

Recomanacions tècniques per al disseny ambiental de les carreteres de muntanya



Recomanacions tècniques per al disseny ambiental de les carreteres de muntanya



Recomanacions tècniques per al disseny ambiental de les carreteres de muntanya. – (Manuals d'avaluació ambiental ; 5)
Bibliografia. – Text en català i castellà
I. Catalunya. Departament de Territori i Sostenibilitat II.
Col·lecció: Manuals d'avaluació ambiental ; 5
1. Carreteres de muntanya – Projectes i construcció – Aspectes ambientals
625.711:504.03

Recomanacions tècniques per al disseny ambiental de las carreteres de muntanya

© Generalitat de Catalunya
Departament de Territori i Sostenibilitat
<http://www.20.gencat.cat/portal/site/territori>

Foto portada C-28 al Port de la Bonaigua - © CICSA

Edició del llibre: abril de 2012
Tiratge: 1500 exemplars

Disseny: Insòlit Disseny, SCP
Compaginació i impressió: 9·disseny SL

DL: B-12021-2012

ÍNDEX

PRESENTACIÓ	7
1. INTRODUCCIÓ	9 10
1.1. Objectius	10
1.2. Àmbit d'aplicació	12
1.3. Continguts	13
2. CARRETERA I MUNTANYA	15 16
3. DISSENY BÀSIC	21 22
3.1. Traçat	22
3.1.1 Criteris de disseny	22
3.1.2 Trànsit	23
3.1.3 Traçat en planta	24
3.1.4 Traçat en alçat	27
3.1.5 Coordinació de la planta i alçat	27
3.1.6 Secció transversal	28
3.1.7 Ajustos de l'eix de les infraestructures	28
3.2. Drenatge	29
3.3. Paviment	32
3.4. Estabilització i tractament de talussos	34
3.5. Estructures	40
3.5.1 Consideracions generals	40
3.5.2 Plantejament	41
3.5.3 Materials	42
3.5.4 Procés executiu	44
3.5.5 Tipologia	45
3.5.6 Consideracions finals	46
3.6. Sistemes de contenció	48
3.7. Senyalització	51
4. TÈCNIQUES DE BIOENGINYERIA I CARRETERES DE MUNTANYA	53 54
4.1. Tècniques de bioenginyeria per a la restauració de talussos	55
4.1.1 Talussos amb inestabilitat superficial (de pendent baix a elevat)	55

1. Jaç protector amb herbàcies de la zona	55
2. Millora del sòl	55
2.1 Escarificat	56
3. Sembra manual	56
4. Cobertura de branques	57
5. Hidrosembra	57
5.1 Hidrosembra en dues fases	58
6. Hidromanta	58
7. Manta orgànica	59
8. Xarxa orgànica	60
9. Plantació d'espècies llenyoses, arbòries i arbustives	61
9.1 Criteris d'elecció d'espècies, tipus i edat de les plantes	61
10. Esglaons de fusta	62
11. Feixina de branca seca (sobresortint al terreny)	62
12. Sistemes de drenatges per al control de l'escorrentiu superficial	63
12.1 Geomalles que faciliten el flux d'aigua	63
12.2 Reompliment de pedres	64
12.3 Feixines de branca seca (enrasada al terreny)	64
13. Geomalles que faciliten el flux d'aigua	64
14. Krismer	65
4.1.2 Talussos amb inestabilitat geotècnica (de pendent baix a elevat)	66
1. Feixina de branca viva (enrasada al terreny)	66
2. Rotlle estructurat de fibra vegetal	66
3. Enreixat viu	67
4. Entramats	68
4.1 Entramat viu	68
4.2 Roma	68
4.3 Krainer	69
5. Geocel·les	69
6. Trenat viu	70
7. Gabió flexible	70
8. Mur de pedra en sec	71
9. Mur verd	71
9.1 Gabió de malla electrosoldada	71
9.2 Escullera revegetada	72
9.3 Murs de terra armada	73
9.4 Sacs de terra reforçats	74
10. T-Verd®	75
4.2. Tècniques de bioenginyeria per a la restauració de cursos fluvials	76
1. Endegament de rieres	76
2. Escullera viva (verda)	76
3. Estaques vives	77
4. Feixines vives	78
5. Biorotlles	79

5.	DISSENY AMBIENTAL	81 82
6.	ÀREES LATERALS DE LA CARRETERA	85 86
6.1.	Àrees d'aturada	88
6.2.	Miradors	91
6.3.	Accessos	93
7.	BIBLIOGRAFIA	95 96
7.1.	En matèria de traçat i carreteres	96
7.2.	En matèria de drenatge i estructures	96
7.3.	En matèria de paisatge i medi ambient	96
	ANNEX: RECOMENDACIONES TÉCNICAS PARA EL DISEÑO AMBIENTAL DE LAS CARRETERAS DE MONTAÑA	99

PRESENTACIÓ

L'avaluació ambiental de projectes s'ha anat integrant en tots els processos d'execució d'infraestructures que afecten el territori català. Arribar a aquest punt ha estat un procés laboriós en el qual s'han unit els esforços de tots els agents implicats i, gràcies al suport legislatiu, ha tingut la força necessària per ser de compliment obligat.

Per fer una avaluació ambiental acurada és important tenir els recursos necessaris que permetin donar una resposta ambiental i socioeconòmica compatibles. En un territori complex com el de Catalunya, la casuística és molt variada i la normativa no pot entrar en detall a cada cas concret. Per això, des de la Direcció General de Polítiques Ambientals del Departament de Territori i Sostenibilitat s'han elaborat unes eines de suport per prendre les mesures correctores i preventives necessàries que permetin un desenvolupament social i econòmic compatible amb la conservació del territori.

Pel que fa als projectes de carreteres, la norma 3.1-C. Traçat, de la Instrucció de Carreteres, aprovada per l'Ordre de 27 de desembre de 1999 del Ministeri de Foment, té com a finalitat proporcionar unes característiques adequades de funcionalitat, seguretat i comoditat de la circulació referent al traçat per a tots els nous projectes de carreteres, així com per al condicionament dels existents.

En el cas concret de les carreteres urbanes, de les carreteres de muntanya i de les que discorren per espais naturals d'elevat interès ambiental i/o marcada fragilitat, o la millora d'existents, la norma estableix que els llinars que aquesta fixa podran disminuir, sempre que ho facin d'una forma motivada i degudament justificada.

D'altra banda, el desembre del 2008, l'aleshores Departament de Política Territorial i Obres Públiques de la Generalitat de Catalunya va publicar el manual *Llibre d'estil de les carreteres catalanes. Criteris generals de disseny per al desenvolupament de la xarxa de carreteres de la Generalitat de Catalunya*, amb l'objectiu de donar un tractament integral i coherent als marges de les carreteres de la seva titularitat. Aquestes recomanacions tècniques, si bé algunes són extrapolables a velocitats inferiors, estan orientades a carreteres amb una velocitat igual o superior a 50 km/h.

La Direcció General de Polítiques Ambientals del Departament de Territori i Sostenibilitat ha considerat necessari aprofundir en els criteris a aplicar en les carreteres de velocitats inferiors als 50 km/h, moltes de les quals discorren per zones de muntanya, sovint de titularitat de diferents administracions, per tal de compatibilitzar la seva funció de comunicació amb la de preservació dels entorns paisatgístics i naturals pels quals discorren.

Amb aquesta finalitat es va encarregar una sèrie de treballs a les empreses CICSA -Consultor de Ingeniería Civil, SA-, Naturalea Conservació, SL i EGAM-Enginyeria Estudis i Gestió Ambiental, SL, el resultat dels quals s'han integrat totalment o parcialment en la present publicació, i que constitueixen una sèrie de propostes de criteris, solucions i tècniques de restauració que prevenen o disminueixen les afeccions sobre el medi a l'hora de dissenyar el traçat o condicionament i persegueixen una major integració de la carretera en el seu entorn.

Aquesta publicació vol ser, doncs, una eina de suport per a l'anàlisi i presa de decisions per a una millor integració de noves infraestructures al territori.

Marta Subirà Roca
Directora general de Polítiques Ambientals

1. INTRODUCCIÓ



1. INTRODUCCIÓ

1.1 Objectius

La Norma 3.1-C. Traçat, de la Instrucció de Carreteres, aprovada per l'ORDRE de 27 de desembre de 1999 del Ministeri de Foment, té com a finalitat proporcionar unes característiques adequades de funcionalitat, seguretat i comoditat de la circulació en matèria de traçat per a tots els nous projectes de carreteres, així com per al condicionament dels existents.

En el cas concret de les carreteres urbanes, de les carreteres de muntanya i de les que recorren per espais naturals d'elevat interès ambiental i/o marcada fragilitat o la millora d'existents, la norma estableix que els l·lindars que aquesta fixa podran disminuir-se, sempre, però, d'una forma motivada i degudament justificada.

D'altra banda, el desembre del 2008, l'aleshores Departament de Política Territorial i Obres Públiques de la Generalitat de Catalunya va publicar el manual **Llibre d'estil de les carreteres catalanes. Criteris generals de disseny per al desenvolupament de la xarxa de carreteres de la Generalitat de Catalunya**, amb l'objectiu de donar un tractament integral i coherent als marges de les carreteres de la seva titularitat. Aquestes recomanacions tècniques, si bé algunes són extrapolables a velocitats inferiors, estan orientades a carreteres amb una velocitat igual o superior a 50 km/h.

