad de formación de escalones.
- Si existen dudas sobre el reparto de cargas que le llegan a la estructura del paso inferior o si se quiere aligerar la estructura del paso, también será necesario colocar una losa de hormigón armado que, al igual que en el caso anterior, se deberá calcular en función del tipo de terreno y de las cargas del tránsito soportado. Para la segunda opción (aligerar la estructura del paso inferior), se calculará en combinación con la estructura del propio paso inferior y según las cargas que inciden sobre ambos y que entre ambos tienen que soportar. Como en el apartado anterior, la estructura deberá sobresalir, al menos, 1 metro por cada lado del paso inferior en la dirección del vial, para evitar la posibilidad de formación de escalones.

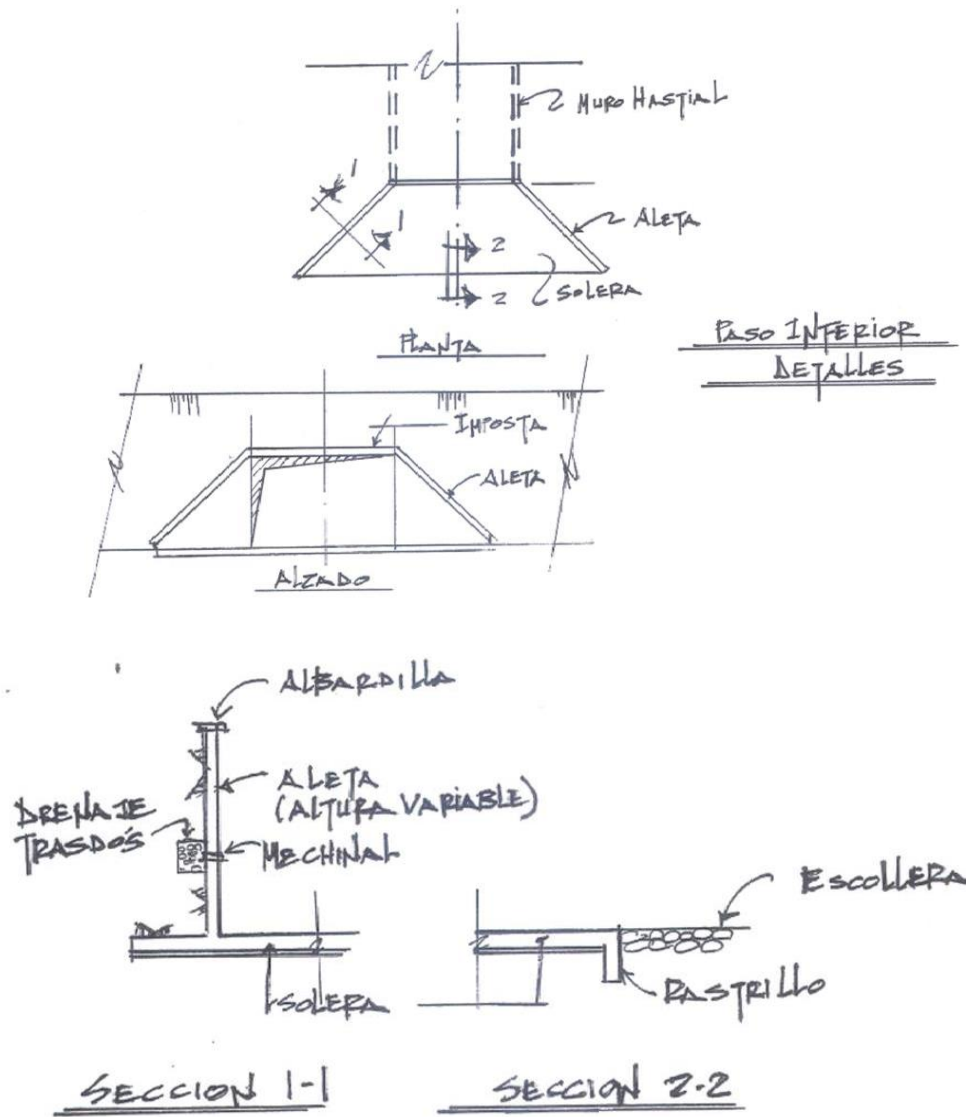


Figura 6.6.4. Detalles de pasos inferiores: aletas, impostas y soleras con rastrillos y escolleras. Fuente: Elaboración propia.

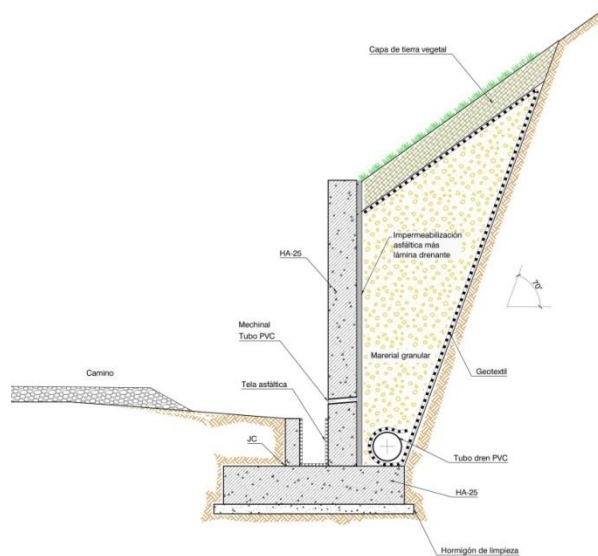


Figura 6.6.5. Detalles de drenaje e impermeabilización en trasdós de muros. En pasos inferiores, no habría cuneta interior Fuente: Elaboración propia

6.6.7. PROCESO CONSTRUCTIVO

6.6.7.1. Recepción de materiales

El contratista llevará un control de recepción de materiales en obra que permita una comprobación de la idoneidad de los mismos. Éstos deberán mantenerse protegidos contra cualquier deterioro.

Las armaduras y cementos serán del tipo recogido en la Instrucción de Hormigón Estructural (EHE-08) y en la Instrucción para la Recepción de Cementos (RC-16), almacenándose en estricto acuerdo con las citadas normas. Las condiciones de aceptación o de rechazo están igualmente recogidas en dichas Instrucciones.

167

6.6.7.2. Hormigones

Las dosificaciones, características de durabilidad y mínimas resistencias de los hormigones seguirán los artículos de la Instrucción EHE-08.

Se controlará el vertido y vibrado del hormigón, evitando segregaciones y coqueras. El espesor de las tongadas del hormigón vertido será el suficiente para una correcta compactación por vibrado o cualquier otro método. En ningún caso, el espesor de la tongada será superior a 50 cm.

El procedimiento de curado deberá ser aprobado previamente por la Dirección de Obra. Como norma de buena práctica, se extenderá el proceso de curado por, al menos, de 3 a 7 días desde el momento del hormigonado.

En cuanto al hormigonado en tiempo frío y en tiempo caluroso, se atenderá a los artículos específicos de la EHE-08.

6.6.7.3. Preparación y colocación de las armaduras

Las armaduras se cortarán y doblarán ajustándose a lo indicado en los planos del Proyecto. El doblado se efectuará en frío, por medios mecánicos. Las distancias entre armaduras y encofrados se mantendrán con separadores.

Las armaduras se colocarán limpias, sujetas entre sí y al encofrado, permaneciendo inmóviles ante el proceso de hormigonado.

6.6.7.4. Ejecución y colocación de encofrados y cimbras

El proyecto y dimensionamiento de los encofrados y cimbras, así como la construcción será responsabilidad del contratista.

Todos los encofrados serán estancos y de la debida resistencia, y estarán contruidos para que se puedan retirar con cierta facilidad. En las superficies vistas, se empleará madera

machihembrada, planchas metálicas o especiales. Las caras se humedecerán y se limpiarán cuidadosamente antes del vertido del hormigón.

Se mantendrán los apeos, fondos y cimbras durante el plazo requerido para soportar los esfuerzos necesarios que aparecen al desencofrar.

6.6.7.5. Morteros especiales

En general, se seguirán las recomendaciones de almacenamiento, de fabricación y de aplicación de las casas comerciales fabricantes. En particular, se vigilarán los periodos de caducidad de los materiales, la correspondencia en comportamiento de fluidez, resistencia, ausencia de retracción y adherencia.

6.6.7.6. Protección del medio ambiente y gestión de residuos

En los trabajos de pasos inferiores, será necesario tener presente la gestión de los residuos. Todos los productos resultantes procedentes de demoliciones, restos de encofrados, ferralla, morteros, medios auxiliares, tendrán como destino un gestor autorizado, siendo necesario igualmente que el transportista de tales residuos esté autorizado.

Los accesos necesarios para la ejecución de la obra llevarán asociados, además del correspondiente permiso de paso y uso, un proceso de restitución respetuoso con el medio ambiente.

Durante las obras, se protegerá el resto de los elementos adyacentes a las zonas de trabajo, con lonas protectoras, mallas de seguridad, balizamientos, etc. Estos elementos se anclarán convenientemente, de forma que no queden sueltos y ondeen frente al viento durante su uso. El destino final de los restos de estos elementos que no sean aprovechables será el mismo que el destino de los residuos de la obra antes mencionado, es decir, un gestor autorizado.


En ningún caso, se autorizará el vertido de los productos, teniendo especial cuidado con los cauces.

6.6.8. MATERIALES

Los materiales que constituyen estas estructuras son:

- Cimentaciones: hormigón tipo HA-25
- Estribos, losas, tableros armados: hormigón tipos HA-25/HA-35
- Tableros pretensados: hormigón tipos HP-35/HP-50
- Aceros para armaduras: pasivas, B-500-S; activas, Y-1860-S7
- Acero estructural: S 275

En el caso de que los ensayos químicos revelen la presencia de sulfatos, el cemento deberá poseer la característica especial de resistencia a los sulfatos según la Instrucción vigente para la recepción de cementos (RC-16).



6.7. Pasarelas peatonales

6.7. PASARELAS PEATONALES

6.7.1. INTRODUCCIÓN

Las pasarelas peatonales se utilizan cuando es necesario salvar obstáculos en el trazado de un Camino Natural, como cruces con carreteras, cauces, etc., y no es posible realizar otro tipo de obra de fábrica o se considera que ésta es la más adecuada.

En este capítulo, se indican los criterios básicos que deben incluirse y justificarse en el Anejo de cálculo correspondiente, dentro del capítulo de pasarelas destinadas al paso de peatones o ciclistas, como parte integrante del proyecto constructivo.

Para todos los proyectos en los que se incluyan pasarelas, será obligatoria la obtención de la preceptiva autorización por parte de la Administración competente de la infraestructura sobre la que se va a ejecutar, así como solicitar los condicionantes mínimos que ésta ha de cumplir para su construcción. En este sentido, es necesario realizar estos trámites durante la fase de redacción del proyecto constructivo, a fin de poder incluir los condicionantes previos requeridos en el diseño.

6.7.2. CRITERIOS A TENER EN CUENTA PARA EL DISEÑO

Estéticos

Las pasarelas deben de integrarse en el entorno que las rodea y, en lo posible, poseerán características agradables al usuario.

Durabilidad

La vida útil de las pasarelas para Caminos Naturales se establecerá, como mínimo, en 50 años, salvo justificación expresa. El proyecto debe considerar que dicha vida útil ha de alcanzarse minimizando los costes de conservación, con una adecuada elección del tipo estructural, materiales, diseño, protección y plan de mantenimiento.

Constructivos

Gran parte de los elementos utilizados en la construcción de pasarelas metálicas y de madera son, o pueden ser, prefabricados. El empleo de este tipo de elementos implica una disminución de los costes asociados a estas estructuras, disminuyendo también el plazo de ejecución de las mismas.

Se tendrá en cuenta cualquier otra circunstancia que pueda afectar a la ejecución de la estructura y, por tanto, limitar la solución elegida.

Funcionales

En primer lugar, se deben definir cuáles serán las características esenciales de la pasarela, es decir, cuál será su función. En este sentido, será necesario especificar qué tipo de tránsito debe

soportar: peatones, peatones y ciclistas, vehículos ocasionales (mantenimiento, emergencias, etc.) o vehículos con servidumbre de paso. Para todas las tipologías, habrá que especificar el número, considerando su simultaneidad en el tiempo. En general, las pasarelas están destinadas al uso de peatones y de ciclistas; sin embargo, en algunas ocasiones, es necesario el paso de vehículos de emergencias o de mantenimiento, debiendo considerarse este factor en el diseño de la sección tipo de la pasarela.

Dentro del uso peatonal, será necesario definir si la pasarela se adapta a los criterios de accesibilidad, teniendo, en este caso, que cumplir las especificaciones del Real Decreto 505/2007, de 20 de abril, por el que se aprueban las condiciones básicas de accesibilidad y no discriminación de las personas con discapacidad para el acceso y utilización de los espacios públicos urbanizados y edificaciones y del Real Decreto 173/2010, de 19 de febrero, por el que se modifica el Código Técnico de la Edificación, así como la interpretación y aplicación del Documento Básico DB SUA (Seguridad de Utilización y Accesibilidad) del Código Técnico de la Edificación, en cuanto a pendientes, tramos, pasamanos y protecciones.

En una pasarela peatonal, las deformaciones deben estudiarse en detalle, dada la sensibilidad peatonal, así como la posible aparición de vibraciones, pues, aunque ni las deformaciones alcanzadas ni las vibraciones producidas sean peligrosas, pueden transmitir sensación de inseguridad en los usuarios.

Adicionalmente, habrá que tener en cuenta que la altura de las barandillas será distinta en función de los usuarios de la pasarela; así, la altura de la barandilla será de 1,10 m para peatones, mientras que deberá elevarse hasta 1,30 m si el camino está previsto también para uso ciclista.

Es recomendable que el pavimento de la pasarela tenga una rugosidad tal que el coeficiente de rozamiento longitudinal tenga, al menos, un valor $f=0,32$. Este valor f será de obligado cumplimiento en el caso que exista un tráfico ciclista o vehículo de mantenimiento.

Otro aspecto que habrá que comprobar es que la pasarela no suponga un estrangulamiento o estrechez al camino, pues forma parte de él. No obstante, en los caminos recreativos, la anchura y altura libres de las pasarelas se determinan en función del tipo de tráfico y de su intensidad.

Como referencia, en la tabla siguiente, se incluyen los valores mínimos recomendados para las anchuras y alturas libres de las pasarelas:

CATEGORÍA	EMPLEO	ANCHURA LIBRE MÍNIMA (m)	MÍNIMA ALTURA LIBRE SOBRE LA PASARELA (m)	ACCESO VEHÍCULO DE EMERGENCIA (m)
Ancha	Peatones y ciclistas (alta densidad de tráfico)	4,50	3,00	SI

CATEGORÍA	EMPLEO	ANCHURA LIBRE MÍNIMA (m)	MÍNIMA ALTURA LIBRE SOBRE LA PASARELA (m)	ACCESO VEHÍCULO DE EMERGENCIA (m)
Normal	Peatones y ciclistas (densidad intermedia de tráfico)	3,50	3,00	SI
Estrecha	Peatones y ciclistas (baja densidad de tráfico)	2,50	2,20	NO

Tabla 6.7.1. Valores de anchuras y alturas libres para los diferentes posibles usos. Fuente: Tomado de "Puentes de madera", de Kurt Schwaner y otros, 2004.

Para Caminos Naturales, se adoptará una anchura libre de 2 m para luces menores o iguales a 30 m y de 2,5 m para luces mayores. También, en pasarelas exclusivamente peatonales, en zonas con escasa afluencia de usuarios y cuyas longitudes sean inferiores a 10 m, se pueden utilizar anchuras de 1,5 m.

En el caso de cruces sobre otras vías, ferrocarriles, cauces, etc., se deberá preservar un gálibo mínimo, de acuerdo a los criterios establecidos por los organismos administrativos competentes, con los que se deberá consultar previamente.

Económicos

En relación a los criterios económicos, no solo hay que considerar el coste de la estructura, sino también el mantenimiento necesario y su frecuencia, así como la posibilidad real de su realización, resultando normalmente más rentable un mayor coste de ejecución y menor mantenimiento, que lo contrario.

Medioambientales

Durante la fase de diseño de la infraestructura, se preverá la minimización del impacto (final y de ejecución) y la naturalidad de los elementos constituyentes de la estructura, utilizando materiales de la zona, siempre que sea técnica y económicamente posible. Queda abierta la posibilidad de utilizar materiales provenientes de reciclado, siempre que cumplan los requerimientos propios de su función, o que puedan ser reutilizables en un futuro, al terminar su utilidad en la pasarela.

Las pasarelas a utilizar en Caminos Naturales serán principalmente, siempre que sea posible técnicamente, de madera. Serán metálicas o de otros materiales cuando, por otros condicionantes que se impongan (durabilidad, limitaciones impuestas, etc.) o por la luz a salvar, así se requiera.

Se tendrán en cuenta los pasos tradicionales o históricos, así como la presencia de obras existentes y su posibilidad de restauración y/o acondicionamiento, aspecto que se trata en capítulo aparte.

6.7.3. ENSAYOS Y ESTUDIOS PREVIOS NECESARIOS

Para redactar los diferentes anejos de cálculo necesarios para definir una pasarela, es necesario disponer de una serie de datos previos, que se indican a continuación.

6.7.3.1. Estudio hidrológico, hidráulico y de erosión

En los casos en los que la pasarela se realice sobre un cauce fluvial, las pilas se situarán, siempre que sea posible, fuera del mismo. En este caso, será necesario realizar un estudio hidrológico e hidráulico, donde se recogerán todos los condicionantes que puedan afectar a la superestructura de la pasarela y, especialmente, a su cimentación.

Para los cálculos hidrológicos correspondientes, se utilizará la Orden FOM/298/2016, de 15 de febrero, por la que se aprueba la norma 5.2-IC. Drenaje Superficial de la Instrucción de Carreteras que, por extensión, se aplica en estos casos.

Para ello, se estimarán las precipitaciones máximas y los caudales previsibles para un determinado periodo de retorno, de acuerdo con la normativa aplicable y las especificaciones de la Administración competente en la materia.

Como norma general, los cálculos se realizarán para un periodo de retorno de 500 años, para pasarelas ubicadas en suelo urbano y de 100 años, para las ubicadas en suelo rústico, aunque deberá siempre atenderse a las indicaciones que establezca la Administración competente, en función del tipo de cauce y de la localización de la pasarela. En el informe, se describirá la cuenca drenante, se incluirán los hidrogramas y los coeficientes de escorrentía aplicables.

Una vez completado el estudio hidrológico, se procederá a realizar el consiguiente análisis hidráulico. Se calcularán los parámetros del flujo a través de los apoyos de la pasarela, es decir, se deducirá la altura de la lámina de agua, la velocidad, el régimen o el número de Froude. El análisis hidráulico implicará la previa realización de una topografía del cauce por secciones transversales cada 25 metros, al menos, 100 metros aguas arriba y 100 metros aguas abajo de la pasarela. Es decir, es obligatorio tanto el análisis con la aplicación HEC-RAS o una similar que esté autorizada por la Administración competente, como la entrega del modelo utilizado.

Se especificará claramente cuál es el resguardo mínimo entre la superestructura y la cota de la lámina de agua calculada para el periodo de retorno anteriormente mencionado.

En cualquier caso, se deberá cumplir lo establecido en el capítulo de Drenaje en cuanto a estudios previos, cálculos, medidas de protección, etc. Si fuese necesario, se añadirá un estudio de erosión general del cauce y local. Estos estudios serán la base para la obtención de los permisos y autorizaciones preceptivas por parte de la Administración Hidrográfica competente.

Siguiendo las indicaciones de la Confederación y, para evitar, en su caso, la erosión de los estribos o pilas, se incluirán las pertinentes medidas protectoras, que se concretan en un mayor empotramiento de la zapata o encepado o en la colocación de una escollera suelta o embebida

en hormigón, gaviones o una losa protectora del cauce. Todas estas medidas serán compatibles con la estética general del cauce y con el medio ambiente.

Para este estudio, será necesario efectuar previamente un levantamiento taquimétrico del terreno, en tal detalle, que permita definir topográficamente el entorno donde se va a situar la pasarela. Será necesario el uso de bases fiables con disponibilidad de coordenadas. Estas bases no quedarán afectadas por el proceso de construcción de la propia pasarela o sus accesos.

El levantamiento topográfico cumplirá las especificaciones establecidas en el capítulo de Topografía y, en especial, lo establecido para pasarelas peatonales, de manera que se obtengan y proporcionen datos fiables para poder representarlas y replantearlas en el terreno, con cotas de referencia perfectamente identificables, en coordenadas UTM y de acuerdo a las bases necesarias de apoyo en concordancia con los vértices geodésicos de apoyo.

6.7.3.2. Estudio geológico-geotécnico

En todo momento, se considerará lo indicado en el capítulo específico para los estudios geológicos-geotécnicos; no obstante, se recogen aquí los puntos básicos a aplicar en los cálculos de las pasarelas. En primer lugar, será necesario llevar a cabo una investigación geológica-geotécnica del área donde se situará la estructura, para conocer la calidad del suelo en la zona de estribos y, caso de existir, en las pilas intermedias de la pasarela.

En base a la investigación citada, se describirá el encuadre geológico del lugar donde la implantación de la estructura tendrá lugar. La investigación geotécnica deberá cubrir ensayos in situ, ensayos de laboratorio y eventualmente ensayos geofísicos.

Toda la investigación será recogida en un informe que incluirá, como mínimo, los trabajos realizados, la caracterización geológica y geotécnica del terreno, el cálculo de tensiones de hundimiento y admisibles en zapatas, la resistencia por fuste, por punta y tope estructural en pilotes, los asientos previstos a corto y largo plazo, la caracterización de los diferentes sustratos del terreno investigado, con incorporación de sus parámetros geotécnicos, las recomendaciones de cimentación y todos los anejos con la situación de los ensayos de campo, las columnas litológicas, los cortes geológicos, la definición geotécnica con secciones transversales entre sondeos, los ensayos realizados, etc.

El informe debe contener unas conclusiones claras y concretas en cuanto a la tipología de cimentación adecuada y reflejar específicamente la ubicación idónea en relación con los sustratos competentes del terreno o con relación al cauce, en su caso, así como los parámetros geotécnicos de cálculo que deben adoptarse.

Deberá existir una correlación explícita entre los datos geotécnicos y los topográficos, de manera que sea perfectamente localizable la situación de los ensayos de campo y sondeos y las características del terreno, especialmente, en las zonas de cimentación donde se colocarán las zapatas, pilares, estribos o pilotes.

6.7.4. CÁLCULOS

6.7.4.1. Cálculo de la estructura

El cálculo de la estructura será coherente con el proceso constructivo propuesto, contemplándose todas las etapas y situaciones transitorias que resulten relevantes para las sollicitaciones y el comportamiento de la estructura o de sus partes.

El cálculo de la estructura comprende el estudio estructural del tablero, con sus componentes, así como de los soportes o pilas que lo sustentan. De acuerdo con la normativa vigente, se debe de recoger la comprobación del cumplimiento de los Estados Límite Últimos (estabilidad y resistencia) y el cumplimiento de los Estados Límites de Servicio (deformaciones y vibraciones).

El cálculo de la pasarela, en el Anejo correspondiente de la Memoria, deberá incluir los siguientes aspectos:

- Normativa de aplicación y referencia.
- Descripción de la estructura: definición de los pórticos que la componen (materiales, dimensiones, métodos de unión, existencia de atirantados, arriostramientos, tipología de barandillas, etc.), soportes o pilas intermedias, así como de su cimentación (zapatas, pilotes, dimensiones, uniones y encepados, etc.).
- Definición de las hipótesis de cálculo:
 - Hipótesis de carga: peso propio de la estructura y sus materiales, sobrecargas de uso, viento, sobrecarga de nieve, acciones térmicas y reológicas y acciones sísmicas.
 - Características de los materiales y durabilidad.
- Explicación de los modelos de cálculo empleados: definición del modelo programa, cálculos que se realizan, cargas introducidas, hipótesis asumidas, simplificaciones realizadas, restricciones impuestas, resultados y datos obtenidos.
- Establecimiento de los coeficientes de ponderación para el cálculo y comprobación de los Estados Límite Últimos (E.L.U.) y de los Estados Límite de Servicio (E.L.S.). Establecimiento de los coeficientes de minoración de la resistencia de materiales.
- Combinación de acciones de cálculo y factores de simultaneidad en la comprobación de E.L.U. y de E.L.S.
 - En la comprobación de los Estados Límite Últimos, se deberá incluir la comprobación del agotamiento de las secciones por tensiones y la estabilidad local o global de la estructura. Se incluirá, en su caso, el estudio no lineal en elementos como son las pilas, frente al pandeo a compresión, o las vigas o jácenas, frente al pandeo lateral por flexión.
 - Respecto al cumplimiento de los Estados Límite de Servicio, se comprobará si las deformaciones y el estado de vibraciones cumplen las limitaciones correspondientes.

- Los cálculos por ordenador irán acompañados por la correspondiente Memoria, donde se indiquen los modelos de cálculo empleado (2D o 3D, cargas introducidas, resultados obtenidos y su función), los gráficos o modelos explicativos con los elementos claramente identificados, los listados de salida de ordenador con los contenidos mínimos para la correcta identificación de elementos (nudos, barras, pilares, barandillas, secciones, etc.), las hipótesis de carga, las especificaciones de envolventes y valores obtenidos de envolventes, las solicitudes y los momentos.
- Estabilidad de la estructura durante el proceso constructivo.

6.7.4.1.1. Normativa

La normativa vigente aplicable al cálculo de pasarelas se agrupa de la siguiente forma:

Acciones

- Norma IAP-11. Instrucción sobre las acciones a considerar en el Proyecto de Puentes de Carretera. En ella, se contemplan las acciones para pasarelas peatonales, ciclistas, etc.
- Según Orden Circular 1/2019 del Ministerio de Fomento, sobre la aplicación de los Eurocódigos a los proyectos de carreteras, cuando la pasarela esté sobre una carretera, se utilizarán exclusivamente las Normas UNE vigentes, que son todos los Eurocódigos que puedan afectar a los cálculos.
- Eurocódigo 1. Acciones en estructuras.
- Norma de Construcción Sismorresistente. Puentes (NCSP-07), para las acciones sísmicas.

Pasarelas metálicas

- Instrucción de Acero Estructural (EAE-11), para las pasarelas metálicas de acero laminado.
- Eurocódigo 3. Proyecto de estructuras de acero.
- Código Técnico de la Edificación. CTE. Documento Básico SE-A Seguridad Estructural. Acero.

Pasarelas de hormigón

- Instrucción de Hormigón Estructural (EHE-08.), para estructuras de hormigón armado en general.
- Eurocódigo 2. Proyecto de estructuras de hormigón.

Pasarelas mixtas

- Eurocódigo 4. Proyecto de estructuras mixtas.
- Recomendaciones para el proyecto de puentes mixtos para carreteras (RPX-95), para las pasarelas mixtas (acero y hormigón).

- Manual de aplicación de las recomendaciones RPM - RPX/95, 2000.

Pasarelas de madera

- Eurocódigo 5. Proyecto de estructuras de madera. Parte 2: Puentes.
- Código Técnico de la Edificación. CTE. Documento Básico SE-M Seguridad Estructural. Madera.

Cimentaciones (al no existir normativa específica)

- Instrucción de Hormigón Estructural (EHE-08), para estructuras de hormigón armado en general.
- Guía de Cimentaciones en Obras de Carretera. Ministerio de Fomento, 2009.
- Guía para el proyecto y la ejecución de micropilotes en obras de carretera. Ministerio de Fomento, 2005.

6.7.4.1.2. Acciones de cálculo

Tanto en el cálculo de la superestructura como en el de la cimentación de las pasarelas, las acciones principales que deben de recogerse son las que se enumeran a continuación.

Acciones permanentes

Las acciones permanentes son las acciones que forman parte de los distintos elementos de la pasarela. Existen dos tipos: el peso propio del elemento resistente y las cargas muertas de los elementos anexos que no constituyen la estructura (como pavimentos, barandillas, desagües, etc.).

La siguiente tabla recoge los pesos más habituales utilizados en la construcción de pasarelas.

MATERIAL	DENSIDAD APARENTE, KN/M ³
ACERO	78,50
MADERA DE CONÍFERAS	3,00 a 5,00
MADERA DE FRONDOSAS	5,30 a 9,00
HORMIGÓN ARMADO Y PRETENSADO	25,00
HORMIGÓN LIGERO	10,00 a 20,00

Tabla 6.7.2. Pesos de los materiales más habituales utilizados en la construcción de pasarelas. Fuente: Elaboración propia.

Sobrecarga de uso

La instrucción IAP-11 prescribe que, para la determinación de los efectos estáticos de la sobrecarga de uso debida al tráfico de peatones, se considerará la acción simultánea de las cargas siguientes:

- a) Una carga vertical uniformemente distribuida de valor igual a 5 kN/m² en toda la superficie o en parte de ella, según la condición más desfavorable.

- b) Una carga horizontal de valor máximo igual al 10% de la carga uniformemente distribuida, actuando en el eje del tablero y a nivel de la superficie del pavimento.

Ambas cargas se consideran como una carga única de valor característico de sobrecarga de uso, cuando se combina con otro tipo de cargas.

Por otra parte, el Eurocódigo EN 1991-2-2019 considera las mismas cargas mencionadas anteriormente, pero establece una reducción de la sobrecarga para tramos cargados de longitudes mayores de 10 metros, que deberá aplicarse en proyectos de pasarelas peatonales de Caminos Naturales, salvo en los casos en que se prevean aglomeraciones extraordinarias, donde se deberán mantener los 5 kN/m² de carga vertical uniforme. Dicho Eurocódigo, si no está impedido el tránsito de vehículos, contempla para el cálculo la existencia de un vehículo como carga de tipo accidental compuesto por 2 ejes separados 3 metros longitudinalmente. El primer eje lleva una carga de 40 kN y el segundo de 80 kN verticales. Las ruedas, dentro de cada eje, están separadas transversalmente 1,30 m. Éstas se consideran cuadradas de 0,20 m de lado. Con esta carga, se asocia una fuerza de frenado igual al 60% de la carga vertical.

No obstante, en los Proyectos de Caminos Naturales donde se incluyan pasarelas peatonales, se tomarán las medidas necesarias para impedir, en general, el acceso de vehículos. Por ello, el vehículo accidental contemplado en el Eurocódigo se considerará únicamente, en el caso de necesidad obligada de paso de vehículos, lo que requerirá la existencia de elementos móviles o extraíbles para el control del paso de vehículos.

Cuando, por causa justificada, se prevea que la pasarela ha de compatibilizar el uso peatonal con el de vehículos de servicio, se caracterizará éste especificando sus dimensiones, las de sus ejes, sus cargas y sus condiciones de paso, adoptándose, en caso de ser más restrictivo, el modelo de vehículo descrito en el párrafo anterior.

Acciones en las barandillas

Las acciones tenidas en cuenta en el cálculo de las barandillas de las pasarelas de madera tipo se describen a continuación.

En los casos en que no sea previsible la formación de aglomeraciones de personas, se considerará, para la comprobación de la barandilla, una fuerza horizontal sobre el borde superior del elemento de 0,8 kN/m. En el caso de entornos rurales con alta probabilidad de cruce de personas y en miradores o zonas de descanso, el valor será de 1,0 kN/m. En el resto de los casos, el valor de esta acción será de 1,5 kN/m.

Para el cálculo de las barandillas metálicas tipo, se han tenido en cuenta tres consideraciones en función del aforo previsible de personas sobre dicha barandilla. Se han considerado las siguientes clases:

- **Clase A.** Obras existentes de pasarelas o estructuras de carreteras, cauces y zonas urbanas

- **Clase B.** Obras existentes de pasarelas o estructuras de entornos rurales con alta probabilidad de cruce de grupos de personas y en miradores o zonas de descanso.
- **Clase C.** Obras existentes de paso u otras estructuras de caminos/sendas con baja probabilidad de cruce de grupos de personas y en zonas sin aglomeraciones.

Para cada una de estas clases, se ha definido un valor de la carga horizontal de cálculo sobre la barandilla, para una determinada longitud del módulo de la barandilla (ver Tabla 6.7.8. Valores de cálculo de las barandillas de acero).

Acciones térmicas

En el proyecto, se justificará la necesidad o no de considerar estas acciones para la comprobación de la estructura, cimentación y apoyos.

El efecto de la acción térmica se evaluará según el artículo 4.3 de la IAP-11.

En las pasarelas de madera, no se considerará el efecto de la temperatura sobre la estructura.

Acciones de viento

En relación a las acciones del viento, se deberá consultar el contenido del artículo 4.2 de la Norma IAP-11. El efecto del viento se asimila a una carga estática.

Para las pasarelas donde los vanos suelen ser menores de 40 m de luz y menores de 20 m en altura de pilas intermedias, bajo unas condiciones determinadas, podrá aplicarse el cálculo simplificado del empuje de viento en tablero y pilas, considerando únicamente los efectos del viento transversal.

Este método simplificado calcula dichos empujes en función de la altura de las pilas, si existen, el tipo de entorno y la velocidad básica fundamental del viento del lugar.

Los análisis dinámicos y vibratorios incluyen la determinación de los modos de vibración, frecuencia natural, riesgo de resonancia, deformaciones y esfuerzos periódicos. Los valores obtenidos deben estar en consonancia con las normas aplicables.

En función del lugar donde se ubica la pasarela, se determina la velocidad básica fundamental del viento de referencia y se obtiene el empuje sobre la estructura (ver figura adjunta recogida en el IAP-11, coincidente con el Mapa del Código Técnico de la Edificación).

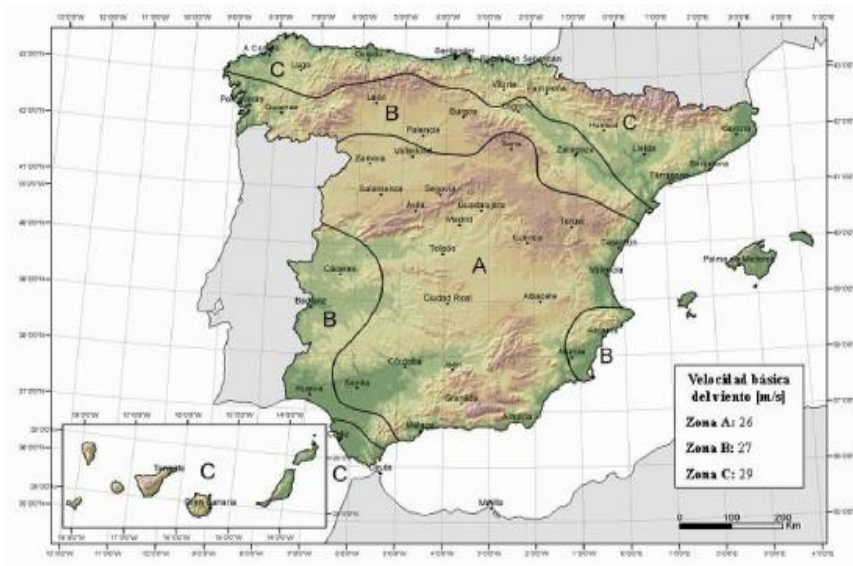


Figura 6.7.1. Mapa de Isotacas para la obtención de la velocidad básica fundamental del viento, $V_{b,0}$. Fuente: IAP-11, 2011.

Acciones de nieve

En aquellos casos en los que las pasarelas se sitúen por encima de los 2.200 m de altitud, es necesario un estudio específico que determine la carga de nieve sobre la pasarela.

Para altitudes inferiores, la Norma IAP-11 suministra unos valores característicos de sobrecarga de nieve en un terreno horizontal para las siete zonas climáticas en que se divide el Estado.

La sobrecarga sobre el tablero de la pasarela viene dada por la expresión:

$$Q_k = 0,80 s_k$$

donde s_k es el valor característico de la sobrecarga de nieve sobre un terreno horizontal.

Acciones sísmicas

Al igual que el Eurocódigo 8, la Norma NCSP-07 no incluye dentro de su ámbito de aplicación los puentes y las pasarelas de madera; estas normas están referidas a puentes de acero o de hormigón. No obstante, es una referencia que puede tenerse en cuenta en el estudio de acciones sísmicas en pasarelas de madera.

Igualmente, de acuerdo con la NSCP-07, no es necesario aplicar el análisis sísmico para lugares con una aceleración sísmica básica horizontal que sea menor del 4% de la aceleración de la gravedad.

6.7.4.1.3. Estados Límite Últimos (E.L.U.)

Se deben considerar los siguientes estados:

- E.L.U. de rotura, por deformación plástica excesiva o inestabilidad local por abollamiento, donde se deberán tener en cuenta las uniones.

- E.L.U. de pérdida de equilibrio, por falta de estabilidad de una parte o de la totalidad de la pasarela.

De acuerdo con la normativa aplicable, en las situaciones de cálculo estudiadas, se deberá tener en cuenta, la probabilidad de que cada una de ellas actúe con su valor más desfavorable. Para ello, se definirán las combinaciones de acciones, los coeficientes parciales de seguridad y los coeficientes de simultaneidad, en las situaciones de cálculo siguientes:

- Situación permanente
- Situación transitoria, si es relevante o controla el diseño
- Situación accidental

Las combinaciones de acciones posibles son:

- En situaciones de cálculo con cargas persistentes y transitorias:

$$\sum \gamma_G \times G + \gamma_Q \times Q_1 + \sum \gamma_Q \times \psi_0 \times Q$$

- En situaciones de cálculo accidentales:

$$\sum \gamma_G \times G + \gamma_A \times A + \gamma_Q \times \psi_1 \times Q_1 + \sum \gamma_Q \times \psi_2 \times Q$$

donde:

- G es el valor característico de las acciones permanentes.
- Q_1 es el valor característico de la acción variable dominante en la situación de cálculo considerada.
- Q es el valor característico del resto de las acciones variables.
- A es el valor característico de la acción accidental.
- ψ_0, ψ_1, ψ_2 son los coeficientes de simultaneidad.
- $\gamma_G, \gamma_Q, \gamma_A$ son los coeficientes parciales de seguridad.

De acuerdo con la Normativa IAP-11, los valores representativos de las acciones variables vienen afectados por los coeficientes de simultaneidad ψ , según la comprobación que se considere:

- Valor de combinación persistente o transitoria ψ_0 Q: valor de la acción variable concomitante con otra acción dominante en comprobación en Estados Límite Últimos, en situaciones persistentes o transitorias.
- Valor de combinación frecuente ψ_1 Q: valor frecuente de la principal acción variable concomitante con otra acción del tipo accidental.
- Valor de combinación casi-permanente ψ_2 Q: valor casipermanente del resto de las acciones variables concomitantes con la principal acción variable y con otra del tipo accidental.

Para las pasarelas, se pueden resumir los coeficientes ψ de simultaneidad en el siguiente cuadro:

ACCIÓN	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
SOBRECARGA DE USO	0,40	0,40	0
VIENTO	0,30	0,20	0
ACCIÓN TÉRMICA	0,60	0,60	0,50
NIEVE	0,80	0	0
ACCIÓN DEL AGUA	1,00	1,00	1,00
SOBRECARGA DE CONSTRUCCIÓN	1,00	0	0

Tabla 6.7.3. Valores de los coeficientes de simultaneidad Ψ de acciones variables. Fuente: Tomado de "Normativa IAP-11", 2011.

Aparte de la verificación del estado tensional de los elementos de la estructura, adquiere particular importancia, por su exposición, la comprobación estructural de las uniones y de cómo puede variar su comportamiento con el paso del tiempo.

6.7.4.1.4. Estados Límite de Servicio (E.L.S.)

Independiente del material constitutivo de la pasarela, sea de madera, metálica o mixta, se deben de fijar una serie de limitaciones de servicio a cumplir.

- Limitaciones de deformaciones (flechas y curvatura)
- Limitaciones a las frecuencias propias de vibración, para evitar las vibraciones inadmisibles
- Limitaciones en anchura de fisura, en el caso de elementos de hormigón

Pasarelas de madera

En relación con las deformaciones de la estructura, es necesario conocer algunos parámetros específicos de la madera como estructura:

- Factor de fluencia k_{def} :

El desplazamiento final de un elemento estructural se calculará según la expresión:

$$W_{fin} = W_{ini} + W_{creep} = W_{ini} (1 + \Psi k_{def})$$

donde:

w_{ini} : desplazamiento elástico instantáneo

w_{creep} : deformación diferida

k_{def} : factor de desplazamiento diferido

Ψ : coeficiente de simultaneidad:

- Para las cargas permanentes, es 1,00.
- Para las cargas variables o transitorias es:
 - Para acción variable de valor de combinación, $\Psi = 0,70$
 - Para acción variable de valor frecuente, $\Psi = 0,50$
 - Para acción variable de valor casipermanente, $\Psi = 0,30$

En la siguiente tabla, se recogen los valores para k_{def} , en función de la clase de servicio del elemento estructural para cargas de duración permanente (exclusivamente). Para el caso de las pasarelas, se deberá aplicar la Clase de Servicio 3, ya que son estructuras expuestas a la intemperie.