La Direcció General de Polítiques Ambientals del Departament de Territori i Sostenibilitat ha considerat la necessitat d'endinsar-se en els criteris a aplicar en la definició de carreteres de velocitats inferiors als 50 km/h, moltes de les quals recorren per zones de muntanya, a voltes titularitat de diferents administracions, per tal de compatibilitzar la seva funció de comunicació amb la de preservació dels entorns paisatgístics i valors naturals pels quals recorren.



Imatge 1.1 Carretera, natura i paisatge. LV – 4001 - © DTES

Amb aquesta finalitat es va encarregar una sèrie de treballs a les empreses CICSA - Consultor de Ingenieria Civil, SA, Naturalea Conservació, SL, i EGAM - Enginyeria Estudis i Gestió Ambiental, SL, el resultat dels quals s'han integrat totalment o parcialment en la present publicació, i que constitueixen una sèrie de propostes de criteris, solucions i tècniques de restauració que prevenen o disminueixen les afeccions sobre el medi a l'hora de dissenyar el traçat o condicionament i persegueixen una major integració de la carretera al seu entorn.

Es pretén també posar en valor el traçat de la carretera en si mateix, de manera que aquesta es percebi més com un recurs amb entitat pròpia que no pas com un tràmit per accedir a un determinat lloc. I és que Catalunya, per la seva orografia muntanyosa, i la seva ubicació geogràfica, amb una gran riquesa de climes, hàbitats i paisatges, compta amb un important nombre de carreteres de muntanya que en molts casos poden constituir un patrimoni a valoritzar.

Amb la intenció d'orientar la redacció d'estudis de carreteres de muntanya i ajustar els criteris de disseny a les característiques geomorfològiques, ambientals i paisatgístiques de l'entorn per on recorren, s'ha desenvolupat la present publicació, que presenta uns objectius específics que se sintetitzen en els punts següents:

- Definir una tipologia de carretera en zones de muntanya que siguin objecte d'aplicació de les recomanacions tècniques.
- Conciliar el compliment de la normativa tècnica existent aplicable al sector de les infraestructures amb la protecció i conservació del medi i del paisatge.
- Oferir un recull de tècniques de bioenginyeria destinades a la protecció del sòl i la integració paisatgística de l'actuació, especialment indicades en les tasques de restauració en un medi tan sensible com és la muntanya.
- Introduir elements a la carretera de manera que serveixi com un element de divulgació dels valors de l'entorn i dels seus usos.



Imatge 1.2 Carretera L-401- © DTES

1.2 Àmbit d'aplicació

L'àmbit d'aplicació de les recomanacions és el conjunt de carreteres que transcorren pels medis muntanyencs a Catalunya, si bé es poden adoptar d'altres solucions tècniques sempre que es justifiquin adequadament.

En aquest sentit es consideren medis muntanyencs tots aquells àmbits que posseeixen alguna de les característiques següents:

- Espais situats a una alçada superior als 700 m
- Espais situats en vessants amb pendents superiors al 15% ¹
- Espais situats en serres, serralades o massissos que independentment de l'alçada o del pendent tenen valls, colls o ports de muntanya.
- Espais inclosos en la Llei 2/1983, de 9 de març, d'alta muntanya

Aquests espais tenen característiques comunes quant a morfologia, climatologia, hidrologia, ecologia, etc.

¹ Segons la taula 2.1 de la Instrucción de carreteras Norma 3.1-IC de "Trazado", seran terrenys accidentats o molt accidentats.

1.3 Continguts

La present publicació s'ha estructurat en cinc blocs: Carretera i muntanya, Disseny bàsic, Tècniques de bioenginyeria, Disseny ambiental i Àrees laterals de la carretera.

L'apartat Carretera i muntanya, fa una definició de les carreteres de muntanya i resumeix les principals característiques de l'entorn que condicionen el disseny mateix. Es tracta d'un estudi de la relació entre la carretera i la muntanya, que vol posar de manifest la repercussió que té el traçat sobre aquest medi tan sensible. En aquest apartat també es fa una breu descripció de la situació socioeconòmica que viu actualment la muntanya a Catalunya.

L'apartat Disseny bàsic, especifica els criteris de disseny adaptats al medi muntanyenc dels elements que conformen una carretera. En cada un dels capítols es donen recomanacions de totes les parts que influeixen en la carretera amb un cert caràcter normatiu.

Es fixen els paràmetres de disseny referents al traçat, incloent-hi la definició en planta, en alçat i en secció; i es posa especial èmfasi en la coordinació dels traçats en planta i alçat.

També es resumeixen els criteris, adaptats al medi muntanyenc, per realitzar el drenatge, l'elecció del paviment, l'estabilització i el tractament de talussos, els sistemes de contenció per a vehicles, les estructures i la senyalització de la carretera.

Per a cada element que defineix la carretera, s'ha intentat resumir en una taula l'avaluació de les variables que influeixen en la seva implantació en l'àmbit de les carreteres de muntanya. En la darrera columna d'aquesta taula i a partir de la ponderació de les citades variables, s'ha deduït el seu grau d'aplicació (aplicabilitat).

S'ha de considerar que aquesta aplicabilitat no pretén tenir un caràcter normatiu sinó que són meres recomanacions de caràcter general per a les carreteres de muntanya i que sempre quedaran supeditades a l'estudi de cada cas en concret.

L'apartat Tècniques de bioenginyeria i carreteres de muntanya recull un conjunt de tècniques destinades tant a la restauració de talussos com dels cursos fluvials afectats per les actuacions associades a l'obertura de la infraestructura, les quals atès l'alt grau d'integració que assoleixen, es fan especialment indicades per ser aplicades en l'àmbit de muntanya.

L'apartat Disseny ambiental defineix altres variables a tenir presents amb l'objecte de minimitzar l'impacte sobre el medi a l'hora de dissenyar un condicionament o nou traçat de carretera.

En el darrer apartat, Àrees laterals de la carretera, es proposen una sèrie d'elements i materials que doten la carretera d'un caràcter propi per millorar el diàleg entre la via, el medi i els usuaris.

El disseny de les àrees laterals de la carretera és important per ajudar a la divulgació dels recursos ambientals com a font de desenvolupament econòmic i social d'un territori, i per augmentar la sensibilització quan el seu ús excessiu i desmesurat repercuteix molt negativament sobre el medi.

2. CARRETERA I MUNTANYA



2. CARRETERA I MUNTANYA

Les carreteres juguen un paper primordial en l'equilibri territorial i en el desenvolupament de les zones de muntanya. El disseny correcte de les carreteres en general, i especialment en aquells casos que s'afecten medis tan sensibles com són els de muntanya, passa per la realització d'estudis previs mediambientals de qualitat, i per la seva incorporació integral en la fase de definició dels projectes.

Pel que fa al disseny s'haurà d'interpretar i estudiar adequadament el territori per on circularà la via i definir bàsicament l'actuació d'acord amb les característiques del medi. S'hauran d'adaptar les solucions tècniques a la minimització de l'impacte sobre l'àmbit sense repercutir en la seguretat.



Imatge 2.1 Carretera i muntanya. C-13. El congost de Terradets - © DTES

La tipologia de les carreteres de muntanya que es tenen en compte en aquestes recomanacions són les següents:

- Carretera per accedir a un punt d'interès paisatgístic.
- Carretera per unir dos nuclis de població que salva un coll o port de muntanya.
- Carretera que discorre a mig vessant per un massís o una serra.
- Carretera que transcorre per un àmbit amb característiques morfològiques típiques de muntanya (vessants amb pendents elevats).

Aquestes carreteres, tot i poder estar ubicades en indrets molt diferents, tenen la peculiaritat de transcórrer en àmbits amb característiques molts similars sobretot des del punt de vista geomorfològic.

D'aquesta manera, les carreteres de muntanya han de poder reunir les condicions, tant en el traçat, el drenatge, els elements de contenció de terres, les estructures, el paviment, la senyalització, entre d'altres, adaptades al relleu, al clima i a la vegetació de les zones on s'implanten.



Imatge 2.2 Carreteres de muntanya a Europa: 1-Stelvio Pass (Itàlia) 2-Alpe d'Huez (França)

Una muntanya es defineix pels conceptes de desnivell i d'altitud sobre una superfície de referència que és la seva base. En general aquesta superfície de referència és la del nivell del mar. Per tant, s'entén per muntanya una elevació natural, acusada i abrupta del terreny quan és una eminència superior a 700 m des de la superfície de referència. Les muntanyes s'agrupen, a excepció dels volcans, en serralades o serres.

Les zones de muntanya cobreixen el 25% d'Europa i un total del 24% de la litosfera es constitueix en massa muntanyenca. Un 10% de la població mundial habita en regions muntanyenques. Els rius més importants del món neixen en àrees muntanyenques i més de la meitat de la humanitat depèn de l'aigua de les muntanyes.

A Catalunya el 50,5% del seu territori es troba amb pendents superiors al 20% i el 37,7% està situat per sobre dels 600 m d'alçada. L'evolució de la població des del 1950 fins al 1981, decreix un 4% en les comarques de muntanya i en canvi a tot Catalunya creix un 84%.

La muntanya en general és poc favorable a l'ocupació humana. Gradualment els humans van abandonant un ambient que considera massa hostil. Actualment, però, la pràctica dels esports d'hivern i l'afluència turística a l'estiu obren noves perspectives de cara al futur.

A principis dels anys 80, la preocupació per la situació de la muntanya a Catalunya genera debat a partir d'aquest context socioeconòmic que acaba desencadenant amb la Llei 2/1983, de 9 de març, d'alta muntanya i els decrets 566/83 i 84/84, de desplegament de la Llei d'alta muntanya.

Els objectius de la Llei 2/1983, de 9 de març, d'alta muntanya són:

- Igualar el nivell de vida dels habitants de muntanya al dels de la resta de Catalunya.
- Garantir el nivell dels serveis mitjançant la creació d'infraestructures i equipaments.
- Aturar la regressió demogràfica i assolir un desenvolupament harmònic del territori.
- Fer compatible el desenvolupament turístic i econòmic amb la preservació del patrimoni natural i cultural.
- Compensar els desavantatges físics i socioeconòmics, tot valorant les funcions que la muntanya compleix en benefici de la resta de la societat.

En aquesta Llei es concreta l'àmbit d'aplicació definint què són les comarques de muntanya i les zones de muntanya. En la mateixa Llei també es creen els instruments per desenvolupar-la que són els plans comarcals de muntanya i els programes zonals.

Les comarques de muntanya són territoris que:

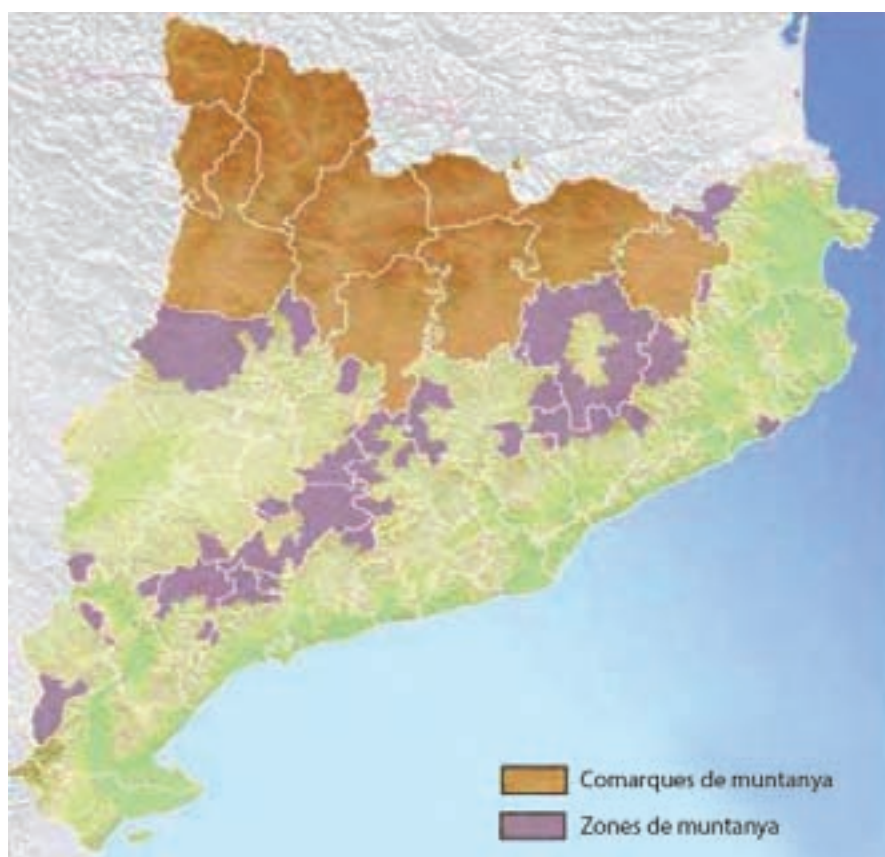
- Tenen terrenys amb una altitud, un pendent i un clima clarament limitadors de les activitats econòmiques.
- Disposen de recursos naturals que són escassos en el conjunt del territori de Catalunya, especialment aigua, neu, pastures, boscos i espais naturals.
- Tenen una baixa densitat de població en relació amb el valor mitjà de Catalunya.

Aquestes comarques són l'Alta Ribagorça, l'Alt Urgell, el Berguedà, la Cerdanya, la Garrotxa, el Pallars Jussà, el Pallars Sobirà, el Ripollès, el Solsonès i la Val d'Aran.

Les zones de muntanya són territoris que reuneixen alguna de les condicions següents:

- Tenen, com a mínim, el 65% de la superfície en cotes superiors a 800 m.
- Tenen un pendent mitjà superior al 20% i el 60%, com a mínim, de la seva superfície en cotes superiors als 700 m.
- Sense arribar als valors anteriors, tenen circumstàncies excepcionals limitadores de la seva activitat econòmica, i en especial de la seva producció agrària.

Aquestes zones són 136 municipis (Tiurana n'és la darrera incorporació el desembre del 2008).



Imatge 2.3 Comarques i zones de muntanya d'acord amb la Llei 2/1983.

Altres característiques fonamentals a considerar en un terreny muntanyenc són el clima, la vegetació, la hidrologia i el paisatge.

El clima de muntanya és més fred i humit que el del pla, ja que la temperatura descendeix i les pluges augmenten amb l'alçada, a causa de l'anomenat "efecte pantalla". També és freqüent trobar en les zones de muntanya vessants més humits exposats a vents humits, enfront de les més seques, en les quals aquests mateixos vents han perdut la humitat per elevació i tendeixen a absorbir la humitat existent en el sòl, és el fenomen conegut com efecte Föhn. Així, aquest fenomen és el que es produeix en els Pirineus, on el seu vessant nord és més humit que el sud.

La vegetació a la muntanya es troba esglaonada o en pisos (ecotons). En els pisos inferiors es pot trobar vegetació similar a la del pla adjacent, però a mesura que s'ascendeix van apareixent espècies més higròfiles i més resistents al fred; després de les últimes espècies arbòries apareix la pradera alpina seguida del penyal i fins i tot de la neu perpètua.

La hidrologia en zones de muntanya és molt present i es demostra pel fet que en aquests terrenys hi ha multitud de conques hidrogràfiques, en general de petites dimensions. Aquest fet és un gran tret distintiu amb les zones més planes que per contra tenen poques conques i molt grans.

La hidràulica dels rius a la muntanya és de caràcter torrencial amb grans velocitats que provoquen un elevat risc d'erosió i arrossegament de partícules.

El paisatge de muntanya és un paisatge emblemàtic a Catalunya, amb una alta apreciació social que resulta d'un tipus d'interacció secular entre la societat i el medi natural.



Imatge 2.4 Carretera en un paisatge de muntanya - © DTES

A les darreres dècades, el territori de muntanya ha estat sotmès a canvis econòmics i demogràfics profunds (crisi agrària, despoblament, terciarització, etc.) que, pel seu abast o intensitat, poden arribar a comprometre'n els valors i les oportunitats de futur. Els projectes en zones de muntanya han de portar associat l'objectiu de generar models d'integració paisatgística coherents amb les formes actuals de desenvolupament local i amb les noves necessitats econòmiques i socials.



Imatge 2.5 Carretera C-26. Castellar de la Ribera - © DTES

A l'hora de realitzar la planificació de la carretera s'hauran de tenir en compte tots aquests paràmetres per tal de poder escollir el millor corredor, que doni resposta a les necessitats de desenvolupament social i econòmic d'un país però sense menystenir les característiques del medi. Aquesta premissa és vàlida per a totes les carreteres en general, però és en aquest àmbit tan sensible com és el de les zones de muntanya que es nodreix d'una importància molt més rellevant.

3. DISSENY BÀSIC



3. DISSENY BÀSIC

3.1 Traçat

Tal com s'ha fet esment en la introducció, la Instrucció de carreteres Norma 3.1-IC de "Trazado" de desembre de 1999, publicada pel Ministeri de Foment, planteja que les carreteres de muntanya poden presentar excepcions a la baixa per al conjunt de les regles de traçat que fixa, si bé no n'especifica quin pot ser el grau d'excepció, ni presenta criteris i paràmetres alternatius per a aquest tipus de carreteres.

L'objectiu d'aquest apartat és dur a terme una reflexió al voltant de quins haurien de ser aquests criteris, per establir a partir d'aquests uns paràmetres mínims adequats per al traçat de carreteres en zones de muntanya.



Imatge 3.1 C-28. Traçat típic de carretera d'accés a un port de muntanya - © DTES

En tot cas, cal remarcar que els paràmetres desitjables són sempre els que marca la Norma 3.1-IC, i que els suggeriments d'aquest estudi tan sols serien aplicables quan, per les característiques orogràfiques del terreny o per motius d'impacte ambiental, **l'aplicació de l'esmentada Norma resultés gairebé impossible.**

3.1.1 Criteris de disseny

A l'hora de definir la geometria de qualsevol carretera cal tenir en compte tres factors que són en funció de la velocitat de disseny: la seguretat, el confort dels ocupants del vehicle i l'impacte que la nova via produeix en l'entorn.

Quan hom s'enfronta al disseny d'una carretera de muntanya, cal plantejar-se la reformulació de l'anàlisi d'aquests factors des d'una nova perspectiva que consideri les seves particularitats.