MATERIAL	CLASE DE SERVICIO 1	CLASE DE SERVICIO 2	CLASE DE SERVICIO 3
MADERA MACIZA	0,60	0,80	2,00
MADERA LAMINADA ENCOLADA	0,60	0,80	2,00
MADERA MICROLAMINADA	0,60	0,80	2,00
TABLERO CONTRACHAPADO	0,80	1,00	2,50

Tabla 6.7.4. Valores de k_{def} para madera, para cargas de duración permanente (exclusivamente). Fuente: Tomado de "Puentes de madera", de Kart Schwaner y otros, 2004.

- Limitación de la deformación:

La Norma UNE-EN 1995-2:2016 especifica un rango de valores límite de deformación en elementos estructurales principales para carga uniforme de tráfico peatonal y de vehículo de servicio ligero, en función de la luz, L , del elemento (viga, placa o celosía).

La flecha máxima que contempla la citada norma se encuentra entre los valores de $L/200$ y $L/400$.

- Vibraciones:

Las pasarelas suelen ser estructuras esbeltas y flexibles que propician la aparición de problemas de vibraciones.

En general, la frecuencia natural de las vibraciones de la estructura o del elemento que se analiza deberá ser mayor que los valores que dependen de la fuente de vibración. En la mayoría de los casos, la cadencia de paso de los peatones tiene una frecuencia de alrededor de 2 Hz, con una desviación típica de 0,175 Hz. En el caso de peatones corriendo, la cadencia de paso puede alcanzar los 3,50 Hz.

El factor de amortiguamiento, ζ , se encuentra entre 0,010 y 0,015 y se utiliza para el cálculo de las aceleraciones verticales, según:

- $a_v = 200 / M \zeta$, para $f_{vert} \leq 2,50$ Hz
- $a_v = 100 / M \zeta$, para $2,50 \text{ Hz} < f_{vert} \leq 5,00$ Hz

donde:

a_v : aceleración vertical

M : masa total de la pasarela (peso propio)

ζ : factor de amortiguamiento

f_{vert} : frecuencia natural fundamental en vibración vertical de la pasarela

El detalle del cálculo puede consultarse en la norma EN 1995-2.

Pasarelas metálicas y mixtas

- **Deformaciones:**

Según la RPM-95, la EAE-11. Instrucción del Acero Estructural y la RPX-95, se recomienda dotar de contraflecha para la carga permanente.

La flecha correspondiente a la parte de sobrecarga de combinación frecuente será igual o menor que $L/1200$ en pasarelas peatonales y puentes urbanos con aceras accesibles.

- **Vibraciones:**

Las pasarelas metálicas y mixtas suelen ser estructuras flexibles propensas a la aparición de vibraciones.

Las frecuencias de las acciones por peatón varían aproximadamente entre 2 y 3,5 Hz, como se ha mencionado anteriormente. El objetivo fundamental es evitar que la cadencia media de paso coincida con alguna frecuencia natural de la pasarela. Según diversos estudios estadísticos realizados en diferentes pasarelas, realizando un ajuste por mínimos cuadrados de los datos obtenidos, se observa la siguiente relación:

$$f_1 = 33,6 L^{-0.84}$$

Se puede constatar una gran dispersión de los datos.

A continuación, se presentan las relaciones similares que se pueden deducir para cada tipo de construcción (material) y, en una primera aproximación, la frecuencia natural de una pasarela puede aproximarse a los siguientes valores:

- Hormigón: $f_1 = 39 L^{-0.77}$
- Acero: $f_1 = 35 L^{-0.73}$
- Mixto: $f_1 = 42 L^{-0.84}$

donde:

f_1 : frecuencia natural, en Hz

L: luz, en metros.

De estos datos, se deduce que parece haber una mayor posibilidad de aparición de problemas para luces comprendidas en los siguientes intervalos:

- Hormigón: Mayores de 25 m
- Acero: Mayores de 35 m

Asimismo, se ha de recordar que en los puentes de pequeña luz, donde la frecuencia fundamental es múltiplo de la cadencia de paso, pueden aparecer también problemas significativos. Las fórmulas que se han facilitado anteriormente son una buena guía para la estimación de las frecuencias fundamentales, pero no deben sustituir un cálculo preciso de proyecto.

Las pasarelas peatonales modernas, estructuralmente eficientes, especialmente las de acero u hormigón pretensado, tienen muy poco amortiguamiento. Como resultado de esto, las vibraciones pueden ir creciendo al paso de un peatón. Como el amortiguamiento aumenta con la amplitud de la vibración, puede llegar a limitar su nivel, pero nunca antes de que alcance valores superiores a los admisibles.

Cabe esperar más problemas en las pasarelas metálicas que en las de hormigón. Es preciso destacar que, en la actualidad, no es posible predecir con precisión un valor de amortiguamiento. La experiencia acumulada es la mejor guía de proyecto en la actualidad.

Tipo de construcción	Mín.	Medio	Máx.
Hormigón armado	0,008	0,013	0,020
Hormigón pretensado	0,005	0,010	0,017
Mixta	0,003	0,006	–
Metálica	0,002	0,004	–

Tabla 6.7.5. Valores comunes del factor de amortiguamiento para pasarelas peatonales. Fuente: "Problemas de vibraciones en estructuras. Recomendaciones y manuales técnicos estructurales y edificación E-8. Varios autores". Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos y Ache, 1991

6.7.4.2. Cálculo de las cimentaciones, estribos y aletas

El tipo de cimentación de una pasarela depende de la calidad del suelo, de acuerdo a los datos de estudios previos obtenidos, y de las cargas transmitidas a éste. Las cimentaciones suelen ser superficiales, de hormigón armado, con zapatas aisladas, salvo en suelos de mala calidad, donde se emplearán pilotes, micropilotes o pozos para cimentaciones profundas o semiprofundas.

Los estribos, con sus aletas correspondientes, siempre en hormigón armado, desempeñan una doble función, por un lado, transmiten la carga del tablero al terreno, en sus extremos y, por otro lado, como estructura de contención, controlan los derrames de tierras del terraplén de acceso a la pasarela.

En el diseño de las cimentaciones y estribos, se deberá tener en cuenta lo establecido en el informe geotécnico y los datos de la pasarela en cuanto a definición geométrica y acciones. De esta forma, se decidirá la tipología de la cimentación adoptada que, en general, suele ser:

- Cimentación del tipo superficial, con soluciones del tipo zapatas aisladas o combinadas, losas o pozos de cimentación (cimentación semiprofunda)
- Cimentación profunda: pilotes y micropilotes
- Cimentación especial: inyecciones, pantallas, etc.

La tipología de los estribos y aletas viene influenciada por la disposición geométrica de la pasarela respecto a los accesos y a la vaguada, paso inferior o arroyo que cruza. Normalmente, suelen ser del tipo:

- Estribos cerrados o abiertos, en función de la altura de éstos
- Aletas de vuelta o abiertas, en función de la altura y el tipo de paso inferior
- Otros especiales, constituidos por elementos prefabricados o taludes casiverticales reforzados con geomallas, gaviones, etc.

186

Una vez fijada la tipología de la cimentación, se efectuarán las comprobaciones siguientes:

- Comprobación a hundimiento, que será función de la capacidad portante del terreno y de las cargas actuantes.
- Movimientos o asientos a corto o a largo plazo, para conocer la influencia que pueden tener en la superestructura.
- Comprobación de la estabilidad. Se deben comprobar los coeficientes de seguridad al vuelco y al deslizamiento. Es importante que, en esta comprobación, sea posible determinar claramente cuándo puede ayudarse de la cohesión del terreno y en qué caso de los empujes desarrollados por el mismo (activos, pasivos o al reposo), especialmente, en el diseño de elementos de contención, como son los estribos y las aletas. En el caso de zapatas sobre lecho fluvial, los empujes asumidos pueden variar con el tiempo ante, por ejemplo, posibles erosiones del terreno.
- Comprobación del fallo global. Este cálculo será especialmente relevante en el caso de cimentaciones a medias laderas. También, deberá tenerse en cuenta la posibilidad de descalces por obras futuras próximas a la pasarela.
- Comprobación de descalces por la erosión o socavación de las cimentaciones, normalmente, motivados por acciones fluviales o drenajes de terceros próximos.
- Diseño estructural de los elementos. Consiste en el correcto armado de las zapatas, pilotes, estribos y aletas, tras las comprobaciones anteriores.

6.7.4.2.1. Acciones a considerar

Aparte de las procedentes de la superestructura, específicamente en obras de cimentación, aletas y estribos, se considerarán las siguientes acciones.

- Pesos propios
- Acciones sísmicas en estribos, zapatas, etc
- Empujes de tierras
- Empujes hidrostáticos
- Empujes hidrodinámicos
- Subpresión
- Asientos diferenciales

Los detalles de obtención de estas cargas, así como los coeficientes de seguridad al hundimiento y los relacionados con la estabilidad a vuelco y a deslizamiento, están descritos en la Guía de Cimentaciones en Obras de Carretera del Ministerio de Fomento (2009). En este mismo documento, se describen los métodos de cálculo utilizados con mayor frecuencia en el diseño de cimentaciones, que son aplicables a las pasarelas.

En cuanto a las acciones por empuje de tierras, empuje hidrodinámico y asientos, se revisará el contenido de la Norma IAP-11. Instrucción sobre las acciones a considerar en el Proyecto de Puentes de Carretera.

Finalmente, en la Guía para el proyecto y la ejecución de micropilotes en obras de carretera (Ministerio de Fomento, 2005), se detalla la manera de ejecutar estas cimentaciones profundas.

6.7.4.3. Pasarelas rebasables

Como caso particular, hay que tener en cuenta que, en determinadas circunstancias, se debe diseñar un tipo de pasarelas rebasables que soporten el paso de avenidas pequeñas pero recurrentes.

Las pasarelas rebasables se caracterizan por estar situadas en cursos de agua con caudales previsible, durante su vida útil, superiores a la capacidad de su sección de paso.

Podrá adoptarse esta solución cuando se cumplan las siguientes condiciones:

- Exista una desproporción notable entre la magnitud de la obra necesaria para resolver el problema y el servicio que se da.
- Deberá quedar patente en el proyecto que la interrupción del servicio durante el tiempo y la frecuencia estimados no interfiere gravemente con el aprovechamiento del Camino Natural.
- Se tomarán las medidas precisas para que no se ponga en peligro la seguridad del usuario.
- La solución propuesta debe ser aprobada por el organismo de cuenca competente.

En el diseño de la estructura, se deberán tener en cuenta los siguientes aspectos:

- La sección de paso será suficiente para evitar el riesgo de obstrucciones con retenciones importantes que, al provocar el colapso de la estructura, pudieran ser causa de daños aguas abajo.
- Se considerará, como situación de cálculo en estado límite último, la acción de la corriente de agua sobre la pasarela según la Norma IAP11, para la avenida prevista para un periodo de retorno de 100 años. Esta acción no se considerará concomitante con ninguna de las restantes acciones variables.
- Se dispondrá la estructura de forma que la rotura se realice de forma progresiva, desde barandillas, que deberán ser “fusibles” por la posible carga de agua antes de que se produzca el colapso de la estructura, elementos secundarios del tablero, estructura del

tablero, pilas y estribos. En lo posible, se procurará la conservación de estos últimos elementos, tras superarse el límite resistente de los primeros.

- Deberán considerarse, en su caso, la socavación y el impacto contra la estructura de los elementos arrastrados por la corriente.

El proyecto del Camino Natural debe tener prevista la eventual situación de falta de servicio de la pasarela con sistemas de alerta, limitación de uso, itinerarios alternativos u otras medidas que se consideren adecuadas y eficaces para evitar el empleo de la infraestructura en situaciones de riesgo para el usuario que produzcan el aislamiento de éste.

6.7.4.4. Prueba de carga

La documentación del proyecto incluirá un anejo que definirá la prueba de carga que se deberá realizar sobre la estructura antes de su puesta en servicio.

La prueba será definida en función de las características de la pasarela, pudiendo ser estática o dinámica.

En el anejo, se determinarán las cargas de prueba, estados de carga, escalonamiento, puntos de medición, valores esperados y criterios de aceptación o rechazo.

6.7.5. DEFINICIÓN DEL PROCESO CONSTRUCTIVO

En los proyectos constructivos que incluyan una pasarela, la parte de la documentación necesaria deberá estar incluida en cada uno de los documentos correspondientes.

En los Anejos, se definirán aquellos puntos o estudios que son importantes dentro de la particularidad de cada pasarela. Entre otros, y en caso de ubicaciones difíciles, se procederá a la definición de accesos, ejecución de obras temporales necesarias en su caso, restituciones del entorno cuando la obra esté acabada, etc.

Cuando la complejidad de la estructura así lo requiera, se suministrarán planos con detalle suficiente para su posterior ejecución en taller, según se refleje en el Pliego de Prescripciones. Es necesario también incluir en el mismo el proceso constructivo correspondiente, de tal forma que queden definidas en el proyecto las posibles incidencias que se pueden presentar en el momento de ejecución de la obra.

Si fuera necesario, se incluirá un plan específico de ejecución de los trabajos.

6.7.5.1. Estructuras metálicas

Preparación de materiales

En todos los perfiles y chapas que se utilicen en la construcción de las estructuras, se eliminarán las rebabas de laminación y se suprimirán las marcas de ese proceso, especialmente, en las zonas de encuentro entre perfiles o en uniones.

Como norma general, las deformaciones locales no excederán en ningún punto del 2,5 % de la dimensión inicial. Se prohíbe el uso del soplete en las operaciones de conformado y enderezado.

Corte del material

Se realizará mediante cizalla, sierra u oxicorte, eliminando las rebabas, estrías o cualquier tipo de irregularidades.

Los bordes cortados se mecanizarán con piedra esmeril, fresa o buril, en las proximidades de uniones.

Marcado de piezas

Las piezas de cada conjunto se marcarán con las siglas correspondientes para su posterior identificación y armado. En ningún caso, se producirán hendiduras en el material, consecuencia del citado marcado.

Elección y manejo de electrodos

Todos los materiales consumibles se registrarán por lo establecido en las Normas UNE que les sean de aplicación.

Respecto al manejo de los electrodos, se cumplirán los siguientes requisitos:

- Deberán ser almacenados bajo ambiente seco y temperatura adecuada.
- Los soldadores tendrán al alcance estufas portátiles, para la consumición de los electrodos.

Secuencia de armado y soldeo

Antes de la fabricación, el contratista estudiará la secuencia de armado y soldeo, siendo el único responsable de las deformaciones, tensiones residuales u otros defectos de soldadura que por esta causa puedan originarse.

Fabricación soldada

Las soldaduras serán ejecutadas por soldadores cualificados por cualquiera de las entidades oficialmente reconocidas. No se realizarán soldaduras en campo cuando la temperatura ambiente sea inferior a -5° C.

Los cantos y las caras de las chapas a soldar se limpiarán cuidadosamente eliminando restos de óxido, pintura, grasa o cualquier sustancia extraña.

En campo, se realizarán primero los cordones transversales y, luego, los longitudinales. Se prohibirá el enfriamiento de los cordones por medios artificiales.

Fabricación atornillada

Los taladros para los tornillos se perforarán con taladradora, nunca se empleará la rectificación de agujeros por medio de soplete oxicorte. En aquellos casos en los que la rectificación es inevitable, se empleará el escariador mecánico.

Para la colocación de tornillos de alta resistencia, se comprobará previamente que las superficies están planas, exentas de pintura y limpias.

Montaje

El contratista someterá al Director de Obra la modalidad de transporte elegido en lo referente a piezas o conjuntos donde sea preciso guardar alguna precaución.

La descarga será responsabilidad del contratista, siendo éste quien correrá con los gastos de estos trabajos.

Las manipulaciones para la carga, transporte, descarga y almacenamiento a pie de obra se realizarán de forma que no provoquen solicitaciones excesivas en ningún elemento de la estructura y no dañen las partes ya pintadas.

Durante su montaje, la estructura se asegurará provisionalmente con un medio auxiliar adecuado, quedando así garantizada la estabilidad.

En el momento del montaje, se prestará la debida atención al ensamblaje de las distintas piezas, con objeto de que la estructura se adapte a la forma prevista en el Proyecto, comprobándose, cuantas veces sea necesario, la colocación relativa de sus diversas partes.

6.7.5.2. Estructuras de madera

Materiales

Antes de su transporte a obra, la madera deberá de haberse secado correctamente hasta alcanzar su equilibrio higroscópico. Se evitará el contacto directo con el terreno en el acopio del tajo.

Para cada partida, se podrá identificar el tipo de elemento estructural con su clase resistente y marcado, según la Norma UNE-EN 14080:2013.

El incumplimiento de las especificaciones de un producto, especialmente en lo referente a su resistencia mecánica y durabilidad, será condición para la no aceptación del producto o de la partida.

Adhesivos

Los documentos de uso de adhesivos e incompatibilidades estarán disponibles para su inspección. Se comprobará la adecuación de estos materiales al uso estructural y la clase de servicio de la estructura.

Se ajustarán a las Normas UNE-EN 301:2018 y UNE-EN 12436: 2002.

Uniones

Las uniones se ejecutarán con elementos mecánicos de fijación a base pernos, tornillos y placas de asiento o de testa en acero. Éstos quedarán protegidos con pintura anticorrosión similar en material, en su caso, a las placas y vigas de acero.

Se especificará en el proyecto las resistencias a tracción del acero y la correcta geometría de las piezas de unión para su fabricación.

191

6.7.5.3. Obra civil

Con respecto a la ejecución de la obra civil, en cuanto a recepción y preparación de materiales, preparación y ejecución de hormigones, armaduras, encofrados y cimbras, se aplicará lo especificado en el epígrafe análogo del capítulo de Pasos Inferiores.

6.7.5.4. Protección del medio ambiente y gestión de residuos

En todos los trabajos de ejecución de pasarelas, se tendrá muy presente la gestión de los residuos. Todos los productos resultantes procedentes de demoliciones, restos de elementos metálicos, electrodos, pletinas, casquillos o restos de medios auxiliares tendrán un destino final de entrega a gestor autorizado por el organismo ambiental de la Comunidad Autónoma correspondiente.

Durante las obras se protegerá adecuadamente el resto de elementos adyacentes con lonas protectoras, mallas de seguridad, balizamientos, etc. Estos elementos se anclarán convenientemente, de forma que no tengan libre movimiento, especialmente, ante el viento. El destino final de los restos de estos elementos que no sean aprovechables será el mismo que el de los residuos de la obra, es decir, traslado a gestor autorizado.

En ningún caso, se permitirá el vertido al cauce o a la vía inferior de productos resultantes del proceso de ejecución. Para ello, será necesaria la colocación de plataformas auxiliares o andamios que posean la estanqueidad suficiente para evitar la caída de restos, incluso de forma accidental, y faciliten su recogida para entrega a gestor autorizado.

6.7.5.5. Mediciones

Existirá un control de las cantidades o mediciones de las diferentes operaciones que se ejecuten. Las unidades de obra dentro del proyecto estarán claramente definidas en su descripción, en su unidad de medición y en las cantidades valoradas en presupuesto. Si fuese necesario, en aquellas partidas donde sea difícil la cuantificación de los materiales a emplear, se efectuarán estimaciones valoradas a falta de un cómputo de lo realmente ejecutado.

6.7.5.6. Construcción en medios naturales protegidos

En los trabajos de ejecución de pasarelas en medios naturales protegidos, es necesario ser especialmente cuidadoso con el medio que rodea a la obra. Es preciso definir las medidas a tomar en el proyecto, antes de la ejecución de las diferentes partidas para su conocimiento y autorización previos.

En estos casos, la cuidadosa gestión de los residuos es muy importante. Se someterá un plan de ejecución para aprobación y permiso de trabajo. En este plan, se detallará la unidad de obra, cómo será llevada a cabo, qué medidas de control en cuanto a generación de residuos se tomarán, qué caminos de acceso deberán utilizarse y cuál será su impacto sobre el entorno.

Todo ello quedará convenientemente reflejado, en su caso, en los anejos correspondientes, gestión de residuos o afecciones ambientales.

6.7.6. MATERIALES

6.7.6.1. Aceros

En las pasarelas metálicas, se utilizan los siguientes tipos de acero:

- Acero laminado en caliente. Son aceros normalmente soldables, no aleados, no resistentes a la corrosión y con una microestructura normal. Estos aceros cumplirán las características y propiedades mecánicas recogidas en la Norma UNE-EN-10025-2:2006.
- Aceros autopatinables. Son aceros con resistencia mejorada a la corrosión atmosférica. Cumplirán las características y propiedades mecánicas recogidas en la Norma-UNE-EN-10025-6:2007+A1:2009.

La nomenclatura actual de los aceros empleados es:

- S-275. Límite elástico: $f_y = 275 \text{ N/mm}^2$. Tensión de rotura: $f_u = 430-580 \text{ N/mm}^2$. De utilización preferente y hasta espesores nominales $t \leq 40 \text{ mm}$.
- S-355. Límite elástico: $f_y = 355 \text{ N/mm}^2$. Tensión de rotura: $f_u = 490-680 \text{ N/mm}^2$. Se utiliza únicamente para pasarelas especiales y hasta espesores nominales $t \leq 40 \text{ mm}$.

En tornillería, se utilizan las siguientes tipologías, según la Norma EAE-11:

- Tornillos ordinarios tipo 4.6, de límite elástico $f_{yb} = 240 \text{ N/mm}^2$
- Tornillos de alta resistencia tipo 8.8, de límite elástico $f_{yb} = 640 \text{ N/mm}^2$
- Tornillos de alta resistencia tipo 10.9, de límite elástico $f_{yb} = 900 \text{ N/mm}^2$

6.7.6.2. Hormigones y armaduras

En cuanto al hormigón armado o pretensado, sus características son las siguientes:

- Tableros armados: Hormigón tipos HA-25 / HA-30
- Tableros pretensados: Hormigón tipos HP-35 / HP-50

- Aceros para armaduras: Pasivas, B-500-S
- Acero para armaduras Activas, Y-1860-S7
- Acero para conectores: Límite elástico $f_{yb} = \geq 355 \text{ N/mm}^2$

Para la subestructura de todo tipo de pasarela, se utilizarán los siguientes materiales:

- Cimentaciones: Normalmente, hormigón tipos HA-25 / HA-30, aunque, dependiendo de la agresividad del ambiente, podrán utilizarse otros hormigones especiales (cemento sulfurresistente, etc.).
- Estribos, aletas: Mismos hormigones.

6.7.6.3. Maderas

La madera tiene características propias como son la higroscopicidad y la anisotropía. Estas cualidades deben tenerse presentes en las fases de proyecto, fabricación y mantenimiento de las pasarelas.

En particular, es necesario definir la resistencia y durabilidad, en función de las características naturales de cada especie. Las especies de uso más común son las coníferas y, dentro de éstas, las especies de uso más frecuente y con mejores características resistentes son el pino laricio (*Pinus nigra*), el pino rodeno o marítimo (*Pinus pinaster*) y el pino albar o valseáin (*Pinus sylvestris*).

Cuando la pasarela no esté protegida, se utilizará madera con bajo riesgo de rajado por contracción (secadas lentamente y/o en condiciones controladas de temperatura y humedad) o, en casos excepcionales, maderas tropicales.

Para la mejor conservación y duración de la madera laminada encolada, se impregnarán las piezas con productos protectores antes de la unión.

Los elementos metálicos a utilizar en la pasarela de madera deberán poseer protección adecuada frente a la corrosión.

La Norma CTE SE-M, Seguridad Estructural de la Madera, contempla cuatro tipos de madera para uso estructural:

- Madera maciza (madera aserrada y madera en rollizos)
- Madera laminada encolada
- Madera microlaminada
- Tablero estructural

Las clases resistentes para madera maciza son:

- Para coníferas: C14, C16, C18, C20, C22, C24, C27, C30, C35, C40, C45 y C50
- Para frondosas: D18, D24, D30, D35, D40, D50, D60 y D70

Para las pasarelas de Caminos Naturales, se utilizará preferiblemente madera de coníferas, por su facilidad de obtención y su precio más asequible, de clase resistente de C18 a C24, donde la numeración expresa la resistencia a flexión en N/mm^2 .

Las clases resistentes para madera laminada son:

- Madera laminada encolada homogénea: GL24h, GL28h, GL32h y GL36h
- Madera laminada encolada combinada: GL24c, GL28c, GL32c y GL36c

La madera laminada que se utilizará en los cálculos será, principalmente, del tipo GL24 o GL28. Al igual que en el caso de la madera maciza, se utilizará preferentemente madera de coníferas GL24h, por su facilidad de obtención y su precio más asequible. La numeración expresa la resistencia a flexión en N/mm^2 .

El contenido de humedad de la madera influye significativamente en las propiedades mecánicas y debe de tenerse en cuenta dentro del cálculo. A mayor porcentaje de humedad, disminuyen las características mecánicas. Las recomendaciones establecen que, para uso estructural, la madera se instale en obra con un contenido de humedad no superior al 20%.

Los ensayos mecánicos se efectúan en unas condiciones ambientales determinadas de 20 ± 2 °C y $65\pm 5\%$ de humedad relativa del aire. Para gran parte de las especies coníferas, esto implica un contenido de humedad de equilibrio de la madera de alrededor del 12%.

Cuando la estructura en servicio tenga unas condiciones de humedad diferentes, será necesario efectuar una corrección en sus propiedades mecánicas, pues, como se ha mencionado, a mayor humedad, disminuyen las características mecánicas.

Igualmente, la duración de las cargas también incide en la resistencia de la madera. A mayor duración, la resistencia tiende a bajar.

De acuerdo con el contenido de humedad previsible, a las estructuras de madera se les asigna unas clases de servicio, lo que permite la asignación de valores resistentes y el cálculo de las deformaciones bajo unas condiciones ambientales determinadas. Para pasarelas peatonales de Caminos Naturales será:

- Clase de servicio 3: Expuestas a la intemperie y en contacto con el agua o con el suelo (pasarelas sin cubrir, pérgolas, embarcaderos). El grado de humedad del material suele superar con frecuencia el 20%.

De acuerdo con el C.T.E., Documento Básico Estructural de la Madera DB-SE-M, para un determinado tipo de madera, en función de la duración de la carga y de la clase de servicio a que está expuesta, existen unos coeficientes modificadores de la capacidad mecánica, llamados k_{mod} . La capacidad de carga viene dada por:

$$R_d = k_{mod} (R_k / \gamma_m)$$

donde:

- R_d : Capacidad de carga de cálculo

- R_k : Valor característico de la capacidad de carga
- γ_m : Coeficiente parcial de seguridad
- k_{mod} : factor de modificación (normalmente, con valores comprendidos entre 0,50 y 0,90)

6.7.7. PROTECCIONES

El cambio de humedad en la **madera** tiene como consecuencia la aparición de hinchazones o contracciones con abertura de grietas, que produce la correspondiente disminución de su resistencia. La protección química disminuye este riesgo y consigue reducir la velocidad de absorción de agua mediante la impregnación de sales especiales. Disminuyendo el contenido de humedad por debajo del 20%, se previene el ataque de hongos y, en consecuencia, las pudriciones.

Todas las maderas empleadas deberán recibir tratamientos químicos protectores frente a hongos e insectos xilófagos, que se aplicarán en autoclave.

Los productos protectores utilizados deberán estar inscritos en el Registro Oficial Central de Productos y Material Fitosanitario del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Además, estos productos serán no tóxicos, no corrosivos y aptos para proporcionar tratamientos en profundidad a maderas sometidas a la clase de riesgo 4, según define la Norma UNE-EN 335:2013 "Durabilidad de la madera y sus productos derivados. Clases de uso: definiciones, aplicación a la madera maciza y a los productos derivados de la madera".

La penetración mínima del producto será la definida por P4, según indica la Norma UNE-EN 351-1:2008 "Durabilidad de la madera y sus productos derivados. Madera maciza tratada con productos protectores. Clasificación de las penetraciones y retenciones de los productos protectores"; es decir, de, al menos, 6 mm en las caras laterales en la albura.

El diseño suele ser el factor determinante en la durabilidad de la pasarela de madera, aunque también es importante en el resto de tipos de pasarelas. De forma general, se intenta reducir la exposición de los elementos a la intemperie, especialmente, a la radiación solar y la humedad, que son los factores más dañinos.

Una solución que se puede aplicar, aunque no es de uso frecuente en los proyectos de Caminos Naturales, es la cubrición de la pasarela. Como inconveniente de esa incorporación, hay que considerar las cargas adicionales de viento, uso y nieve en la cubierta añadida, que incrementan el peso y el coste.

Cuando no existe la posibilidad de cubrir la pasarela totalmente, a veces, se incorpora un revestimiento parcial en la cara superior de los elementos principales, con el objetivo de evitar la presencia de humedad de forma permanente.

Las medidas de protección que se suelen utilizar son varias:

- Utilizar madera más resistente para los elementos estructurales principales.
- Proyectar las uniones de forma que no exista retención de humedad (aireación).

- Proteger las testas de las piezas.
- Colocar los elementos metálicos de unión en el lado protegido, siempre que sea posible.
- Dejar voladizos en la plataforma, de forma que la estructura quede protegida.

Los elementos secundarios, como son la barandilla y la madera del pavimento, no suelen protegerse por diseño. Estos elementos son los que sufren un mayor desgaste y es aconsejable proyectar la rápida evacuación del agua sin retenciones. En todo caso, se usarán las maderas más duraderas y protegidas químicamente.

196

La corrosión es el daño más frecuente en las **estructuras metálicas**. Al encontrarse las pasarelas a la intemperie, el riesgo de corrosión aumenta, por lo que debe compensarse con un programa de mantenimiento adecuado.

La protección contra la corrosión empieza en el proyecto, donde se fija la correcta protección y evacuación del agua.

El efecto conjunto de la falta de limpieza y la humedad ambiental acelera la corrosión en zonas angostas, como son las uniones y los apoyos. Este factor hace que, con el paso del tiempo, los apoyos deslizantes dejen de funcionar, produciéndose, como consecuencia, una soldadura por corrosión de los elementos que debían de deslizarse de forma independiente uno sobre el otro.

Con el paso del tiempo, los tipos de pintura que se utilizan para la protección de las estructuras metálicas han sufrido cambios importantes. Actualmente, para elementos de acero nuevos, es recomendable aplicar tratamientos de chorreo (lanzamiento a presión de virutas o bolitas metálicas, normalmente) hasta alcanzar protecciones de grado Sa 2 1/2 (tratamiento en taller), acompañado de una imprimación a base de resinas epoxi, con adiciones de cinc (tratamiento en taller), y la realización de retoques con el mismo material y una capa final de pintura de poliuretano alifático (tratamiento en campo), con espesores totales de alrededor de 200 µm (película seca).

En los **elementos de hormigón**, es recomendable cuidar los detalles de evacuación de las aguas superficiales y las subterráneas; asimismo, es conveniente impermeabilizar el trasdós de los muros de estribos y de aletas, al menos, con pintura bituminosa, incluso en el caso de ausencia de nivel freático.

En la superestructura, se añaden pinturas especiales anticarbonatación o pinturas plásticas que puentean fisuras. Ambos tipos son favorables desde el punto de vista de la durabilidad de la estructura.

6.7.8. MANTENIMIENTO

Aunque no se puede evitar la aparición de daños a lo largo de la vida de una pasarela, es recomendable llevar a cabo un mantenimiento básico para detectar esos daños en un estado inicial, en el que sea más fácil realizar una reparación.

El proyecto deberá incluir un plan de mantenimiento de estas estructuras, que deberá constar de un calendario de revisiones, con su periodicidad, alcance y controles a realizar, así como de una valoración de su coste.

Durante estas revisiones, se buscarán delaminaciones en la madera laminada encolada, hinchazones o agrietamientos en piezas simples o compuestas y se analizarán posibles ataques de hongos o de insectos. Asimismo, se revisará el correcto funcionamiento de los elementos de desagüe.

En las pasarelas metálicas y mixtas, se determinará el estado de la pintura protectora y la existencia de inicios de corrosión.

Por otro lado, en el hormigón, se buscarán desconches, hinchazones y fisuras por corrosión de armaduras.

6.7.9. PASARELAS DE MADERA TIPO

En los Caminos Naturales, frecuentemente, es necesario resolver cruces con pequeños accidentes naturales, vaguadas, arroyos, caminos, etc. que suponen una obstrucción al trazado y, para ello, en muchos casos, se decide solventar esta situación mediante la colocación de pasarelas de poca luz, de hasta 10 metros de longitud.

Para mantener cierta uniformidad en el criterio constructivo de estas soluciones y, de manera que se identifique el carácter corporativo de la infraestructura como camino natural, se define una pasarela de madera tipo, que se detallará para varias luces y anchuras, sobre el mismo modelo. Han sido calculadas para que cumplan con las premisas solicitadas por las distintas Normas que le aplican, con la idea de que, cuando sea posible, debido a que las características de la zona son asimilables a las indicadas en este epígrafe, se utilicen en el proyecto constructivo, indicando que son las definidas en el presente Manual.

Se aceptarán pequeñas variaciones técnicas propuestas por el proyectista o la empresa que construya la pasarela, en uniones, dimensiones de los elementos, etc., siempre que se justifique que cumplen con los condicionantes impuestos por las Normas y que se mantenga el diseño original

La Normativa de aplicación para acciones es la siguiente:

- Norma IAP-11. Instrucción sobre las acciones a considerar en el Proyecto de Puentes de Carretera. En ella, se contempla las acciones para pasarelas peatonales, ciclistas, etc.
- Eurocódigo 1. Acciones en estructuras
- Eurocódigo 5. Proyecto de estructuras de madera. Parte 2: Puentes
- Código Técnico de la Edificación. CTE. Documento Básico SE-M Seguridad Estructural. Madera

6.7.9.1. Criterios de Cálculo

Cuando, cualquiera de las circunstancias que influyen en el diseño varíen o sean distintas de las indicadas a continuación, el proyectista deberá revisar los cálculos, bien para comprobar que el diseño sigue siendo válido con esas nuevas premisas, o bien para definir unas nuevas secciones que cumplan con la normativa en vigor.

Se han definido las medidas de las distintas pasarelas por motivos constructivos, sobre un módulo de 1,56 metros, por lo que las luces de las pasarelas calculadas son de: 3,76; 5,32; 6,88; 8,44; y, 10 m.

En el diseño, al tener el mismo módulo y anchura, las riostras y diagonales se mantiene iguales en todas las pasarelas, aunque sean de distinta luz; únicamente cambian las dimensiones de la viga principal.

Éstos son los criterios con los que se han calculado:

- Las pasarelas de 3,76 y 5,32 metros de luz serán de madera maciza aserrada (clase C18, mínima).
- Las pasarelas de 6,88; 8,44 y 10 metros de luz serán de madera laminada encolada (clase GL24h).
- Las pasarelas con luces intermedias a las de cálculo se asemejarán, en sus dimensiones, al tipo de las inmediatamente superiores descritas.
- La anchura libre de paso es, generalmente, de 2 metros, aunque también se indican los cálculos para anchura de 1,50 metros.
- La altura de las barandillas será de 1,30 m desde tablero, ya que se prevé, como norma general, el uso del camino por ciclistas. Para casos donde se prevean barandillas más bajas, también se han calculado para una altura de 1,10 metros.
- Las acciones consideradas son las siguientes:
 - Sobrecarga de uso: 5 kN/m² en toda la superficie.
 - Sobrecarga de viento (Zona C, entorno Tipo II): zona rural con vegetación baja y obstáculos aislados.
 - Sobrecarga de nieve: se toma, como referencia, el valor $q^k= 0,8$.
 - No se considera la acción térmica, por ser pasarelas de madera.
 - No se aplican acciones sismorresistentes, puesto que se considera una zona tipo donde, de acuerdo con la Norma NSCP-07, no es necesario aplicar el análisis sísmico para lugares con una aceleración sísmica básica horizontal que sea menor del 4% de la aceleración de la gravedad.
 - No se consideran ambientes salinos o agresivos. En este caso, se tendrán que definir las características adecuadas para los aceros y la tornillería empleada.
- Barandillas: Se considera que la pasarela va a estar situada en zonas donde no será previsible la formación de aglomeraciones de personas. Por tanto, para la

comprobación de la barandilla, se tomará una fuerza horizontal sobre el borde superior del elemento de 0,8 kN/m.

En el siguiente cuadro resumen, se adjuntan las características principales de cada una de las secciones constructivas de las pasarelas indicadas.

PASARELAS DE 2,00 METROS DE ANCHO						
LUZ, m	SECCIÓN VIGA, mm	SECCIÓN RIOSTRA, mm	SECCIÓN DIAGONAL, mm	FLECHA DEBIDA A SC_{uso} ,	FLECHA LIMITE L/300, mm	APROVECHAMIENTO ELU
3,76	160x260	200x100	160x80	3,97	L/2368	98,07%
5,35	160x320	200x100	160x80	7,36	L/1807	98,00%
6,88	180x380	200x100	160x80	10,45	L/1646	97,99%
8,44	180x480	200x100	160x80	12,27	L/1720	97,94%
10,00	200x600	200x100	160x80	12,73	L/1964	97,93%

PASARELAS DE 1,50 m ANCHO						
LUZ, m	SECCIÓN VIGA, mm	SECCIÓN RIOSTRA, mm	SECCIÓN DIAGONAL, mm	FLECHA DEBIDA A SC_{uso} ,	FLECHA LIMITE L/300, mm	APROVECHAMIENTO ELU
3,76	140x220	160x80	140x60	3,88	L/2423	93,96%
5,35	140x300	160x80	140x60	6,39	L/2081	93,91%
6,88	160x360	160x80	140x60	9,11	L/1888	93,86%
8,44	180x440	160x80	140x60	10,59	L/1992	93,84%
10,00	180x540	160x80	140x60	12,64	L/1978	93,84%

Tabla 6.7.6. Valores calculado de las secciones tipo para pasarelas peatonales. Fuente: Elaboración propia.

Asimismo, existe a disposición una colección de planos que se pueden incluir directamente en los documentos del proyecto. Se encuentran en la información adjunta a este documento.

Prioritariamente, se deben incluir estas pasarelas, cuando proceda y sean utilidad, en la redacción del proyecto. No obstante, el proyectista, siempre que lo considere adecuado y lo justifique, puede proponer en el proyecto otro tipo de pasarela, que será aceptada o no, durante el proceso de supervisión del documento.

Se podrán utilizar pasarelas sin barandillas, igual a las indicadas anteriormente, en aquellas zonas con altura de caída libre que no sean superiores a 1 metro, sin riesgo de accidente grave.

Como se ha indicado anteriormente, si alguno de estos criterios no se cumple en la zona donde se va a ubicar la pasarela, se debe proceder al cálculo de la misma, manteniendo el mismo diseño y características constructivas.

6.7.9.2. Definición de las pasarelas

6.7.9.2.1. Características constructivas

Con los condicionantes indicados, se han calculado los elementos de las pasarelas con las diferentes luces propuestas. Se adjunta la tabla resumen en la que se indican los materiales y las dimensiones necesarias, para cada uno de los elementos de las pasarelas de 3,76; 5,32; 6,88; 8,44 y 10 metros, respectivamente, con anchuras libres de 2 metros y de 1,50 metros y con los datos de las barandillas correspondientes a todas las anchuras y alturas de barandillas de 1,30 y de 1,10 metros.