És prou clar que les carreteres de muntanya afecten principalment el tercer factor, l'impacte en l'entorn, que en aquests casos resulta molt més delicat i requereix una cura especial, objecte d'aquesta publicació.

D'altra banda, també és evident que el primer dels factors -el de la seguretat- en cap cas no pot ser desatès: les transgressions a la Norma no poden anar mai en detriment de la seguretat.

En conseqüència, des del punt de vista del traçat, tan sols és possible disminuir l'impacte, assumint una reducció racional del factor restant: el confort. Això es tradueix principalment en una reducció general de la velocitat de disseny de la carretera. Fins i tot, es preveurà la possibilitat de disminuir encara més el límit de la velocitat de disseny en determinats trams puntuals on el terreny és molt accidentat.

3.1.2 Trànsit

El disseny de la carretera de muntanya ha de tenir en compte que les intensitats són baixes, però que els tipus de vehicle poden ser grans i pesants (autocars, camions, etc.). Les característiques d'aquests vehicles condicionen la definició geomètrica de la carretera.

Els paràmetres de traçat de les presents recomanacions s'han establert per intensitats mitjanes diàries (IMD) inferiors a 1.000 vehicles/dia que es consideren representatives per a les carreteres de muntanya.



Imatge 3.2 Carretera L-401, entre Perles i Llinars - © DTES

3.1.3 Traçat en planta

La Norma 3.1-IC estudia els paràmetres per a cada velocitat de disseny, a partir de 40 km/h. En aquest apartat es consideraran els casos en què els paràmetres cal que siguin menors, i per tant també més baixes les velocitats aconsellables.

Els paràmetres circulars mínims per a cada velocitat es fixen en funció del fregament transversal mobilitzat i el peralt mitjançant la fórmula de la instrucció:

$$V_s^2 = 127 \cdot R \cdot (f_t + p / 100)$$

On,

V_s	és la velocitat (km/h)
R	és el radi de la circumferència (m)
f_t	és el coeficient de fregament transversal mobilitzat
p	és el peralt (%)

Per a una velocitat de 40 km/h, la taula 4.2 de la Instrucció col·loca el límit del coeficient de fregament transversal mobilitzat en un valor màxim de 0,18. Si s'aplica aquest f_t màxim de 0,18 a la velocitat de 30 km/h a la fórmula anterior, i es considera un peralt del 6% s'obté un valor per al radi mínim de 30 m.

Així doncs, es considera el radi 30 m el valor circular mínim aconsellable en el traçat d'una carretera de muntanya. Tot i així, es poden donar casos, de fet es donen sovint, en què l'adaptació a l'orografia del terreny reclama radis menors.

Aleshores, en el ben entès que aquestes situacions caldrà que siguin advertides mitjançant la senyalització corresponent, es podran adoptar radis menors, sense disminuir mai el radi de 10 m en la vora del carril interior de la corba.

Com a criteri general, es considera que les situacions descrites tenen lloc, resultant aplicable l'excepció, quan la diferència entre l'angle d'entrada i l'angle de sortida d'una corba circular supera els 100 gonis.



Imatge 3.3 Corba en ferradura a la Carretera de Berga BV-4241 - © CICSA

Pel que fa a les corbes de transició, la clotoide, s'establiran els valors de manera que permetin una transició del peralt i una variació de l'acceleració centrífuga acceptables.

Aplicant la velocitat 30 km/h a la fórmula de la instrucció:

$$ip_{m\grave{a}x} = 1,8 - 0,01 \cdot V_p$$

On,

$ip_{m\grave{a}x}$ és la inclinació màxima de les vores de la calçada respecte a l'eix de gir del peralt, habitualment l'eix central de la carretera (%)

V_p és la velocitat de projecte (km/h)

S'obté un valor:

$$ip_{m\grave{a}x} = 1,5$$

Aquest valor, mitjançant la fórmula de la instrucció:

$$ip_{m\grave{i}n} = \frac{(p_f - p_i)}{ip_{m\grave{a}x}} \cdot B$$

On,

$l_{m\grave{i}n}$ és la longitud mínima del tram de transició de peralt (m)

p_i i p_f són el peralt inicial i el peralt final (%)

B és l'ample de carril que es considera de 5 m com a màxim, com s'explicarà més endavant (m)

Resulta una longitud del tram de variació del peralt de valor:

$$l_{m\grave{i}n} = 3,3 \text{ m (per cada 1\%)}$$

Atès que s'ha fixat el peralt màxim en un 6%, la longitud mínima de transició d'inflexió del sentit de peraltat se situa en 20 m. Segons aquesta dada, cada branca de la clotoide caldrà que tingui una longitud mínima de 20 m per tal que pugui contenir aquesta variació del peralt entre dues corbes de sentit oposat.

D'altra banda, en el pla de la seguretat, cal assegurar que la variació de l'acceleració centrífuga en el pla horitzontal no sobrepassi els valors que estableix la instrucció:

$$J_{m\grave{a}x} = 0,7$$

Segons la fórmula de la instrucció:

$$L_{m\grave{i}n} = \frac{V_e^2}{46,656 \cdot J} \cdot \left[\frac{V_e^2}{R_o} - 1,27 \cdot \frac{(p_o - p_i)}{(1 - R_o / R_i)} \right]$$

On,

$L_{m\grave{i}n}$ és la longitud mínima de la clotoide

V_e és la velocitat específica de la corba circular associada de radi menor (km/h)

J és la variació de l'acceleració centrífuga (m/s³)

R_i és el radi de la corba circular associada de radi major (m)

R_o és el radi de la corba circular associada de radi menor (m)

p_i és el peralt de la corba circular associada de radi major (%)

p_o és el peralt de la corba circular associada de radi menor (%)

S'obté en el cas més restrictiu (radi mínim de 30 m) un valor de:

$$L_{\min} = 20,56 \text{ m}$$

A partir de la fórmula de la instrucció:

$$R \cdot L = A^2$$

On,

- R** és el radi de la corba (m)
- L** és la longitud de la corba (m)
- A** és el paràmetre de la clotoide

S'obté la taula següent de correspondència de valors:

RADI (m)	PERALT (%)	L_{mín} (m)	CLOTOIDE (A)
15	6	20	18
20	6	20	20
25	6	20	23
30	6	20	25
35	6	20	27
40	6	20	29
45	6	20	30

Taula 3.1 Peralt i clotoide en funció del radi de curvatura

Per finalitzar, cal esmentar que tot el que fa referència a les longituds mínimes i màximes de les rectes estipulades en la Norma 3.1-IC són consideracions que no s'escauen en els traçats de carreteres de muntanya.



Imatge 3.4 C-28 al Port de la Bonaigua - © DTES

3.1.4 Traçat en alçat

Pel que fa als paràmetres per al traçat en alçat, hom intentarà ajustar-se estrictament als valors límits fixats per la Norma 3.1-IC. Cal tenir en compte que en el cas de les zones muntanyenques la possibilitat de gel en calçada augmenta, per la qual cosa no resulta aconsellable excedir les inclinacions longitudinals màximes del 10%.

Per últim, cal tenir en compte que en les corbes les inclinacions de l'eix de la carretera s'incrementen en la vora del carril interior. Això també succeeix en els trams de transició de peralt, en la vora exterior del carril on el peralt varia en el mateix sentit que la inclinació longitudinal. En aquests dos casos, s'admetrà un increment de la inclinació longitudinal de la vora de carril fins al 2%, respecte al pendent longitudinal de l'eix.

D'altra banda, es recomana respectar com a màxim pendent combinat (resultant del pendent longitudinal més el peralt) el 10%.

Tenint en compte els anteriors paràgrafs i els sobreamples que s'indiquen més endavant, s'obté la taula de correspondència següent entre les diferents alineacions en planta i les inclinacions longitudinals que admeten:

RADI (m)	INCLINACIÓ (%)
15	5,30
20	6,00
25	6,40
30	6,80
35	7,00
40	7,20
45	7,30

Taula 3.2 Inclinació en funció del radi de curvatura

Finalment, per establir els acords mínims de transició entre dues inclinacions, s'ha considerat una velocitat de disseny de 30 km/h i s'ha tingut en compte la instrucció. Amb aquestes consideracions es recomanen els paràmetres mínims següents:

Kv convexa mínima= 150 m

Kv còncava mínima = 200 m

Tanmateix, en cap cas no s'empraran acords de longituds menors de 20 m.

3.1.5 Coordinació de la planta i alçat

Els criteris de coordinació entre els elements de traçat en planta i els elements de traçat en alçat es basen en aspectes estètics i de visibilitat. En el cas d'una carretera de muntanya, les pèrdues de visibilitat sovint les provoquen les característiques abruptes del terreny, i és responsabilitat del projectista no incrementar-les.

Entre totes les recomanacions que explicita la Norma 3.1-IC, es considera ineludible la que es refereix a evitar la coincidència d'un acord convex en alçat amb canvi de curvatura en planta.

També es considera fonamental respectar la recomanació de no fer coincidir més d'un acord vertical en una mateixa alineació en planta. No cal dir que totes les altres recomanacions que en aquest sentit figuren en l'esmentada norma, són d'aplicació desitjable sempre que sigui possible.

3.1.6 Secció transversal

Per a una velocitat de 40 km/h, la secció transversal mínima que estipula la Norma 3.1-IC consta de dos carrils de 3 m d'amplada i vorals exteriors de 0,50 m.

En una carretera de muntanya, on els desnivells de l'entorn poden ser importants, es fa imprescindible la disposició de berms d'almenys 0,50 m per a la col·locació de barreres. D'altra banda, la sinuositat del traçat i la successió de sobreamples fa recomanable disposar carrils de 3,50 m sempre que sigui possible per evitar transicions d'amplada massa brusques.

Els amplex total de carril, considerant els sobreamples, que cal aplicar a les diferents corbes circulars es detallen en el quadre següent (s'especifica l'ample total del carril en metres):

<i>RADI (m)</i>	<i>INCLINACIÓ (%)</i>
15	5
20	5
25	5
30	4,35
35	4,15
40	4
45	3,90

Taula 3.3 Ample de carril en funció del radi de curvatura

Per a les seccions especials en túnels, viaductes i llits de frenada s'aplicaran les especificacions que figuren en la Norma 3.1-IC.

3.1.7 Ajustos de l'eix de les infraestructures

Finalment, i amb l'objecte de minvar l'ocupació de l'espai per part de la infraestructura, però també per optimitzar altres factors com són la minimització dels moviments de terres o l'aparició de grans talussos, conjuntament amb el que s'ha exposat fins ara, es pot estudiar encara en la fase de definició de la traça l'ajustament de l'eix de la infraestructura (en planta o en alçat).

Segons els casos, es pot dir que:

- En desmunts i trinxeres molt importants es pot alçar la rasant o desplaçar l'eix cap al fons de la vall uns metres per reduir l'afectació.
- En terraplens importants es pot baixar la rasant o desplaçar l'eix cap a la carena uns metres per reduir l'afectació.

La combinació múltiple de tots aquests factors ha de permetre trobar la solució òptima per a cada cas.

3.2 Drenatge

El drenatge ha de garantir l'evacuació de les aigües interceptades per la traça, complint amb les recomanacions de l'Agència Catalana de l'Aigua i la Instrucció 5.2-IC de drenatge superficial, però amb un disseny dels elements (baixants, dissipadors d'energia, cunetes de guarda, etc.) més acurat amb el seu entorn muntanyenc.

S'ha de tenir en compte que les carreteres de muntanya es troben en les capçaleres de les conques, fet que produeix una hidrologia superficial amb cabals elevats pels temps de concentració petits i a velocitats elevades pels forts pendents del terreny.

La combinació d'aquests dos elements provoca un elevat risc d'erosió i el possible arrossegament de pedres de diàmetre mitjà i gran. El disseny dels elements de protecció enfront de l'erosió i l'elecció dels materials haurà de seguir una certa concordança amb els materials escollits en els murs i les estructures.

En tot cas, sempre que sigui possible, tenint en compte els fenòmens d'erosió i sedimentació, els endegaments i els elements de protecció d'avingudes es realitzaran mitjançant materials el més naturals possible, evitant els revestiments, a poder ser amb elements vegetals i amb traçats adaptats al terreny natural.



Imatge 3.5 Endegament situat a l'entrada de l'obra de drenatge - © CICSA

Les obres de drenatge transversal i longitudinal es defineixen per permetre una dinàmica i un flux adequat del sistema hidrològic.

En el primer cas donen la continuïtat a les lleres que resulten interceptades pel traçat i en el segon permeten l'evacuació correcta de les aigües, que cauen sobre la carretera mateixa i els talussos adjacents, fins a les lleres naturals.

Les noves obres de drenatge transversal es projectaran per un període de retorn de 500 anys, tal com indica l'Agència Catalana de l'Aigua segons la publicació *Recomanacions tècniques per al disseny d'infraestructures que interfereixen amb l'espai fluvial*, del juny del 2006. Paral·lelament els càlculs hidrològics i hidràulics s'hauran de fer tal com s'especifiquen en la publicació de l'Agència Catalana de l'Aigua *Recomanacions tècniques per als estudis d'inundabilitat d'àmbit local*, del març del 2003.

Els elements de drenatge longitudinal es projectaran per un període de retorn de 25 anys tal com exigeix la Instrucció 5.2-IC drenatge superficial, del juliol del 1990.

Les obres de drenatge transversal representen un paper fonamental per garantir la permeabilitat transversal de la via per a la fauna. Per això, independentment que s'habilitin passos específics de fauna en els corredors interceptats per la traça, totes les obres de drenatge transversal es dissenyaran per permetre el pas d'invertebrats i de petits mamífers.

Per aquest motiu, es recomana modificar la base de les seccions circulars per tal que aquesta sigui plana per afavorir el pas de la fauna. En lleres d'aigües permanents o freqüents, també caldrà habilitar les bases de l'obra de drenatge, tant si és circular com marc, per afavorir la creació d'una llera "d'aigües baixes". A la vegada es dotarà als pericons i a les estructures de captació de rampes d'escapament per a la fauna, en aquells trams més conflictius.



Imatge 3.6 Obres de drenatge transversal - © DTES

1 - Tub amb dissipador d'energia a la sortida

2 - Maçoneria

Es desaconsella, en general, projectar obres de drenatge transversal amb acer corrugat, atès que augmenten considerablement les dificultats de pas per a la fauna i les tasques de manteniment.

En general, els elements de drenatge longitudinal es dissenyaran adequant-los el millor possible als moviments de la fauna evitant els possibles punts d'atrapada. Des del punt de vista paisatgístic, s'adoptaran mesures que minimitzin l'impacte visual de les cunetes laterals, baixants i canalitzacions, utilitzant revestiments de pedra, escullera amb materials del lloc, formigó imprès o tinta, i qualsevol altra tècnica que possibiliti una integració adequada en el medi.



Imatge 3.7 Elements del drenatge longitudinal:

- 1 - Cuneta TTR-15 a peu de desmunt - © CICA
- 2 - Tub amb dissipador d'energia a la sortida - © DTES
- 3 - Baixant de terraplè - © DTES
- 4 - Cuneta a cap de desmunt - © CICA

3.3 Paviment

El paviment ha de donar resposta a dos grans objectius com són tenir suficient capacitat portant per aguantar el trànsit de vehicles pesants que circularan per la carretera i a la vegada resistir les extremes característiques climatològiques típiques de les zones de muntanya.

Pel dimensionament del ferm per a carreteres de muntanya, igual que en la resta de vies, s'haurà de tenir en compte la normativa següent:

Norma 6.1-IC "Seccions de ferm", del Ministeri de Foment, aprovada per l'Ordre FOM/3460/2003 de 28 de novembre (BOE de 12 de desembre de 2003).

Norma 6.3-IC "Rehabilitació de ferms", del Ministeri de Foment, aprovada per l'Ordre FOM/3459/2003 de 28 de novembre (BOE de 12 de desembre de 2003).

Ordre circular 21/2007. "Sobre l'ús i especificacions que han de complir els lligants i mescles bituminoses que incorporen cautxú procedent de pneumàtics fora d'ús (NFU)".

En aquestes vies la intensitat mitjana diària acostuma a ser relativament petita, però cal ressaltar que el percentatge de vehicles pesants és bastant elevat, per la qual cosa es condiciona la secció de ferm a disposar, segons el catàleg de la Norma 6.1-IC "Seccions de ferm".

Aquestes vies solen tenir corbes i pendents molt pronunciats, amb radis de gir molt petits i solen estar ubicades en zones on les característiques climatològiques són bastant extremes.

És recomanable, per tant, disposar de capes de rodament denses o semidenses, evitant mescles bituminoses drenants o obertes, que encara que milloren la seguretat davant de l'hidroplaneig, en zones amb canvis de gradient tèrmic elevat ocasionen problemes de gel/desgel, ocasionant la congelació de l'aigua que filtra entre els buits de la mescla i provocant que amb la seva congelació la capa de mescla bituminosa fissuri. Paral·lelament les barreges denses o semidenses també són les que donen millor resposta als fundents (sals), imprescindibles per desgelar les carreteres.



Imatge 3.8 Fissures longitudinals en el paviment típic en zones amb risc de gelades - © DTES

Un altre dels problemes d'aquestes vies és garantir l'adherència sòl-pneumàtic, per la qual cosa es recomana projectar l'estesa d'un tractament superficial antilliscant (bauxita) en zones amb possible risc d'accidentalitat, corbes pronunciades, pendents elevats, etc.

La bauxita consisteix en l'aplicació sobre el paviment d'una resina de poliuretà de dos components, a sobre s'hi estén un àrid de bauxita calcinada (acolorida o sense pintar), ja que aquest material té un coeficient de poliment accelerat molt elevat i garanteix sobre el paviment un coeficient de fregament transversal (CRT) molt elevat, aconseguint d'aquesta manera una adherència elevada i reduint la distància de la frenada dels vehicles.

En aquestes vies és possible introduir-hi mescles bituminoses que incorporin cautxú procedent de pneumàtics fora d'ús (NFU), així com fer aportació de materials reciclats procedents del fressat, col·laborant així amb la sostenibilitat ambiental.

Únicament no és recomanable utilitzar el reciclatge *in situ*, ja que en ser zones amb temperatures extremes, no és possible garantir la temperatura de l'estesa de la barreja i es poden originar problemes d'adherència de la capa estesa amb el ferm existent.