PASARELAS DE 2,00 METROS DE ANCHO												
TIPO	VIGAS		RIOSTRAS		DIAGONALES		RASTREL INTERMEDIO		RASTRELES BARANDILLAS		TABLÓN PISO	
ANCHO	MATERIAL	SECCIÓN	MATERIAL	SECCIÓN	MATERIAL	SECCIÓN	MATERIAL	SECCIÓN	MATERIAL	SECCIÓN	MATERIAL	SECCIÓN
3,76	C-18	160x200	C-18	200x100	C-18	160x80	C-18	100x100	C-18	100x60	C-18	145x45
5,35	C-18	160x320	C-24	200x100	C-18	160x80	C-18	100x100	C-18	100x60	C-18	140x45
6,88	GL 24h	180x380	GL 24h	200x100	C-18	160x80	C-18	100x100	C-18	100x60	C-18	145x45
8,44	GL 24h	180x480	GL 24h	200x100	C-18	160x80	C-18	100x100	C-18	100x60	C-18	140x45
10	GL 24h	200x600	GL 24h	200x100	C-18	160x80	C-18	100x100	C-18	100x60	C-18	145x45

PASARELAS DE 1,50 METROS DE ANCHO												
TIPO	VIGAS		RIOSTRAS		DIAGONALES		RASTREL INTERMEDIO		RASTRELES BARANDILLAS		TABLÓN PISO	
ANCHO	MATERIAL	SECCIÓN	MATERIAL	SECCIÓN	MATERIAL	SECCIÓN	MATERIAL	SECCIÓN	MATERIAL	SECCIÓN	MATERIAL	SECCIÓN
3,76	C-18	140x220	C-18	160x80	C-18	140x80	C-18	110x100	C-18	100x60	C-18	145x45
5,35	C-18	140x300	C-24	160x80	C-18	140x80	C-18	110x100	C-18	100x60	C-18	140x45
6,88	GL 24h	160x360	GL 24h	160x80	C-18	140x80	C-18	110x100	C-18	100x60	C-18	145x45
8,44	GL 24h	180x440	GL 24h	160x80	C-18	140x80	C-18	110x100	C-18	100x60	C-18	140x45
10	GL 24h	180x540	GL 24h	160x80	C-18	140x80	C-18	110x100	C-18	100x60	C-18	145x45

BARANDILLAS 1,30 M ALTURA						
TIPO	PASAMANOS		PIES DERECHOS		LISTONES BARANDILLA	
ANCHO	MATERIAL	SECCIÓN	MATERIAL	SECCIÓN	MATERIAL	SECCIÓN
3,76	C-18	140X60	C-18	140X100	C-18	70X45
5,35	C-18	140X60	C-24	140X100	C-18	70X45
6,88	GL 24H	140X60	GL 24H	140X100	C-18	70X45
8,44	GL 24H	140X60	GL 24H	140X100	C-18	70X45
10	GL 24H	140X60	GL 24H	140X100	C-18	70X45

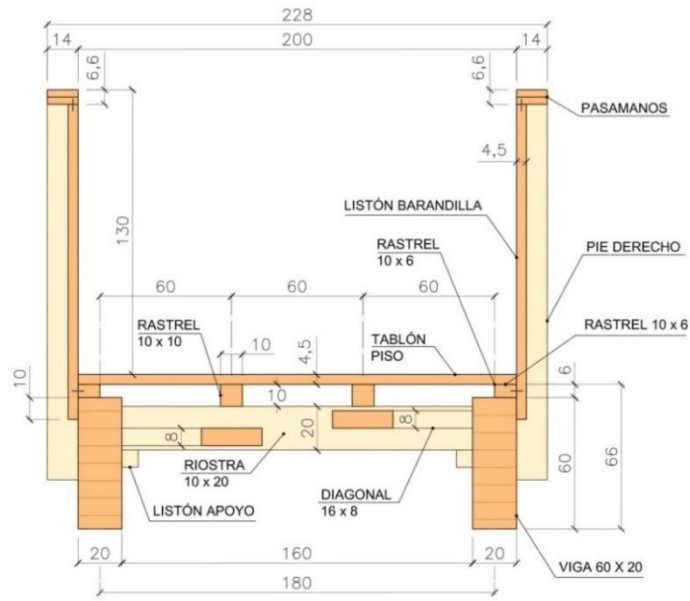
BARANDILLAS 1,10 M ALTURA						
TIPO	PASAMANOS		PIES DERECHOS		LISTONES BARANDILLA	
ANCHO	MATERIAL	SECCIÓN	MATERIAL	SECCIÓN	MATERIAL	SECCIÓN
3,76	C-18	126X66	C-18	125X100	C-18	70X45
5,35	C-18	126X66	C-24	125X100	C-18	70X45
6,88	GL 24H	126X66	GL 24H	125X100	C-18	70X45
8,44	GL 24H	126X66	GL 24H	125X100	C-18	70X45
10	GL 24H	126X66	GL 24H	125X100	C-18	70X45

Tabla 6.7.7. Valores calculado de las dimensiones (en mm) para pasarelas peatonales. Fuente: Elaboración propia.

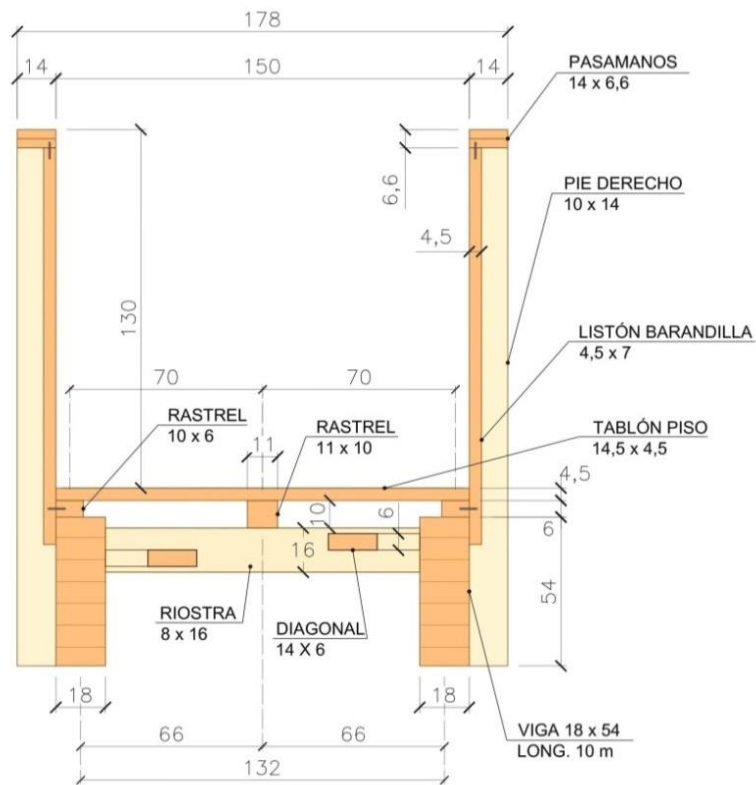
6.7.9.2.2. Secciones tipo

Se adjuntan detalles para cada una de estos cuatro tipos de pasarelas, anchuras de 1,5 y 2 metros y madera aserrada y laminada. Se han tomado las dimensiones de las vigas para una pasarela de 10 metros de luz en GL24h y de 3,76 metros de luz en C18, ya que la única diferencia con el resto, tal y como se muestra en el cuadro resumen anterior, es la sección de la viga principal y las secciones de la barandilla; el resto permanece igual.

Madera Laminada Encolada: Clase GL24H



Pasarela de 2 m de anchura, 1,30 m de barandilla

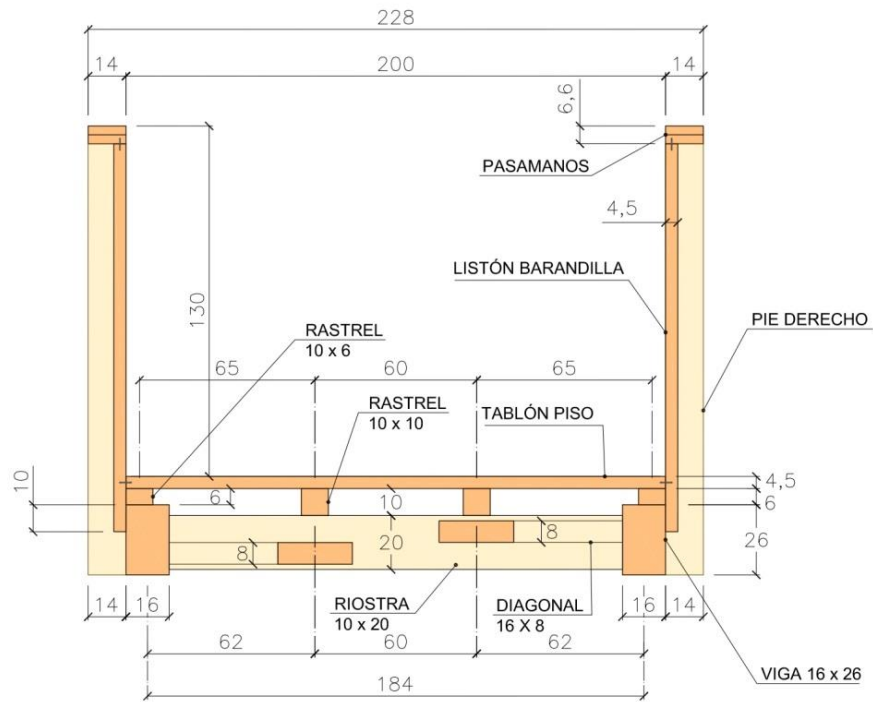


Pasarela de 1,5 m de anchura, 1,30 m de barandilla

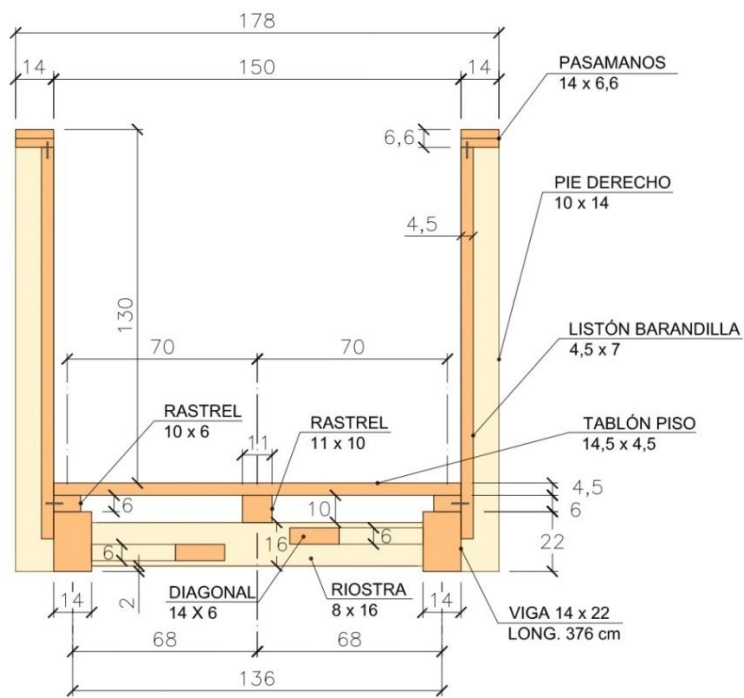
Figura 6.7.2. Secciones tipo madera laminada encolada. Fuente: Elaboración propia.

Madera Aserrada: Clase C18

204



Pasarela de 2 m de anchura, 1,30 m de barandilla



Pasarela de 1,5 m de anchura, 1,30 m de barandilla

Figura 6.7.3. Secciones tipo madera aserrada. Fuente: Elaboración propia.

Descripción de la barandilla de la pasarela de madera tipo

La altura de la barandilla será de 1,30 metros. El diseño de la barandilla es el mismo en todos los casos, variando únicamente en función de la altura, el ancho del pasamanos y el canto del pie derecho.

Las dimensiones de cada uno de los elementos que componen la estructura final dependerá de la longitud de cada una de las pasarelas definidas.

En función de la longitud de la pasarela, existen más o menos módulos unitarios de 1,56 metros.

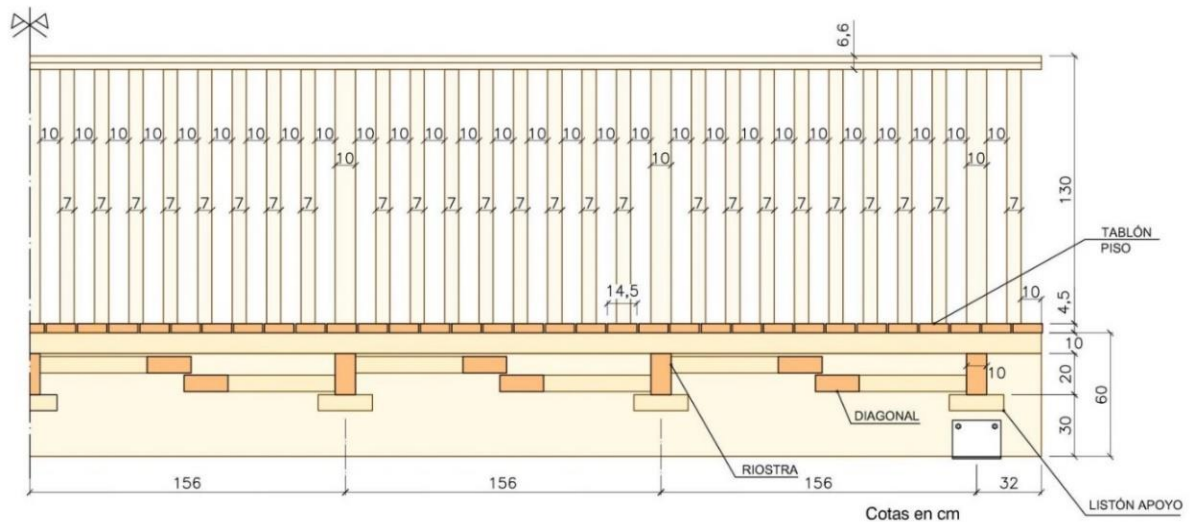


Figura 6.7.4. Sección barandilla. Fuente: Elaboración propia.

6.7.9.2.3. Proceso constructivo

El proceso es similar al de la construcción de las pasarelas indicadas en el punto 5.3. Estructuras de madera.

Las pasarelas de madera laminada encolada siempre se fabricarán en taller, se transportarán de una pieza y se montarán en el sitio definitivo. Para las pasarelas de madera aserrada, se procurará que también vayan conformadas de taller pero, llegado el caso, se pueden montar in situ, teniendo en cuenta las indicaciones generales expuestas en el citado punto.

6.7.9.2.4. Materiales

Los materiales necesarios para este tipo de pasarelas son los mismos que los indicados en el punto 6.7.6.3. Maderas.

6.7.10. BARANDILLAS METÁLICAS TIPO

En los Caminos Naturales, es necesario con frecuencia reparar infraestructuras existentes que están dañadas por el paso del tiempo, el vandalismo, etc. Éste es el caso de puentes, pasarelas, miradores, etc. de diferentes tipos y características, cuyas barandillas de protección suelen haber sufrido desperfectos.

Con objeto de mantener cierta uniformidad en las reparaciones que se deben realizar, como criterio constructivo de estas soluciones y de manera que el resultado identifique el carácter corporativo de la infraestructura como Camino Natural, se definen unas barandillas tipo, metálicas, detalladas a continuación y calculadas para que cumplan con las premisas solicitadas por las distintas Normas que pueden ser de aplicación, con la idea de que, cuando sea posible, se utilicen en el proyecto constructivo, indicando que son las definidas en este Manual.

6.7.10.1. Criterios de Cálculo

La acción de cálculo horizontal consiste en una sobrecarga uniforme distribuida longitudinalmente y aplicada a 1,20 metros de altura, cuyo valor será definido por el autor del proyecto de forma justificada en función de lo que determine la norma de aplicación, la funcionalidad, la densidad de usuarios prevista y las condiciones de uso.

Para la comprobación del ELU, se considera el elemento horizontal como apoyado en los postes, independientemente del número de tramos. El cálculo de los postes se realiza como un elemento empotrado en la base. Para los postes, se debe comprobar el poste propiamente dicho, su unión con la placa de anclaje, la placa y los anclajes al material base.

Para la comprobación del sistema en ELS, el movimiento horizontal se obtiene como la suma de la flecha de la barandilla cargada en el centro de la luz y la deformación del poste. Se comprueba que el valor de la flecha obtenida para la combinación frecuente es inferior al límite admisible.

6.7.10.2. Secciones tipo

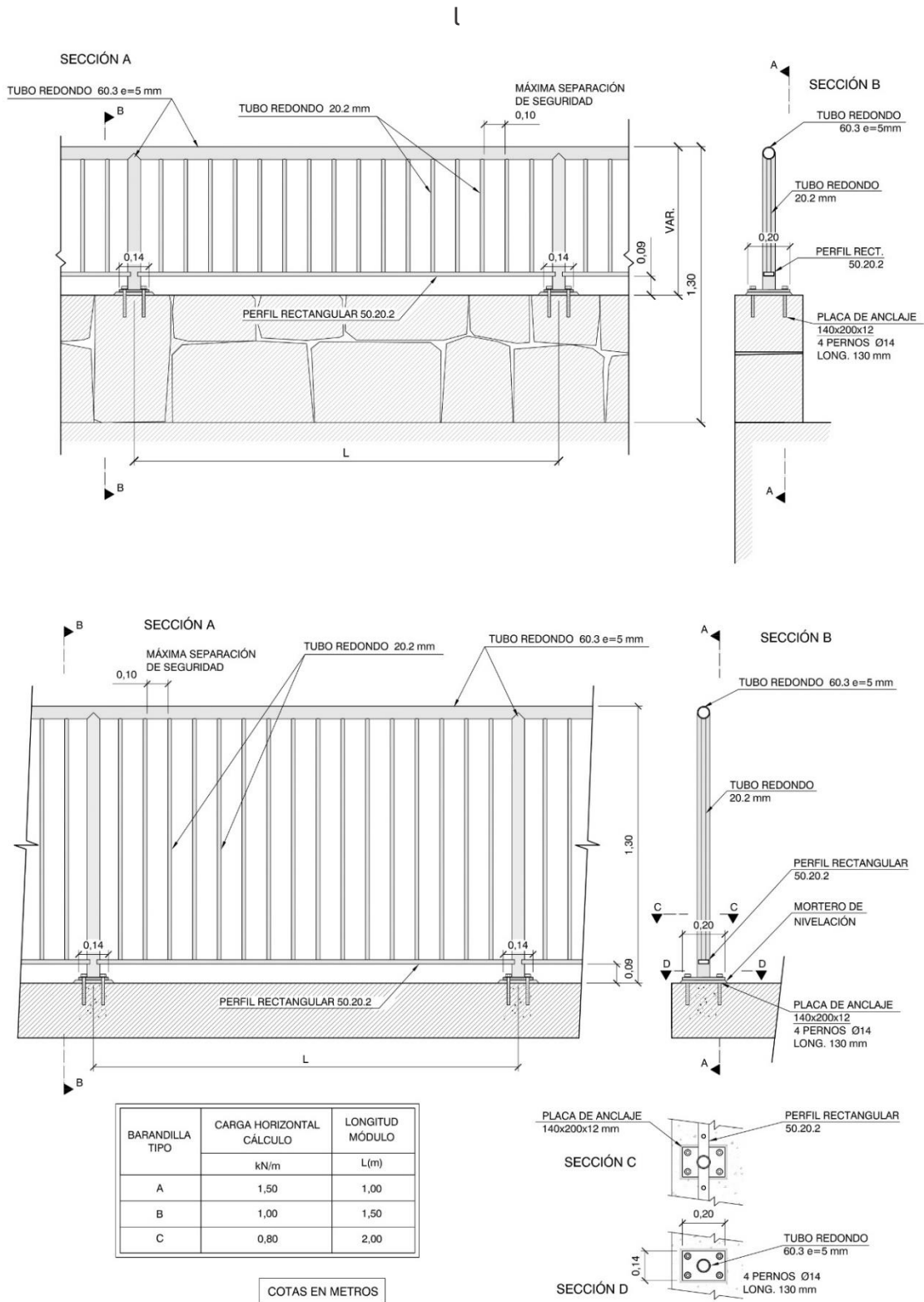
Cuando sea necesario reponer un tramo de barandilla completa, se define una barandilla de 1,30 metros de altura, mientras que, cuando se coloca sobre un pretil, murete o estructura previamente existente, y sobre la cual se apoya, se define otra barandilla de altura variable; la altura total del conjunto debe ser de 1,30 metros.

Según las hipótesis de cálculo utilizadas, se pueden establecer tres tipos de barandillas en función de la carga horizontal para cada tipo de entorno:

BARANDILLA TIPO	CARGA HORIZONTAL DE CÁLCULO (kN/m)	LONGITUD DEL MÓDULO (m)
A	1,50	1,00
B	1,00	1,50
C	0,80	2,00

*Tipo de Entorno: **Clase A.** Obras existentes de pasarelas o estructuras de carreteras, cauces y zonas urbanas. **Clase B.** Obras existentes de pasarelas o estructuras de entornos rurales con alta probabilidad de cruce de grupos de personas y en miradores o zonas de descanso. **Clase C.** Obras existentes de paso u otras estructuras de caminos/sendas con baja probabilidad de cruce de grupos de personas y en zonas sin aglomeraciones.*

Tabla 6.7.8. Valores de cálculo de las barandillas de hacer. Fuente: Elaboración propia



Figuras 6.7.5. y 6.7.6. Sección barandilla de altura variable sobre pretil de mampostería (Figura nº1) y sección barandilla de altura 1,30 metros sobre losa de hormigón (Figura nº2). Fuente: Elaboración propia.

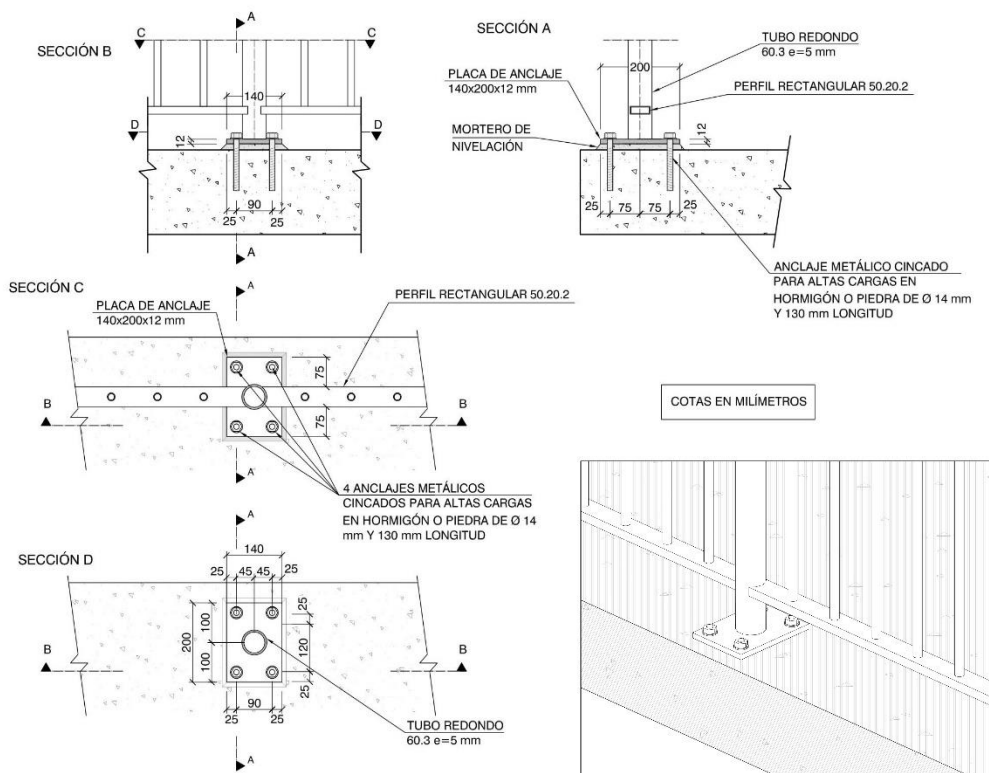


Figura 6.7.7. Detalles y vista del anclaje de la barandilla. Fuente: Elaboración propia.

6.7.10.3. Proceso constructivo

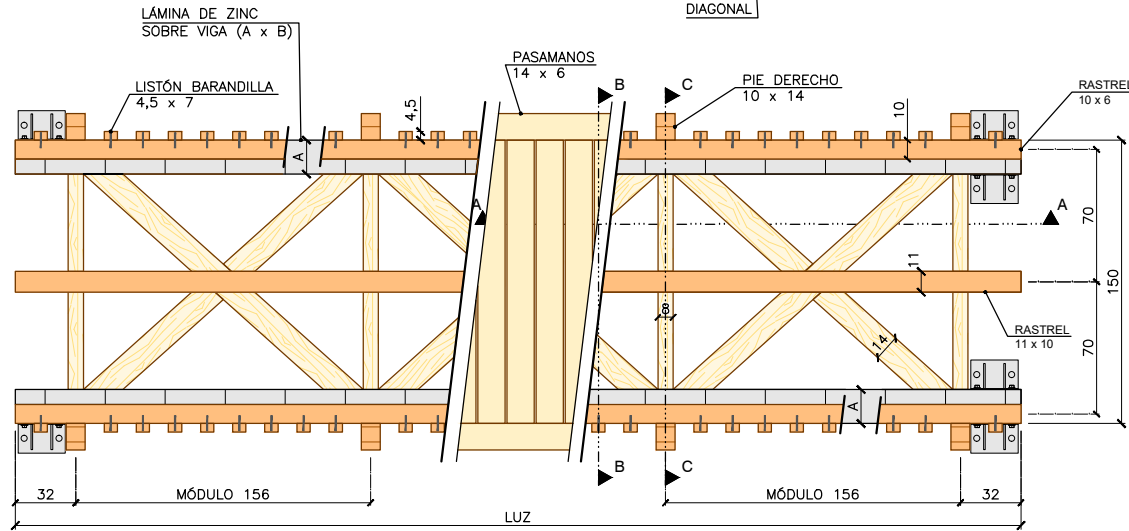
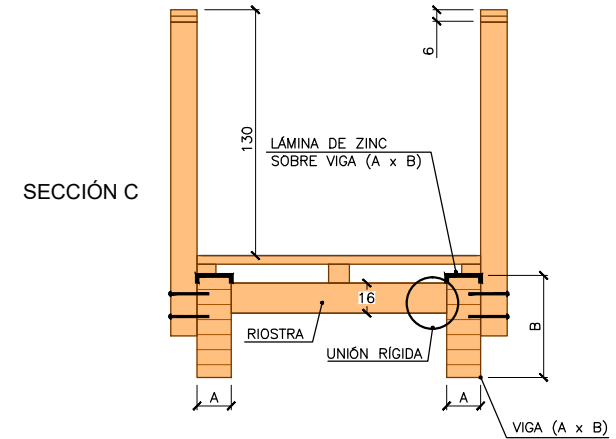
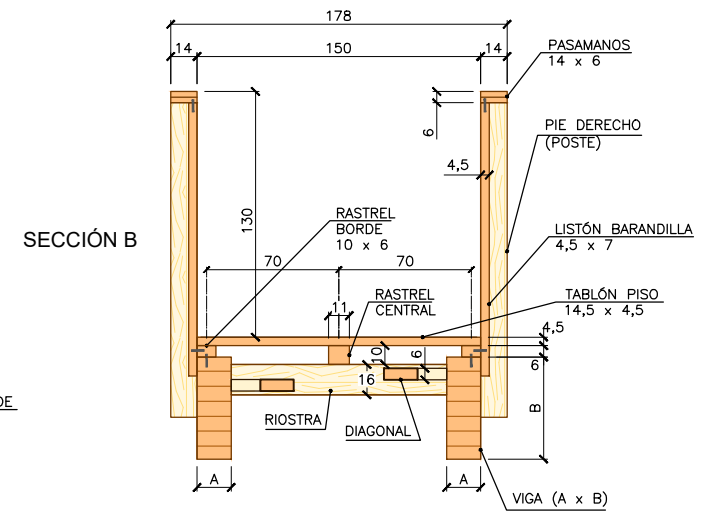
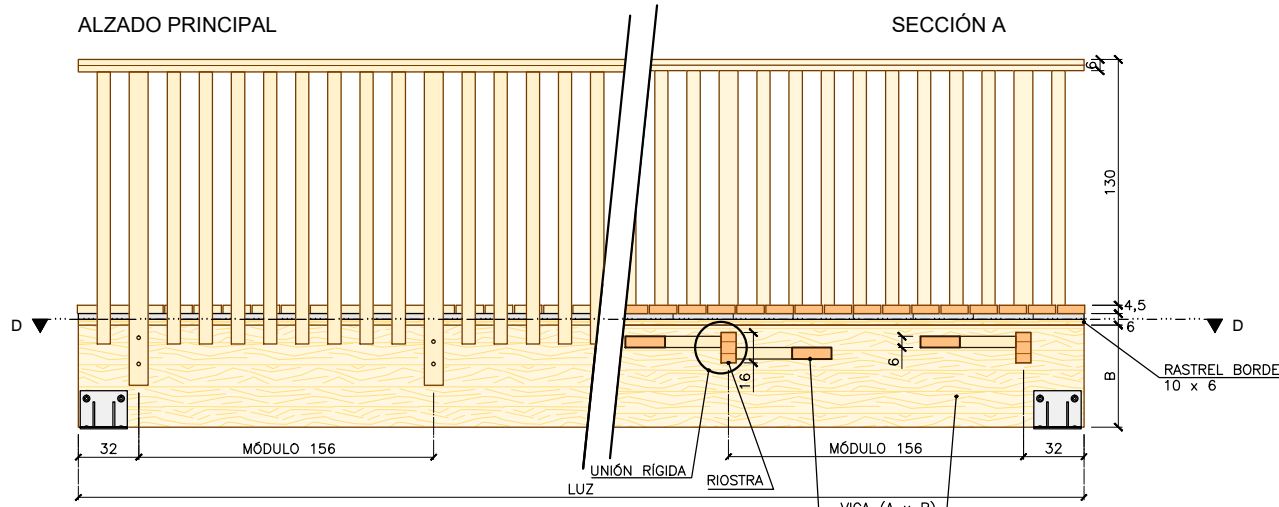
En la parte que le corresponde, el proceso es similar al de la construcción de las pasarelas indicadas en el punto 6.7.5.1. Estructuras metálicas.

Las barandillas metálicas siempre se fabricarán en taller, en los tramos de longitud necesaria para adecuarse a la longitud final y a la facilidad de transporte. Se montarán en el sitio definitivo mediante la sujeción a los anclajes que se habrán colocado en el lugar adecuado. Las placas de anclaje se colocarán sobre una capa de mortero de recrido que, además de ejercer la función de nivelación, evitará que el agua de escorrentía esté en contacto directo con el acero.

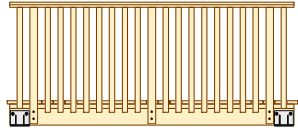
6.7.10.4. Materiales

Los materiales necesarios para este tipo de pasarelas son los mismos que los indicados en los puntos 6.7.6.1. Aceros y 6.7.6.2. Hormigones y Armaduras.

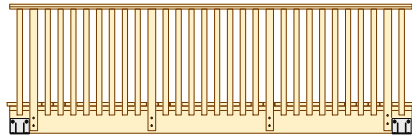
La pintura será la indicada en el Manual de Señalización y se pintarán con el color indicado como color básico, Pantone 1815 C (Solid Coated) que coincide con el RAL 3011. El criterio de aceptación del color se basará en el mismo que ha sido definido en el Manual de Señalización y Elementos Auxiliares del Programa de Caminos Naturales.



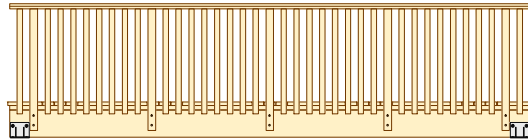
LUZ PASARELA		VIGA		RIOSTRA		DIAGONAL		RASTREL INTERIOR		POSTE (PIE DERECHO)		BARANDILLA (PASAMANOS)	
Luз (m) (Número de módulos x 1,56) + 0,64	Número de módulos	Sección A x B (mm ²)	Material	Sección (mm ²)	Material	Sección (mm ²)	Material	Sección (mm ²)	Material	Sección (mm ²)	Material	Sección (mm ²)	Material
3,76	2	140 x 220	C-18	80 x 160	C-18	140 x 60	C-18	100 x 110	C-18	140 x 100	C-18	140 x 60	C-18
5,32	3	140 x 300	C-18	80 x 160	C-18	140 x 60	C-18	100 x 110	C-18	140 x 100	C-24	140 x 60	C-18
6,88	4	160 x 360	GL-24h	80 x 160	GL-24h	140 x 60	C-18	100 x 110	C-18	140 x 100	GL-24h	140 x 60	GL-24h
8,44	5	180 x 440	GL-24h	80 x 160	GL-24h	140 x 60	C-18	100 x 110	C-18	140 x 100	GL-24h	140 x 60	GL-24h
10,00	6	180 x 540	GL-24h	80 x 160	GL-24h	140 x 60	C-18	100 x 110	C-18	140 x 100	GL-24h	140 x 60	GL-24h



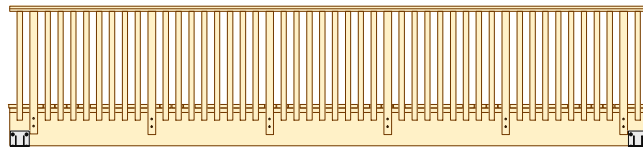
PASARELA LUZ 3,76
2 MÓDULOS



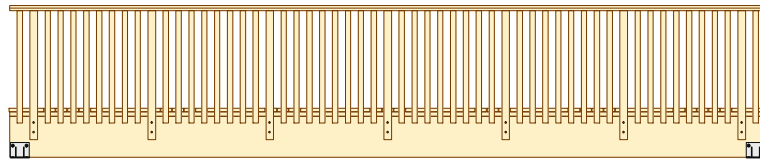
PASARELA LUZ 5,32
3 MÓDULOS



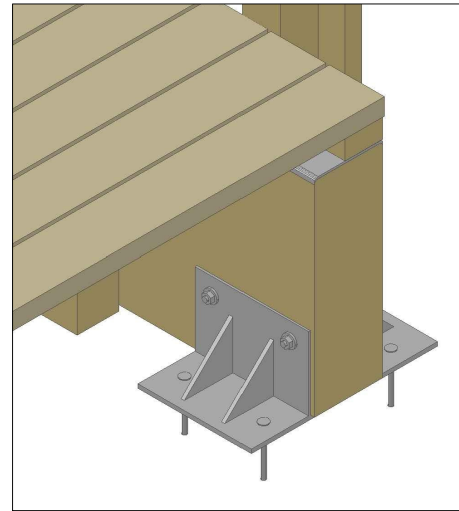
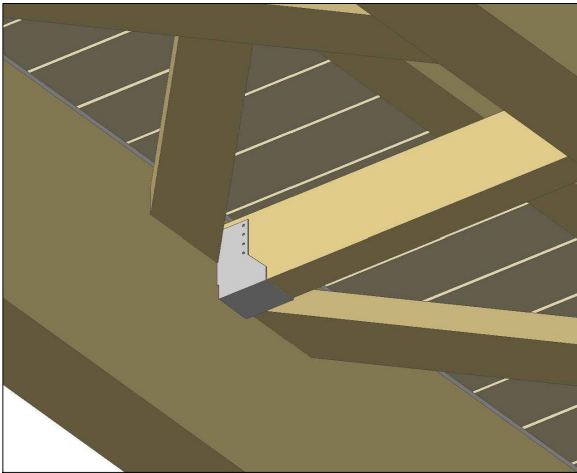
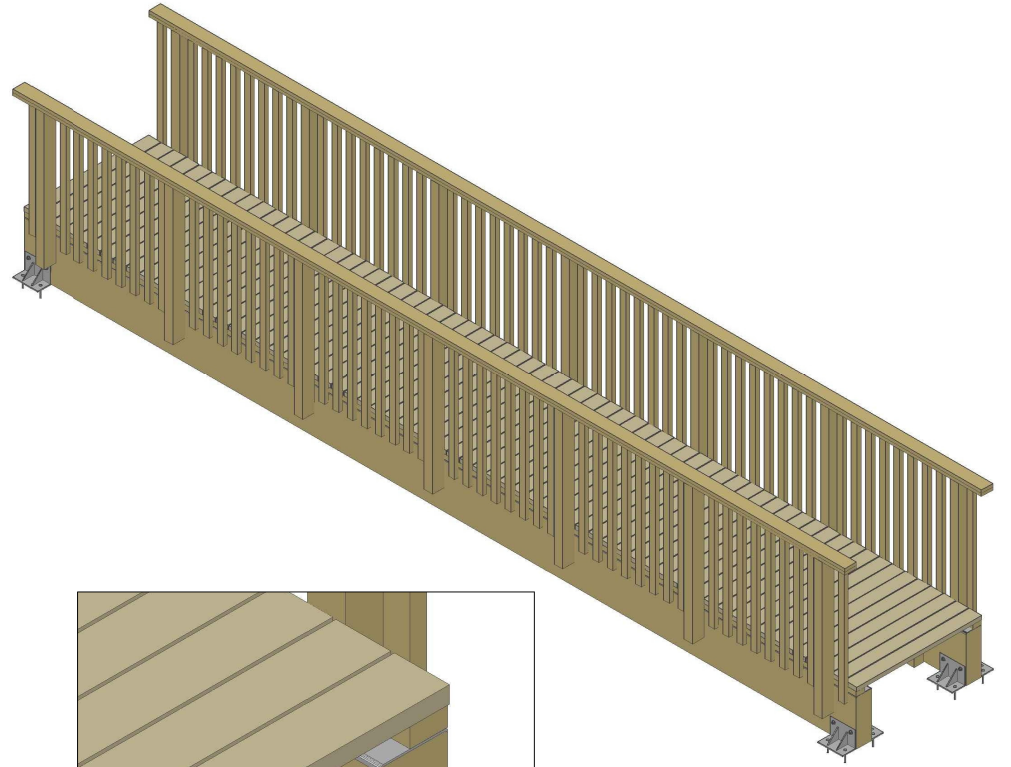
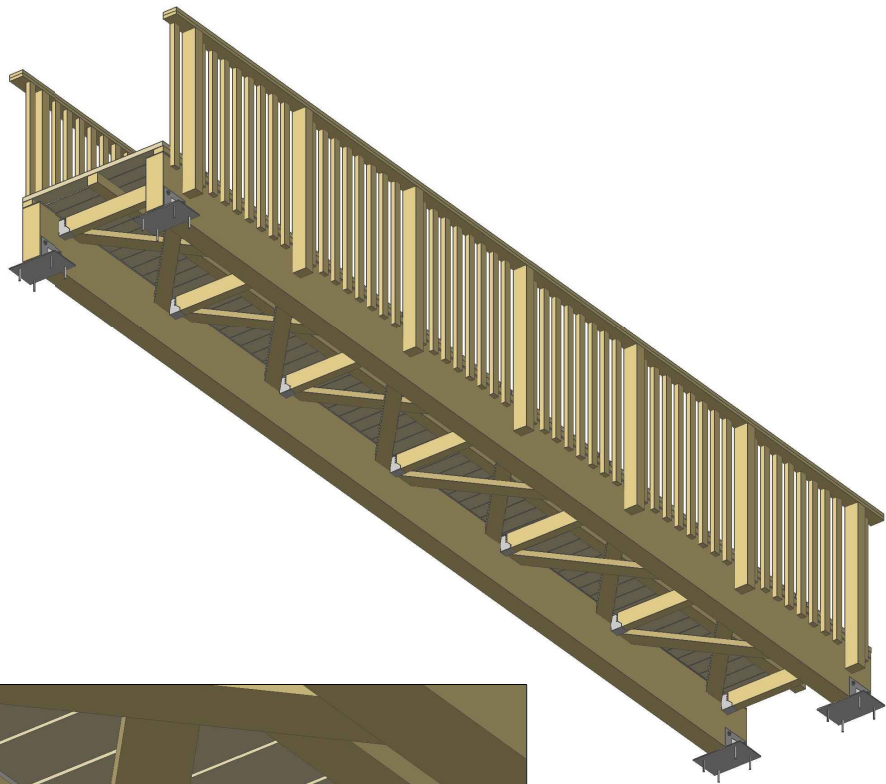
PASARELA LUZ 6,88
4 MÓDULOS