3.4 Estabilització i tractament de talussos

A partir de les seccions transversals del traçat, s'estudiarà en cada cas la millor implantació entre projectar talussos en terraplè o desmunt i dissenyar elements de contenció. Dins dels elements de contenció, en cada cas s'avaluaran els pros i els contres des del punt de vista estructural, econòmic, constructiu i ambiental de cada tipologia.

En general, els talussos en terraplè o desmunt són la solució a la secció transversal que minimitza l'impacte ambiental sempre que aquests tinguin un pendent màxim del 3H/2V.

Això es produeix per dos motius: d'una banda, són revegetables fet que ajuda a integrar millor la carretera visualment i, de l'altra, acceleren el procés de construcció per la qual cosa es disminueix el dany ecològic durant les obres. Malgrat això, tenen l'inconvenient que augmenten considerablement l'àmbit d'ocupació del territori i el moviment de terres.



Imatge 3.9 Talussos revegetats en terraplè - © DTES

Tot i així, en les carreteres de muntanya existeixen nombroses seccions transversals on la implantació dels talussos en terraplè o desmunt és inviable per raons ambientals i/o econòmiques, o en les quals és recomanable minimitzar-ne l'ocupació i/o compatibilitzar-los amb el pendent màxim recomanat 3H:2V.

En aquests casos i aquelles seccions en les quals l'alçada del talús sigui superior a 15 m, es poden executar murs al peu dels desmunts i terraplens. Amb aquesta actuació es redueix la superfície d'afectació i alhora s'aconsegueix obtenir un pendent que en permeti una bona restauració.

Els murs a peu de desmunt poden estar constituïts per blocs de pedra d'escullera (mur d'escullera) o per gabions (mur de gabions), i es recomana que tinguin una alçada màxima de 3 a 3,5 m, i la seva execució, si bé s'ha de preveure en la fase de projecte, si es creu convenient en la fase constructiva es poden fer modificacions del projecte per poder executar-los.



Imatge 3.10 Talussos revegetats en desmunt - © DTES



Imatge 3.11 Mur de formigó a la carretera de Molló GIV-5225 (Ripollès) - © CICSA

Els elements de contenció de terres permeten una minimització de la secció transversal, i per tant del moviment de terres, però generen un gran impacte ambiental tant visual com ecològic. Normalment aquests elements de contenció suposen, per a la fauna, una interrupció dels corredors biològics.



Imatge 3.12 Elements de contenció - © CICSA

1 - Mur de formigó ancorat

2 - Mur de formigó revestit de pedra

3 - Mur d'escullera en sec

4 - Mur de terra armada

La decisió de l'adopció de murs a peu de terraplè o de desmunt cal que es valori en la fase d'Estudi d'Impacte Ambiental (EIA). Aquesta valoració s'ha de fer tenint en compte tres paràmetres: l'interès intrínsec de l'entorn ocupat pel terraplè i l'impacte paisatgístic.

Els murs de contenció poden ser de diferents tipologies:

- de formigó armat
- de terra armada
- de gabions
- d'escullera
- de mur verd

En tots els casos cal preveure la integració paisatgística dels murs.

Si s'opta per aplacar el mur amb pedra de l'indret, s'obtenen molt bons resultats d'integració.

Els murs de formigó es poden integrar també mitjançant l'adequació superficial del formigó (color, textura, aplacats, etc.) o mitjançant l'ocultació física del mur amb vegetació. L'oxidació del mur és una altra opció, però tan sols recomanable en entorns paisatgístics de tons ocres i vermellorsos.

Els gabions cal que estiguin reomplerts amb pedres litològicament compatibles amb l'entorn, i, a més, amb materials fins i una mica de terra vegetal, per tal que la vegetació s'hi pugui implantar amb facilitat. És recomanable que, un cop executat el mur, es realitzi una hidrosembra al frontal del mur.

El mur verd cal que tingui una hidrosembra adaptada a les condicions particulars del mur – de sol o d'ombra – i treballs constants de manteniment – regs, resembres, etc. Pel que fa a les esculleres, cal un tractament de restauració que inclogui el reompliment amb terres vegetals dels forats que queden entre els blocs de pedra i la plantació posterior en aquests intersticis.

Per a cada tipus d'elements de contenció, es destaquen en la taula següent aspectes ambientals, tècnics i econòmics relacionats amb l'element considerat i la seva aplicabilitat en el medi muntanyenc.



Imatge 3.13 Mur de gabions a la C-13 - © DTES

Estabilització i tractament de talussos	Talús màxim	Construcció	Cost econòmic	Impacte ambiental	Aplicabilitat
Mur de formigó	90°	Lenta	Mitjà	Elevat	Baixa
Mur de formigó revestit	90°	Lenta	Elevat	Mitjà	Mitjana
Mur d'escullera	70°	Mitja	Baix	Baix	Alta
Mur de terra armada	90°	Lenta	Baix	Elevat	Baixa
Mur verd	70°	Lenta	Elevat	Baix	Mitjana
Mur de gabions	90°	Mitjana	Elevat	Mitjà	Mitjana
Talús revegetable	33°	Ràpida	Baix	Baix	Alta

Taula 3.4 Estabilització i tractament de talussos

En carreteres de muntanya es recomana utilitzar talussos revegetables sempre que sigui possible i posteriorment realitzar les mesures correctores amb les espècies més adients amb el paisatge de l'entorn.

En el cas de les corbes de ferradura és molt probable que tant els desmunts com el terraplens no es puguin realitzar amb talussos revegetables. En aquestes situacions es recomana recórrer a solucions mixtes entre murs verds i murs de pedra seca o gabions pel seu caràcter més flexible i integrable amb l'entorn muntanyenc.



Imatge 3.14 Exemples de murs mixtos - © CICSA - © DTES



Imatge 3.15 Detall de l'estructura - © DTES

Respecte a l'impacte visual dels talussos, es pot reduir aplicant tècniques de bioenginyeria², algunes de les quals es detallen més endavant, que permeten revegetar talussos més verticals a un 3H/2V, però cal estudiar-ne la idoneïtat segons les condicions climatològiques, edafològiques i biològiques. En aquestes tècniques sempre s'haurà de treballar amb espècies autòctones per solucionar problemes i millorar l'estat ecològic dels espais en què s'actua.

Quan la carretera discorre en trinxera i els desmunts són molt desproporcionats, és recomanable implementar un fals túnel. Aquests elements disminueixen l'impacte visual i mantenen les condicions originals de corredor biològic. Un cop acabada l'obra del fals túnel cal fer el rebliment de les terres fins a recuperar el relleu original.



Imatge 3.16 Construcció del fals túnel de la Cavorca a la C-37 - © EGAM

Travessar un muntanya amb túnel és més costós que fer-ho mitjançant trinxeres. Els avantatges, però, no només són ambientals sinó que també són de traçat. Els túnels poden reduir el pendent de la carretera i escurçar notablement la longitud de la traça.

Amb la construcció de túnels, es minva, a més, un dels impactes indirectes més importants de la construcció d'infraestructures en zones de relleu abrupte: la generació d'un gran volum de materials excedentaris provinents de les excavacions.

Tot i que la construcció de túnels i falsos túnels presenta grans avantatges, no està exempta d'impactes que poden arribar a ser importants i que, per tant, cal preveure i corregir en els corresponents projectes constructius i de mesures correctores.

Amb l'objecte d'aconseguir una plena integració de l'estructura, en la construcció de falsos túnels s'ha de tenir present complir una sèrie de condicions:

- el reblert de terres ha de restituir la morfologia original, és a dir, ha de donar continuïtat al relleu natural a banda i banda de la infraestructura
- la longitud del fals túnel ha de ser la que permeti integrar la trinxera en el seu entorn
- l'estructura del fals túnel ha de suportar, quan convingui, càrregues asimètriques, com a conseqüència d'una acumulació de terres superiors a un dels costats del fals túnel.

Com a mesura complementària d'integració paisatgística es pot plantejar també la construcció de falsos túnels a les embocadures de túnels, que consisteix a construir una estructura sobre la qual es puguin posar terres, de manera que la part frontal de l'excavació quedi tapada. Per assegurar la màxima integració amb l'entorn, el fals túnel ha de tenir prou longitud com perquè el reblert de terres arribi a tapar al màxim els desmunts, tant frontals com laterals. Cal tenir present que el pendent màxim de les terres de reblert és 3H:2V.

² Normes tecnològiques de jardineria i paisatgisme del Col·legi Oficial d'Enginyers Tècnics Agrícoles i Perits Agrícoles de Catalunya (COETAPAC)

3.5 Estructures

En els capítols anteriors s'han explicat els criteris que cal adoptar per fer compatible la normativa vigent de traçat, encaminada sobretot a garantir la seguretat dels usuaris de la carretera, i la mínima afectació al medi. Els esmentats criteris constitueixen, per si mateixos, la millor garantia per a una integració correcta de les obres de fàbrica a l'entorn. Resulta evident que les obres de fàbrica i estructures d'una carretera ben encaixada en el terreny no seran importants, i si més no el seu impacte serà al més reduït possible.

D'altra banda, cal esperar que en carreteres de muntanya, en general no sovintegin els enllaços a diferent nivell i que no calgui travessar lleres massa importants. Es pot donar el cas que en un determinat projecte de millora o nova carretera es resolgui sense obres de fàbrica, atès que no es creua cap infraestructura i que les lleres travessades es pugin salvar amb obres de drenatge.

La frontera entre una obra de drenatge i una obra de fàbrica és difusa i cap normativa o recomanació estableix res al respecte. Intentant harmonitzar els criteris hidràulics i els estructurals, i sense cap pretensió d'aportar un caràcter normatiu, en carreteres de muntanya es pot considerar que són obres de drenatge transversal els tubs o marcs fins a 8 m de llum i a partir d'aquesta llum, per a qualsevol tipologia, són obres de fàbrica o estructures.



Imatge 3.17 Estructures en carreteres de muntanya - © CICSA

1 - Obra de drenatge

2 - Obra de fàbrica

En els apartats següents es tractarà d'establir els criteris i les línies d'actuació encaminades a minimitzar els impactes d'una obra de fàbrica o estructura en les carreteres de muntanya.

3.5.1 Consideracions generals

En primer lloc, cal indicar que els condicionants o les recomanacions per al traçat han de prevaler sobre els de les obres de fàbrica. Es considera que l'afectació global que provoca una carretera depèn, bàsicament, del seu traçat, essent l'obra de fàbrica un element, que malgrat que s'hagi de cuidar, no serà decisiu. Lògicament sempre es podran trobar excepcions en les quals l'obra de fàbrica sigui determinant, però en general no serà així.

En segon lloc, cal tenir present que la funcionalitat de l'estructura és irrenunciable, és a dir, si passa sobre o sota un ferrocarril ha de complir les prescripcions fixades amb la companyia administradora de la línia i si passa sobre un riu ha de complir els criteris que l'Administració responsable fixi al respecte.

En tercer lloc, cal tenir en compte que la tendència general, per minimitzar impactes, de projectar obres de fàbrica de grans llums, en el cas de carreteres de muntanya pot resultar contraproduent, ja que pot donar lloc a traçats inadequats, sobretot en alçat, i afectacions al medi d'entitat, durant la seva construcció.



Imatge 3.18 Obres de fàbrica

1 - Viaducte sobre el riu Bonaigua (Pallars Sobirà) - © DTES

2 - Pas sobre el Segre a la C-14 (Alt Urgell) - © DTES

3 - Pas inferior al ferrocarril cap a Darnius (Alt Empordà) - © CICSA

Es recomana, per tant, pensar que quan es tracta d'una carretera de muntanya els criteris s'han de matisar i sobretot s'han d'adaptar a les característiques morfològiques d'aquest entorn tan peculiar. Finalment cal afegir que si el document en redacció ja disposa de la Declaració d'Impacte Ambiental (DIA), com en el cas de la majoria de projectes constructius, cal complir-la.

3.5.2 Plantejament

En el cas que s'hagi d'afrontar el disseny d'una obra de fàbrica en una carretera de muntanya, inicialment s'ha d'intentar que passi desapercebuda, és a dir, que tingui el menor impacte visual possible.

Si això no és possible es planteja el dubte d'anar a buscar un element singular que destaquï i aportï una nova qualitat al paisatge, o, per contra, dissenyar una obra de fàbrica estàndard, que malgrat que no aportï res de nou a l'entorn acabi passant al màxim de desapercebuda i integrada amb el paisatge existent. Aquest dubte no té resposta genèrica i cal plantejar-lo de nou en cada cas. Depèn, d'una banda, de l'entorn de l'estructura i, de l'altra, dels recursos que es poden destinar per a la seva construcció.

En general, en les carreteres de muntanya el més probable és trobar estructures de petites dimensions que no pas els grans viaductes més típics de les zones planes. Aquest fet respon a les característiques morfològiques de la muntanya i a la importància viària de la carretera, que normalment no justifiquen grans estructures ni per motius econòmics ni ambientals. Tot i que de vegades, en una carretera de muntanya es pot donar el cas que s'hagi de superar una línia de ferrocarril, una altra carretera o una llera important per motius hidràulics o ambientals i aleshores calgui projectar obres de fàbrica d'entitat.



Imatge 3.19 Pont de riu Major a la carretera GI-503 de Maçanet a Tapis (Alt Empordà) - © CICSA

3.5.3 Materials

Les obres de fàbrica, en funció dels materials emprats per a la seva construcció, es classifiquen com segueix:

- **De maçoneria**

Actualment quasi ha desaparegut pel seu elevat cost i la manca de mà d'obra especialitzada. Tan sols es projecten alguns murs d'aquest tipus, com s'ha indicat en el capítol corresponent als elements de contenció. Són d'aplicació a voltes de llums petites i estreps d'escassa alçada. Les obres de fàbrica construïdes amb aquests materials proporcionen un aspecte agradable (impacte visual reduït) i queden ben integrades a l'entorn. No obstant no cal oblidar que el subministrament de la pedra obliga al manteniment de pedreres i a un transport important.





Imatge 3.20 (esquerra i superior) Estructures de maçoneria - © DTES

• De formigó en massa

L'àmbit d'utilització és molt semblant al de la maçoneria, però actualment també quasi ha desaparegut perquè no es preveuen en les normatives vigents. Són igualment d'aplicació a voltes de llums petits i estreps d'escassa alçada. En general obliguen a elements poc esvelts, que provoquen impactes visuals importants.

• De formigó armat

Actualment és el material més utilitzat en estructures, principalment per a fonaments i alçats de piles i estreps. Per a taulers de trams rectes la seva utilització queda limitada fins a llums d'uns 15 m. El cost de les obres de fàbrica de formigó armat és òptim dintre del seu camp d'utilització. En alçats permeten elements esvelts, però en taulers la relació llum/cantell és alta. Els impactes que provoquen poden classificar-se com a mitjans.

• De formigó pretensat

Actualment es el material més utilitzat; principalment, per a taulers de trams rectes. El cost dels taulers d'aquest material és òptim dintre del seu camp d'utilització que arriba, competitivament, fins a llums de 100 m. Permet taulers esvelts amb relacions llum/cantell que poden arribar a 30. Els impactes que provoquen poden classificar-se com a baixos.

• Mixtos d'acer i formigó

El seu camp d'aplicació coincideix amb els de formigó pretensat, amb els quals competeixen econòmicament depenent del preu de l'acer. Particularment, no és massa convenient utilitzar-los en les carreteres de muntanya, atès que per minimitzar els efectes de les nevades s'utilitzen sals fundents altament perjudicials per a la conservació de l'acer.

• D'acer

El seu camp d'aplicació són els grans llums, circumstància que no cal esperar en les carreteres de muntanya. A més tenen el problema de les sals, indicat a l'apartat anterior.

A continuació es resumeixen en un quadre els criteris d'aplicació, pel que fa als materials en les carreteres de muntanya:

Material	Llums	Construcció	Cost econòmic	Impacte ambiental	Aplicabilitat
Maçoneria	<10 m	Lenta	Alt	Baix	Alta
Formigó armat	<15 m	Mitjana	Baix	Mitjà	Mitjana
Formigó pretensat	<100 m	Ràpida	Baix	Baix	Alta
Mixta d'acer i formigó	<100 m	Ràpida	Mitjà	Baix	Alta (*)
Acer	>100 m	Ràpida	Elevat	Baix	Mitjana (*)

Taula 3.5 Materials emprats en estructures

(*) No s'ha d'utilitzar en zones amb riscos de nevades

3.5.4 Procés executiu

Les obres de fàbrica, en funció del procés executiu seguit per a la seva construcció, es classifiquen com segueix:

• Obres de fàbrica executades *in situ*

Des de fa uns quaranta anys, data en la qual apareix d'una manera competitiva l'element prefabricat, han anat perdent quota de mercat. En el cost d'aquest tipus d'estructura la mà d'obra té un pes important, i això dóna una incertesa de cost que no agrada al constructor.

Els seus camps d'aplicació són quasi antagònics, d'una banda, les petites obres de fàbrica i, de l'altra, els grans viaductes. Encara que la prefabricació ja resulta molt competitiva en el camp de les petites obres de fàbrica, i fins i tot les obres de drenatge, es continuen executant moltes petites obres de fàbrica *in situ*.

Actualment, es recomana construir ponts integrals (sense juntes ni suports de neoprè) pel seu baix cost de manteniment. Aquest tipus de pont, bàsicament realitzat *in situ*, és obligatori en alguns països dintre del seu camp d'aplicació, que són els ponts de llum inferiors als 80 m i amb poc esviatge.

D'altra banda, els grans viaductes, malgrat que no sovintegen en carreteres de muntanya, cal realitzar-los *in situ*. Al respecte cal dir que, en els darrers anys, els cindris han millorat tècnicament i econòmicament, fet que ha suposat un fort creixement del nombre de viaductes realitzats *in situ*.

En principi, una obra executada *in situ* provoca un impacte, de qualsevol tipus, menor que el d'una obra prefabricada. No obstant això, cal ser prudents en aquesta afirmació, atès que els impactes depenen en gran part de la cura en què s'executa l'estructura.

Cal pensar que, a part de l'impacte visual que depèn de l'encaix i el disseny, els principals impactes ambientals que provoca una obra de fàbrica són deguts a la seva execució.