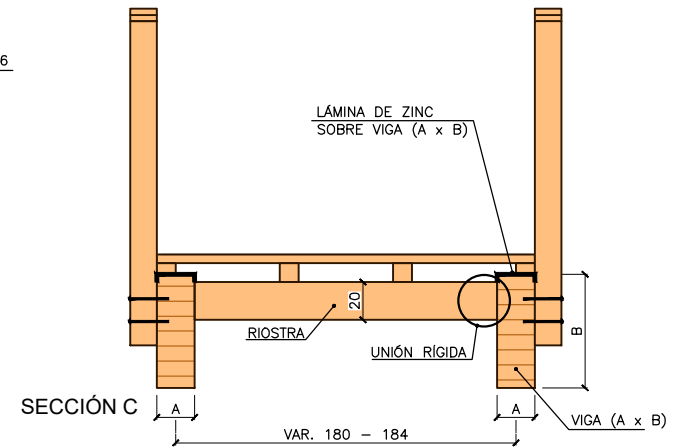
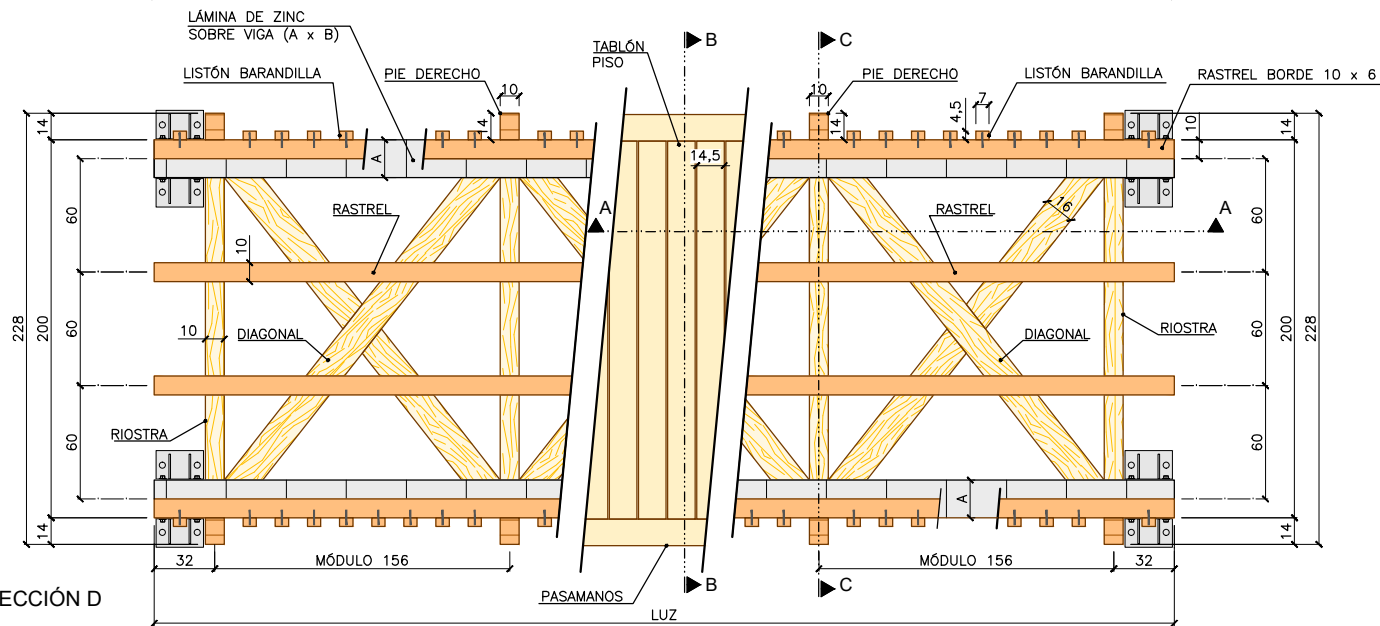
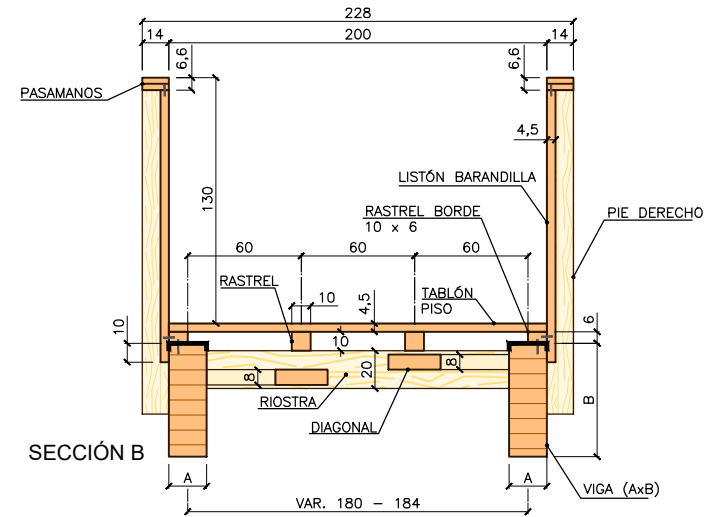
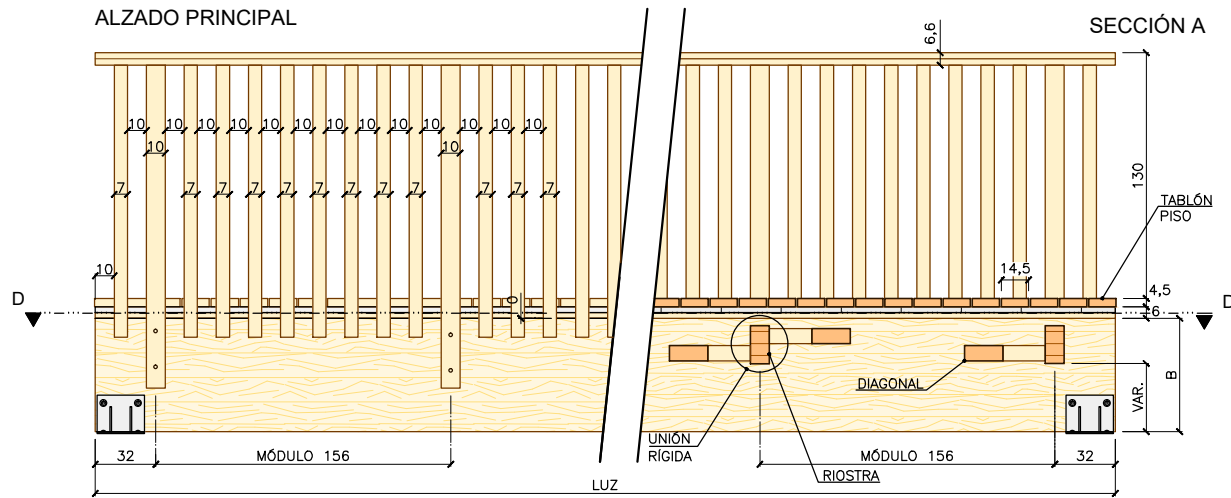


PASARELA LUZ 8,44
5 MÓDULOS

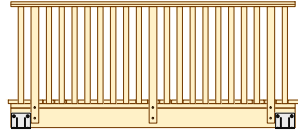


PASARELA LUZ 10,00
6 MÓDULOS

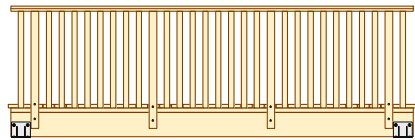




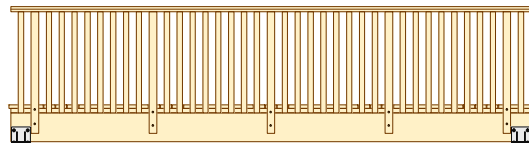
LUZ PASARELA		VIGA		RIOSTRA		DIAGONAL		RASTREL		POSTE		BARANDILLA	
Luza (m) (Número de módulos x 1,56) + 0,64	Número de módulos	(A x B) Sección (mm²)	Material	Sección (mm²)	Material	Sección (mm²)	Material	Sección (mm²)	Material	Sección (mm²)	Material	Sección (mm²)	Material
3,76	2	160 x 260	C-18	100 X 200	C-18	160 x 80	C-18	100x100	C-18	140 x 100	C-18	140 x 60	C-18
5,32	3	160 x 320	C-18	100 X 200	C-18	160 x 80	C-18	100x100	C-18	140 x 100	C-24	140 x 60	C-18
6,88	4	180 x 380	GL-24h	100 X 200	GL-24h	160 x 80	C-18	100x100	C-18	140 x 100	GL-24h	140 x 60	GL-24h
8,44	5	180 x 480	GL-24h	100 X 200	GL-24h	160 x 80	C-18	100x100	C-18	140 x 100	GL-24h	140 x 60	GL-24h
10,00	6	200 x 600	GL-24h	100 X 200	GL-24h	160 x 80	C-18	100x100	C-18	140 x 100	GL-24h	140 x 60	GL-24h



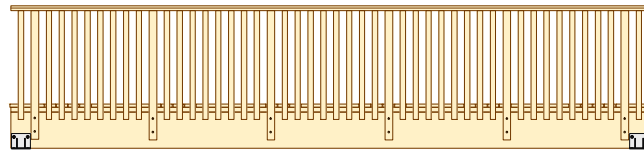
PASARELA LUZ 3,76
2 MÓDULOS



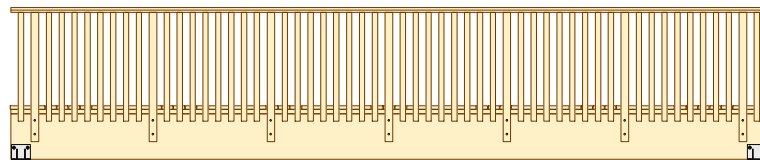
PASARELA LUZ 5,32
3 MÓDULOS



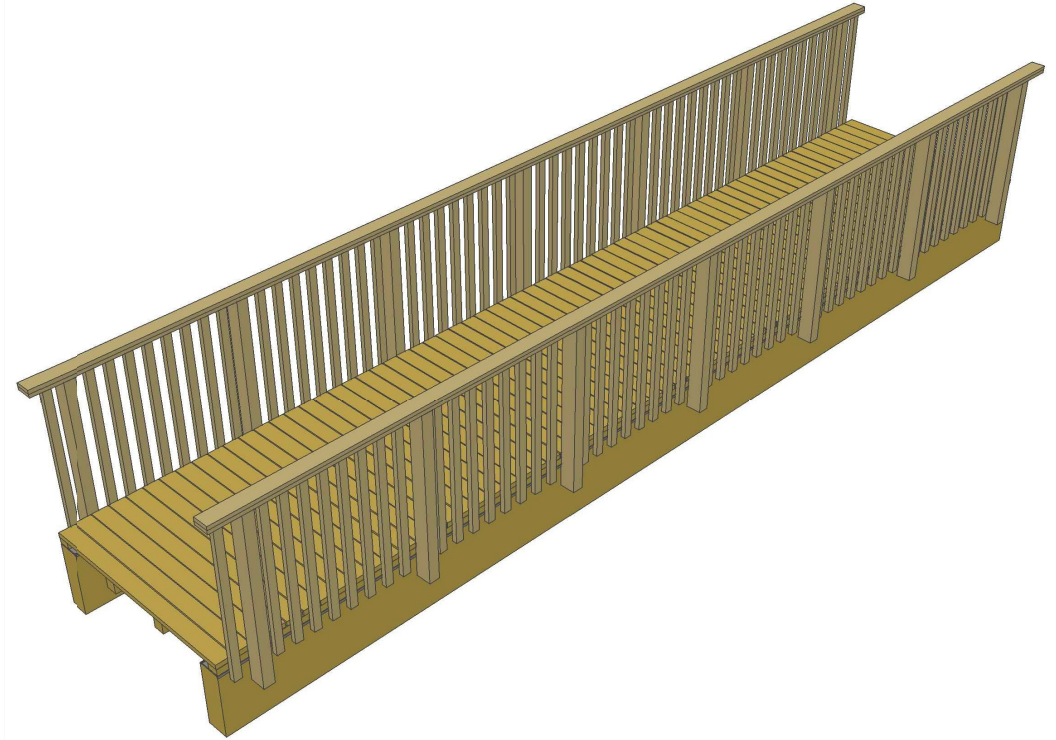
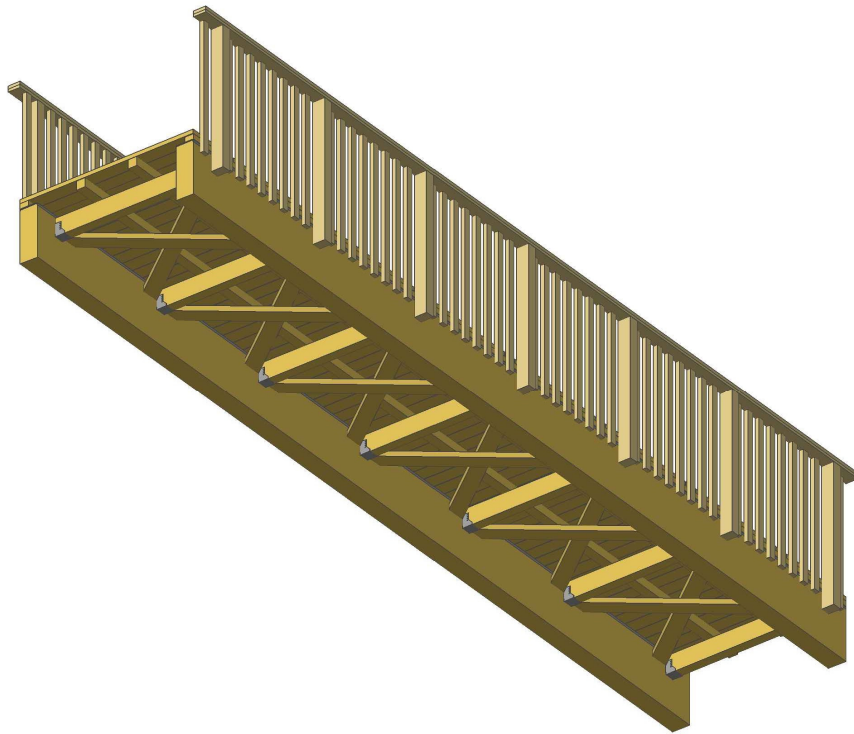
PASARELA LUZ 6,88
4 MÓDULOS



PASARELA LUZ 8,44
5 MÓDULOS



PASARELA LUZ 10,00
6 MÓDULOS



Especie de madera estructural

En elementos estructurales sólo se admitirá madera de Pino silvestre (*Pinus sylvestris*) con tratamiento en profundidad en autoclave con sales hidrosolubles libres de arsénico según norma UNE 56-416/88 (Sistema Bethell/Célula llena)

Higroscopicidad de la madera

La fluctuación de las condiciones ambientales de temperatura y humedad provocará inevitablemente la aparición de fendas de secado, admitidas según norma DIN 4074 - Parte 1.

Acabado superficial de la madera La madera se colocará con acabado de cepillado en sus cuatro caras. Se pintarán todas las superficies vistas de madera con una mano de lasur a poro abierto, de color marrón (castaño o similar).

Calidad de elementos metálicos

Los aceros a emplear serán de calidad Z 350. Como protección de los herrajes se empleará el galvanizado de zinc en caliente.

Clase resistente de la madera laminada

Todos los elementos estructurales serán asimilables, como mínimo, a la clase resistente GL 24h, según Eurocódigo 5:

Clase resistente de la madera aserrada

Todos los elementos estructurales serán asimilables, como mínimo, a la clase resistente C-18, según Eurocódigo 5:



6.8. Rehabilitación de estructuras existentes

6.8. REHABILITACIÓN DE ESTRUCTURAS EXISTENTES

6.8.1. INTRODUCCIÓN

La mayoría de los puentes existentes están en uso, por lo que se ven afectados por las inspecciones periódicas que las diferentes administraciones realizan. De esta forma, los deterioros y daños que puedan aparecer, como consecuencia del paso del tiempo o de otras circunstancias, suelen detectarse con anterioridad, permitiendo que, con el mantenimiento adecuado, muchos de estos puentes estén todavía en buen uso.

En el caso de obras de Caminos Naturales, éstas se producen en trazados abandonados o en desuso, por lo que no suelen realizarse labores de mantenimiento desde hace varios años; por tanto, en todos ellos es necesario hacer una revisión adecuada para comprobar su estado.

Los puentes que se analizan en este epígrafe son puentes diseñados para el paso de tráfico ferroviario o de vehículos, que ahora se utilizarán como soporte para caminos de tráfico peatonal o ciclista. Este cambio de función requiere una adaptación, aunque será más o menos importante dependiendo del estado en que se encuentre.

En función del estado de la estructura y de las reparaciones o daños que haya podido sufrir, es habitual que muchos de estos puentes no necesiten refuerzos, pues la carga actuante es mucho menor que la carga para la que fueron diseñados. No obstante, en otros casos, los puentes ferroviarios habrán perdido parte de sus elementos y por tanto, será necesaria su reposición.

6.8.2. REHABILITACIÓN DE PUENTES

En este apartado, se recogen tres tipos de rehabilitación de estructuras: puentes metálicos, puentes de hormigón y puentes de fábrica (entendidos éstos, como puentes de sillería o de fábrica de ladrillo).

6.8.2.1. Puentes metálicos

6.8.2.1.1. Materiales

El acero es el material que se emplea tanto en las estructuras existentes como en las empleadas como labores de refuerzo, bien sea utilizando presillas, platabandas o cartelas, bien en los elementos armados. Los distintos tipos de acero que se utilizan son los que se exponen a continuación:

- Aceros laminados en caliente, no aleados y no resistentes a la corrosión. Estos aceros tienen una microestructura normal y suelen ser soldables.
- Aceros especiales, de grano fino y aptos para construcción soldada.
- Aceros autopatinables, con resistencia mejorada a la corrosión atmosférica.

Los aceros laminados en frío no se utilizan en este tipo de puentes.

La nomenclatura actual de los aceros empleados es:

- S-275: límite elástico = 275 N/mm², tensión de rotura = 450 N/mm². De uso normal.
- S-355: límite elástico = 355 N/mm², tensión de rotura = 510 N/mm². Para casos especiales.

Por otra parte, en relación a la tornillería, se usarán dos tipos de tornillos:

- Tornillos ordinarios tipo 4.6, de acuerdo con el Eurocódigo 3, de 240 N/mm² de límite elástico.
- Tornillos de alta resistencia tipo 8.8, de 640 N/mm² de límite elástico.

En estructuras antiguas, considerando como tales aquellas que fueron puestas en servicio antes de los años 50, es difícil conocer el tipo de acero empleado. En los años 60 y 70, el acero ordinario que se utilizaba en la construcción de este tipo de estructuras era el A37, equivalente al actual S-235, con límite elástico de 235 N/mm².

Cuando sea preciso rehabilitar un puente metálico, es necesario saber si el acero utilizado es soldable o no. Esta característica se determinará mediante la realización de ensayos que permitan establecer la equivalencia resistente y la composición química de los aceros utilizados en su construcción frente a los aceros actuales.

La composición química del acero laminado utilizado actualmente, el S-275, se recoge en la siguiente tabla:

ACERO S-275	SÍMBOLO	COMPOSICIÓN
HIERRO	FE	>99,50%
CARBONO	C	0,18-0,40%
FÓSFORO	P	0,025-0,035%
AZUFRE	S	0,02-0,03%
OTROS MINERALES EN PEQUEÑAS CANTIDADES		

Tabla 6.8.1. Composición química del acero laminado. Fuente: *Rehabilitar con acero*. Robert Brufau. 2010.

6.8.2.1.2. Evaluación

La evaluación de la estructura tiene como fin la comprobación estructural de la funcionalidad y de la seguridad de la misma. Normalmente, se suele formular con comprobaciones numéricas a partir de la creación de un modelo realista que fije el comportamiento estructural, considerando las cargas que se prevé que actuarán.

En los casos en los que la documentación del Proyecto esté disponible (Memoria, Planos, etc.), la comprobación de seguridad no supondrá un trabajo extraordinario; únicamente será necesario verificar mediante un reconocimiento in situ la correspondencia entre la documentación y la estructura real y analizar el estado en el que se encuentra.

Sin embargo, cuando no se tenga acceso a la información del Proyecto, el trabajo de caracterización se complica considerablemente, debiéndose realizar los correspondientes estudios y ensayos que permitirán obtener toda la información necesaria para evaluar correctamente el estado del puente y las actuaciones a realizar. Los trabajos de campo y de gabinete pueden ser efectuados en paralelo, identificando el estado de los elementos de mayor responsabilidad, así como los esfuerzos, las tensiones, etc.

INSPECCIÓN DE VISU

El reconocimiento visual de la estructura tiene como principales objetivos los que se enumeran a continuación:

- Identificar el esquema estructural de la estructura: elementos principales y secundarios (siempre que no haya información de la misma), realizando un plano de detalle con las dimensiones reales y las piezas correspondientes.
- Conseguir una primera estimación de daños, así como su situación, tipología y extensión. Determinar cuáles son los daños concretos y recogerlos sobre el plano.
- Detectar el deterioro debido a la corrosión, las laminaciones, la pérdida de material, etc.
- Determinar el estado de la cimentación.
- Permitir la toma de decisiones respecto a la seguridad de la estructura de forma inmediata.
- Decidir la necesidad de realizar inspecciones de campo más avanzadas o específicas, si es preciso, con trabajos complementarios (apertura de catas, limpieza local, etc.).
- Estudiar los accesos para los trabajos sucesivos, apeos, zona de acopios, etc.
- En muchos de estos puentes, las piezas están unidas mediante roblones, por lo que será necesario comprobar su estado, y si siguen actuando correctamente.

En base a este reconocimiento, se programarán los ensayos que se crean oportunos para evaluar el estado de la estructura y las posibles medidas de reparación: ensayos sobre el material (extracción de probetas), ensayos sobre los elementos "in situ" y ensayos estructurales.

ENSAYOS SOBRE EL MATERIAL

En general, no es frecuente la ejecución de probetas en elementos metálicos, utilizándose únicamente cuando es necesario conocer parámetros relacionados con las propiedades mecánicas del acero, como son el límite elástico, la tensión de rotura, la deformación, etc.

En el caso de que existan sospechas de rotura frágil, frecuente en estructuras metálicas, el ensayo de resiliencia puede resultar determinante; éste se evalúa en el laboratorio mediante ensayos con probetas en el péndulo Charpy.

Por otro lado, si existen fisuras en los cordones de elementos soldados, se puede ensayar en laboratorio la metalografía del material y la química del material base y del de aportación.

ENSAYOS SOBRE ELEMENTOS "IN SITU"

Entre los ensayos realizados sobre elementos "in situ", destaca especialmente la inspección por ultrasonidos, debido a su amplio campo de aplicación, sobre todo en lo que se refiere a las uniones.

Los líquidos penetrantes no pueden aplicarse debido a la protección ya existente de las superficies, al igual que las radiografías, también sin aplicación práctica.

Por otro lado, una inspección visual cuidadosa realizada con anterioridad, en la que se efectúen mediciones de espesores de cordones, puede ayudar a evitar la realización de ensayos más costosos.

ENSAYOS ESTRUCTURALES

La prueba de carga es el último recurso a utilizar. Dicha prueba debe realizarse únicamente tras un proceso de contraste con el modelo numérico y en aquellas situaciones en las que existan sospechas de baja capacidad estructural.

El coste asociado a estas operaciones (disposición de cargas, medios de seguridad, registros, informes, etc.) es siempre bastante elevado, por lo que la realización de este tipo de ensayos deberá estar convenientemente estudiada.

ESTUDIO GEOTÉCNICO

Usualmente, no se dispone de información geotécnica, por lo que se debe revisar cuidadosamente la situación de la cimentación sobre la que se apoya la estructura.

Con frecuencia, los estribos se encuentran en una situación aceptable, por lo que se deduce que la cimentación no tiene problemas. En caso de que se observen deterioros, se debe efectuar un estudio que incluya, si es necesario, la realización de sondeos con recuperación continua de testigo, así como algún ensayo de penetración continua u otros ensayos "in situ".

Por otros ensayos de menor complejidad, como puede ser la realización de calicatas y ensayos asociados, se puede conocer el tipo de suelo, sus propiedades mecánicas y su deformabilidad, lo que ayudará a aclarar las causas de las patologías observadas.

En cualquier caso, es preciso tener en cuenta todo lo descrito en el capítulo de Geotecnia del presente Manual, que pueda ser de aplicación en esta cimentación.

6.8.2.1.3. Causas de degradación de la estructura

La corrosión de la estructura es el daño principal y más frecuente en estructuras metálicas. En puentes, al encontrarse a la intemperie, el riesgo de corrosión aumenta y debe de compensarse con un programa de mantenimiento adecuado.

La corrosión aparente, apreciable a simple vista, aunque es indicativa del estado general de la estructura, no suele guardar relación con la seguridad real de la misma. Los problemas más graves suelen encontrarse en uniones, empotramientos y zonas ocultas a la vista, donde la falta de limpieza y la humedad ambiental aceleran la corrosión. Con el paso del tiempo, los

apoyos deslizantes dejan de funcionar, al producirse una soldadura por corrosión de los elementos que debían de deslizar de forma independiente uno sobre el otro.

La protección contra la corrosión empieza en el proyecto, donde se fija la correcta protección y evacuación del agua.

Otra posible acción a tener en cuenta es la de las cargas ajenas al servicio, como es la acumulación de cargas muertas, como caso más frecuente, por sucesión de capas de aglomerado asfáltico u hormigón sobre el tablero del puente, por ajustes de la rasante o por mejoras de la capa de rodadura.

6.8.2.1.4. Criterios de refuerzo

En el caso que nos ocupa, los puentes metálicos serán utilizados para el paso de los Caminos Naturales, con la consiguiente reducción de acciones, y deja de ser prioritario, por tanto, fijar el incremento de capacidad estructural con operaciones de refuerzo.

Tras la evaluación estructural, se puede comprobar que muchos de los daños son de carácter reversible, causados por recrecidos de la plataforma, acumulación de detritus y drenaje defectuoso. La mayoría de los puentes requieren únicamente una adaptación y/o cambio de los elementos superiores de la plataforma, las traviesas o los elementos de acero secundarios; por tanto, estas actuaciones llevan asociada adicionalmente una reducción de las cargas que actuarán tras la adaptación.

En aquellos casos en los que existe una gran pérdida de material por corrosión, los esquemas de refuerzo son inevitables; éstos comienzan con una limpieza mediante chorro abrasivo mediante la sustitución de los elementos existentes por otros nuevos, de igual o mayor capacidad. En lo que se refiere a las uniones y apoyos, resultará básico el análisis pormenorizado del camino de las cargas a través de la estructura, para proyectar en dichas uniones los refuerzos necesarios.

Para elementos de acero nuevos, que sustituyen las piezas rotas o perdidas, se recomienda utilizar tratamientos mediante granallado de las piezas que permitan alcanzar niveles de calidad de terminación y refuerzo de grado Sa2 1/2 –chorreado abrasivo a metal casi blanco– (tratamiento que se aplica en taller), complementado con una imprimación a base de resinas epoxi, con adiciones de cinc (tarea también ejecutada en taller) y, como complemento final (esta vez de aplicación en campo), realización de retoques con resinas epoxi y aplicación de una capa final de poliuretano alifático con espesores totales de alrededor de 200 µm (película seca).

El chorreado es la aplicación, normalmente de arenas, en chorro de aire a presión, facilitado por compresor, para la limpieza superficial de piezas in situ, en este caso metálicas, para eliminar impurezas, rebabas, residuos o corrosiones, preparando así la superficie para poder aplicar posteriores tratamientos anticorrosivos y/o decorativos o de terminación. En el granallado, las partículas abrasivas (granalla) que se proyectan para la limpieza superficial y la mejora de las condiciones resistentes de las piezas metálicas de estructuras suelen ser

pequeñas esferas de acero, o piezas angulosas también de acero, microsferas de vidrio o de circonio, etc.

Para los elementos metálicos ya existentes, la limpieza y el tratamiento, análogos a los mencionados anteriormente, serán algo menos exigentes, requiriéndose niveles de terminación de grado St3 (chorreado, o bien raspado, y cepillado a fondo con cepillo de discos), con aplicación de posteriores pinturas protectoras (resinas epoxi) de similares especificaciones.

Los tratamientos de chorreado de arena o granallado, o de cepillado, tendrán la duración e intensidad necesarias para alcanzar en las piezas tratadas el grado de limpieza y los niveles de calidad de terminación especificados anteriormente:

- Sa2 1/2 en piezas nuevas tratadas en taller (la cascarilla de laminación, la herrumbre y las materias extrañas deberán eliminarse, de forma que sólo queden algunas trazas en forma de manchas o franjas; la superficie deberá limpiarse a continuación con una aspiradora, con aire comprimido limpio y seco o con un cepillo limpio)
- St3 sobre piezas de la estructura in situ, realizando la limpieza con cepillo de discos (este tratamiento deberá eliminar la cascarilla de laminación suelta, la herrumbre y las materias extrañas; la superficie deberá limpiarse a continuación con una aspiradora, con aire comprimido limpio y seco o con un cepillo limpio; en estas condiciones, la superficie deberá presentar un pronunciado brillo metálico).

En el caso de realizarse tratamientos de chorreado y granallado de estructuras metálicas in situ, así como en el caso de raspado y cepillado a fondo de estructuras, deberán tomarse las medidas adecuadas de protección del entorno (aislamiento del terreno mediante la colocación de lonas u otros elementos de contención, que recojan el material abrasivo proyectado – arena o granalla– y los restos de metal deteriorado o los restos de pinturas y tratamientos de la estructura que se quieren eliminar para su saneo), para evitar la incorporación de materiales contaminantes o extraños al suelo o a los cauces. Se procederá a la recogida de los residuos generados y a su tratamiento o envío por gestores autorizados, bien para la limpieza, recuperación y reutilización de los elementos chorreados –arena o granalla–, o incluso de los restos metálicos, o para el tratamiento por gestores autorizados de los restos generados – restos de pinturas, barnices, etc. –.

El proyecto deberá definir claramente, a través de los planos necesarios, generales y de detalle, y de los textos necesarios (Anejos y Pliego de Condiciones), las piezas a tratar o reponer, las acciones concretas a realizar y sobre qué elementos (mediciones), las condiciones de trabajo para su ejecución y las medidas de protección necesarias, los niveles de ejecución requeridos, las dosificaciones de elementos a utilizar (pinturas, resinas o barnices protectores, capas de terminación, etc.).

6.8.2.2. Puentes de fábrica

La configuración estructural básica de los puentes de fábrica es un arco y, en su construcción, se utilizan como componentes principales materiales pétreos o de cerámica. Estos elementos suelen trabajar a compresión de forma exclusiva y, como todas las fábricas, son débiles ante esfuerzos de tracción.

Los puentes de fábrica están dotados de una gran rigidez y resistencia; muestra de ello es la larga longevidad del servicio que prestan. Sus debilidades se manifiestan, principalmente, en la subestructura, por el deterioro y fallo de su cimentación, aunque también se presentan evidencias de ellas en la superestructura por el fallo de sus juntas.

6.8.2.2.1. Materiales

Es necesario tener presente que no es el material pétreo o cerámico el que define la resistencia de una fábrica, ya que el mortero de unión de las juntas posee una calidad y resistencia mucho menor. En muchas ocasiones, son estas juntas, y el estado en el que éstas se encuentran, las que definen el comportamiento global del puente.

Por otro lado, para evaluar la capacidad resistente de la estructura, es necesario definir el estado actual de la misma, con sus deficiencias (grietas, desplomes, pérdidas de sillares o mampuestos, etc.).

Como una primera referencia, en la siguiente tabla se recogen las propiedades mecánicas de los materiales pétreos más utilizados. Estos valores deberán ser confirmados por los correspondientes ensayos para cada caso concreto.

CLASE DE PIEDRA	TIPO DE ROCA	RESISTENCIA A COMPRESIÓN (kg/cm ²)	RESISTENCIA A TRACCIÓN (kg/cm ²)	DENSIDAD APARENTE (t/m ³)	MÓDULO DE ELASTICIDAD (kg/cm ²)
BASALTO	ÍGNEA	3.000	> 130	~ 2,90	> 580.000
DIORITA	ÍGNEA	2.000	> 100	~ 2,90	> 380.000
GRANITO	ÍGNEA	1.200	> 100	~ 2,70	> 380.000
CUARCITA	METAMÓRFICA	1.400	> 120	~ 2,60	>740.000
MÁRMOL	METAMÓRFICA	800	> 20	~ 2,80	
PIZARRA	METAMÓRFICA	700	> 500	~ 2,80	> 100.000
CALIZA DURA	SEDIMENTARIA	800	> 60	~ 2,70	> 300.000
CALIZA BLANDA	SEDIMENTARIA	200	> 50	1,7 - 2,6	
ARENISCA	SEDIMENTARIA	200-1.000	> 30	2,0 - 2,7	> 80.000

Tabla 6.8.2. Propiedades mecánicas de los materiales pétreos. Fuente: Rehabilitar con acero. Robert Brufau. 2010.

Si se comparan los valores correspondientes a la resistencia a compresión de la tabla anterior, frente a la resistencia del mortero de las juntas, que suele alcanzar valores de 50 kg/cm² para el tipo M-5 y de 100 kg/cm² para el tipo M-10, se puede observar una clara diferencia. Esta divergencia dificulta en gran medida la labor del calculista que ha de evaluar la capacidad de la fábrica de forma global.

Los valores incluidos en la tabla que se adjunta a continuación son valores orientativos de las resistencias de cálculo a compresión de las fábricas para distintos materiales, obtenidos a partir de un coeficiente de minoración del material de valor 3,00, debido a que la calidad de los morteros y la ejecución de la obra (unión entre mortero y material pétreo) son los elementos que crean incertidumbre y hacen que sea necesario minorar significativamente la resistencia del material.

FÁBRICA	RESISTENCIA DE CÁLCULO A COMPRESIÓN (kg/cm ²)
BASALTO	> 70
DIORITA	> 50
GRANITO	> 35
CUARCITA	> 40
MÁRMOL	> 25
PIZARRA	> 25
CALIZA DURA	> 25
CALIZA BLANDA	> 12
ARENISCA	> 35

Tabla 6.8.3. Resistencia de cálculo a compresión de fábrica. Fuente: Rehabilitar con acero. Robert Brufau. 2010.

6.8.2.2.2. Patologías de la superestructura

Los principales factores causantes de daños en este tipo de estructuras son los relacionados con la acción del agua, la acción del tráfico o las acciones debidas a condiciones climatológicas y ambientales desfavorables.

El agua tiene un protagonismo especial en gran número de los deterioros que aparecen en los puentes de fábrica. El lavado de las juntas de la fábrica puede estar producido por un flujo de agua en su interior. Asimismo, el despegue de las juntas de la boquilla de la bóveda respecto al resto de piezas de la misma puede estar ocasionado por el empuje horizontal adicional del agua infiltrada sobre los tímpanos, por tanto, es fundamental la correcta evacuación del agua de la calzada o de la infiltrada en los tímpanos mediante drenes, mechinales o cunetas.

Los principales defectos que pueden observarse en los distintos elementos de los puentes de fábrica son los que se enumeran a continuación:

- Deterioros en la cimentación: descalces, socavaciones, arrastre de las escolleras protectoras en su caso, pudrición y ataque biológico de la madera de los pilotes y/o degradación del mortero u hormigón por ataques químicos.
- Deterioro de la piedra o piezas de ladrillo causado por acciones de tipo químico (presencia de agua) o de tipo físico (heladas, vegetación,...): agrietamiento y pérdida de resistencia.
- Deterioro del mortero de las juntas, producido por el agua: lavado del material, ataque físico y químico y/o movimientos de los sillares, mampuestos o ladrillos.
- Grietas longitudinales, especialmente en los emboquillamientos de las bóvedas. Aparecen vinculados a los tímpanos y se producen por empujes del relleno y del agua en su interior. Pueden llegar a producir el despegue de la bóveda.
- Caída y deslizamiento de piezas de la bóveda producidos por la pérdida del mortero de la fábrica o por la degradación del material de los sillares o ladrillos. También, puede estar ocasionado por una carga actuante mayor que la original, pudiendo ocasionar movimientos de la bóveda o de sus pilas.
- Grietas en pilas, tajamares y aletas. Pueden producirse por la presencia de elementos adosados con diferencia de cargas actuantes o por descalces y socavaciones en la cimentación.
- Desplazamientos y desplomes en tímpanos producidos por un incremento de cargas en los rellenos, filtraciones de agua sin salida y/o obstrucciones del drenaje.

6.8.2.2.3. Reparaciones más frecuentes

La demolición total de un puente de fábrica se lleva a cabo únicamente en situaciones puntuales, siempre y cuando el estado del mismo pueda suponer un riesgo para la seguridad de los usuarios del puente, en este caso, los usuarios del camino.

Tanto el puente de bóveda de sillería como el de fábrica de ladrillo tienen una notable reserva estructural, lo que queda demostrado por su larga longevidad, incluso en puentes ubicados en zonas agresivas o en aquellos dotados de luces de dimensiones importantes. Su solidez original puede verse reducida con el paso del tiempo por determinadas patologías; a pesar de ello, la adaptación al paso de peatones y ciclistas no suele presentar problemas insalvables pues, en la mayor parte de los casos, sólo se requiere que su estado de conservación sea el correcto desde el punto de vista funcional y de su seguridad.

En la mayoría de los puentes, es necesario llevar a cabo una reparación de la estructura y, para ello, es fundamental hacer previamente un diagnóstico correcto de las causas que pueden producir los deterioros que se observan. Al tratarse, en muchos casos, de estructuras históricas, es muy importante que la ejecución de la actuación no afecte a su aspecto general ni a su estética.

Las actuaciones más frecuentes son las siguientes:

- Recalce con micropilotes, inyecciones, macizos de hormigón, losas protectoras o escollera. Estas actuaciones se realizan frecuentemente cuando existen problemas de

descalces, asientos y/o socavaciones en las cimentaciones de estos puentes. La gravedad del estado del elemento determina el empleo de un método de recalce o la utilización de otro procedimiento como prevención. Ante estas patologías, es recomendable disponer de un estudio geotécnico. En su defecto, la ejecución de calicatas cercanas a las pilas o estribos puede ser suficiente para conocer el terreno y poder establecer unas soluciones acertadas.

- Rejuntado en la fábrica. Se emplearán morteros especiales adaptados a los existentes; normalmente se utilizarán morteros tixotrópicos de alta adherencia y baja permeabilidad, con añadido de aditivos para mejorar sus propiedades y la adaptación del color.
- Inyecciones de grietas con lechadas compatibles con la naturaleza de la piedra, con baja presión de inyección.
- Cosido transversal horizontal de los despegues de las boquillas de las bóvedas con barras rígidas de pretensado. Protección ante la corrosión de sus cabezas de anclaje.
- Mejora de los sistemas de drenaje de las bóvedas, rellenos y tímpanos. Regeneración de los caminos del agua para que no fluyan por los paramentos de la fábrica. Incorporación de mechinales.
- Regeneración de elementos deteriorados o piezas perdidas, como dovelas de la bóveda, sillares, ladrillos. Si el elemento está muy dañado, puede plantearse la sustitución completa como puede ser la imposta o el pretil.
- Limpieza de suciedad y eflorescencias en la fábrica. El chorro de agua a presión, utilizado con precaución, elimina estos defectos y la vegetación adherida o las manchas negras de tipo orgánico.

Los materiales empleados en estas reparaciones y, específicamente, en los trabajos más delicados, suelen ser de naturaleza especial. Para su correcto empleo, se deberá consultar con las empresas comerciales fabricantes.

6.8.2.3. Puentes de hormigón armado y pretensado

Un elevado porcentaje de los puentes modernos construidos en nuestro país son puentes de hormigón. Al igual que en el caso de los metálicos, la adaptación de estos puentes al paso de un camino natural no plantea una dificultad especial, debido a la reducción de cargas que esto supone, salvo que el puente ya se encuentre en un estado muy deteriorado.

6.8.2.3.1. Materiales

Los materiales actuales que constituyen estas estructuras son:

- Cimentaciones: hormigón tipo HA-25
- Estribos, losas, tableros armados: hormigón tipos HA-25 / HA-35
- Tableros pretensados: hormigón tipos HP-35 / HP-50
- Aceros para armaduras: pasivas, B-500-S y activas, Y-1860-S7
- Acero estructural: S-275 (excepcionalmente, S-355).

Normalmente, las estructuras antiguas a rehabilitar poseen hormigones con resistencias mucho menores frente a los hormigones actuales y, además, suelen presentar características inferiores desde el punto de vista de su durabilidad. Estos factores se ven agravados por el hecho de que, en algunos casos, se sitúan en ambientes muy agresivos.

6.8.2.3.2. Evaluación

El proceso de evaluación tiene como objetivo la comprobación de la seguridad de la estructura y de su funcionalidad.

En primer lugar, se estudiará la información disponible de la estructura, examinando el Proyecto de la misma. Tras este análisis previo, se realizará una visita a campo para confirmar la tipología de la estructura y su estado de conservación.

Si la información de Proyecto no está disponible, es necesario recoger los datos básicos en campo, a la vez que se comprueba en qué situación se encuentra el puente. Para puentes con importantes problemas de cimentación, será necesario realizar también un estudio geotécnico, con objeto de identificar las posibles causas de estos daños.

INSPECCIÓN DE VISU

Las visitas de inspección constituyen la base para el diagnóstico y determinación del estado actual de la estructura. Además, sirven para confirmar los datos de Proyecto original y conocer si se han realizado ampliaciones posteriores, reparaciones, etc.

En el reconocimiento "in situ", se persiguen los siguientes objetivos:

- Obtener la geometría del puente y confirmar con los datos del Proyecto (si éste está disponible).
- Confirmar o reconocer el esquema estructural general (apoyos, uniones y juntas).
- Determinar el estado general del puente mediante la identificación de los daños presentes y la valoración del alcance de estos últimos.
- Determinar el estado de la cimentación (existencia de movimientos apreciables en ésta o en el resto de la superestructura).
- Determinar el estado del cauce en la proximidad de las pilas (presencia de aterramientos y/o socavaciones).
- Analizar la existencia de defectos superficiales (manchas, eflorescencias,...) y/o filtraciones, así como zonas de invasión de vegetación.
- Determinar el estado del sistema de drenaje del tablero.
- Comprobar la existencia de agrietamientos y/o fisuras de los elementos del puente (estimación de las aberturas).
- Detectar la presencia de carbonatación de la estructura o corrosión en armaduras (estimación de recubrimientos y permeabilidad del hormigón).
- Detectar deformaciones excesivas e identificar el estado de los aparatos de apoyo.
- Decidir si es necesaria la realización de tareas complementarias al reconocimiento de visu (realización de ensayos, extracción de catas en puntos estratégicos,...).

- Fijar la estrategia de la reparación en cuanto a accesos, encofrados y apeos, zona de acopios, etc.

Si después del reconocimiento en campo, se determina la necesidad de llevar a cabo pruebas que permitan obtener información más específica sobre el estado y las condiciones a las que está sometido el puente, se podrán realizar dos tipos de ensayos: no destructivos y destructivos.

ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

Existen numerosos ensayos aplicables a las estructuras de hormigón; algunos de ellos buscan conocer la resistencia e integridad del hormigón y otros permiten detectar riesgos de corrosión en las armaduras.

- La prueba del esclerómetro sobre las superficies de los elementos de hormigón se utiliza con mucha frecuencia. Este ensayo ayuda a determinar rápidamente y, de forma aproximada, la resistencia a compresión del hormigón y se basa en la magnitud de rebote que se produce tras el golpeo de un martillo (Schmidt) sobre un determinado punto en la superficie de hormigón.
Sin embargo, se recomienda efectuar bastantes golpeos y tener cierta cautela respecto a los resultados obtenidos. Además, hay que tener en cuenta que la resistencia estimada no deja de ser una aproximación que sólo es válida en la parte superficial del elemento.
- La prueba de ultrasonidos se utiliza para conocer la integridad, la calidad y la resistencia del hormigón de forma indirecta. Mediante este ensayo, se detectan fisuras y falta de continuidad en la masa del elemento, como oquedades, coqueras, etc.
- La carbonatación del hormigón disminuye su pH, reduciendo así la protección contra la corrosión de las armaduras. El ensayo de detección de la profundidad de la carbonatación desde la superficie consiste en la aplicación de un líquido con solución de fenolftaleína al 1% a pequeñas catas; las zonas carbonatadas no cambian de color, mientras que las no carbonatadas adquieren un color rosáceo azulado. De esta forma, puede definirse la profundidad actual de la carbonatación y si ha llegado a las armaduras.

ENSAYOS DESTRUCTIVOS

La extracción de probetas testigo permite establecer la resistencia in situ del hormigón. Este procedimiento se utiliza con bastante asiduidad, siempre que existen dudas de la capacidad resistente del elemento.

Cuando los daños son severos y no existe la certeza de que el tablero, la viga o cualquier otro elemento tengan la capacidad resistente mínima, se recurre a la prueba de carga. Los costes asociados a esta operación son bastante elevados, por lo que se utiliza en ocasiones puntuales y sólo en elementos reconstruidos utilizados como refuerzo.

Únicamente, para estructuras de hormigón, se podrían aplicar otros tipos de ensayos sustitutivos de las pruebas de carga, como es la obtención de testigos para realizar ensayos a compresión y para comprobar la resistencia de pilares y tableros.

6.8.2.3.3. Causas de la degradación de la estructura

Existen varias causas que determinan la aparición de daños en los puentes de hormigón. Estos daños se pueden generar por omisiones en la fase de proyecto, durante la fase de construcción o en la fase de explotación, por acciones accidentales o falta de mantenimiento.

Durante la vida de un puente, las acciones sísmicas y las situaciones extraordinarias (avenidas, impactos,...) pueden ocasionar daños no previstos. Sin embargo, si la estructura se revisa periódicamente y se efectúan las reparaciones oportunas, sin duda, estará mejor preparada para enfrentarse a los posibles imprevistos que puedan acontecer.

Según pasan los años desde la puesta en servicio de la estructura, se deja de prestar atención a aspectos determinantes en el estado de conservación de la misma; a continuación, se citan los más relevantes:

- Extensión de nuevas capas de aglomerado asfáltico sobre el tablero. Se aumenta la carga permanente, llegando a obturar, en algunos casos, los elementos de drenaje y las juntas.
- Variación de las condiciones del tráfico.
- Extensión de sales de deshielo dañinas para el tablero.
- Fisuración y deformaciones apreciables en elementos armados y pretensados.

6.8.2.3.4. Reparaciones más frecuentes

Una vez localizadas las posibles causas de los deterioros, se procederá a la proyección y ejecución de las reparaciones que se consideren oportunas para cada caso. Las actuaciones más comunes son las que se indican a continuación:

- Limpieza de vegetación colonizadora, manchas y/o eflorescencias, mediante aplicación de chorro de agua a presión.
- Restablecimiento del sistema de drenaje y comprobación de la correcta evacuación del agua. Para ello, se repararán o colocarán nuevos goterones, mechinales, cunetas, sumideros o conductos varios, así como la realización de rozas en los bordes inferiores de las losas voladas.
- Impermeabilización del tablero. Aprovechando una reposición del pavimento, se puede fresar el existente hasta descubrir la losa de hormigón. Posteriormente, se añadirá una capa de brea-epoxi sobre su superficie superior.
- Reposición de los aparatos de apoyo. Para ello, se procederá al levantamiento del tablero con gatos hidráulicos y se repondrán los neoprenos armados. En caso necesario, se podrían incrementar gálibos estrictos.

- Prevención de socavaciones y descalces potenciales en el cauce. Para ello, podrán aplicarse diferentes soluciones: ensanches del cauce aguas arriba, colocación de losas de protección con rastrillos aguas arriba y aguas abajo de los pilares, colocación de macizos de hormigón adosados a las bases de las pilas y colocación de escolleras de protección en las pilas.
- Reposición de los elementos funcionales en mal estado como juntas, barandillas, aceras, barreras, etc.
- Recalce profundo de cimentaciones, si el daño es severo. Para ello, se podrán emplear diferentes técnicas como micropilotes, inyecciones, jet-grouting, etc.
- Recalce superficial alrededor de las zapatas descubiertas, añadiendo macizos de hormigón, escollera y losa de protección.
- Inyecciones de grietas y fisuras presentes en la estructura mediante lechadas de cemento o resinas epoxi.
- Refuerzo de secciones mediante añadidos adosados. Para ello, se verá la conveniencia de aplicar diferentes elementos como fibras de carbono, platabandas con adhesivos de resinas epoxi o recrecidos del mismo material con conectores al elemento base.

A continuación, se detallan dos de las labores técnicas de reparación, antes mencionadas, que pueden requerir un mayor desarrollo: la inyección de fisuras y grietas y la corrosión de las armaduras.

TRABAJOS DE INYECCIÓN DE FISURAS Y GRIETAS

La reparación de grietas se realizará en función del tamaño alcanzado por las mismas. Por un lado, se considerarán las fisuras y pequeñas grietas con una directriz determinada y, por otro, las grietas importantes, que pueden llevar o no una dirección dominante.

Las primeras suelen ser síntomas de un efecto de retracción de los morteros u hormigones. En ocasiones, puede ser el comienzo de una patología más seria, por lo que requiere cierta observación.

En el segundo grupo, las grietas pueden estar producidas por empujes sobre la estructura. Si son importantes, pueden poner en riesgo la capacidad portante del puente y, por tanto, debe identificarse su origen.

El método empleado para regenerar una zona debilitada por los agrietamientos suele ser la inyección.

Para grandes aberturas, se emplea la lechada de cemento, mientras que, para grietas de menor abertura, se utilizan los sistemas de inyección de epoxi rígido, que se pueden aplicar en zonas secas o húmedas, excepto cuando la zona está saturada o bajo flujo de agua. Para esa última situación, se utilizan las resinas de poliéster especiales.

El proceso de inyección es el siguiente:

- Sellado de toda la grieta impidiendo la salida de la inyección.

- Realización de los taladros de inyección a una distancia aproximadamente igual al espesor del revestimiento, donde se colocarán las boquillas de inyección.
- Se realiza la inyección por la boquilla inferior hasta la aparición del producto por la boquilla siguiente. Se cambia la ubicación de esa boquilla y se taponan las anteriores.
- Las presiones oscilan entre 3 y 7 bares.

Las grietas o fisuras pueden debilitar o no la función estructural, pero, en muchos casos, permiten el paso de filtraciones de agua, que deteriora aun más el hormigón y provoca la corrosión en las armaduras.

224

CORROSIÓN DE ARMADURAS

La corrosión de las armaduras es un defecto muy frecuente y puede ocasionar un daño estructural grave, dependiendo del grado de corrosión existente y de los elementos donde se localice. Suele manifestarse por hinchazones y grietas a lo largo de las armaduras.

La reparación de este tipo de daño requiere un saneo de la zona hasta descubrir la parte exterior de la armadura. Tras una limpieza, se debe evaluar la pérdida de sección de las barras y si conviene regenerar, sustituir o demoler y reconstruir.

En la mayoría de los casos, si no existen patologías asociadas (como grandes flechas, despegues llamativos o pérdidas de sección importantes), se procura regenerar la ferralla existente; esta regeneración se consigue a base de un cepillado de la barra que elimine el óxido o las láminas de acero corroídas.

Posteriormente, se aplican productos cementosos o epoxídicos, como adhesivos para proteger a la armadura, para que sirva de unión con el mortero de regeneración que se aplica después.

Se utilizarán morteros especiales. Los de base cementosa son tixotrópicos y vienen preparados para añadir el agua. Éstos se caracterizan por tener una alta resistencia y una buena adherencia al soporte y suelen ser de retracción compensada. Además, adquieren buena impermeabilidad y, por consiguiente, buena durabilidad, debido a sus aditivos (humo de sílice y fibras).

Por otro lado, los morteros de base epoxídica poseen características similares o superiores a los anteriores. Se emplean cuando se precisa una mayor exigencia estructural y para volúmenes menores debido a su elevado coste. Están formados por más de un componente a mezclar.

6.8.3. CÁLCULOS ESTRUCTURALES

Como se ha mencionado para los puentes metálicos, la modelización y comprobación estructural previa que determina su comportamiento aproximado debe ser extensible a otras tipologías de puentes descritos, como los de fábrica y los de hormigón armado y pretensado.

En caso de adiciones o sustitución de losas, vigas, pilas o incluso de elementos de cimentación, será necesario un cálculo estructural detallado con la preceptiva observancia de la Normativa vigente para el proyecto de puentes.

6.8.3.1. Normativa

La normativa a considerar es la siguiente:

- Instrucción de Hormigón Estructural EHE-08
- Instrucción de Acero Estructural EAE-11
- Norma IAP-11. Instrucción sobre las acciones a considerar en el Proyecto de Puentes de Carretera
- Norma de Construcción Sismorresistente: Puentes (NCSP-07)
- Instrucción de acciones a considerar en puentes de ferrocarril (IAPF)
- Guía de cimentaciones en obras de carretera. Ministerio de Fomento. 2003
- Guía para la realización de inspecciones principales de obras de paso en la red de Carreteras del Estado
- Recomendaciones para el proyecto de puentes metálicos para carreteras RPM – 95
- Recomendaciones para el proyecto de puentes mixtos para carreteras RPX – 95
- Manual de aplicación de las recomendaciones RPM - RPX/95, 2000

6.8.3.2. Documentación

Para la realización de los cálculos, es necesario disponer de todos los datos tomados en campo, así como del resultado de los ensayos efectuados. Mediante esta información, se deben definir las actuaciones concretas a realizar en cada infraestructura, detallando puntualmente las reparaciones a efectuar en cada caso. Para ello, será necesario disponer de un plano adecuado que incluya dimensiones, secciones, plantas, etc., en el que se podrán realizar las medidas oportunas que posteriormente se definen en el proyecto constructivo de reparación.

6.8.4. PROCESO CONSTRUCTIVO

Se recogen, a continuación, los condicionantes principales a tener en cuenta en los procesos constructivos de rehabilitación de estructuras metálicas y de obra civil, así como para la protección del medio ambiente y gestión de los residuos.

6.8.4.1. Estructuras metálicas

Se deberá cumplir lo establecido en el capítulo correspondiente a Pasarelas Peatonales en cuanto a preparación de materiales, costes de material, marcado de piezas, homologación de soldadores, elección y manejo de electrodos, secuencia de armado y de soldeo, fabricación soldada, fabricación atornillada y montaje.

6.8.4.2. Obra civil

En cuanto a la obra civil, se estará a lo dispuesto en el epígrafe correspondiente del capítulo de Pasos Inferiores, en cuanto a preparación y ejecución de hormigón, armaduras, encofrado y cimbras.

6.8.4.3. Protección del medio ambiente y gestión de residuos

En todos los trabajos de rehabilitación, se tendrá muy presente la gestión de los residuos, que deberá incluirse en un anejo específico y valorarse adecuadamente en un capítulo independiente del presupuesto.

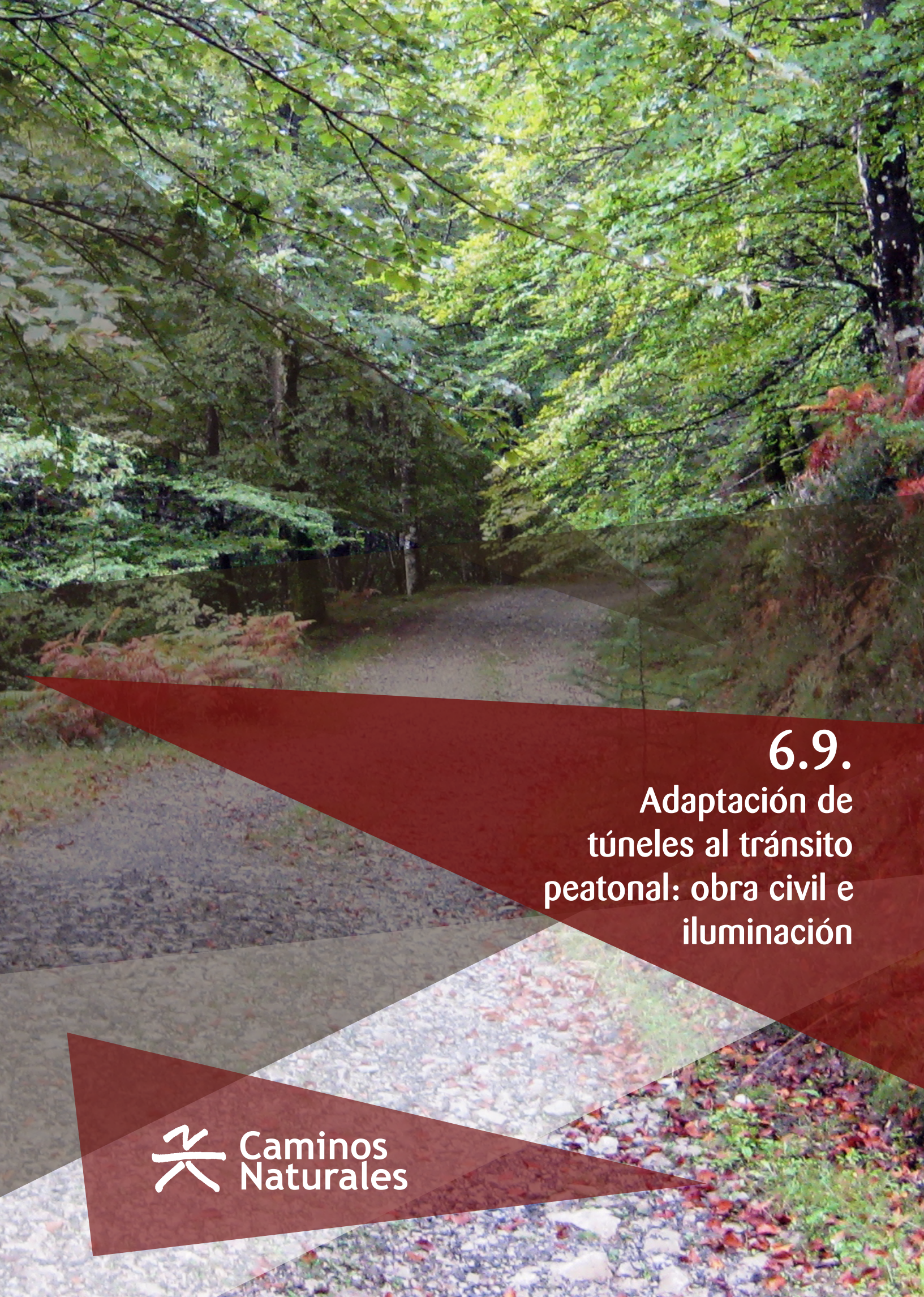
Se seguirán los criterios establecidos en el epígrafe homónimo de Pasarelas Peatonales, en cuanto a gestión de productos generados en obra y control de vertidos.

Durante las obras, se protegerá convenientemente el resto de elementos adyacentes con lonas protectoras, mallas de seguridad, balizamientos, etc., en especial, ante zonas con presencia, actividad o asentamiento de personas, ante ámbitos naturales a proteger, como ríos, arroyos, humedales, vegetación de ribera, etc., o ante elementos del patrimonio artístico, cultural o tradicional, que sea necesario proteger y conservar. Estos elementos se anclarán de forma que no tengan libre movimiento, especialmente ante el viento, y de manera que recojan y permitan trasvasar adecuadamente los restos que puedan desprenderse de las labores de restauración. El destino final de los restos de estos elementos será el mismo que el de los residuos de la obra; los que no sean aprovechables serán recogidos y trasvasados, mediante transportista autorizado, a gestor autorizado, para su correcto tratamiento.


6.8.4.4. Mediciones de las partes a sustituir y de las partes que permanecen

Se llevará un control de las cantidades o mediciones de las diferentes operaciones de reparación que se proyecten, especificándolo para cada tipo de piezas de la estructura. Las unidades de obra dentro del Proyecto estarán claramente definidas en su descripción, en su unidad de medición y en las cantidades valoradas en Presupuesto. En aquellas partidas donde sea difícil la cuantificación de los materiales a emplear, por ejemplo, en el trabajo de sustitución de elementos corroídos, se efectuarán estimaciones valoradas a falta de un cómputo de lo realmente ejecutable.

Como se comentó en el apartado inicial correspondiente a la inspección de visu, se efectuarán también planos de detalle del total de la estructura (dimensiones reales de la estructura y de las piezas que la componen: secciones tipo y longitudes), así como de las mediciones de las mismas, tanto de las partes a reparar o a reforzar, como del resto de la estructura, aunque dejando claro en proyecto, las piezas y mediciones que son objeto de reparación, refuerzo o sustitución.



6.9. Adaptación de túneles al tránsito peatonal: obra civil e iluminación



6.9.1. Adaptación de túneles al tránsito peatonal: obra civil

6.9.1. ADAPTACIÓN DE TÚNELES AL TRÁNSITO PEATONAL: OBRA CIVIL

6.9.1.1. Introducción

La adaptación de túneles al tránsito pedestre y ciclista asociado a los Caminos Naturales permite dar un nuevo uso a una infraestructura de gran coste, en la actualidad abandonada, normalmente en buen uso y con una larga vida que, de otra manera, iría deteriorándose o utilizándose para usos privados. Por otro lado, dar un nuevo uso a los túneles permite ahorrar en trazados alternativos de caminos, que generarían un nuevo impacto sobre el medio.

Las condiciones de estanqueidad necesarias en los túneles adaptados al uso turístico, bien sea caminando o en bicicleta, suelen ser muy diferentes a las existentes para usos ferroviarios donde ciertas filtraciones eran aceptables para el uso original, por lo que se requiere realizar una revisión y actualización de los sistemas de drenaje e impermeabilización de la estructura de estas infraestructuras.

6.9.1.2. Estudios previos: reconocimiento y diagnóstico de daños

Para la adaptación de un túnel al tránsito previsto para el Camino Natural, se debe conocer el estado de conservación del mismo. Esta información se obtiene inicialmente mediante reconocimientos sobre el terreno y, cuando éstos sean insuficientes para la determinación del alcance de los daños, utilizando métodos de auscultación, destructivos y no destructivos.

6.9.1.2.1. Evaluación de daños presentes en el túnel

Se debe crear una base de datos para cada túnel que incluya su historia, geología del macizo donde se ubica, tipo de revestimiento y posibles patologías, deformaciones existentes, filtraciones de agua, etc., que permita conocer las actuaciones necesarias para su adaptación al uso previsto.

Por tanto, con la detección de los deterioros, se inicia una investigación cuya finalidad es encontrar las hipótesis más probables acerca de los elementos causantes de los daños observados.

La acción del agua es la causa principal de los deterioros presentes en muchos de los túneles existentes. Su acción destructiva afecta tanto al revestimiento como al terreno adyacente y a la plataforma de paso.

En la siguiente tabla, se relacionan los daños más frecuentes, sus posibles causas y los efectos negativos asociados a la funcionalidad del túnel.

DAÑOS OBSERVABLES	POSIBLES CAUSAS	EFFECTOS EN LA FUNCIONALIDAD
En la boquilla: grietas y deformaciones en dintel	Empujes laterales. Asientos	No apreciable
En el revestimiento: manchas y eflorescencias en paramentos	Acción de humos y gases. Filtraciones con sales disueltas	No apreciable. Estética

DAÑOS OBSERVABLES	POSIBLES CAUSAS	EFFECTOS EN LA FUNCIONALIDAD
Deterioro y pérdida de mortero en mampuestos (túneles antiguos)	Acción del agua. Deterioro del mortero	No apreciable
Caída de ladrillos (túneles antiguos)	Acción del agua. Deterioro del mortero/ladrillo	Limitación de tráfico
Filtraciones de agua	Baja calidad del revestimiento. Alta permeabilidad. Abertura de juntas	Daños en la plataforma. Limitación en la circulación. Manchas en el revestimiento
Deformaciones del revestimiento	Movimientos en ladera. Empujes tectónicos. Materiales expansivos. Existencia de huecos en trasdós	Posible interrupción del tráfico interior
Grietas en el revestimiento	Pandeo de hastiales. Disimetría en los empujes	Se observará la evolución.
Roturas del revestimiento	Caída de bloques	Convergencias altas. Interrupción de tráfico
Caída de bloques en túneles sin revestir	Caída de bloques acelerados por el agua	Limitaciones e interrupción de tráfico
Contaminación de la plataforma	Arrastre de finos	Daños en la plataforma. Tráfico restringido
Funcionamiento defectuoso de cunetas y drenes	Aterramiento, obstrucción por arrastres	Daños en la plataforma. Inundaciones
En zonas reparadas: desprendimiento de gunita	Falta de adherencia o anclaje y aparición de agua	Riesgo de caída de fragmentos. Limitación de tráfico

Tabla 6.9.1.1. Daños más frecuentes en túneles, posibles causas y efectos. Fuente: Ingeniería de Túneles. Carlos López Jimeno, 2000.

Los daños más frecuentes se detallan en los siguientes apartados, correspondientes a daños en el revestimiento del túnel, el terreno encajante o aquellos que afectan a la estructura general del mismo.

Daños en el revestimiento del túnel

El revestimiento colocado con encofrado suele dejar huecos entre el hormigón y el terreno. Esto es especialmente acusado en la clave de las bóvedas. Si existía flujo de agua, continuará entre esas oquedades, con incursiones hacia el interior a través de juntas o fisuras. Este flujo puede ocasionar también un arrastre de finos, aumento de los huecos, movimientos o asientos y, eventualmente, patologías estructurales ante una disimetría de cargas.

Por otro lado, la acción del agua puede ocasionar daños de tipo físico, como son los daños por hielo-deshielo, o de tipo químico, por la agresividad del agua en los hormigones.

En los túneles antiguos, es común encontrarse con revestimientos de fábrica de ladrillo, de sillería o de mampostería. Los daños de las filtraciones son similares a los revestimientos de hormigón, agravados por el lavado del mortero de las juntas, aparición de eflorescencias en las superficies y deterioro de las piezas constituyentes.

Daños sobre el terreno encajante

El agua puede actuar sobre el terreno y, según su naturaleza, puede alterar la roca, disolviéndola o lavando las juntas. Estos procesos debilitan estructuralmente el entorno del revestimiento y aumentan las cargas sobre éste.

En estos casos, los principales aspectos relacionados con el agua que alteran el terreno son el lavado de finos en el trasdós por las filtraciones subterráneas, el hinchamiento de ciertas arcillas con la humedad, la disolución de rocas carbonatadas o yesíferas, las modificaciones de los niveles freáticos, con cambios en las presiones actuantes y movimientos en las proximidades, y el lavado de juntas con aumento del riesgo de desprendimientos o deslizamiento de cuñas.

Daños en la estructura general del túnel

Cuando el túnel no está revestido, es la propia roca excavada la que forma las paredes, pudiendo aparecer sobre ella los mismos problemas y daños que los mencionados para los revestimientos o para el terreno encajante, es decir, los flujos de agua por fisuras en la propia roca, con los problemas estructurales de movimientos, asientos o desprendimientos.

Al estar la roca expuesta, los daños relacionados con desprendimientos pueden venir ocasionados, no sólo por flujos de agua, sino por alteración ambiental de la capa superficial de las rocas de las paredes (meteorización de la roca por cambios de humedad, temperatura, heladas, corrientes de aire, etc.), que deberá sanearse convenientemente.

6.9.1.2.2. Auscultación

En aquellos casos en los que el reconocimiento de visu del túnel no sea suficiente para determinar el alcance de los daños del mismo, o siempre que se necesiten datos específicos para la ejecución de las obras de rehabilitación o adaptación del túnel, se realizarán los ensayos que se crean pertinentes a tal fin.

Estos ensayos permitirán, en muchos casos, la identificación de las causas de la aparición de daños, así como el estado del revestimiento, del trasdós y/o del terreno encajante.

En relación al revestimiento, será necesario conocer su espesor, deformaciones, grietas, huecos, alteración química y parámetros resistentes y de deformación. En el caso del trasdós, se buscará su estado, naturaleza, etc. y, en el del terreno encajante, se necesitarán conocer las características geomecánicas del entorno, las alteraciones y movimientos producidos, la descompresión producida con el paso del tiempo o el agua presente.

Los ensayos disponibles con este fin se enumeran y se clasifican en dos grupos: pruebas destructivas y pruebas no destructivas.

Pruebas destructivas

Las pruebas destructivas que se realizan con más frecuencia son las siguientes:

- Sondeos con recuperación de testigo. Consisten en la elaboración de taladros para poder inspeccionar su interior. Los testigos permiten confirmar el estado del revestimiento y del terreno. Asimismo, es posible determinar las propiedades físicas y mecánicas de ambos.
- Calicatas. Son pequeñas aberturas, del orden de 0,50 x 0,50 m, realizadas para el reconocimiento del revestimiento y del terreno.

Pruebas no destructivas

Son ensayos geofísicos que permiten obtener propiedades aproximadas del terreno, junto al trasdós y a cierta profundidad. A continuación, se enumeran los principales ensayos de este tipo:

- Métodos sísmicos. Las propiedades mecánicas y el tipo de material, así como el contenido de humedad, pueden conocerse de forma aproximada determinando las velocidades de propagación de las ondas sísmicas de compresión o de corte.
- Georradar. Consiste en determinar los perfiles de reflexión de ondas electromagnéticas emitidas por un generador en contacto con el revestimiento. La difusión de las ondas depende de la conductividad eléctrica y de la constante dieléctrica del material.

Como resultado de las pruebas y ensayos realizados, se procede al diagnóstico del estado del túnel; en el mismo, se deben indicar, para cada tramo del túnel, los daños existentes, las medidas planteadas para eliminarlos, las reparaciones precisas, los materiales necesarios para realizarlas y, según los casos, el procedimiento a seguir.

6.9.1.3. Definición del proceso constructivo

6.9.1.3.1. Reparación del revestimiento

Se relacionan algunas actuaciones que pueden realizarse sobre el revestimiento con el fin de dotarle de la capacidad portante adecuada.

Revestimiento de fábrica de ladrillo de mampostería

En túneles con antigüedad, es común el deterioro de su superficie, de sus juntas o de los elementos constituyentes.

La reparación de este revestimiento consiste en la reposición de ladrillos rotos o perdidos, mampuestos, y en la reposición de sus juntas. La profundidad del rejuntado debe de alcanzar, al menos, 3 centímetros. Esta operación suele acompañarse con una inyección a baja presión con mortero o lechada de cemento, en taladros previamente efectuados en las juntas.

Las faltas de piezas, sobre todo aquellas de mayor importancia, pueden sustituirse con la adición de una capa de hormigón proyectado, reforzado con mallazo o fibras de acero.

Revestimiento de hormigón

Cuando aparece un deterioro en la superficie del revestimiento de hormigón y avanza hasta cierta profundidad, la solución más frecuente consiste en la eliminación del hormigón deteriorado y su reemplazamiento.

Para ello, es requisito indispensable la eliminación de los productos debilitados, la limpieza de las superficies saneadas y la pasivación de las armaduras corroídas, en el caso de que existan.

Los materiales más frecuentes que pueden utilizarse para la sustitución del hormigón se describen a continuación.

MORTERO DE DOS COMPONENTES A BASES DE POLÍMEROS

Este tipo de mortero se utiliza cuando afecta a poco espesor (2 a 3 cm, con un máximo de 5 cm) y/o las superficies son pequeñas (2 a 3 m²), siendo especialmente adecuado por su alta resistencia y rapidez en el fraguado.

Deben presentar las siguientes propiedades:

- Resistentes al agua
- Resistentes a los ciclos de hielo-deshielo
- Buena adherencia
- Baja retracción
- Corto tiempo de fraguado y endurecimiento

Los copolímeros acrílicos cumplen con estas características, previenen la corrosión de las armaduras y son poco permeables al vapor de agua.

También, se emplean morteros a base de resinas epoxi; en estos casos, el espesor de reparación suele ser pequeño, en capas de 2 a 2,5 cm.

En estos productos, es necesario la utilización de imprimaciones previas compatibles con el hormigón antiguo. El material adhesivo suele ser similar al material del producto a aplicar.

HORMIGÓN SOBRE ENCOFRADO

El hormigón sobre encofrado se usa limitadamente por la complejidad de las instalaciones requeridas (encofrados y cimbras) y por la difícil puesta en obra (aplicación del hormigón, espesores, juntas). Se emplea para volúmenes a reparar de medianos a grandes (longitudes de entre 10 y 20 m y espesores de 15 a 20 cm), requiriendo un amplio espacio para la colocación de los encofrados.

Estos hormigones suelen ir complementados con el uso de armaduras o mallas de acero electrosoldado.

HORMIGÓN PROYECTADO O GUNITADO

Es el método más utilizado cuando las superficies y espesores a reponer son importantes, por su facilidad de aplicación.

Para limitar la fisuración del hormigón una vez aplicado, es necesario fijar previamente una malla electrosoldada a los paramentos del túnel, o bien incorporar dentro del mortero u hormigón a proyectar, fibras metálicas.

Para mejorar el aspecto de la superficie gunitada, es recomendable el empleo del fratás cuando la masa está todavía fresca.

Reparación de grietas

La reparación de grietas se realizará en función del tamaño alcanzado por las mismas. Por un lado, se considerarán las fisuras y pequeñas grietas con una directriz determinada y, por otro, las grietas importantes, que pueden llevar o no, una dirección dominante.

Las primeras suelen ser síntomas de un efecto de retracción de los morteros u hormigones. En ocasiones, puede ser el comienzo de una patología más seria, por lo que requiere cierta observación.

En el segundo grupo, las grietas pueden estar producidas por el empuje del terreno contra el revestimiento. Si son importantes, pueden poner en riesgo la capacidad portante del túnel.

El método empleado para regenerar una zona debilitada por los agrietamientos suele ser la inyección. Para grandes aberturas, se emplea la lechada de cemento mientras que, para grietas de menor abertura, se utilizan los sistemas de inyección de epoxi rígido, que se pueden aplicar en zonas secas o húmedas, excepto cuando la zona está saturada o bajo flujo de agua. Para esta última situación, se utilizan las resinas de poliéster especiales.

El proceso de inyección es el siguiente:

- Sellado de toda la grieta, impidiendo la salida de la inyección.
- Realización de los taladros de inyección a una distancia aproximadamente igual al espesor del revestimiento, donde se colocarán las boquillas de inyección.
- Se realiza la inyección por la boquilla inferior hasta la aparición del producto por la boquilla siguiente. Se cambia la ubicación de esa boquilla y se tapona la anterior.
- Las presiones oscilan entre 3 y 7 bares.

En aquellas ocasiones en las que el tratamiento de inyección no es suficiente, se suele complementar con cosidos a base de barras y armaduras en la zona agrietada.

Las grietas o fisuras pueden debilitar o no la función estructural, sin embargo, en todos los casos, permiten el paso de filtraciones de agua. Este flujo de agua deteriora aún más el hormigón, provoca la corrosión en las armaduras y daña el interior del túnel, lo que supone altos costes asociados al mantenimiento.

6.9.1.3.2. Reparación de filtraciones y su influencia en el uso del túnel

En función del uso del túnel y de las filtraciones de agua presentes, es posible fijar unas exigencias en cuanto al grado de impermeabilización a conseguir. En la tabla siguiente, se especifican los parámetros de impermeabilización:

GRADO DE IMPERMEABILIDAD	CARACTERÍSTICAS DE HUMEDAD	USO DE LA OBRA	FILTRACIONES DE AGUA (L/M ² EN 24 HORAS)
7	GOTEO DE AGUA	TÚNELES DE ALCANTARILLADO	< 1,0
6	LIGERO GOTEO DE AGUA	TÚNELES DE FERROCARRIL	< 0,5
5	FILTRACIONES CAPILARES	TÚNELES DE CARRETERA	< 0,1
4	CASI SECO	TÚNELES DE MONTAÑA Y DE ALTA	< 0,01
3	SECO	ESTACIONES DE METRO	< 0,001

GRADO DE IMPERMEABILIDAD	CARACTERÍSTICAS DE HUMEDAD	USO DE LA OBRA	FILTRACIONES DE AGUA (L/M ² EN 24 HORAS)
2	SECO (PERMITIDA LA DIFUSIÓN DE VAPOR)	LOCALES SUBTERRÁNEOS DE USO GENERAL	0
1	NO PERMITIDA LA DIFUSIÓN DE VAPOR	LUGARES CON PRESENCIA CONTINUA DE PERSONAS	0

Tabla 6.9.1.2. Parámetros de impermeabilización de túneles según su uso. Fuente: Ingeniería de Túneles. Carlos López Jimeno, 2000.

Uno de los principales problemas a resolver cuando un túnel existente cambia de uso (por ejemplo, un túnel ferroviario que se destina a un túnel para un Camino Natural), es la existencia de filtraciones de agua.

Estas filtraciones, que se pueden considerar pequeñas y asumibles en el caso de circulación de trenes, deben eliminarse o minimizarse cuando va a existir tránsito de personas. En este caso, el recinto interior debe quedar, preferiblemente, seco en su totalidad; para lograrlo, será necesario acometer acciones relacionadas con el drenaje y con la impermeabilización del túnel.

Impermeabilización

La impermeabilización en los túneles para Caminos Naturales es una necesidad dentro de la explotación y es un añadido que protege al revestimiento y a la propia roca excavada.

En todo sistema de impermeabilización, el soporte donde se fija ha de cumplir las condiciones siguientes:

- Debe ser resistente y libre de partículas, sin huecos, fisuración, crestas o salientes.
- Si existen esquinas, aristas o bordes afilados, es necesario realizar previamente un saneo que las redondee.

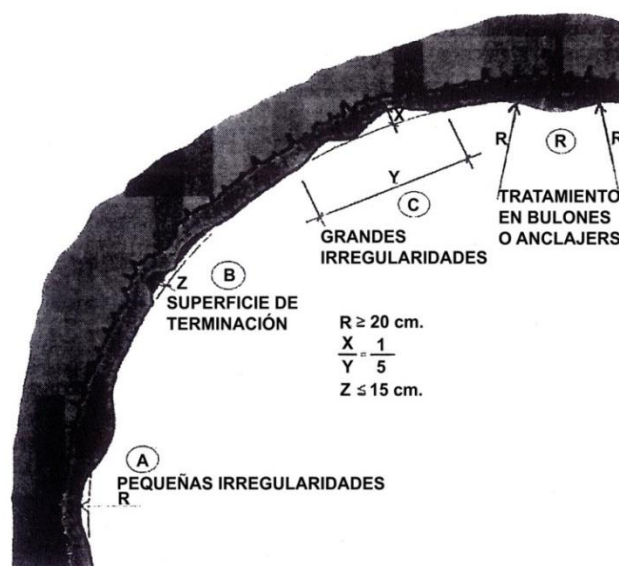


Figura 6.9.1.1. Requisitos para la impermeabilización primaria. Fuente: Ingeniería de Túneles. Carlos López Jimeno, 2000

Los requisitos básicos para proyectar una impermeabilización son:

- Recubrimiento total de la zona a proteger.
- Acompañar las deformaciones del soporte. Poseer elasticidad.
- Fijación al soporte mediante juntas adecuadas.
- Resistencia a aguas agresivas, variaciones de temperatura y presiones de agua.
- Resistencia a los microorganismos.

SISTEMAS DE IMPERMEABILIZACIÓN

Los trabajos de impermeabilización se pueden clasificar en varias fases, dependiendo de las filtraciones, del tipo de revestimiento existente y del nivel de impermeabilización requerido. (Ingeniería de Túneles. Carlos López Jimeno. 2000 e Impermeabilización y drenaje con geosintéticos en túneles. Mariano Úbeda Rodríguez. Seminario de Túneles y Viaductos. Diciembre de 2005):

- Impermeabilización Primaria
- Impermeabilización Intermedia
- Impermeabilización Principal

Esta misma catalogación se puede aplicar, para la rehabilitación, en la impermeabilización que sea necesaria realizar posteriormente.

IMPERMEABILIZACIÓN PRIMARIA

Comprende los trabajos provisionales que cubren el primer taponamiento y/o la recogida y conducción hasta drenaje de las aguas infiltradas, que permiten llevar a cabo la ejecución de la impermeabilización intermedia y principal.

El taponamiento de las filtraciones localizadas se realiza con mortero hidrófugo de fraguado rápido y resistente a las aguas agresivas. La recogida de agua se realiza, bien mediante métodos tradicionales de drenes superficiales —tubos o medias cañas de diámetro superior a 20 cm, según la Norma UNE 104424, sujetos al paramento con cementos de fraguado rápido—, que pueden ser permanentes, para la conducción a las cunetas existentes o a las de nueva creación, bien mediante geocompuestos de drenaje de núcleo de estructura alveolar de polietileno de alta densidad con geotextil de prolipileno adherido.

IMPERMEABILIZACIÓN INTERMEDIA

Son los trabajos posteriores a la impermeabilización primaria y consisten en aplicar gunita, hormigón proyectado o morteros sobre la superficie anteriormente tratada, con el fin de evitar el agrietamiento y proteger el taponamiento primario.

De forma indirecta, se añade una resistencia adicional al sostenimiento (siempre que éste exista).

El espesor del gunitado será aproximadamente de 8 cm, llevará armadura o fibras metálicas y deberá extenderse de forma general a toda la superficie de aplicación.

IMPERMEABILIZACIÓN PRINCIPAL

Se trata de construir una membrana impermeable que garantice la estanqueidad del túnel. El conjunto de la impermeabilización consta de una capa de geotextil y la geomembrana. El geotextil se coloca con dos funciones:

- Protección de la membrana impermeable
- Drenaje en su plano

El geotextil idóneo está fabricado con fibras de polipropileno del tipo agujeteado (ni tejido, ni regenerado). Esta tipología es preferible, con respecto al tipo termosoldado, por su adaptación a las irregularidades.

Como capa de protección, el geotextil impide el punzonamiento o perforación de la geomembrana impermeable. Nunca deben de elegirse por su gramaje, sino por su resistencia mecánica (punzonamiento) y por la permeabilidad en su plano (transmisividad).

Por otro lado, como drenaje, el geotextil evita la acumulación de agua, drenando en su plano, evitando así las bolsas de agua y subpresiones. Cuando se prevén grandes filtraciones, en el geotextil se adosa un material de drenaje y el conjunto recibe el nombre de geocompuesto.

La geomembrana es el elemento impermeabilizante final. Ésta se compone de láminas suficientemente flexibles para adaptarse a la curvatura del túnel existente y a sus irregularidades. Se fabrican en PVC y se colocan transversalmente al desarrollo del túnel, sujetas a unas arandelas previamente colocadas y soldadas térmicamente en sus juntas.

Las principales características de las láminas son:

- Resistencia mecánica apropiada.
- Flexibilidad ante las variaciones térmicas.
- Deben de ser imputrescibles y resistentes al envejecimiento, al fuego (autoextinguibles), al ataque de microorganismos y a las aguas agresivas que puedan alcanzar su superficie.
- Los espesores oscilan entre 2 y 3 mm.

Los rollos deben de ser de anchura superior a 4 metros para minimizar el número de soldaduras de las juntas. El solape de éstas no será inferior a 10-15 cm. Los rollos se sujetarán al techo del túnel mediante clavos o tornillos especiales de cabeza ancha o con el complemento de arandelas.

La colocación de la geomembrana se diseñará con el fin de evitar que el goteo del agua de la clave moleste a los usuarios y deteriore el firme del camino. Por ello, se colocará cubriendo hasta un ángulo de 45° con los hastiales del túnel, de tal forma que el goteo se dirija hacia el muro y, una vez en éste, por deslizamiento, bajará hasta la cuneta, evitando así recubrir también las paredes.

Drenaje

Como ya se señaló para la impermeabilización, el cambio de funcionalidad del túnel puede implicar un problema a la hora de abordar la presencia de agua en el mismo ante el tránsito peatonal o ciclista.

En principio, como cualquier otra estructura en contacto con el terreno, existen dos maneras de actuar ante la presencia del agua. Una consiste en oponerse al paso de la misma, es decir, reforzar el papel de la impermeabilización. La otra consiste en no impedir la entrada del agua, sino controlarla mediante los dispositivos de drenaje, conducirla y verterla al exterior. Es frecuente que los dos sistemas coexistan conjuntamente dentro de estas estrategias contrapuestas. Es decir, se aplica un drenaje en contacto con el terreno y, por otra parte, se aplica una barrera de impermeabilización en la estructura.

En relación con el drenaje y, antes de que se realice ninguna otra actuación, es preciso conocer la existencia de factores que pueden condicionarlo, como son:

- Geología, Geotecnia e Hidrogeología del terreno en contacto con el túnel
- Posibles afecciones a acuíferos o corrientes de agua superficiales
- Conocimiento del sistema constructivo empleado

De esta forma, será conveniente revisar el proyecto original, si el túnel no es muy antiguo, y estudiar los aspectos geológicos, con el fin de recoger el detalle de fallas, pliegues, diques, contactos entre formaciones de diferente permeabilidad, etc., y comprobar las consecuencias de los mismos, principalmente, desde el punto de vista hidráulico.

Si la información de proyecto no existe o no es accesible será necesario llevar a cabo una auscultación, a partir de la cual puedan definirse los caudales que van a afluir al interior. La consecución de este objetivo, con un alto grado de incertidumbre, puede ser suficiente para atajar la mayor parte de los problemas. La obtención de unos caudales aproximados de filtración puede ser suficiente para comprobar cómo pueden verse afectados los acuíferos presentes en la cercanía del túnel.

Si el túnel fue construido con métodos tradicionales de perforación y voladuras, tendrá un efecto drenante mucho mayor que si fue construido con tuneladoras, donde se incorporan revestimientos definitivos mediante dovelas e inyección del trasdós.

Un gran número de los túneles existentes poseerán un sistema de drenaje correcto; sin embargo, con el paso de tiempo, debido a arrastres, movimientos o deterioros propios, la evacuación del agua puede haber dejado de ser eficaz. Por tanto, en primer lugar, habrá que analizar el estado del sistema de drenaje existente en el túnel y evaluar si será necesario ejecutar reparaciones de tipo local o una sustitución con mejoras añadidas.

Normalmente, los sistemas existentes de drenaje en los túneles son cunetas de hormigón protegidas con una placa en superficie. El estado de conservación de las mismas puede verse afectado por diversos factores, debiéndose detallar minuciosamente en el proyecto la forma de

reparación, en su caso, o las soluciones constructivas aportadas para el mantenimiento de su función.

6.9.1.4. Materiales

En cuanto a la recopilación y control de materiales, se seguirán las especificaciones generales establecidas en el apartado equivalente del capítulo de Pasos Inferiores, referidos a hormigones, armaduras, encofrados y cimbras, morteros especiales y productos de inyección, así como en cuanto a la protección del medio ambiente y la gestión de residuos.


En cuanto a los geotextiles y geomembranas, se definen a continuación:

- Se almacenarán en rollos, protegidos de la humedad y de la luz solar. Es necesaria la verificación de los Certificados de Idoneidad o marcado CE. Se efectuará el control de recepción y, si existen dudas, se comprobarán las propiedades mecánicas, físicas y químicas de ambos productos mediante ensayos de recepción.
- En obra, es especialmente importante la comprobación de ejecución del anclaje a los paramentos interiores, así como los solapes especificados y su sellado mediante ensayos de estanqueidad en el caso de las geomembranas.

6.9.1.5. Mediciones de las partes a sustituir y de las partes que permanecen

Existirá un control de las cantidades o mediciones de las diferentes operaciones de reparación que se ejecuten. Las unidades de obra dentro del proyecto estarán claramente definidas en su descripción, en su unidad de medición y en las cantidades valoradas en Presupuesto. En aquellas partidas donde sea difícil la cuantificación de los materiales a emplear, por ejemplo, en el trabajo de inyecciones, se efectuarán estimaciones valoradas a falta de un cómputo de lo realmente ejecutado.

Se dará información completa del túnel, de los procesos de reparación y mejora. Se efectuarán también mediciones de las partes y tramos que no intervienen en los procesos de rehabilitación específica, indicando su estado de conservación.



6.9.2. Adaptación de túneles al tránsito peatonal: iluminación



**Caminos
Naturales**

6.9.2. ADAPTACIÓN DE TÚNELES AL TRÁNSITO PEATONAL: ILUMINACIÓN

6.9.2.1. Introducción

La necesidad de iluminar un túnel en un proyecto de Caminos Naturales se determinará en base a los criterios que se exponen a continuación, iluminándose siempre que se cumpla alguno de ellos.

- El túnel está en curva y no se ve la salida desde la entrada.
- La longitud del túnel es mayor de 200 metros.
- Cuando así lo considere necesario el proyectista, siempre justificadamente.

Los aspectos y procesos considerados para que la definición y el diseño de la iluminación se adapten al tránsito peatonal y/o ciclista se desarrollan en los siguientes epígrafes.

6.9.2.2. Criterios a tener en cuenta

Los criterios a tener en cuenta para la iluminación de túneles para el tránsito peatonal serán de diferente naturaleza, siendo de obligada consideración, al menos, los siguientes:

- Posibilidad de abastecimiento de la energía eléctrica desde la red eléctrica, desde un grupo electrógeno o con paneles solares o similares
- Longitud del túnel, circuitos y sectorización de las luminarias, tipo y localización de las mismas y control del encendido
- Costes de ejecución y mantenimiento de la instalación
- Posibilidad de robos o vandalismo
- Titularidad o posesión de los terrenos donde se proyecten las actuaciones
- Impacto ambiental y normativa al respecto

A continuación, se desarrollan los aspectos enumerados, que deberán tenerse en cuenta a la hora de establecer las soluciones a proyectar.

6.9.2.2.1. Para la acometida eléctrica al centro de mando o cuadro eléctrico de alumbrado

Desde red eléctrica

Normalmente, esta opción de abastecimiento de energía es la que se aplica con menor frecuencia, pues es difícil que la localización de los túneles se encuentre suficientemente próxima a poblaciones y líneas de Baja o Media Tensión.

El cuadro eléctrico para el alumbrado se podrá alimentar desde red eléctrica, siempre que existan líneas de abastecimiento en la zona y se localicen a una distancia aceptable. La alimentación se realizará siempre en Baja Tensión.

Si la red fuera subterránea, la acometida al cuadro se realizaría mediante canalización subterránea; sin embargo, para una red aérea, se estudiará el caso de acometida en subterráneo o en aéreo, según la distancia entre el apoyo de línea desde el que se alimentará el cuadro y el propio cuadro, aunque la red aérea en Baja Tensión no es muy común. Se tomará, como longitud máxima de canalización subterránea, 200-250 metros, justificando los cálculos en cada uno de los casos, si se supera esta longitud. De forma añadida, deberá tenerse en cuenta el impacto ambiental de las obras de alimentación.

En el caso de existir sólo red de Media Tensión, la alimentación al cuadro eléctrico de alumbrado (centro de mando) se realizará desde un transformador que pase la Media Tensión a Baja Tensión, ubicándose éste lo más cerca posible del punto de consumo. Deberán colocarse uno junto a otro o con una distancia máxima entre ellos de unos 5 metros. Al igual que en el caso anterior, será necesario estudiar el impacto generado por estas obras (ambiental y/o visual).

Para este tipo de acometida, hay que tener presente el coste que puede suponer, sobre todo, si el punto de conexión no está cerca del punto de consumo. Siempre se debe de redactar el correspondiente proyecto específico que debe ser aprobado por la compañía eléctrica suministradora, donde se incluya la conducción, la ubicación de todos los elementos y la definición de los dispositivos necesarios.

En cualquiera de los casos expuestos, se deberán mantener conversaciones con la compañía eléctrica, informándoles de la potencia requerida, según los cálculos realizados, para concretar el punto de conexión, pedir las autorizaciones necesarias y obtener todos los permisos pertinentes para llevar a cabo la instalación y, posteriormente, realizar la comprobación de su correcto funcionamiento y obtener el permiso de uso. Los permisos y el resto de documentación formarán parte ineludible de la entrega de las obras de instalación eléctrica de iluminación del túnel, una vez probadas y aceptadas.

Tanto la conexión con la red eléctrica, ejecutada por el contratista, como el mantenimiento de la misma corresponden a la compañía suministradora. Los costes derivados se deben considerar en el proyecto constructivo.

Desde grupo electrógeno

Otra opción para alimentar el cuadro eléctrico de alumbrado (centro de mando) es el empleo de un generador o un grupo electrógeno. Una de las utilidades más comunes de éste es generar electricidad en aquellos lugares donde no hay suministro eléctrico, generalmente, en zonas apartadas con pocas infraestructuras y muy poco habitadas, como sería el caso de la iluminación de túneles en Caminos Naturales.

Se deberá considerar como opción principal que el grupo alimente baterías que almacenen la energía, de manera que éste sólo se encienda cuando las baterías estén bajas y necesiten cargarse de nuevo, evitando así que el grupo se encienda cada vez que el alumbrado lo pida.

En este caso, el número y la capacidad de las baterías y los requerimientos del grupo electrógeno se tendrán que calcular de acuerdo a las necesidades de iluminación que imponga el uso del túnel objeto de proyecto.

Se deberá considerar, como opción prioritaria, instalar el grupo electrógeno en subterráneo; si no fuera posible o adecuado, el grupo se ubicará en una caseta o recinto que cumpla los requisitos de seguridad, para evitar robos y acciones de vandalismo (paredes de hormigón) y que constructivamente se adapte a las soluciones y materiales de la zona. En estos casos, siempre hay que tener en cuenta la propiedad o titularidad de los terrenos donde ubicar las instalaciones necesarias para alojar el grupo.

Tanto las casetas como las ubicaciones subterráneas deberán tener en cuenta unas condiciones:

- Espacio mínimo: aproximadamente un metro alrededor del grupo para labores de mantenimiento
- Salida para los humos: chimenea
- Ventilación: mínimo dos rejillas para entrada y salida de aire, cuyas dimensiones y localización dependerán de la potencia y diseño del grupo
- Aislamiento del terreno: estancia, lo que puede requerir un adecuado sistema de drenaje alrededor de la misma
- Alojamiento de todo el material complementario necesario: baterías, etc.

Habrá que tener en cuenta el coste de mantenimiento del propio grupo —combustible, transporte, mano de obra, reparaciones, etc.—, para las necesidades energéticas de la iluminación requerida. También, será necesario tener en cuenta el impacto de su ejecución y el de funcionamiento (ruido, humos de combustión, manejo continuado de combustible, etc.).

Mediante paneles solares

Durante las horas de insolación, los paneles fotovoltaicos producen energía eléctrica en forma de corriente continua, que es almacenada en las baterías o acumuladores. En los momentos de consumo energético, los acumuladores suministran a los receptores esta electricidad, que es transformada en corriente alterna por el inversor. Por tanto, un sistema fotovoltaico permite consumir la electricidad que se genera, con una instalación sencilla y cómoda, que consume la energía gratuita del Sol, sin los inconvenientes de ruido que implica el generador, sin los costes del gasóleo y del mantenimiento del grupo y sin necesidad de solicitar conexión a la red eléctrica.

Por otro lado, entre los aspectos negativos del sistema fotovoltaico, se encuentran los siguientes:

- Este tipo de instalaciones son susceptibles de robos; para evitarlo, se deberá estudiar y dar solución a la localización, anclaje y protección de los equipos, en cada caso (ubicación en casetas, en viseras de embocaduras de túneles, en estructuras diseñadas al efecto, etc.).

- Los túneles están en terrenos abruptos, lo que puede condicionar las horas efectivas de recepción de horas de sol, según ubicación de los paneles, tanto por entrar rápido en zona de sombra de las colinas o laderas de las montañas presentes, del arbolado, etc., como por forzar posicionamientos y orientaciones no muy adecuados para la óptima captación de energía solar.
- Carecer de la titularidad de los terrenos para la ubicación de los elementos de la instalación (paneles, baterías, centro de mando, etc.).
- Impacto visual de las instalaciones.

El proyecto deberá definir perfectamente los distintos elementos, ubicar el sistema con precisión y dar solución a los diferentes aspectos negativos antes mencionados.

El mantenimiento de este tipo de instalaciones consiste en la revisión regular de los aparatos según las indicaciones del fabricante. Las averías, en caso de correcto uso, son muy infrecuentes y las condiciones meteorológicas habituales tampoco le afectan.

6.9.2.2.2. Para la ubicación del cuadro de mando y alimentación a las luminarias

Una vez decidida la manera en la que se va a alimentar el cuadro desde el que se abastecen las luminarias (red eléctrica, generador o paneles solares), éste se ubicará en lugar adecuado y cercano a una de las bocas del túnel, del que se posea la disponibilidad de los terrenos, y siempre incluido en una caseta de obra cerrada y vallada, diseñada para evitar los robos de material.

Desde el cuadro de mando y hasta la boca del túnel, la canalización del cableado de alimentación a las luminarias se realizará de forma subterránea y entubada. Se llegará a una arqueta de paso/derivación y toma de tierra, desde donde se subirá, con tubo de acero galvanizado o bandeja del mismo tipo, según el número de circuitos necesarios, por la pared del túnel y a lo largo del mismo, normalmente por la clave de la bóveda, salvo condicionantes ambientales (el principal problema suele ser la presencia de murciélagos, que deberá detectarse en los estudios previos de la zona) que aconsejen llevarlo por los hastiales. Al final, el tubo del cableado bajará hasta otra arqueta del mismo tipo (de paso/derivación y toma de tierra). Se aconseja poner dos arquetas de tierra, una en cada extremo del túnel, para mejorar la efectividad del sistema, ya que si la resistividad del terreno no es buena y hay una sola toma de tierra, será necesario añadir sales y/o geles u otros materiales que hagan que la resistividad del terreno mejore, para que el valor de resistencia sea mejor.

En el diseño y cálculo de los circuitos eléctricos que alimentarán a las luminarias, independientemente del número de sectores, debe considerarse establecer un circuito independiente de emergencia, de manera que si cae el principal, el túnel o un sector de túnel no quedará completamente a oscuras. Para ello, se deberá circuítar, de manera que una de cada tres luminarias consecutivas se alimente desde el circuito de emergencia.

Las luminarias se instalarán a la altura de la clave de bóveda o, ante condicionantes, en los hastiales, y a las interdistancias indicadas en los cálculos lumínicos, en general, unos 50 metros, cumpliendo con la normativa aplicable, y serán del tipo y de la potencia recogidos en los cálculos, considerando como opción preferente las tecnologías de bajo consumo y, en particular, las luminarias LED.

6.9.2.2.3. Para el control del alumbrado

Se establecen los criterios a seguir para los diferentes sistemas de control del alumbrado que deben considerarse para la iluminación de túneles.

Mediante detectores de presencia volumétricos

El control de la iluminación deberá realizarse mediante detectores de presencia que conectarán el alumbrado del túnel, en respuesta a la presencia de ocupantes en el mismo. Para ello, el detector va asociado a un dispositivo auxiliar, un contactor, que es el que realiza la conexión y desconexión de los circuitos de alimentación del alumbrado.

El control de la duración del encendido de cada sector se localizará en la caseta de control o centro de mando y se ajustará a los cálculos previos establecidos para el tiempo de paso de los usuarios.

Con este sistema de control, el encendido y apagado se realiza automáticamente, sin intervención activa de los usuarios, de manera que el alumbrado se desconecta una vez transcurrido el tiempo previsto desde la última detección de usuarios en el interior del túnel. De este modo, se minimiza el consumo eléctrico, adaptándolo a las necesidades reales de uso.

Dependiendo de las necesidades y condiciones del túnel, el sensor volumétrico de presencia elegido se instalará en techos, pero también, si los condicionantes a justificar lo requieren, en las paredes del túnel, pudiéndose ajustar el ángulo y la longitud de acción. El tiempo de duración dependerá de la longitud del sector a iluminar y de la velocidad media de paso elegida y justificada para los cálculos, normalmente entre 3 y 4 km/h para viandantes que, al desarrollar menor velocidad que los ciclistas, serán los usuarios que condicionen el tiempo de encendido. No obstante, los tiempos de cálculo de cada proyecto en particular deberán ser definidos y justificados por el proyectista.

Los detectores se deberán colocar en las entradas/salidas del túnel, a unos 5 ó 10 metros de las mismas y en los 20 a 25 metros anteriores a cada nuevo sector de iluminación. Los túneles con grandes desarrollos, de más de 400 metros, se dividirán en sectores de iluminación cada 200 a 250 metros, para disminuir el consumo de energía. Esta división evitará que todo el túnel esté iluminado de principio a fin, cuando sólo se esté utilizando un tramo en cada momento, iluminándose en tramos suficientemente largos como para aportar seguridad a los usuarios, por la distancia del tramo iluminado observable. La división en tramos más cortos llevaría asociada una menor rentabilidad por el incremento de elementos y por el aumento de trabajo para su diseño y puesta en obra.

Mediante pulsadores manuales

De forma complementaria al sistema de encendido automático por detectores, se instalarán pulsadores manuales de encendido como medida de seguridad, solventando así los fallos que puedan producirse en el citado sistema. Dichos pulsadores deben ser estancos y adaptados a condiciones de uso multitudinario y en exteriores (aunque se localicen dentro del túnel); deberán funcionar igualmente de manera temporizada controlable desde la caseta de control o centro de mando y poseer un punto de iluminación LED para facilitar su localización.

246

Los pulsadores se instalarán en las entradas y las salidas del túnel, a unos 25 metros de las mismas y en la pared derecha en el sentido de avance por el túnel. En el tramo intermedio, los pulsadores se situarán a una equidistancia aproximada de 50 metros, para poder solucionar posibles incidencias en el funcionamiento del sistema de encendido automático.

El tiempo de encendido de la iluminación será el mismo que el utilizado en los detectores volumétricos, de manera que cada pulsador manual esté asociado, en su caso, a uno de los sectores de iluminación establecidos.

6.9.2.2.4. Actuaciones complementarias

Como medidas complementarias de seguridad, para facilitar el tránsito y la salida de usuarios ante posibles fallos en la iluminación, el proyecto deberá considerar la posibilidad de utilizar bandas fotoluminiscentes en las paredes del túnel, indicando la boca de salida más cercana para los usuarios. Son bandas ya preparadas y autoadhesivas, o bien pinturas a aplicar sobre las paredes de túnel, con materiales que captan la luz diurna o la recibida cuando el túnel está iluminado y la emiten durante periodos prolongados de tiempo y que permiten la salida de los usuarios ante apagones inesperados de la iluminación de los túneles.

6.9.2.2.5. Normativa aplicable

Para el desarrollo del alumbrado de este tipo de túneles, se tendrá en cuenta el Real Decreto 1890/2008, de 4 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento de Eficiencia Energética en instalaciones de alumbrado exterior y sus Instrucciones Técnicas Complementarias EA-01 a EA-07 y, en concreto, el punto 3.2. de la ITC-EA-02, sobre el alumbrado en pasos subterráneos peatonales, ya que se indican los niveles lumínicos y uniformidades que se deben prever.

El proyecto se realizará teniendo en cuenta, además de la normativa vigente, la reglamentación y las recomendaciones que se exponen a continuación:

- Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión (REBT), según Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto, del Ministerio de Industria (B.O.E. 18 de septiembre de 2002) e Instrucciones Técnicas Complementarias
- Normas UNE
- Recomendaciones UNESA

Asimismo, según los aspectos desarrollados, las principales normas complementarias a considerar son:

- Normas de diseño de aparamenta eléctrica:
 - UNE-EN 62271-200; UNE-EN 62271-103
 - CEI129, 265-1, 298
 - UNE-EN 62271-102, UNE-EN 62271-105, UNE-EN 62271-100, 21136-16, UNE-EN 62271-1, RU6407 B
 - CEI 56, 420, 694
 - UNE-EN 60076-1:2013, RU5201
- Normativa para luminarias de LED:
 - Norma General de Luminarias UNE-EN 60598-1
 - Normativa (Seguridad de los módulos LED) UNE-EN 62031:2009/A2:2015
 - Normativa UNE-EN-62471 (Radiación Óptica)
 - Deberán tener marcado CE: Declaración de Conformidad y Expediente Técnico o Documentación Técnica asociada.
- Normativa para instalaciones fotovoltaicas:
 - Real Decreto 661/2007, de 25 de mayo, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial
 - Ley 54/1997, de 27 de noviembre, del Sector Eléctrico
- Normativa para señalización fotoluminiscente:
 - UNE 23035-1:2003
 - UNE 23035-2:2003
 - UNE 23035-4:2003

6.9.2.3. Estudios previos necesarios

Partiendo de la ubicación del túnel, para el establecimiento de la mejor solución de la iluminación, se deben de tener en cuenta los siguientes datos:

DATOS DEL PROPIO TÚNEL

- Longitud, trazado (recto, curva, pendiente) y sección
- Visibilidad entre bocas
- Estado del mismo: estabilidad, desprendimientos, filtraciones, estado de las paredes, estado del pavimento, drenaje, etc.
- Taludes de las embocaduras: estabilidad, plataformas, accesos
- Asentamientos, presencia o uso del túnel por parte de fauna

DATOS DEL ENTORNO

- Distancia a posibles puntos de conexión a redes eléctricas (compañía suministradora) y topografía
- Distancia a núcleos de población o centros de atracción de personas y sus accesos

- Orientación, horas de sol a lo largo de las estaciones, tanto generales como particularizadas para las posibles ubicaciones de los paneles, y potenciales zonas de sombra (embocaduras, viseras de túneles, otras)
- Posibilidad de accesos a las bocas y propiedad de los terrenos circundantes a las bocas del túnel
- Vegetación circundante a las bocas
- Topografía, morfología y geología de los alrededores de las bocas

DATOS DE USO

- Estimación o previsión del número de usuarios y de su distribución temporal, con datos del número diario máximo de usuarios al que tendrá que dar servicio la iluminación del túnel en las cuatro estaciones
- Determinación de la velocidad media de paso a elegir
- Determinación del número estimado de frecuencias de paso diarias y del tiempo máximo de uso diario

Con estos datos de partida, se estará en disposición de poder realizar los cálculos y tanteos necesarios para elegir la mejor opción para la iluminación de los túneles.

6.9.2.4. Cálculos

Para la implantación de un sistema de iluminación en un túnel con fines de uso público, será necesario realizar una serie de cálculos que incluyen:

- Conexión o alimentación de energía: a red existente, a través de grupos electrógenos o con energías renovables
- Luminarias o fuentes de luz
- Conductores necesarios
- Dimensionado, diseño y elementos del centro de mando
- Determinación de la velocidad de paso y la estimación del número de usuarios en el día de máxima afluencia

Todo ello se realizará a partir de los cálculos eléctricos y lumínicos, que deberán incluir y tener en cuenta los estudios de eficiencia energética y la legislación básica al respecto.

6.9.2.4.1. Cálculos lumínicos

A partir de los datos de longitud y sección del túnel y de los niveles lumínicos exigidos por la legislación (punto 3.2 de la ITC-EA-02 del Real Decreto 1890/2008, túneles con alumbrado diurno: nivel lumínico de 100 lux y uniformidad de 0,50), se realizarán los cálculos lumínicos que definirán las luminarias (preferentemente, LED u otras tecnologías de bajo consumo) y las interdistancias entre ellas, así como la altura de la instalación.

Se establecerán igualmente los sectores de iluminación, en función de la longitud del túnel, con los criterios establecidos en el apartado de control del alumbrado, que recomienda sectorizar en tramos de 200 a 250 metros para túneles de más de 400 metros.

6.9.2.4.2. Cálculos eléctricos

Para los cálculos eléctricos, se tendrán en cuenta el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (R.E.B.T.) y las caídas de tensión que en él se indican, debiéndose tomar un 3% de caída de tensión máxima para los circuitos de alumbrado.

Los consumos necesarios se establecerán en base a los factores que se enumeran a continuación, y que deberán aparecer definidos, justificados y correctamente desarrollados en el proyecto de iluminación:

- Número máximo de personas o grupos en un día, es decir, número máximo de veces que se enciende la iluminación; en su caso, especificar mes o estación del año (alimentación por paneles solares) en los que el sistema de iluminación proyectado deberá dar respuesta
- Tiempo de duración del encendido por paso de un usuario o grupo, sirviendo, como velocidad orientativa, que deberá justificar el proyectista, un valor comprendido entre 3 a 4 km/h. Este intervalo de tiempo deberá calcularse para la longitud del túnel y/o los diferentes sectores, en su caso. También, será necesario estimar el tiempo total en un día por número de grupos usuarios

De manera general, se deberán realizar los cálculos necesarios para cada una de las instalaciones de acometida mencionadas, a fin de poder elegir la mejor opción desde el punto de vista de la ejecución y considerando su posterior mantenimiento. Una vez resuelto esto, se tendrán en cuenta otros factores, tales como la economía, la eficiencia energética, etc.

- En el caso de **acometida desde red eléctrica**, se debe conocer la distancia y la topografía existentes desde el túnel (en concreto, desde el cuadro de mando donde se inicia la instalación de consumo) hasta el punto de conexión con la red eléctrica perteneciente a la compañía suministradora. En base a estos factores, se decidirá si la acometida se puede ejecutar o no, por coste de conexión y, en caso de ejecutarse, si se llevará a cabo de manera subterránea o aérea. En función del tipo de acometida, se realizarán los siguientes cálculos:
 - Cálculo del número apoyos y distancia entre ellos (en aéreo)
 - Longitud de zanjas (conducción subterránea)
 - Tipo y sección del conductor (aéreo y subterráneo)
 - Centro de mando

Cuando la red eléctrica a la que se quiere conectar sea, en su origen, de Media Tensión, en cualquiera de los dos casos anteriores (red eléctrica aérea o subterránea), se calculará la potencia estimada de alumbrado para poder elegir la potencia del

transformador. Esta potencia será necesaria igualmente para pedir el punto de conexión a la red de la compañía eléctrica.

- En el caso de **instalación de grupo electrógeno**, se deberán estudiar los siguientes aspectos:
 - Necesidades de baterías (cantidad y tipo)
 - Grupo electrógeno de potencia necesaria para dar respuesta a las demandas de iluminación
 - Cada cuánto tiempo habría que suministrar combustible
 - Convertidor o inversor necesarios
 - De acuerdo a los estudios previos, se determinará la mejor ubicación y se establecerán los medios de protección a emplear para las baterías y el grupo (tipo de caseta, medidas de cierre, etc.), tanto si se proyecta la ubicación en subterráneo como si su instalación es en superficie.

- El caso de **instalación fotovoltaica** es aún más complejo. A partir de la potencia que requiere la iluminación, se tendrá que estudiar:
 - Superficie y tipo de placas necesarias para abastecer la demanda
 - Necesidad de baterías (tipo, cantidad y comunicación) para almacenar y disponer de energía. Cálculos de paneles y baterías según capacidad de almacenamiento, demandas de descarga estimadas (velocidad de descarga) y ciclo de vida (número de descargas y cargas a fondo que soportan). Cuánto mayor es el porcentaje de descarga que sufre la batería, menor es el número de ciclos que pueden cargarse y descargarse (por ejemplo, para batería de plomo-ácido estacionaria, descargas de un 20% de la capacidad de almacenamiento implican aproximadamente el doble de cargas-descargas que para descargas de un 50% de la capacidad de almacenamiento)
 - Convertidor o inversor necesarios
 - Mejor ubicación particularizada de los paneles para las demandas establecidas y mejor rendimiento energético de los mismos, en cuanto a su localización, altura, disposición, orientación, inclinación, etc., teniendo en cuenta los condicionantes de la ubicación (propiedad de los terrenos, zonas de sombra de las laderas próximas, orientación de las embocaduras de túneles, presencia de escarpados rocosos, presencia de arbolado, etc.), de acuerdo a los datos obtenidos en los estudios previos, así como para protegerlos de robos y actos vandálicos (colocación sobre estructuras, sobre el tejado de la caseta, sobre estructuras en las viseras de las bocas del túnel, etc.). Los cálculos, cuyo procedimiento a seguir se explica en el documento de Instalaciones de Energía Solar Fotovoltaica: Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Aisladas de Red (PCT-A-REV-Febrero 2009) del IDEA (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía), se concretarán en:

- Cálculo de la Potencia Pico a instalar, en función de la superficie a iluminar, el tipo de uso y la zona climática donde se ubica
- Cálculo de la disposición de los módulos y de las pérdidas por orientación e inclinación
- Cálculo de las pérdidas de radiación solar por sombras de obstáculos
- Cálculo de la capacidad de almacenamiento de las baterías
- Necesidad y cálculo de estructuras y su anclaje, para ubicar y sujetar los paneles, de manera que posibiliten su orientación
- De acuerdo a los estudios previos, se determinará la mejor ubicación y se establecerán los medios de protección a emplear para las baterías y el grupo (tipo de caseta, medidas de cierre, etc.) y la posible necesidad de sistemas de protección adicionales.

6.9.2.4.3. Conductores

Para los cálculos eléctricos de conductores, se deberá tener en cuenta el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (R.E.B.T.) y las caídas de tensión que en él se indican, donde, para este tipo de instalación lumínica y circuitos de alumbrado, como se ha indicado anteriormente, se recomienda aplicar un 3% de caída de tensión máxima.

Hay que tener en cuenta la sección mínima a utilizar en los conductores para este tipo de instalaciones, donde el comienzo de la instalación es subterráneo, por lo que se utilizará una sección de 6 mm.

Para los cálculos, se utilizarán diferentes fórmulas en función de si los sistemas son trifásicos o monofásicos, pero, en ambos casos, se deberá calcular la intensidad y la caída de tensión en voltios o en porcentaje. La intensidad se estimará en función de la potencia de cálculo, de la tensión de servicio y del factor de potencia. Para el cálculo de la caída de tensión, será necesario conocer la intensidad, la longitud de los conductores, la conductividad, la sección del conductor, el número de conductores por fase y la reactancia.

6.9.2.4.4. Centro de mando

Cuando la acometida se obtenga desde una línea de red eléctrica, hay que instalar un centro de mando que controle el sistema de iluminación.

De forma general, un centro de mando consta de un interruptor general magnetotérmico y, por cada circuito de salida, de un contacto y de un interruptor diferencial, así como de sus correspondientes automáticos unipolares de salida; además, deberá disponer de un interruptor en cada circuito de salida para casos de maniobra manual.

Los circuitos o salidas con los que contará el centro de mando vendrán determinadas por los sectores de encendido considerados, teniendo en cuenta que la sección del conductor no debe superar los 25 mm² como criterio general, ya que hasta dicha sección la manipulación de los mismos es mucho más sencilla.

En el centro de mando, se ubicarán también los sistemas de control del alumbrado del túnel, como son los temporizadores o programadores de alumbrado, de acuerdo a la información enviada por los detectores de presencia y los pulsadores manuales.

Para el resto de los sistemas de alimentación, por medio de generador o por paneles solares, los elementos de control se ubicarán en el interior de una caseta, que contendrá, para ambos casos, regulador de carga, cargador de batería, batería e inversor.

6.9.2.5. Definición del proceso constructivo

El proyecto deberá dejar claro, normalmente en el desarrollo del Pliego de Condiciones, en el apartado correspondiente a la ejecución de las obras, el proceso constructivo a seguir para la correcta instalación de los diferentes elementos que componen y posibilitan la iluminación de túneles y sus elementos de control y abastecimiento de energía eléctrica. Paralelamente, se deberá incluir en los planos un esquema unifilar de la instalación.

A continuación, se desarrollan los principales aspectos a tener en cuenta en los procesos constructivos a ejecutar en proyectos de iluminación de túneles.

En el gráfico adjunto, se representan esquemáticamente los diferentes elementos que componen la iluminación de túneles peatonales, desde la conexión o el abastecimiento de la energía, hasta el centro de mando, el cableado, las luminarias, los elementos de control de la iluminación (detectores y pulsadores) y las tomas de tierra.

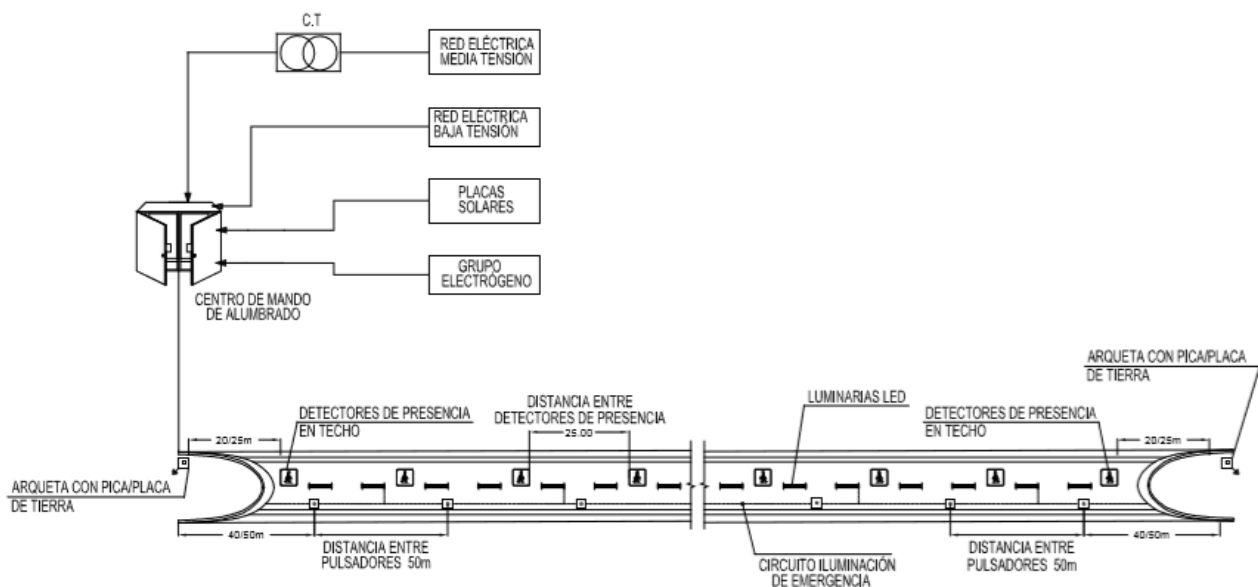


Figura 6.9.2.1. Esquema general de los elementos de la iluminación de túneles para uso peatonal en Caminos Naturales, donde se contemplan las tres posibilidades de suministro de energía eléctrica. Fuente: Elaboración propia.

6.9.2.5.1. Acometida

La alimentación eléctrica desde red existente se ejecutará, siempre que sea posible, mediante canalización subterránea en zanja, muy especialmente si la red es de Baja Tensión. Se realizará siguiendo el camino lógico más corto (aprovechando márgenes de caminos u otras infraestructuras existentes), evitando así que las caídas de tensión que puedan darse en grandes longitudes hagan que aumente en exceso la sección de los conductores.

Las canalizaciones, tanto en Baja como en Media Tensión, se materializarán a través de zanjas de 35-40 cm de anchura y 70 cm de profundidad, donde se tenderán dos tubos de polietileno de alta densidad (PEAD) de 160 mm de diámetro. Para conducciones por terrenos sin pavimentar, estos tubos estarán englobados en una capa de arena de 30 cm, sobre la que se colocará una capa de tierra-arena todo uno hasta coronación. Para zanjas bajo zonas pavimentadas, sobre la capa de arena, se colocará una capa de zahorras y el firme y/o pavimento del mismo tipo y calidad que el existente antes de realizar la apertura; se colocará siempre cinta señalizadora entre la superficie del terreno y la capa de arena que rodea los tubos, según se detalla en el croquis adjunto.

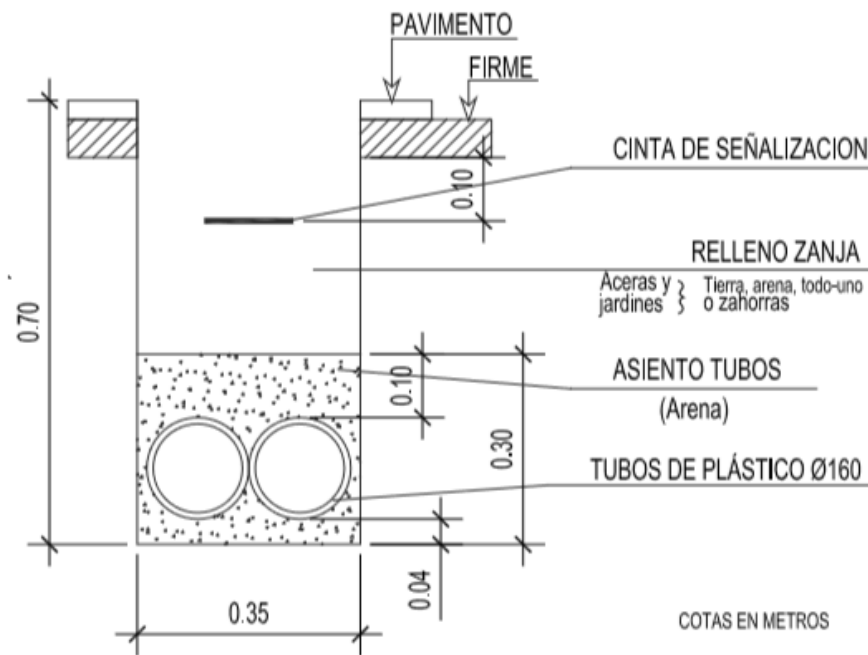


Figura 6.9.2.2. Detalle de canalización en B.T. y M.T. Fuente: Elaboración propia.

En el caso de red eléctrica aérea, los apoyos serán metálicos de sección cuadrada, prismáticos en su parte superior y en tronco y piramidales en su parte inferior. Para la cimentación de los apoyos, se empleará un hormigón con una dosificación mínima de 200 kg/m^3 , apoyados sobre un terreno con una resistencia característica mínima de 200 kg/m^2 .

En los apoyos metálicos, los macizos sobrepasarán el nivel del suelo en 10 cm, como mínimo, en terrenos normales y en 20 cm, en terrenos de cultivo. La parte superior de este macizo estará terminada en forma de punta de diamante, a base de mortero rico en cemento, con una pendiente mínima de 10% vierteaguas. Se tendrá la precaución de dejar un conductor para poder colocar el cable de tierra de los apoyos. Este conductor deberá salir a unos 30 cm bajo el nivel del suelo y, en la parte superior de la cimentación, junto a un angular o montante.

6.9.2.5.2. Canalizaciones

La canalización desde el cuadro de mando del alumbrado hasta la boca del túnel se realizará de forma subterránea mediante dos tubos de polietileno de alta densidad de 110 mm de diámetro interior y, en caso de ser necesario, con separadores de PVC cada 80 m.

Los tubos de polietileno discurrirán a lo largo de zanjas excavadas de 40 cm de anchura y 70-75 cm de profundidad, según se indica en la siguiente figura:

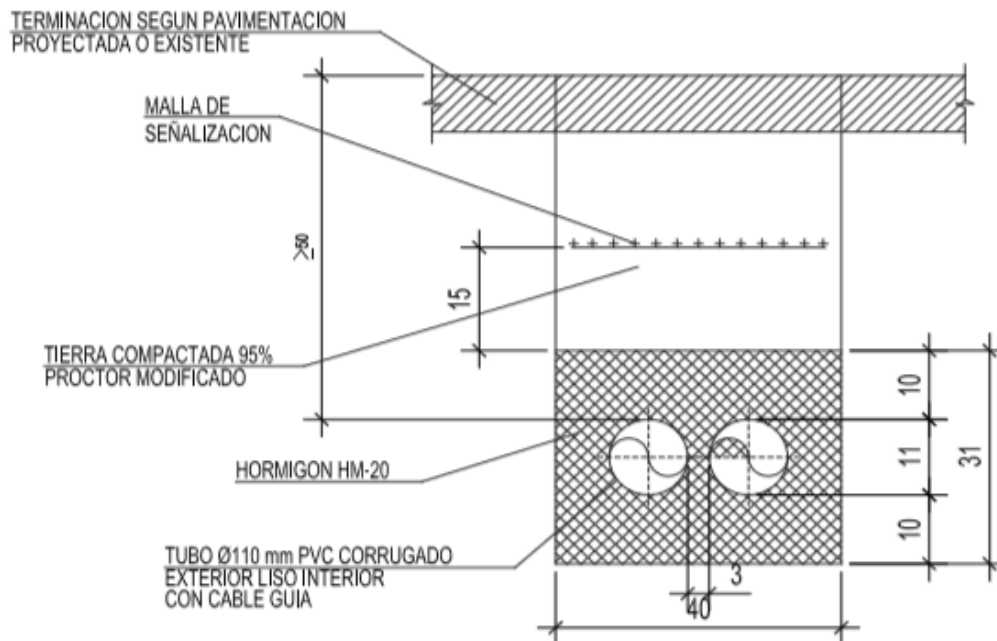


Figura 6.9.2.3. Detalle de canalización de alumbrado. Fuente: Elaboración propia.

El relleno que cubra los tubos de 110 mm podrá ser de tierra, siempre y cuando no pase por zonas de tráfico rodado. En este último caso, el relleno tendrá que ser de hormigón y rematado con las capas y terminación propias del vial.

En todos los casos, los tubos de plástico instalados en zanjas y entre dos arquetas consecutivas serán continuos, preferiblemente, sin ningún tipo de empalme, ejecutándose las canalizaciones con formas ligeramente convexas, de manera tal que el agua almacenada por condensación o filtrado circule y desagüe hacia las arquetas.

En el interior del túnel, la canalización se realizará, al igual que la subida desde la canalización, mediante tubo de acero galvanizado o bandeja del mismo material adosado a la clave (o en su caso, a los hastiales) del túnel, fijándose el tubo mediante pletinas metálicas galvanizadas, abrazaderas, pernos de expansión o clavos, y la bandeja con los soportes adecuados, según se fije en pared o en techo.

6.9.2.5.3. Arquetas

La construcción de arquetas incluye la excavación y el acondicionamiento del suelo, la correspondiente obra de fábrica, con las entradas de canalizaciones, y el traslado de tierras sobrantes a vertedero.

Las arquetas serán de hormigón de resistencia característica HM-15 ó HM-20, con un espesor mínimo de paredes de 15 cm, o bien de fábrica de ladrillo de medio pie de espesor, enfoscadas y fratasadas por su interior, y de sección 60x60 cm (medidas interiores) y profundidad variable. Tendrán una profundidad tal que la superficie inferior de los tubos esté 10 cm por encima del fondo permeable de la arqueta, normalmente, 55 cm para arquetas de paso o derivación a unidades luminosas y 80 cm para arquetas en cruce de calzada, medidos desde la parte inferior del tubo hasta el nivel del suelo. Se dejará como fondo un lecho de grava gruesa de 15 cm de profundidad para facilitar el drenaje. La terminación de la arqueta en su parte superior se enrasará con el pavimento o terreno existente o proyectado, dándole una pendiente de un 2% para evitar la entrada de agua.

En la parte superior de la arqueta, se dispondrá un marco y una tapa de fundición dúctil tipo C-250, según norma UNE-EN 124-5:2015.

6.9.2.5.4. Luminarias

Las luminarias, preferiblemente de tipo LED u otras tecnologías de bajo consumo, se colocarán espaciadas, según los cálculos lumínicos, mediante los anclajes que el fabricante indique en cada caso. La fijación se realizará con los materiales auxiliares adecuados, de manera que queden instaladas con la inclinación prevista. Cualquiera que sea el sistema de fijación utilizado, la luminaria quedará rígidamente sujeta, de modo que no pueda girar u oscilar.

Desde el circuito que discorra por el tubo o bandeja, en el techo o pared del túnel (preferiblemente, en la clave del túnel), se derivará cable conductor embutido en tubo a cada luminaria mediante caja de derivación. Se conectarán a tierra por medio del conductor de protección al tornillo de puesta a tierra de las luminarias.

Todos los receptores de alumbrado deberán cumplir las normas indicadas en el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión (REBT). Para su instalación, se seguirán, en general, las indicaciones de la misma instrucción.

6.9.2.5.5. Cajas de derivación

La instalación de las cajas de derivación especificadas en el proyecto se ajustará a las normativas que le pudieran afectar, siguiendo las descripciones del fabricante y/o suministrador. Se procederá a la colocación de los distintos elementos mencionados de acuerdo a sus especificaciones y a la verificación del perfecto estado de cada uno de ellos, previa o posteriormente a su colocación. Los dispositivos de conexión se dimensionarán y colocarán de forma que los conductores puedan penetrar en ellos libremente.

6.9.2.5.6. Red de tierras

La red de tierras estará constituida por un conductor de cobre con aislamiento que discurrirá a lo largo del túnel en paralelo con el circuito de luminarias, por la clave del túnel o, en su caso, por los hastiales, de manera que quede a una altura no accesible para los usuarios. El conductor

irá conectado en cada extremo con una arqueta y una placa de acero cobrizado de dimensiones 500x500x2 mm, o bien con picas verticales de acero cobrizado de 2 m de longitud y 14,30 mm de diámetro.

Se comprobará la medida de las resistencias de tierra, la separación de los circuitos de tierra y el estado y resistencia de los mismos. Asimismo, se revisará que los materiales de este epígrafe cumplen con las condiciones funcionales y de calidad fijadas en el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión, ITC-BT-18 Instalaciones de puesta a tierra, y en las correspondientes normas y disposiciones vigentes relativas a la fabricación y control industrial o, en su defecto, las normas UNE correspondientes, UNE-HD 60364-5-54:2015.

6.9.2.5.7. Caseta para centro de control

En ella, se instalará el centro de mando de la acometida a través de red, o la paramenta necesaria para el control del generador y la carga de las baterías, o bien los elementos necesarios para el control y almacenamiento de energía de la instalación fotovoltaica.

En el caso de alimentación de red, los cuadros eléctricos o centros de mando, que irán instalados en el interior de un armario construido en chapa de acero, se colocarán en el lugar indicado en los planos y vendrán equipados con su aparellaje de fábrica o del taller del instalador. Tanto los materiales como su montaje e instalación cumplirán con la normativa vigente.

Por razones de seguridad, el cuadro irá instalado en el interior de una caseta de obra de paredes de hormigón, para prevenir robos y actos vandálicos, que en sus remates exteriores deberá integrarse con la tipología constructiva, detalles, revocos y materiales de la zona donde se ubique. Tanto el armario como la caseta que lo contenga tendrán unas dimensiones mínimas que permitan el trabajo, revisión, manipulación, reparación y sustitución de los diferentes componentes.

Los cuadros no quedarán colocados directamente sobre el nivel del suelo, debiéndose realizar basamentos en obra de fábrica o plataformas de perfiles metálicos con una altura mínima de 20 cm sobre el nivel del suelo terminado.

La barra de puesta a tierra se conectará a lo largo de todos los cuadros y a la misma deberán conectar todas las envolventes de los elementos metálicos que tengan acceso directo. En los extremos de la barra, se conectará el cable principal de tierra, utilizando los elementos apropiados que define el R.E.B.T. Todas las armaduras de los cables deberán ponerse a tierra.

En la secuencia de fases y en el marcado de los cables, deberá tenerse especial precaución; en aquellos casos en los que los cables de entrada y salida sean de aluminio, se preverán terminales del tipo bimetálico.

6.9.2.5.8. Generadores

Para el montaje del grupo electrógeno se seguirán, en cualquier caso, las instrucciones facilitadas por el fabricante del mismo. Para ello, la documentación mínima a entregar será la que se expone a continuación:

- Manual de mantenimiento de motor
- Manual de mantenimiento de alternador
- Manual de funcionamiento y puesta en servicio
- Esquemas eléctricos de conexión
- Certificado y Marcado de cumplimiento con directiva CE

Asimismo, los componentes que formen el suministro deberán cumplir la siguiente normativa:

- Motor: ISO 3046, DIN 6271, BS 5514
- Alternador: VDE 0530, BS 4999, IEC 34.1
- Grupo electrógeno: ISO 8528, BSI 5000-3
- Certificado ISO 9001 de fabricación

El grupo electrógeno se instalará en el interior de una caseta o, preferentemente, en el interior de una instalación subterránea, que proporciona una mejor protección frente a robos y vandalismo. Si se opta por la instalación subterránea, será imprescindible tener en cuenta la chimenea de salida de humos y las ventanas o elementos de ventilación de la instalación, así como su correcto drenaje para evitar posibles inundaciones. Como medida complementaria protectora frente al agua, el generador se colocará sobre una bancada elevada del suelo de la caseta o instalación subterránea. Los cierres deberán diseñarse a través de accesos manejados con mandos a distancia (control remoto), aunque se preverá siempre una opción manual de emergencia.

En el caso de que la alimentación sea por grupo electrógeno. será necesario instalar también cargadores de batería y baterías, colocadas sobre una bancada para su mejor aislamiento del terreno, dentro de la caseta o instalación subterránea, según la tipología proyectada y en número suficiente para almacenar la energía necesaria para los requerimientos de iluminación.

6.9.2.5.9. Instalación fotovoltaica

En la ejecución de los distintos elementos que componen la instalación fotovoltaica se cumplirán los siguientes condicionantes:

PANELES SOLARES

Los paneles se instalarán donde se indique en plano, siendo lugares comúnmente utilizados, el techo de la caseta de elementos de almacenaje y gestión de la energía, las viseras de entrada de los túneles u otros lugares que permitan proteger los paneles ante robos o vandalismo, por medio de una estructura fija (para minimizar mantenimientos), que habrá que diseñar y calcular, formada por carriles de acero galvanizado que los sujete. La estructura irá sujeta y

anclada convenientemente según la ubicación elegida, con el tamaño necesario para sostener la superficie de paneles precisos para suministrar la energía calculada. El sistema de sujeción del panel consistirá en una chapa reforzada con asiento de goma por la parte delantera, mientras que se sujetará al carril con un tornillo con tuerca

Será necesario considerar la inclinación óptima a la hora de la instalación de los paneles, de acuerdo a los estudios previos realizados de orientación, colocación, etc.

Debido a la fragilidad de las células de silicio que componen los paneles, durante el montaje, se tendrá sumo cuidado de no depositar nada encima de ellas.

La conexión entre paneles se realiza por medio de conectores de positivonegativo en diodo de derivación, no necesitándose aparellaje especial para su instalación.

Los paneles deberán cumplir las especificaciones UNE-EN 61215, así como estar cualificados por laboratorio reconocido. Como medida de protección frente a robos, los paneles deberán ir sujetos por delante por medio de una pletina metálica soldada a la estructura.

ONDULADOR, CONVERTIDOR O INVERSOR

Los inversores de conexión de paneles fotovoltaicos se instalarán en la caseta, debiendo quedar totalmente estancos.

La recepción de los inversores se hará comprobando que cumplen las condiciones funcionales y de calidad fijadas en las normativas referentes a Instalaciones Solares, así como las condiciones establecidas en el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión y en las correspondientes normas o disposiciones vigentes relativas a fabricación y control industrial. Cuando el material o equipo llegue a obra con Certificado de Origen Industrial que acredite el cumplimiento de dichas condiciones, normas y disposiciones, su recepción se realizará comprobando únicamente sus características aparentes.

BATERÍAS O ACUMULADORES

Se instalarán en la caseta, sobre una bancada diseñada al efecto, para su mejor aislamiento del terreno, junto al centro de mando, para su protección frente a robos y vandalismo, según la tipología proyectada y en número suficiente para almacenar la energía necesaria para los requerimientos de iluminación establecidos en proyecto.

6.9.2.6. Materiales a emplear

Todos los materiales, elementos y equipos de la instalación cumplirán la normativa europea, estatal, autonómica y, en su caso, municipal, que les sea de aplicación, y deberán contar con los certificados de ensayos, pruebas y controles de calidad pertinentes.

A continuación, se definen las principales características de los elementos y equipos más representativos a emplear en los proyectos de iluminación de túneles en Caminos Naturales.

6.9.2.6.1. Para todos los tipos de suministro eléctrico

Conductores

No se admitirán cables que presenten desperfectos iniciales o señales de haber sido utilizados con anterioridad o que no vayan en su bobina de origen.

En las bobinas, deberá figurar el nombre del fabricante y el tipo y la sección del cable, no permitiéndose el empleo de conductores de procedencia distinta en un mismo circuito.

No se permitirán empalmes a lo largo de toda la red de conductores, para evitar roturas de línea ante tirones en el conductor o pérdidas de energía eléctrica o cortocircuitos ante malas conexiones.

Los conductores deberán cumplir las siguientes características:

- Serán unipolares.
- Serán de cobre 0,6/1 KV RZ1-K (AS) (UNE 21123-4).
- Serán de cobre flexible clase 5 según Norma UNE-EN 60228 .
- Presentarán aislamiento de polietileno reticulado XLPE Tipo DIX 3 (R) y cubierta de poliolefina termoplástica libre de halógenos según Norma UNE 21123-4 (Z1), para la tensión de servicio de 1.000 V y tensión de prueba de 4.000 V, denominación RV-K 0,6/1KV.
- Serán no propagadores de llama (UNE-EN 60332-1-2).
- Serán no propagadores de incendios (UNE-EN 60332-3-10)
- Serán de baja acidez y corrosividad de los gases emitidos (UNE-EN 60754-1).
- Serán de mínima emisión de gases tóxicos (UNE-EN 60754-1) y baja opacidad de los humos emitidos (UNE-EN 61034-1).

Sobre la cubierta exterior, se marcarán los siguientes datos:

- Nombre del fabricante
- Denominación comercial
- Tipo constructivo
- Tensión nominal
- Número y sección de los conductores
- Dos últimas cifras del año de fabricación
- Orden de fabricación
- Metrado, metro a metro
- Nombre de la propiedad

La distancia máxima entre el final de una marca y el principio de la siguiente será de 500 mm.

Red de tierra

La red de tierras presentará las siguientes características:

- Estará constituida por un conductor de cobre con aislamiento 450/750 V verde-amarillo de 35 mm² de sección.
- Discurrirá a lo largo del túnel por un tubo de distribución de cableado, que comunicará en cada extremo con una arqueta y una placa de acero cobrizado de dimensiones 500x500x2 mm, o bien con picas verticales de acero cobrizado de 2 m de longitud y 14,3 mm de diámetro.

Luminarias y lámparas

En cuanto al tipo de luminaria, aunque dependerá de las dimensiones de la caja del túnel y de la potencia lumínica requerida, será obligatorio colocar luminarias estancas y, por motivos de ahorro energético, de tecnología LED (u otras tecnologías de bajo consumo).

Todos los materiales estarán de acuerdo con las condiciones dictadas por el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (Real Decreto 842/2002).

Las luminarias deberán cumplir con los siguientes requisitos:

- Certificado de estanqueidad, mínimo IP-65
- Certificado de resistencia al impacto, IK-10
- Especificaciones contenidas en las normas UNE que les sean de aplicación
- Facilidad de montaje de los elementos susceptibles de ensuciamiento (reflector, rejillas de protección si las llevase, etc.).
- Comprabación del rendimiento fotométrico, una vez instaladas en su posición de trabajo, y sus emisiones al hemisferio superior se limitarán conforme a la ITC-EA-03 del Real Decreto de Eficiencia Energética en instalaciones de alumbrado exterior y sus Instrucciones Técnicas (Real Decreto 1890/2008).

Centro de mando o cuadro eléctrico para el alumbrado

Estos centros se montarán, independientemente de la fuente de alimentación, según los requerimientos establecidos, en un armario metálico normalizado de chapa de acero galvanizado en caliente de 65 micras. Éste se situará en lugar accesible y estará montado sobre una cimentación cuya altura de bancada será de 20 cm sobre el nivel del suelo terminado.

El centro de mando constará de un interruptor general magnetotérmico (se ajustará a la Norma UNE-EN 60898-1 y a la Norma CEI 947/2) y, por cada circuito de salida, de un contacto accionado mediante detector volumétrico o pulsador manual, de un interruptor diferencial (según la Norma UNE-EN 61008-1), así como de sus correspondientes automáticos unipolares de salida. Para casos de maniobra manual, el centro de mando dispondrá de un interruptor en cada circuito de salida.

El contactor cumplirá las especificaciones de la Norma CEI-158/1, en cuanto a categoría de servicio, tanto en corriente alterna (AC) como en continua (DC).

El tiempo de encendido programado se regulará con elementos de control, tanto de la información transmitida por los detectores volumétricos, como de los pulsadores manuales, de acuerdo a la longitud del túnel o del sector de túnel.

Detectores de presencia volumétricos

Aunque existen diferentes tipos de sensores de presencia en cuanto a colocación, se deberán priorizar los que se instalan en el techo, pues están menos expuestos al vandalismo. El tiempo programado para el encendido, según los cálculos realizados, se controlará y regulará desde el centro de mando y no desde el propio sensor.

En cuanto a los sistemas de detección, se priorizarán los detectores de funcionamiento mixto — detector infrarrojos (sensible a variaciones de energía térmica) y detector microondas (sensible a movimientos)—, pues eliminan un mayor número de falsas detecciones.

Pulsadores manuales

Todos los materiales estarán de acuerdo a las condiciones dictadas por el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (Real Decreto 842/2002).

El interruptor o pulsador será unipolar sencillo y estanco, apto para su utilización en exteriores, con una IP-55 adecuada a su instalación, y temporizado, aunque preferiblemente regulado —en cuanto al tiempo de encendido— desde el cuadro de mando, con luminoso incorporado que facilite su ubicación en caso necesario.

Los interruptores y conmutadores cortarán la corriente máxima del circuito en el que estén colocados, sin dar lugar a la formación de arco permanente, abriendo o cerrando los circuitos sin posibilidad de tomar una posición intermedia; serán de tipo cerrado y de material aislante.

Los interruptores llevarán marcada su intensidad y tensiones nominales y estarán probados a una tensión de 500 a 1.000 voltios.

6.9.2.6.2. Para suministro eléctrico desde la red

Centro de mando o cuadro eléctrico para el alumbrado

Además de las condiciones establecidas en el epígrafe correspondiente a todos los tipos de suministro, cuando el centro de mando esté alimentado mediante red eléctrica, habrá que asegurarse de que tanto el armario como la caseta estén ubicados de manera que sean accesibles a los técnicos de la compañía eléctrica suministradora sin necesidad de permisos (tendrán las llaves de acceso); no estarán sometidos a obligaciones de servidumbres para poder realizar, siempre que lo consideren, las mediciones de consumo y las revisiones o controles necesarios.

Centro de transformación

Cuando el suministro eléctrico se realice desde una línea de Media Tensión, será necesario instalar un centro de transformación junto al cuadro de mando para alimentar en Baja a éste y, de él a las luminarias, elementos de control (pulsadores, detectores volumétricos) y resto de la instalación.

Los centros más adecuados son los de aislamiento seco, no en aceite, para evitar los efectos medioambientales que pudieran producirse en caso de pérdidas de dicho fluido. Estos centros serán de tipo compacto y se instalarán en caseta.

Este tipo de centro de transformación consiste básicamente en una envolvente prefabricada de hormigón de reducidas dimensiones, que incluye en su interior un equipo compacto de Media Tensión, un transformador, un cuadro de Baja Tensión y las correspondientes interconexiones y elementos auxiliares. Todo ello se suministra ya montado en fábrica, con lo que se asegura un acabado uniforme y de calidad.

El esquema eléctrico en Media Tensión cuenta con dos posiciones de línea (entrada y salida) y una posición de interruptor combinado con fusibles para la maniobra y protección del transformador, así como un cuadro de Baja Tensión con salidas protegidas por fusibles.

6.9.2.6.3. Para suministro eléctrico desde generador o paneles solares

Centro de mando o cuadro eléctrico para el alumbrado

Además de las condiciones establecidas en los apartados homónimos anteriores, cuando el centro de mando esté alimentado mediante generador o paneles solares, la caseta donde se ubique el centro de mando deberá presentar unas dimensiones mínimas, que permitan de manera ordenada, y manteniendo las distancias de seguridad entre elementos, dar cabida al armario del centro de mando, al inversor, al regulador de carga, a las baterías de acumulación y almacenamiento de la energía generada, así como a un espacio para la posible manipulación de los distintos elementos y las baterías.

Grupo electrógeno

El grupo electrógeno, como elemento generador y alimentador de energía eléctrica de la instalación para la iluminación del túnel a través de baterías, debería presentar las siguientes características:

- Estará insonorizado, para disminuir los efectos ambientales que pueda provocar el ruido de funcionamiento.
- Su potencia dependerá de la potencia necesaria para cargar las baterías que deben alimentar la iluminación.
- Deberá llevar el marcado “CE” y el certificado de conformidad correspondiente.
- En general, un grupo electrógeno de construcción insonorizado automático estará formado por los siguientes componentes:

- Motor diesel
- Alternador monofásico
- Cuadro automático de control de grupo electrógeno
- Selector de funcionamiento "TEST", que permite probar el funcionamiento del grupo electrógeno de forma independiente del equipo automático y dar servicio a la carga de forma manual, si fuera preciso
- Cargador electrónico de baterías, además del alternador de carga de baterías propio del motor diesel
- Interruptor automático magnetotérmico de protección a la salida del alternador
- Batería con cables, terminales y desconectador
- Cubierta metálica insonorizada, adecuada para obtener un nivel de potencia acústica L_{wa} de 88 dB(A), equivalente a un nivel medio de presión acústica de 60 dB(A) a 10 m, de acuerdo con la Directiva 2000/14/CE de la Unión Europea, prevista para poder trabajar al aire libre
- Puertas practicables para acceso a las diferentes partes del grupo
- Silenciador con flexible y tubo de escape montado en el grupo
- Depósito de combustible de acero de doble pared

Todos estos elementos irán montados sobre bancada metálica con elementos antivibratorios de soporte de las máquinas y componentes y debidamente conectados entre sí.

El grupo incluirá protecciones de los elementos móviles (correas, ventilador, etc.) y de los elementos muy calientes (colector de escape, etc.), debiendo cumplir con la Directiva 98/37/CE de seguridad de máquinas de la Unión Europea, la Directiva 2006/95/CEE del Parlamento Europeo y del Consejo de Baja Tensión y la Directiva 2004/108/CE del Parlamento Europeo y del Consejo y su trasposición mediante el Real Decreto 212/2002, de 22 de febrero, por el que se regulan las emisiones sonoras en el entorno, debidas a determinadas máquinas de uso al aire libre, relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros en materia de compatibilidad electromagnética.

Instalación fotovoltaica

La instalación fotovoltaica estará compuesta por un grupo generador, que estará formado por una extensión de paneles solares fotovoltaicos, un regulador de carga, un grupo acumulador y un inversor.

En el esquema gráfico adjunto, se representan los diferentes elementos que componen la instalación fotovoltaica para la iluminación de túneles para uso peatonal.

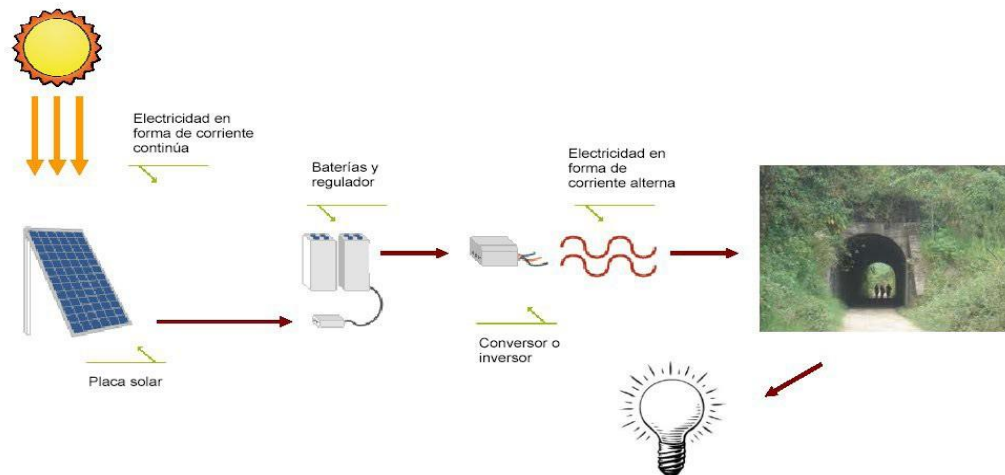


Figura 6.9.2.9. Esquema de instalación fotovoltaica con paneles solares para la iluminación de túneles para uso peatonal.
Fuente: Elaboración propia a partir de esquemas publicados.

PANELES SOLARES

Las principales características a cumplir por los paneles fotovoltaicos serán:

- Estarán constituidos por células cuadradas fotovoltaicas de silicio mono o policristalino de alta eficiencia, utilizándose frecuentemente las que tiene un tamaño de 4", capaces de producir energía con tan sólo un 4-5% de radiación solar, lo que asegura una producción que se extiende desde el amanecer hasta el atardecer.
- Tendrán conexiones redundantes múltiples en la parte delantera y trasera de cada célula, con lo que se asegura el circuito del panel.
- Su construcción se realizará por medio de marcos laterales de aluminio anodizado y frente de vidrio, con lo que se consigue una alta eficacia ante las inclemencias climáticas más duras.
- La serie de células de alta eficiencia estará protegida contra la suciedad, humedad y golpes por un frente especial de vidrio templado antirreflectante de bajo contenido en hierro y una lámina de back-sheet en su parte posterior, asegurando de esta forma su total estanqueidad.

La caja de conexiones con los terminales positivo y negativo llevará incorporados tres diodos de derivación, que evitan la posibilidad de avería de las células y su circuito, por sombreados parciales de uno o varios módulos dentro de un conjunto, elevando así la eficacia del módulo en cualquier circunstancia.

REGULADOR DE CARGA

El regulador de carga controla la entrada de electricidad en la batería y la protege de sobrecargas o bajadas de tensión que podrían dañarla.

Además, el regulador protege a los acumuladores de carga contra la sobrecarga y la descarga excesivas. Si se produce sobrecarga, el regulador pone las placas en cortocircuito, de manera tal que la corriente se dirija hacia los acumuladores; frente a descargas excesivas, actúa cortando

automáticamente el suministro cuando la cantidad de energía eléctrica del acumulador baja de un nivel mínimo de seguridad. El sistema regulador permite aprovechar al máximo la energía (haciendo que el sistema trabaje siempre en su punto máximo de eficiencia), proteger las baterías y alargar la vida del sistema.

BATERÍAS Y CARGADOR

Aunque existen dos tipos principales de baterías, se utilizarán sólo las “estacionarias” por su mayor versatilidad y durabilidad. Esta tipología de baterías permite, además, su conexión en serie, simplificando así las labores de mantenimiento.

Para evitar su deterioro, las baterías deben recargarse antes de que llegue a un mínimo de carga del 20%.

ONDULADOR, CONVERTIDOR O INVERSOR

El ondulador o inversor convierte la corriente continua del campo fotovoltaico en corriente alterna para alimentar las luminarias y está formado por dos partes: la parte de potencia y el display de utilización.

El inversor dispone de una serie de opciones que permiten seleccionar el nivel de gestión deseado para la instalación. Sus características principales de funcionamiento son:

- Gestión del estado de periféricos y de la energía inyectada
- Gestión de contadores externos
- Gestión de contadores parciales
- Captura de datos de la instalación
- Posibilidad de volcado y visualización de datos en PC local
- Lazo de alarma de seguridad
- Activación de alarma de seguridad externa

El display permite grabar y visualizar los datos de la instalación fotovoltaica, actúa como unidad central de la instalación y se comunica con el resto de periféricos a través de un bus de comunicaciones.

6.9.2.6.4. Señalización fotoluminiscente

Conjunto formado por el producto fotoluminiscente y el acero, que forman una pieza vitrificada, totalmente al vacío para impedir la entrada de agua y evitar la oxidación de la fotoluminiscencia.

- Soporte: Acero inoxidable AISI 316 con un espesor de 1 mm
- Producto: Pintura fotoluminiscente con esmalte vitrificado.

Todos los productos fotoluminiscentes a utilizar cumplirán las siguientes características:

- Aspecto: color amarillo-verde, pastel, mate.
- Deben admitir un número ilimitado de recargas.

- Estarán fabricados a base de pigmento inorgánico de sulfuros metálicos.
- No serán radioactivos, ni tóxicos, ni combustibles en las condiciones de aplicación y utilización.
- No incorporarán fósforo, plomo ni elementos pesados.
- Serán adecuados, en cuanto a dureza y adherencia a los distintos lugares donde vayan instalados, asegurando una larga vida útil.
- En general, podrán limpiarse sin problemas con agua o en seco, siendo resistentes a detergentes y medios habituales de limpieza. Asimismo, dichos productos admitirán ser tratados con productos antigraffiti.
- Otros condicionantes de la Norma UNE 23034:1988 de definición y descripción de señalización de las vías de evacuación.
- Condiciones de la Norma UNE 23035/4:2003 de especificaciones de fabricación de señales fotoluminiscentes y ensayos a superar.


CONDICIONES DE LUMINISCENCIA:

Será capaz de excitarse por una radiación ultravioleta o visible. En particular, se deberá excitar con la iluminación proveniente de las lámparas de uso normal (LED, fluorescentes, descarga, incandescentes, etc). Se tomará en referencia a la Norma UNE 23035/03.

El producto fotoluminiscente terminado deberá dar, al menos, los valores que, a continuación, se indican, en función del tiempo transcurrido desde que se apagó el estímulo.

MINUTOS	LUMINANCIA (MCD/m ²)
1	2.400
3	840
10	255
30	78
60	33
120	14

Tabla 6.9.2.1. Valores de luminancia en función del tiempo transcurrido desde que se apagó el estímulo. Fuente: Norma UNE 23035.

A photograph of a forest path with a red overlay. The path is made of gravel and is surrounded by dense green foliage. The red overlay is a large, semi-transparent shape that covers the bottom right portion of the image. The text "6.10. Vegetación de márgenes y áreas de descanso" is written in white on the red overlay.

6.10. Vegetación de márgenes y áreas de descanso

6.10. VEGETACIÓN DE MÁRGENES Y ÁREAS DE DESCANSO

6.10.1. INTRODUCCIÓN

Las actuaciones necesarias para conseguir dotar de vegetación algunos puntos de los Caminos Naturales se basarán en técnicas de plantación de especies, general y prioritariamente autóctonas, propias de los ámbitos por donde discurren los caminos y de las actuaciones complementarias necesarias. Con ello, se consigue la integración con el entorno y la minimización de las labores de mantenimiento, así como propiciar una mayor supervivencia por su previsible adaptación al medio.

En el ámbito de los Caminos Naturales, las plantaciones tendrán dos objetivos prioritarios: la mejora del entorno y la creación de sombra, tanto a lo largo de la traza del camino como en pequeñas áreas de descanso con presencia de mobiliario (bancos o mesas). Por otro lado, también se realizarán plantaciones asociadas al tratamiento y la estabilización de taludes, que cumplirán sus propias funciones.

6.10.2. CRITERIOS A TENER EN CUENTA

El proyecto deberá recoger en el Anejo de Actuaciones o, si las plantaciones tienen cierta entidad, en el Anejo de Plantaciones, los criterios con los que se ha seleccionado la vegetación a implantar, de acuerdo a los fines pretendidos, y la necesidad o no de labores previas (desbroces, subsolados, preparación del suelo, enmiendas) o complementarias a las plantaciones (abonados, fertilizaciones, riegos, alcorcados, escardas, etc.) a pie de planta.

Como normal general, no se ejecutarán riegos de mantenimiento, aunque, previa justificación, se pueden plantear riegos de apoyo el primer verano tras la plantación. En este caso, se definirá la frecuencia —al menos, cada 15 días—, la cantidad de litros según tamaño de planta y el modo de ejecución (normalmente, mediante cisterna y manguera).

Igualmente y, como norma general, no se proyectarán sistemas de riego para las plantaciones a ejecutar. Únicamente, para casos muy concretos y puntuales, a justificar, se puede considerar la posibilidad de proyectar un sistema de riego (por goteo para plantaciones o, excepcionalmente, microaspersores para el mantenimiento de praderas). Estos riegos se proyectarán siempre y cuando exista disponibilidad de agua en las inmediaciones de los puntos de plantación (zonas de sombra, aparcamientos junto al camino, áreas de descanso, etc.).

Los criterios en los que se debe basar la elección de las especies, su tamaño y su forma de presentación, así como la necesidad de realizar actuaciones complementarias, serán de varios tipos, pero, en cualquier caso, se prohíbe utilizar especies incluidas en el catálogo de especies invasoras.

a) Del entorno:

- Estado del terreno: existencia de suelo adecuado, en el sentido edafológico (distribución de horizontes, nutrientes, materia orgánica, profundidad, pH,...), para la introducción de vegetación o, por el contrario, suelos de relleno, compactados,

sin estructura, nutrientes ni materia orgánica, o suelos rocosos, encharcados, zonales, etc.

- Climatología: humedad climática y edáfica y su distribución estacional, existencia de heladas, periodos secos (piso bioclimático: termoclima y ombroclima), etc.
- Vegetación existente en el entorno y en la zona de plantación: comunidades vegetales, especies y estado de conservación y supervivencia
- Vegetación potencial de la zona (series de vegetación de Rivas Martínez) y vegetación de las series regresivas (Luis Ceballos)
- Vegetación introducida
- Presencia de fauna o ganadería que pueda afectar negativamente a las plantaciones

b) De los objetivos a conseguir:

- Integración con el entorno (mínimo impacto)
- Consecución de zonas de sombra
- Mejora evolutiva de la vegetación existente
- Cobertura del terreno frente a la erosión
- Apantallamientos (protección frente al viento, ocultación de elementos o áreas impactantes, etc.)

c) De las labores de conservación:

- Necesidad de realizar labores de conservación y mantenimiento (abonados, riegos, escardas, reposición de marras, etc.), y su minimización

d) Existencia de condicionantes:

- Propiedad de los terrenos
- Permisos para accesos
- Actuaciones en zonas reguladas: Espacios Naturales Protegidos (Red Natura, IBAS, humedales, zonas de protección de especies, etc.), existencia de Planes Territoriales (PORN, PRUG, Planificación Urbanística, otras planificaciones), zonas de dominio público (hidráulico, marítimo-terrestre), etc.

e) De la economía del proyecto:

- Existencia de condicionantes económicos.

f) Normativa de referencia:

- **Legislación Estatal:**
 - Ley 43/2002, de 20 de noviembre de 2002, de Sanidad Vegetal
 - Orden APA/3188/2002, de 11 de diciembre de 2002, de Semillas y plantas de vivero. Modifica la Orden de 23/05/1986 que aprueba el reglamento general técnico de control y certificación
 - Orden de 26/12/2001, de control y certificación de semillas y plantas de vivero. Modifica las Órdenes de 23/5/86 y 1/7/86
 - R.D.L. 442/1986, de 10 de febrero de 1986, que adapta la Ley 11/1971, de 30 de marzo de 1971, de semillas y plantas de vivero a la legislación CEE

- R.D. 289/2003, de 7 de marzo de 2003, de comercialización de los materiales forestales de reproducción (deroga el R.D. 1356/1998 y la Orden de 21/01/1989)
- R.D. 200/2000, de 11 de febrero de 2000, de producción y comercialización de las materias de reproducción de plantas ornamentales
- **Legislación autonómica:** Las plantas utilizadas en las plantaciones cumplirán las disposiciones establecidas al respecto (origen, métodos de producción, certificados de calidad y sanitarios, controles, etc.) en las diferentes Comunidades Autónomas.
- **Normativa técnica:**
 - Normas Tecnológicas de Jardinería y Paisajismo y, en especial:
 - NTJ 05 Tierras y productos nutrientes
 - NTJ 07 Suministro del material vegetal
 - NTJ 08 Implantación del material vegetal
 - NTJ 13 Ensayos y control de calidad

De acuerdo a los criterios citados, especialmente los condicionantes del entorno, se irá confeccionando una lista de posibles especies a utilizar, de las que habrá que establecer los tamaños y presentaciones más adecuados al resto de condiciones (objetivos, labores de conservación aplicables, economía, regulaciones, etc.).

6.10.3. ESTUDIOS PREVIOS

Para poder definir adecuadamente en proyecto las especies a implantar, la distribución zonal óptima, los tamaños, las formas de presentación de las plantas, las épocas de plantación y las actuaciones complementarias a la plantación que se van a realizar, será necesario conocer una serie de datos, que serán el resultado de diferentes estudios previos a acometer. Siempre será preferible la utilización de especies autóctonas y solo se utilizarán alóctonas en casos justificados.

A continuación, se enumeran los estudios más importantes:

- Estudios climáticos: precipitaciones, temperaturas, vientos, periodo de heladas, periodos secos, climodiagramas, termoclimas y ombroclimas.
- Estudio de la vegetación potencial (series de vegetación de Rivas Martínez) y vegetación de las series regresivas (Luis Ceballos).
- Recopilación de la información referente a los Espacios Naturales Protegidos y su regulación. Solicitudes a los organismos gestores de las condiciones particulares para hacer las plantaciones.
- Trabajos de campo y recopilación de información de la zona con vistas a poder establecer diferentes aspectos necesarios para la buena elección de las especies y actuaciones con respecto a:
 - Vegetación actual: comunidades vegetales, especies y estado de conservación, vegetación introducida, vegetación invasora, etc.

- Suelos: características generales y presencia de elementos particulares (roca superficial, encharcamientos, suelos zonales, etc.), profundidad (en caso necesario, calicatas).
- Fauna silvestre: presencia y abundancia de fauna, que pueda dañar o acabar con las plantaciones.
- Ganadería: existencia de ganado, tipo y abundancia, que pueda dañar o acabar con las plantaciones.

6.10.4. CÁLCULOS

En principio, para el capítulo que nos ocupa, referido a las Plantaciones, no se considera necesario la realización de cálculos, salvo los correspondientes al número de plantas a emplear en las diferentes zonas, en función de las densidades de plantación establecidas. Estos cálculos deberán ir incluidos en el Anejo de Actuaciones y, en su caso, en el Anejo de Plantaciones, así como en las Mediciones del Presupuesto.

El contratista deberá reponer las marras que se produzcan durante el periodo de garantía de las mismas, siempre que dichas marras se deban a la mala ejecución de las plantaciones (no a la existencia de episodios climáticos excepcionales, a actos vandálicos, a daños de fauna, etc.,) y excedan del 10%, cuando no se den riegos de mantenimiento, del 8%, cuando se den riegos de mantenimiento con manguera en verano, o del 5%, si existe sistema de riego. El conteo de marras se realizará hacia el final del periodo vegetativo, pero antes de que finalice éste, para detectar adecuadamente las marras, sin confundirlas con la parada vegetativa. Las marras se repondrán en época adecuada de plantación.

En aquellos casos particulares en los que se den las circunstancias adecuadas y se proyecte una red de riego, los cálculos irán dirigidos a conocer las presiones y los caudales que llegan a los distintos puntos de la red de riego y los requerimientos de las tuberías, así como a establecer la localización de las válvulas y elementos de control, los goteros por planta y su tipología, los tiempos de riego y las necesidades de aportación de acuerdo a los déficit hídricos y las exigencias de las especies y los tamaños a plantar.

6.10.5. DEFINICIÓN DEL PROCESO CONSTRUCTIVO

El proyecto deberá definir con precisión tanto las labores previas a ejecutar (preparación del suelo, enmiendas, aporte de tierra vegetal) como las plantaciones que se tiene previsto realizar, en cuanto a especies a instaurar, densidades de plantación, tamaño de planta (forestal o de dimensiones mayores), presentación de la misma (contenedor, cepellón, raíz desnuda —este último caso no es recomendable, salvo para especies asociadas a cauces—), requerimientos de mantenimiento (en su caso), necesidad de protectores o de elementos de sujeción (tutores), etc.

El proceso constructivo quedará recogido en el Anejo de Actuaciones y en el apartado correspondiente del Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares (PPTP), en los que se

describirá la secuencia y modos de ejecución de las labores previas, de la plantación y de las actuaciones complementarias o de mantenimiento.

6.10.5.1. Labores previas o preparatorias

Tal y como se ha comentado al inicio del apartado, las labores previas pueden ser muy numerosas (preparación del suelo, enmiendas, aporte de tierra vegetal, abonados, fertilizaciones, etc.); sin embargo, dado el tipo de proyectos a ejecutar, en la mayoría de los casos, plantaciones en superficies muy limitadas, al borde de caminos o en zonas de descanso, sólo serán necesarias en casos muy particulares, por lo que únicamente se considera en este documento de recomendaciones, la labor más común, como es el aporte de tierra vegetal para recubrir taludes generados por excavación o terraplenado a borde de caminos que se quieran revegetar.

El proyecto deberá definir las operaciones necesarias para el suministro y colocación de tierra vegetal o suelos asimilados, sobre los taludes de la explanación y cuantos lugares se estimen necesarios en el proyecto para el acondicionamiento del terreno, incluidos los posibles vertederos de tierras.

Esta actuación comprenderá las siguientes operaciones:

- Suministro de tierra vegetal
- Acopio de tierra cuando proceda
- Carga y transporte hasta el lugar proyectado
- Distribución o extendido en capa uniforme

Todas estas labores son bastante comunes y conocidas en la redacción de proyectos ejecutivos, por lo que sólo se han recogido las premisas relacionadas con el acopio de tierra vegetal y el extendido, por ser éstas las actuaciones más significativas de la buena ejecución de la tarea.

ACOPIOS DE TIERRA VEGETAL

El proyecto definirá:

- Las condiciones y requisitos de las tierras a retirar por las propias actuaciones de proyecto, para ser consideradas y posteriormente aportadas como tierras vegetales.
- Las condiciones de acopio para que conserven todas las características para su posterior utilización (zonas protegidas del paso de maquinaria, en montones de menos de 1,5 m de altura, con ligeros ahondamientos entre montones para evitar el lavado de nutrientes por escorrentía).
- Las condiciones de aceptación y rechazo de las tierras vegetales (ver epígrafe de materiales a emplear): composición granulométrica, pH, composición química, textura, etc.

EXTENDIDO DE TIERRA VEGETAL

El proyecto deberá definir adecuadamente:

- El método de aporte y extendido de la tierra vegetal para conseguir la uniformidad en la totalidad de superficie proyectada, incluidos los taludes.
- La mejor época o momento para realizar la tarea.
- Controles de ejecución y calidad de las tierras: determinación de las superficies y espesores de la capa, que no serán menores de 20-25 cm y cumplimiento de las condiciones de aceptación.
- Cuidados posteriores a su extensión para que no pierda sus características (impedir el paso de maquinaria, riegos en época seca).

6.10.5.2. Plantaciones

Para una correcta ejecución de las plantaciones, el proyecto deberá definir la época del año más adecuada para la realización de las tareas, considerando, para ello, la temperatura y las precipitaciones de la zona. Generalmente, las mejores épocas para realizar plantaciones son comienzos de primavera (febrero-marzo) y finales de otoño (noviembre-diciembre), si bien, estos periodos se deberán adaptar a cada caso concreto y será el proyectista el que los defina en proyecto. Únicamente, en las plantas en maceta o cepellón, se podrán sobrepasar estas fechas, pero el proyecto deberá indicar los límites temporales considerados aceptables, especificando que cualquier cambio en dichas fechas requerirá la aprobación expresa de la Dirección de Obra.

Del mismo modo, el proyecto deberá recoger las épocas no aptas para la plantación, como son los periodos de heladas, los de fuertes vientos, etc.

En relación a las plantaciones, se realizarán las siguientes labores:

- Preparación del terreno y retirada de elementos extraños
- Comprobación del grado de humedad del suelo y su aptitud para la apertura de hoyos
- Suministro y distribución de la planta
- Plantación y abonados
- Formación de alcorque
- Riego de plantación

Preparación del terreno

El proyecto especificará cómo se debe ejecutar el ahoyado (con maquinaria o manualmente) según zonas, tipo de suelo, número de plantas, tamaño y/o volumen del hoyo, que irá en consonancia con el tamaño de planta a utilizar. La apertura manual de hoyos se considerará sólo para planta pequeña, de una o dos savias; lo normal será su ejecución con maquinaria, normalmente, con retroexcavadora o con miniretro y, solo en casos especiales de suelos blandos y no arcillosos, se podrían utilizar ahoyadoras que, en otros casos, podrían crear una superficie de hoyo impenetrable para las raíces.

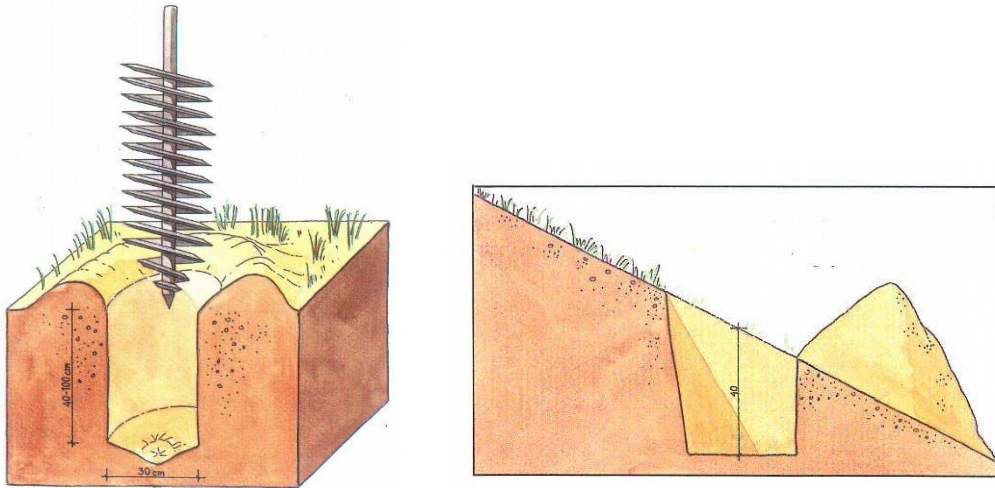


Figura 6.10.1 y 6.10.2. Apertura mecánica de hoyo con ahoyadora (izquierda) y Apertura manual de hoyo. Fuente: Manual de Forestación en tierras agrícolas del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. IRYDA, 1994.

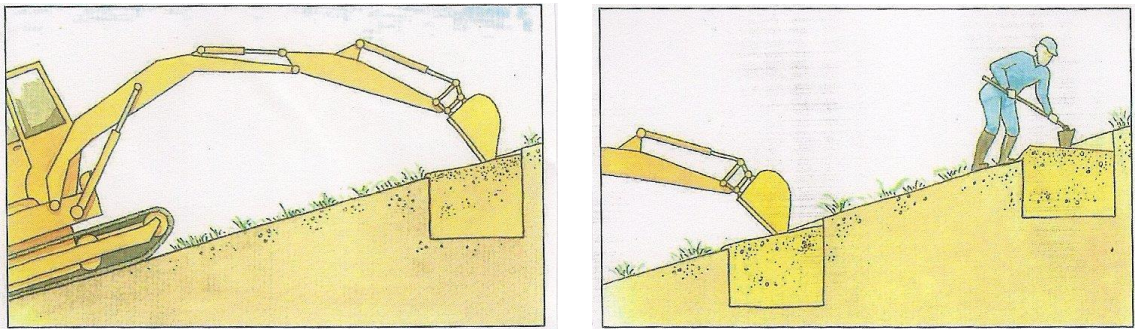


Figura 6.10.3. Apertura mecánica de hoyo con retroexcavadora. Fuente: Manual de Forestación en tierras agrícolas del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. IRYDA, 1994.

Precauciones previas a la plantación

El proyecto deberá definir las precauciones y condicionantes a tener en cuenta antes de ejecutar las plantaciones.

PREPARACIÓN Y TRANSPORTE DE LAS PLANTAS

El proyecto deberá recoger el especial cuidado y rapidez en el transporte, realizando los avisos previos a la Dirección para el control de los envíos, siempre previa planificación de éstos en función de las posibilidades de plantación.

Los principales aspectos a recoger en proyecto, referidos a la preparación de las plantas y al transporte al lugar de plantación, se referirán a:

- Exigencias de cada especie, edad, tamaño, presentación y sistema de transporte elegido
- Cuidado en la extracción y manejo, así como en la carga y descarga

- Cuidados de las plantas que aún no han sido plantadas

AVIVERADO

El proyecto deberá definir las condiciones del aviverado, por si fuera necesario, ante la imposibilidad de realizar la plantación tras recibir las plantas:

- Tipo de plantas a las que se puede aplicar
- Modo de ejecución
- Condiciones de mantenimiento

Plantación

Se recomienda la utilización de plantas de pequeñas dimensiones (1 ó 2 savias), pues presentan mayores posibilidades de adaptación y supervivencia con menores o nulos requerimientos de mantenimiento. En aquellos casos en los que el principal objetivo es la creación de sombra o los apantallamientos, se recomendará el uso de plantas de mayores dimensiones, disminuyendo así los tiempos de espera; preferiblemente, se utilizarán alturas entre 2 y 2,5 m, pues cuanto mayor sea el tamaño, mayor es el riesgo de no arraigo.

El proyecto deberá especificar adecuadamente las condiciones y los métodos de ejecución, las diferencias de actuación según la tipología de especies, la tipología de presentaciones, los tamaños de planta, los tamaños de hoyo, etc., así como las precauciones necesarias básicas durante la ejecución de las plantaciones.

Las distintas actuaciones realizadas (ahoyado, suministro, distribución y plantación, con inclusión, en esta última, de los abonados y fertilizaciones y del riego de plantación) podrán considerarse en diferentes partidas del presupuesto, o bien unirse en una única partida, pero deberán quedar suficientemente definidas y adaptadas a las características de proyecto en el correspondiente Anejo de Justificación de Precios.

CONDICIONES GENERALES

El proyecto definirá suficientemente los condicionantes de actuación y los modos de ejecución adecuados al buen hacer de las plantaciones, siendo los principales criterios a tener en cuenta los que se enumeran a continuación:

a) Criterios de prevención de daños:

- Ante desecación de raíces, magulladuras, roturas y otros daños físicos a las raíces, tallos o ramas de plantas
- Condiciones de acopio
- Presentación en el hoyo, relleno y tapado del hoyo

b) Criterios de buena ejecución:

- Condiciones del envase
- Condiciones de las raíces y su posible poda
- Ejecución de la plantación (colocación, selección y aporte de la tierra, abonado, relleno y compactación)

- Realización del alcorque
- Riego de implantación

PLANTACIÓN DE ÁRBOLES A RAÍZ DESNUDA

La plantación de árboles a raíz desnuda sólo se aconseja para algunas especies, en concreto, para las asociadas a cauces y riberas, como son sauces, chopos o álamos, debiendo tenerse en cuenta que acorta el periodo en que se puede ejecutar la plantación con garantía de éxito. Por tanto, en estos casos, el proyecto deberá justificar adecuadamente la necesidad de este tipo de plantación y las especies que se proponen para ello. Entre las especies que pueden plantarse a raíz desnuda, se encuentran la mayoría de caducifolias.

Para una correcta ejecución y control de este tipo de plantación, se considerarán los condicionantes generales asociados a la paralización vegetativa, con especial cuidado en los condicionantes del sistema radical y en el correcto estado de la copa.

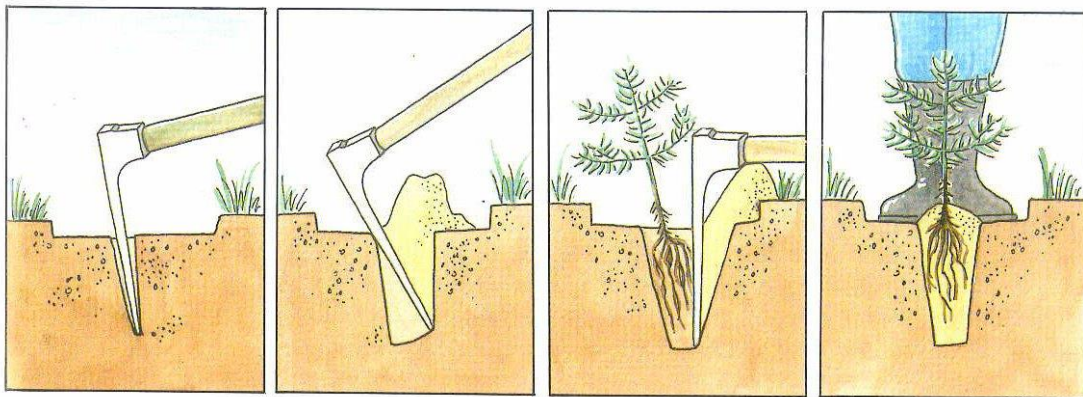


Figura 6.10.4. Plantación manual a raíz desnuda. Fuente: Manual de Forestación en tierras agrícolas del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. IRYDA, 1994.

PLANTACIÓN DE ÁRBOLES EN MACETA, CEPELLÓN, CONTENEDOR Y ESCAYOLADOS

La plantación con cepellón está especialmente recomendada para las especies perennifolias o aquellas que tengan dificultades de arraigo. Por otro lado, el suministro de plantas en maceta o contenedor mejora las condiciones de arraigo en general y permite alargar el periodo de plantación; a pesar de que su coste es más elevado, se considera el método óptimo para mejorar las posibilidades de supervivencia de las plantaciones, en particular, ante condiciones de incertidumbre respecto a la época en la que se va a poder ejecutar la plantación.

En este sentido, el proyecto deberá definir adecuadamente las características y los condicionantes de este tipo de plantaciones, que serán prácticamente las mismas del epígrafe anterior, pero con sus propias peculiaridades, referidas a la extracción o rotura del envase y, para casos especiales de planta de gran tamaño, las plantaciones con cepellón escayolado, que sólo se admitirá para casos excepcionales y adecuadamente justificados.

PLANTACIÓN DE ARBUSTOS

El proceso a definir será similar al descrito para el arbolado en los epígrafes anteriores.

EJECUCIÓN DE LAS PLANTACIONES

El proyecto deberá definir diferentes aspectos referidos al diseño y ejecución de las plantaciones:

- Localización de las plantaciones y de las distintas zonificaciones que puedan existir (cambios de especies, tamaños, función de la plantación, etc.)
- Densidades y distribuciones o marcos de plantas por zonas
- Tamaños de planta y especies a emplear en cada zona
- Presentación de cada especie (contenedor, cepellón o raíz desnuda), tamaño de planta y forma y tamaño del hoyo donde se planta

Todo ello se realizará a través de los Planos y del Anejo de Actuaciones o, en su caso, del Anejo de Plantaciones, o de la Memoria, si no fuese necesario redactar tales anejos.

PRECAUCIONES DURANTE LA PLANTACIÓN

El proyecto establecerá igualmente las principales circunstancias y condicionantes a tener en cuenta durante las labores de plantación:

- Suspensión de las labores de plantación por fuerte viento
- Suspensión de las plantaciones en época de heladas
- Modo de actuar ante síntoma de heladas o de desecación de las plantas acopiadas
- Condicionantes por exceso de lluvia o sequía
- Tratamiento de heridas o retirada de la planta

ABONADOS Y FERTILIZACIONES

Estas labores se ejecutarán al tiempo que se realiza la plantación, como aportes de elementos a mezclar con la tierra de relleno —abonos químicos y/o aportes de materia orgánica— y tapado de los hoyos de plantación.

Los abonos a utilizar serán abonos minerales complejos necesarios para la germinación de las semillas y el desarrollo de las plantas, compuestos por Nitrógeno, Fósforo, Potasio y pequeñas cantidades de microelementos, en dosis que, en general, estarán entre 1 y 2 gramos por litro de hoyo.

RIEGO

Las condiciones de ejecución de los riegos de plantación deberán estar recogidas en el proyecto, siendo los principales aspectos a tener en cuenta:

- Ejecución inmediata a la plantación
- Cantidades según tamaño del hoyo y de la planta
- Características del agua empleada
- Modo de ejecución de los riegos

- Condicionantes por viento

6.10.5.3. Labores complementarias y mantenimientos

Aunque se pueden presentar diferentes actuaciones complementarias a las plantaciones, dadas las características de este tipo de proyectos y los condicionantes de los Caminos Naturales, las actuaciones complementarias a las plantaciones que se consideran con suficiente entidad y frecuencia de realización son la colocación de protectores para preservar las plantas frente a la fauna silvestre o la presencia de ganado, la colocación de tutores, el mantenimiento de alcorques y la realización de riegos de mantenimiento.

278

PROTECTORES

Los protectores se utilizarán en aquellas zonas donde se prevean posibles daños en las plantaciones, debidos principalmente a la presencia de ganado o fauna silvestre. El proyecto deberá justificar su necesidad, así como establecer de acuerdo a los peligros potenciales existentes en la zona las características siguientes:

- Tipología (tubo, retícula o fabricados in situ)
- Materiales de los protectores (metal, plástico, metal plastificado, mallas metálicas o mallazos)
- Tamaño y forma. Para pequeños roedores, principalmente conejos, de 40 a 60 cm de altura; para ganado ovino o caprino, de 1,5 a 2,0 m de altura; para grandes ungulados silvestres y ganado vacuno o caballar, de estructuras fabricadas con perfiles metálicos y mallas metálicas de 2,0 a 2,5 m de altura y un diámetro de entre 0,8 y 1,5 m
- Métodos y sistemas de anclaje (varillas de madera o metálicas, ferrallas, perfiles metálicos, etc.)

TUTORES

Cuando sea necesario utilizar elementos complementarios a los pies plantados para mantener su posición vertical (fuertes vientos, etc.), previa justificación en proyecto, se diseñará y presupuestará la colocación de tutores.

Las características de los tutores a definir en proyecto serán:

- Tamaño: altura (que será la del fuste del plantón incrementada en la profundidad del hoyo más la parte hincada en el terreno natural bajo el hoyo, que debe ser de, al menos, 30 cm) y sección, con terminación en punta en uno de sus extremos.
- Material: metálico, acero, aluminio o madera tratada.
- Colocación: en el lado que sopla el viento dominante (en situaciones adversas, se utilizarán 2 ó 3 tutores rodeando el tallo), en posición vertical y a unos 20 cm del tronco.
- Fijaciones: si se utilizan dos fijaciones, la superior irá colocada cerca del extremo del tutor y la inferior se situará a 2/3 de altura; si solo se utiliza una fijación, se colocará

aproximadamente en la posición intermedia a las dos fijaciones, aunque deberá adaptarse a las características de la copa y del tronco de la planta.

MANTENIMIENTO DE ALCORQUES

Si se decide realizar riegos de mantenimiento, con manguera, de las plantaciones realizadas, será necesario proyectar el mantenimiento de alcorques en buen estado, para poder acoger el agua de riego y permitir su infiltración al terreno en las proximidades del sistema radical de las plantaciones. Es decir, los mantenimientos de alcorques se ejecutarán previamente a los riegos.

Las labores de mantenimiento consistirán en rehacer los alcorques que no presenten una cubeta adecuada, cuyos rebordes presenten fisuras o roturas o que hayan perdido su profundidad y capacidad por estar invadidos de tierra o de vegetación no plantada.

El alcorque tendrá un tamaño proporcionado a las dimensiones de las plantas a las que da servicio y al volumen de agua de riego a aplicar.

Los alcorcados se realizarán a mano mediante azadón.

RIEGOS DE MANTENIMIENTO

En aquellos proyectos y circunstancias que aconsejen la realización de riegos de apoyo, exclusivamente mientras dura el período de ejecución de la obra posterior a la plantación, éstos se definirán de acuerdo con el déficit hídrico establecido para la zona mediante los siguientes procedimientos:

- Mediante camión cisterna o cisterna arrastrada por tractor —lo cual requiere posibilidad de paso de las cisternas por el camino proyectado o por otras infraestructuras próximas a las zonas de plantación—.
- Mediante manguera manejada por uno o dos operarios, según el largo de manga, las características del terreno y los obstáculos presentes (considerándose como un obstáculo, la propia plantación).
- Con la periodicidad que se considere adecuada y definida en proyecto.
- Para cada tamaño de planta, se aplicarán unos litros determinados de agua por cada riego, que deberán quedar igualmente definidos en el proyecto, sirviendo de orientación las siguientes cifras: plantas de 1-2 savias, 10-15 litros por unidad, árboles de 2-2,5 m de altura, 60-80 litros por unidad.

Solo en los casos especiales en los que exista suministro de agua en las inmediaciones de las zonas de plantación y facilidad para su llegada a las mismas (permisos de toma y de paso), se podrá, justificadamente, proyectar un sistema de riego estable que facilite el aporte de agua a ciertas plantaciones —áreas de descanso, aparcamientos y tramos del Camino Natural— que acompañan el desarrollo del camino.

El riego deberá quedar perfectamente definido en proyecto en cuanto a:

- Cálculos necesarios, de acuerdo al tipo de suelo y exigencia de las especies a plantar
- Enganche (dónde, cómo, permisos, contador, etc.)

- Caudales necesarios
- Definición de la red de tuberías (forma de la red, longitudes, diámetros materiales, presiones)
- Sistemas de regulación y control necesarios (programadores, válvulas de regulación, de paso, de desagüe y de presión, etc.)
- Sistemas de goteo y dotación por tipo de planta
- Tiempos de riego y programación, en caso necesario, en función del clima y del tipo de suelo
- Responsable de los riegos y mantenimiento de la red

6.10.6. MATERIALES A EMPLEAR

Los materiales que se emplearán en la solución proyectada se enumerarán en el Anejo de Actuaciones o, si las plantaciones tienen entidad suficiente, en el Anejo de Plantaciones; sin embargo, las características específicas, ensayos, condiciones de aceptación o rechazo, control de recepción y transporte, control de acopio, control fitosanitario, etc., se desarrollarán en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares.

En la elección de materiales deberá primar siempre, y así deberá figurar en proyecto, la elección de especies autóctonas, teniendo en cuenta las posibilidades de mercado y la procedencia de viveros acreditados de zonas de características fitoclimáticas similares a las de la zona de proyecto.

A continuación, se desarrollan los principales aspectos que se deberán tener en cuenta y que será necesario definir y especificar en proyecto. En cuanto a los diferentes materiales, en este caso, se tratará principalmente de materiales vivos referidos a las plantaciones y labores complementarias a éstas.

6.10.6.1. Tierra vegetal fertilizada

Una vez definida la tierra vegetal y establecidas sus características, se deberán recoger en proyecto las condiciones y parámetros de aceptación y/o rechazo, facilitando así su seguimiento y control.

- Composición granulométrica de la tierra fina: 60-70% de arena, 10-20% de limo y arcilla, 4-10% de humus (tierra franca bastante arenosa; índice de plasticidad inferior a 8)
- Nivel de carbonatos menor del 20%
- Granulometría: ningún elemento superior a 1 cm; 20-25% de elementos entre 2 y 10 mm
- pH entre 5,5 y 9
- Composición química (porcentajes mínimos)
 - Nitrógeno, 2 por mil
 - P₂SO₅ asimilable, 0,6 por mil
 - K₂O asimilable, 0,2 por mil

6.10.6.2. Plantas

El proyecto definirá tanto las condiciones generales a cumplir, como sus principales características, los condicionantes de aceptación y rechazo, los condicionantes particulares para los distintos tipos de planta, los condicionantes fitosanitarios y el control de recepción. A continuación, se enumeran las principales consideraciones y condicionantes a tener en cuenta con respecto a las plantas a emplear.

Condiciones generales

Todos los envíos de planta vendrán acompañados de la Guía Oficial Fitosanitaria expedida por las correspondientes Comunidades Autónomas.

El proyecto deberá especificar la altura o tamaño de las plantas:

- Para planta forestal pequeña 1-2 savias
- Para planta de mayor tamaño: para coníferas, la altura comprendida entre el extremo superior de la guía principal y la parte superior del cepellón, expresada en metros según los tramos normalizados establecidos (80-100 cm, 100-125 cm, 125-150 cm, 150-175 cm, 175-200 cm, 200-250 cm, 250-300 cm, etc.), o bien, para frondosas, el perímetro del tronco a 1 m del cuello de la raíz, expresado en centímetros (6-8 cm, 8-10 cm, 10-12 cm, 12-14 cm, 14-16 cm, 16-18 cm, 18-20 cm, etc.)
- Para planta de sombra, se recomiendan tamaños de 200-250 cm de altura, para coníferas, o bien 14-16 cm ó 16-18 cm de perímetro de tronco, para frondosas.
- Las dimensiones del contenedor, en caso de suministrarse en dicho formato

Los principales aspectos a desarrollar en proyecto serán los referidos a:

- Cumplimiento de las condiciones establecidas en el Pliego de Condiciones
- Recomendaciones de procedencia, producción en vivero oficial, comprobación de la calidad de la planta, notificación y aprobación por la Dirección
- Rechazos posteriores por defectos, separación del material rechazado y condiciones de retirada y reemplazo de material no adecuado
- Todos los envíos vendrán acompañados de la Guía Oficial Fitosanitaria expedida por la correspondiente Comunidad Autónoma

Descripción y características

El proyecto recogerá las principales características de las especies a utilizar en cuanto a:

- Especie y, en su caso, subespecie o variedad
- Tamaño (según los estándares establecidos)
- Presentación (contenedor o maceta, cepellón o raíz desnuda)

En los planos correspondientes, se especificará con detalle la distribución de las plantas.

Condiciones generales de aceptación y rechazo

El proyecto deberá recoger las condiciones a verificar en la recepción de los ejemplares a plantar:

- Comprobación de especies, formas o variedades solicitadas y que se ajustan, dentro de los márgenes aceptados, a las medidas establecidas en el pedido
- Verificación del embalaje y de la conservación de las raíces (forma, volumen, espiralamiento y/o remonte)
- Comprobación de posibles daños
- Comprobación del normal porte y desarrollo de los ejemplares, formas y colores
- Comprobación de síntomas o indicios de enfermedades (examen del aparato radicular, de la corteza de tronco y ramas, de las yemas y, en su caso, de las hojas) o infecciones, picaduras de insectos, depósito de huevos o larvas o ataques de hongos
- Recepción del pedido dentro de los períodos agrícolas de plantación y trasplante
- Exigencia de un certificado que garantice todos estos requisitos y rechazo de las plantas que no los reúnan
- Aceptación e identificación del lote

Si durante la verificación de la planta, los síntomas apreciados no fuesen definitivos, se podrán solicitar pruebas de laboratorio complementarias, como puede ser el análisis de muestras de tejidos de los órganos más sensibles a las enfermedades propias de cada especie o la incubación de las muestras, en las condiciones de temperatura y humedad óptimas para el desarrollo de los agentes causantes.

Adicionalmente, se contemplará la posibilidad de rechazo de la planta por parte del Director de Obra cuando éste considere que no se ajusta a dichos condicionantes y la obligatoriedad de reposición de la misma por parte del contratista (asumiendo el coste de la planta rechazada).

Serán condiciones de rechazo:

- Heridas no cicatrizadas, daños mecánicos, daños por organismos nocivos
- Presencia de plagas o enfermedades
- Inicios de recalentamiento, fermentación o humedad por almacenamiento, desecaciones
- Defectos en el tallo (varias guías, curvatura o falta de yema terminal), ramificación deficiente o acículas u hojas deterioradas
- Raíz principal enrollada o gravemente retorcida, ausencia o seria amputación de raíces secundarias
- Cultivadas sin espaciado suficiente y/o crecimiento desproporcionado
- Presencia en el cepellón de plántulas de malas hierbas
- Ausencia del embalaje de protección oportuno

Condiciones particulares

En función de la tipología de plantas utilizada, será necesario establecer otro tipo de condicionantes en relación a las mismas.

FRONDOSAS

Las frondosas de hoja persistente cumplirán las prescripciones siguientes:

- Estar provistas de cepellón mediante tiesto, contenedor, escayola, etc., al menos, durante 1 año.
- Poseer hojas en buen estado vegetativo.
- Mantener un equilibrio entre el volumen aéreo y el cepellón.

Las frondosas de hoja caduca se presentarán:

- Desprovistas de hojas.
- Con especificación del perímetro en centímetros a 1 m del cuello de la raíz, admitiéndose una oscilación de dos cifras pares consecutivas.

CONÍFERAS

Las coníferas cumplirán las siguientes condiciones:

- Disponer de cepellón mediante tiesto, contenedor, etc., al menos, durante 1 año.
- Poseer ramas hasta la base en aquéllas cuya forma natural así sea.
- Mantener la guía principal en perfecto estado vegetativo, para las especies que de natural lo posean.
- Disponer de copa bien formada en las especies de esta forma natural.
- Estar provistas de abundantes acículas.

Las coníferas de porte bajo o rastroero cumplirán asimismo:

- Disponer de cepellón mediante tiesto, contenedor, etc., al menos, durante 1 año.
- Estar revestidas de ramas hasta la base.
- Poseer abundantes acículas.

En ambos casos, el proyecto deberá especificar la altura comprendida entre el extremo superior de la guía principal y la parte superior del cepellón. La tolerancia de diferencias de tamaño será de 25 cm.

ARBUSTOS

Los arbustos cumplirán las siguientes condiciones:

- Estar suficientemente protegidos con embalaje.
- Estar vestidos de rama hasta la base.

Para arbustos de hoja persistente, además, se cumplirá:

- Estar provistos de cepellón, inmovilizado mediante tiesto, contenedor, escayola, etc., al menos, durante un año.

Para arbustos de follaje ornamental, se cumplirá:

- Estar provistos de cepellón o a raíz limpia, dependiendo de la especie y la edad de la planta.
- Disponer de abundantes hojas en todas sus ramas en las especies de hoja persistente.
- Carecer de hojas, pero estar provistos de abundantes yemas foliares en todas sus ramas, para las especies de hoja caduca.

Si se trata de arbustos de flores ornamentales, se verificarán las siguientes condiciones:

- Estar provistos de cepellón o a raíz limpia, dependiendo de la especie y edad.
- Tener ramas en las que se vayan a producir botones florales en el momento adecuado inmediato a su adquisición.
- Aparecer limpios de flores secas o frutos procedentes de la época de floración anterior.

En lo que respecta a las dimensiones, se especificará la altura máxima desde el cuello a la raíz, en centímetros, con una oscilación de 10 cm, o bien la edad en años, desde su nacimiento o injerto. Asimismo, habrá de señalarse la condición de a raíz limpia o en cepellón para cada especie indicada en proyecto; en este último caso (a cepellón), se definirá el contenedor con dimensiones aclaratorias.

Los subarbustos y plantas herbáceas deberán cumplir las siguientes condiciones:

- Estar suficientemente protegidos con embalaje.
- Venir provistos de cepellón inmovilizado en tiesto o contenedor.
- Estar libres de plantas extrañas a la especie de que se trate.

Si se trata de plantas vivaces, se cumplirán asimismo las siguientes prescripciones:

- Venir provistas de cepellón inmovilizado en tiesto o contenedor.
- Estar libres de ramas o flores secas procedentes de la temporada anterior.
- Poseer homogeneidad apreciable en su morfología y colorido.
- Estar libres de plantas extrañas a la especie de que se trate.
- No mostrar ninguna degeneración de la variedad, en caso de que existiese.

En cuanto a la forma de presentación y suministro de la planta, se seguirán las siguientes directrices.

a) Para árboles:

- A raíz desnuda. La plantación a raíz desnuda es válida únicamente para árboles y arbustos de hoja caduca, sólo obtenibles en invierno, que es cuando pueden extraerse así del vivero (en otra época, se morirían). Será fundamental, a la recepción de la planta, comprobar que las raíces están frescas y no secas.
- Con cepellón. Estos árboles se obtendrán al extraerse de la tierra del vivero con una cantidad de tierra suficiente adherida a sus raíces, el cepellón, que se envuelve en tela de arpillera o bolsa de plástico para que no se desmorone. Las posibilidades

de éxito en el arraigo son algo mayores que en el caso anterior, aunque menores que cuando se trata de árboles en contenedor.

- En contenedor. Estos árboles se presentan en maceta, generalmente de plástico, en donde se han desarrollado, al menos por un año, lo que permite mantener su sistema radicular intacto. En este caso, el arraigo de la planta deberá superar el 90%, ya que las raíces no sufren ningún daño al plantarse. A la recepción de este tipo de planta, deberá verificarse que no se ha sacado recientemente de la tierra y se ha introducido en la maceta. Adicionalmente, se comprobará que el árbol no haya estado demasiado tiempo en un contenedor que se ha quedado pequeño; en este caso, las raíces estarán ahogadas y arremolinadas, saliendo por los agujeros inferiores del recipiente.
- Con cepellón escayolado. Se emplearán árboles con cepellón escayolado en aquellos casos en los que se vayan a utilizar árboles grandes o con difícil plantación o trasplante (especialmente, coníferas). En este tipo de presentación, no se admitirá un porcentaje de marras superior al 5%.

b) Para arbustos:

La mayoría de los arbustos se suministrarán en contenedor, normalmente en maceta de plástico, por lo que se seguirán las directrices mencionadas para el arbolado en este tipo de presentación.

6.10.6.3. Abono mineral

De acuerdo a las condiciones del suelo donde se ejecutan las plantaciones, el proyecto deberá definir la necesidad de incorporar abonos minerales durante la plantación y su mezcla con tierras de relleno del hoyo.

Se deberán recoger, en este caso, las principales características y condicionantes a tener en cuenta para este material:

- Producto químico comercial a adquirir, envasado y etiquetado, no a granel, acompañado de su certificado de garantía, y que no se encuentre alterado por la humedad u otros agentes físicos o químicos.
- Composición (normalmente, como componentes básicos a los que se pueden unir otros elementos: N-P-K), especificando, al menos, la forma del nitrógeno.

6.10.6.4. Tutores

En caso de necesitar tutores, el proyecto definirá las condiciones de los materiales a emplear.

Normalmente, serán de rollizos de madera cilindrada, de unos 6 a 8 cm de diámetro y altura necesaria, terminados en punta. También, pueden ser de aluminio, hierro o acero, aunque son menos frecuentes.

Los tutores de madera deberán tratarse para resistencia a la intemperie en contacto con el suelo, es decir, de Tipo 4; para ello, el tratamiento será en autoclave con temperatura y presión controladas, por medio de sales protectoras, asegurando penetraciones del 85% en la madera de albura y volúmenes de 16 kg/m³ de producto sólido (sales minerales).

Las fijaciones serán de material elástico no abrasivo para la corteza del árbol que sustenta y resistente a los rayos ultravioleta.

6.10.6.5. Agua de riego

El proyecto deberá establecer las condiciones necesarias para que el agua a emplear para el riego sea adecuada para su uso. Cuando se utilice agua potable o agua de canales de riego, no será necesario realizar ningún análisis. En el caso de utilizar aguas regeneradas, si no se dispone de análisis de la depuradora, deben realizarse dichos análisis para disponer de datos de:

- pH
- Contenidos en sales solubles
- Contenido máximo en cloruros, sulfatos y boro
- Conductividad
- Oxígeno disuelto
- Contenidos de metales pesados y otros elementos y compuestos peligrosos
- Contenido en Escherichia coli

6.10.6.6. Elementos de la red de riego

Para los casos puntuales en que los se proyecte un sistema de riego estable, el proyecto deberá establecer las condiciones para los diferentes elementos de la red de riego.

PARA LAS TUBERÍAS:

Serán preferiblemente de PE y deberán estar normalizadas según las Normas UNE-EN 12201:2012, partes 1 a 5.

Los tipos de uniones que podrán contemplarse en los tubos de PE son las siguientes:

- Unión soldada térmicamente a tope
- Unión por electrofusión
- Unión mediante accesorios mecánicos

Todos los tubos deberán ir marcados, de forma fácilmente legible y durable, con las siguientes identificaciones como mínimo:

- Nombre del suministrador, fabricante o nombre comercial
- Fecha de fabricación (año)
- Diámetro nominal, DN
- Referencia a la norma de producto utilizada en la fabricación
- Marca de calidad, en su caso

- Tipo de material (MRS), presión nominal (PN) y espesor
- Clase de espesor de los tubos

CABLE DE SEÑAL

Si la red de riego está proyectada para programarse, el cable será RZ1-K, que tendrá como conductor Cobre electrolítico flexible (Clase V) con aislamiento XLPE (polietileno reticulado), relleno de material termoplástico y cubierta de Poliolefina termoplástica libre de halógenos, con una temperatura máxima de trabajo de 90 °C y tensión de servicio de 0,6/1 KV.

La sección más comúnmente utilizada es de 2x2,5 mm² en 24 V, que resulta válida para grandes longitudes, pues el consumo es mínimo. No obstante, debería calcularse la idoneidad para la distancia proyectada.

ELECTROVÁLVULAS

Si la red de riego está proyectada para programarse, las válvulas eléctricas tendrán las siguientes características:

- Fabricadas en PVC
- Con filtro sobre la membrana, para asegurar un buen funcionamiento
- Apertura manual, sin fuga de agua por rotación de 1/4 de giro del solenoide, dotado con una manecilla ergonómica
- Solenoide con núcleo cautivo
- Presión de funcionamiento de 1,0 a 10,4 bares (temperatura del agua: 23 °C)
- Manecilla de ajuste de la posición de la membrana que permite adaptar el tiempo de cierre a las condiciones de caudal y de presión

PROGRAMADORES

Si la red de riego está proyectada para programarse, estos programadores admitirán la conexión de varias estaciones, circuitería encapsulada en resina con protección IP68, y con posibilidad de varios programas de riego al día.

Las conexiones de cableado se realizarán siempre mediante conectores estancos a la inmersión y a la humedad, rellenos de silicona.

Los conectores deberán estar preparados para soportar hasta 30 V de voltaje y ser capaces de permitir la conexión de cables de 2,5 mm².

REGULADORES DE PRESIÓN

Para riegos programados, después de la válvula eléctrica, se instalará un regulador de presión de latón con manómetro de glicerina. Este regulador deberá soportar, como máximo, 25 bar de entrada y tendrá la salida regulable de 1,5 a 6,0 bar.

Estará fabricado en latón arenado CW617N, con temperaturas máximas de trabajo de 30 °C.

Se ajustará a lo dispuesto en la Norma UNE-EN-1567:2000.

FILTROS

Para riegos programados, antes de la válvula eléctrica, se instalará un filtro de malla de latón en Y, capaz de soportar hasta 16 bar, temperaturas de trabajo de 0° a 100 °C y malla de 0,125 a 0,150 mm para proteger la válvula y que no se produzcan obturaciones en los goteros.

TUBERIA DE GOTEO

La tubería de goteo tendrá 16 ó 20 mm de diámetro con goteros integrados autocompensantes, que dependerán del caudal y separación adecuada al tipo de riego a realizar, para un rango de presiones de 0,8 a 4,0 bar.

La tubería será marrón con doble extrusionado para mejorar su estética exterior y de interior negro para mejorar su resistencia a los rayos UV, limitar la aparición de algas y dar mayor resistencia al aplastamiento.

Se colocarán estacas de sujeción para tuberías de goteo cada 2 ó 3 metros.

ARQUETAS DE RIEGO

Se instalarán arquetas de riego de polietileno de alta densidad de estructura alveolar, con tornillo de cierre, asentadas sobre ladrillo macizo sin mortero y sin enfoscar. Todo deberá estar asentado sobre un lecho de grava de 5 cm de espesor.

- Tasa de carga estática vertical con tapa: PAD = 17 kg/cm²
- Punto de rotura: 21,37 - 39,92 N/mm (ISO 1926)
- Temperatura de deflexión: 73 - 82°C (ISO 75-1)
- Densidad: 0,955 g/m³ (ISO 2811)

La tapa de las arquetas deberá tener tornillo antivandálico correctamente instalado.

Las arquetas deberán estar correctamente niveladas con el terreno.



ANEXO Propiedad de los terrenos



Camino
Naturales

ANEJO. PROPIEDAD DE LOS TERRENOS

1. PROPIEDAD

Todos los proyectos de Caminos Naturales incluirán un Estudio de Propiedad con toda la información jurídico-administrativa que pueda ser relevante a efectos de diseño del proyecto.

1.1. CRITERIOS A TENER EN CUENTA

A la hora de diseñar un Camino Natural de nuevo trazado, se deberá seguir el criterio de afectar en el menor grado posible a las parcelas de titularidad no pública, entendiéndose por bien de titularidad pública cuando éste sea propiedad de Juntas Vecinales, Ayuntamientos, Administración Autonómica o Administración General del Estado.

No obstante, en los lugares en los que por motivos técnicos o ambientales no exista otra posibilidad que la afección a terrenos particulares, se evitarán los trazados que supongan una división de la finca, lo que pudiera ocasionar inconvenientes importantes para el propietario, por lo que se optará por desplazar el trazado hacia los laterales, fondos de parcela y linderos.

1.2. CONTENIDO DEL ESTUDIO DE PROPIEDAD

Dicho Estudio de Propiedad deberá contener los siguientes epígrafes:

- 1. Revisión catastral de toda la traza:** Se realizará la descripción catastral de los bienes, que comprenderá sus características físicas y jurídicas, entre las que se encontrarán la localización y la referencia catastral, la superficie, el uso o destino, la clase de cultivo o aprovechamiento, la calidad de las construcciones, la representación gráfica y la titularidad pública o privada, indicando expresamente las parcelas que no sean de titularidad pública.
Para las parcelas de titularidad no pública y, durante la fase de proyecto, se obtendrán los permisos de los propietarios legales autorizando las obras en sus terrenos.
- 2. Estudio de la incidencia de la actuación** sobre áreas de titularidad pública y áreas sometidas a concesiones y, en su caso, su plazo de extinción.
- 3. Estudio de afección a áreas de dominio público** (marítimo-terrestre, hidráulico y carreteras) y su correspondiente servidumbre pública. Durante la fase de proyecto, se realizarán las solicitudes y se obtendrán los permisos correspondientes y las autorizaciones necesarias de los correspondientes organismos, en función de la afección a cada uno de los dominios públicos y servidumbres.
- 4. Se calificarán los terrenos afectados** para cada uno de los Planes de Ordenación Urbana de cada municipio afectado por las actuaciones, teniendo en cuenta para la solución proyectada los condicionantes al respecto.
- 5. Se enmarcarán las actuaciones según las figuras de ordenación del territorio y el régimen de uso vigente** en cada Comunidad Autónoma, respetando en la solución planteada los condicionantes que dichas figuras establezcan.

1.3. NORMATIVA APLICABLE

La legislación estatal aplicable es:

- Ley 2/2013, de 29 de mayo, de protección y uso sostenible del litoral y de modificación de la Ley 22/1988, de 28 de julio, de Costas
- Real Decreto 876/2014, de 10 de octubre, por el que se aprueba el Reglamento General de Costas
- Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 julio, que aprueba el Texto Refundido de la Ley de Aguas
- Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad
- Real Decreto Legislativo 7/2015, de 30 de octubre, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Suelo y Rehabilitación Urbana
- Ley 43/2003, de 21 de noviembre, de Montes
- Ley 16/1985, de 25 de junio, del Patrimonio Histórico Español
- Ley 3/1995, de 23 marzo, de Vías Pecuarias
- Ley 37/2015, de 29 de septiembre, de Carreteras
- Ley 1/1970, de 4 de abril, de Caza