• Obres de fàbrica amb percentatge significatiu de prefabricació

L'aparició de l'element prefabricat conjuntament amb l'abaratiment del transport, a causa de la millora de les infraestructures i el baix preu dels combustibles, han provocat un desenvolupament molt important de les estructures d'aquest tipus. El gran avantatge d'aquest tipus d'obres és el baix cost i sobretot el seu control.

No hi ha obres totalment prefabricades. Aquesta tècnica s'aplica, preferentment, als taulers de llums inferiors a 50 m i també als alçats de piles i estreps. En els fonaments, ocasionalment es poden utilitzar pilots prefabricats, però quasi sempre s'executen *in situ*.

En principi una obra amb prefabricats provoca més impacte que una executada *in situ*, però, tal com s'ha dit abans, això no es pot dir d'una manera general, atès que els impactes depenen en gran part de la cura en què s'executa l'estructura.

Es resumeixen en el quadre següent els criteris d'aplicació, pel que fa al procés executiu en les carreteres de muntanya:

Procés executiu	Llums	Construcció	Cost econòmic	Impacte ambiental	Aplicabilitat
Executats <i>in situ</i>	<10 m >50 m	Lenta	Mitjà	Baix	Alta
Executats amb percentatge significatiu de prefabricació	>10 m <50 m	Ràpida	Baix	Mitjà	Mitjana

Taula 3.6 Procés executiu de les estructures

3.5.5 Tipologia

Les obres de fàbrica, en funció de la tipologia estructural, es classifiquen com segueix a continuació de més a menys utilitzades en carretera de muntanya:

• Voltes amb reblert de terres

Es tracta de la tipologia més utilitzada fins que l'acer es va incorporar al món de la construcció. Encara s'utilitza per salvar llums fins a uns 15 m, però el seu ús està en un clar retrocés, atès que el cost d'aquest tipus d'estructura és elevat.

• Marc o pòrtics de formigó

Es tracta de la tipologia més utilitzada per a llums de fins a uns 15 m. El motiu pel qual es tria aquesta tipologia és el baix cost, que deriva de la facilitat d'execució i la possibilitat de prefabricació, sobretot amb llums petits.

• Trams rectes birecolzats

Es tracta de la tipologia més utilitzada actualment per a llums inferiors als 50 m. El motiu pel qual es tria aquesta tipologia, també és el baix cost, que deriva de la facilitat per prefabricar els elements de més cost (les bigues) i la rapidesa d'execució.

• Trams rectes continus

Es tracta de la tipologia més utilitzada actualment per a llums entre 50 i 100 m. El motiu pel qual es tria aquesta tipologia és el que proporciona el cost més baix possible, que deriva del gran desenvolupament que han tingut, en els darrers anys, els cindris de tot tipus.

• Grans arcs

Es tracta d'una solució elegant per a determinades situacions geogràfiques. El seu principal camp d'aplicació són els llums entre 50 i 150 m, sempre que la fonamentació sigui senzilla. El cost de les obres d'aquesta tipologia resulta elevat, si bé en determinades situacions resulta competitiu.

• Ponts penjats i atirantats

Cal situar aquestes tipologies en el grup dels ponts singulars. No és provable que en una carretera de muntanya calgui recorre a estructures d'aquest tipus, però en algun cas particular pot resoldre, amb una estètica immillorable i un impacte reduït, una situació difícil per a tipologies més convencionals. El cost d'aquestes estructures és alt i el procés executiu complicat.

Es resumeixen en el quadre següent els criteris d'aplicació, pel que fa a la tipologia estructural en les carreteres de muntanya:

Tipologia estructural	Llums	Construcció	Cost econòmic	Impacte ambiental	Aplicabilitat
Voltes amb reblert de terres	<15 m	Lenta	Mitjà	Baix	Alta
Marc i pòrtics de formigó	<15 m	Ràpida	Baix	Mitjà	Mitjana
Trams rectes birecolzats	<50 m	Ràpida	Baix	Elevat	Baixa
Trams continus	>50 m <100 m	Mitjana	Mitjà	Mitjà	Mitjana
Grans arcs	>100 m <150 m	Lenta	Elevat	Mitjà	Baixa
Ponts atirantats i penjats	>100 m	Mitjana	Elevat	Mitjà	(*)

Taula 3.7 Tipologies estructurals

(*) La seva aplicació en carreteres de muntanya no respon ni a criteris econòmics ni ambientals.

3.5.6 Consideracions finals

Estudiant els quadres anteriors, es dedueix que no es possible establir criteris generals per determinar un determinat tipus de material, procés executiu o tipologia de pont. La millor opció sempre serà la que millor s'adapti al terreny i al traçat, independentment de materials, procés o tipologies.

A l'hora d'encaixar el millor possible aquestes estructures, és imprescindible realitzar els preceptius estudis geotècnics i hidràulics per així poder caracteritzar adequadament el medi físic on s'emplacin. En aquests àmbits, és del tot ineludible realitzar un treball multidisciplinari entre els coneixements estructurals, geotècnics i hidràulics, en el moment d'establir la disposició de piles i estreps.

Encara que ja s'ha dit abans, cal repetir el concepte que no serveix de res projectar una estructura, tot i que estigui ben encaixada en el terreny, que obligui a un traçat inadequat. El traçat ha de prevaler sobre l'estructura, atès que els impactes globals de la infraestructura deriven, bàsicament, de l'encaix geomètric de la carretera i molt poc del disseny de l'estructura.

Amb tot, finalment s'indiquen una sèrie de recomanacions o criteris per a l'elecció d'un determinat tipus d'estructura per a les carreteres de muntanya:

- No condicionar el traçat per l'estructura.
- Cuidar l'estètica.
- Evitar, si és possible, les grans llums.
- Evitar estreps de gran alçada.
- Evitar els treballs a mitja vessant.
- No renunciar a grans estructures, si cal afavorir el traçat.
- Integrar els acabats.
- Utilitzar materials naturals quan sigui possible.

Observant la llista anterior, es dedueix que algunes de les recomanacions són contradictòries. Com a exemple cal evitar les grans llums i projectar estreps de poca alçada. És per això que es vol concloure aquest apartat amb el que ha estat un leitmotiv continuat: No es poden establir criteris generals per a les obres de fàbrica, la lògica ha de prevaler sempre sobre altres consideracions.

3.6 Sistemes de contenció

Els sistemes per a contenció de vehicles són elements lineals de forta presència visual. La seva elecció pot condicionar de forma elevada l'impacte visual de la carretera sobre el medi.



Imatge 3.21 Barreres de protecció

- 1 - Barrera metàl·lica - © DTES
- 2 - Barrera de formigó - © CICSA
- 3 - Barrera de mur de pedra - © DTES
- 4 - Barrera de fusta - © CICSA

A continuació s'adjunta una taula d'aplicació dels diferents sistemes de contenció per a vehicles amb els seus pros i contres. Aquesta taula no pretén ser impositiva, sinó que intenta tenir en compte totes les variables que condicionen l'elecció mateixa, i supeditant sempre la millor implantació segons les característiques de cada cas.

Sistemes de contenció	Adaptació al medi	Facilitat de drenatge	Ocupació de berma	Compliment de la normativa	Cost ambiental	Aplicabilitat
Barrera metàl·lica	<i>Baixa</i>	<i>Alta</i>	<i>0,75 m</i>	<i>Sí</i>	<i>Alt</i>	Baixa
Barrera de formigó prefabricada	<i>Baixa</i>	<i>Alta</i>	<i>0,50 m</i>	<i>Sí</i>	<i>Mitjà</i>	Baixa
Barrera de formigó in situ	<i>Mitjana</i>	<i>Mitjana</i>	<i>0,50 m</i>	<i>Sí</i>	<i>Mitjà</i>	Alta
Barrera de fusta	<i>Alta</i>	<i>Alta</i>	<i>0,50 m</i>	<i>No</i>	<i>Baix</i>	Mitjana
Barrera de mur de pedra	<i>Alta</i>	<i>Baixa</i>	<i>1 m</i>	<i>No</i>	<i>Alt</i>	Baixa

Taula 3.8 Sistemes de contenció

Es recomana evitar totes aquelles solucions que no compleixin amb la normativa vigent o que no estiguin homologades, sobretot per motius de seguretat, però també perquè els posteriors treballs per adequar-les no sempre van d'acord amb la millor integració de la carretera.

Per tant, a partir de la taula anterior, es pot deduir que com a sistema de contenció per a vehicles en carreteres de muntanya, resulta més adient la barrera de formigó *in situ*. Es tracta d'un element segur i homologat que amb un tractament superficial del formigó es pot adequar millor al paisatge de l'entorn.



Imatge 3.22 Barrera de formigó amb tractament superficial - © CICSA

Cal posar de manifest que, concretament en el cas de barreres de fusta, la normativa europea, que possiblement entrarà en vigor en els propers anys, preveu la utilització d'aquestes barreres que hauran d'acreditar una sèrie d'exigències en relació amb el nivell de retenció, intensitat de l'impacte, etc.

Les carreteres de muntanya molt freqüentment són d'ús per a motoristes, per tant, també s'hauran de protegir enfront dels possibles accidents per aquest tipus de vehicles.



Imatge 3.23 Barrera de mur de pedra que s'ha hagut de suplir per una de metàl·lica - © CICSA



Imatge 3.24 Barreres metàl·liques - © CICSA i mixta - © DTES protegides per als motoristes

Més recentment, es poden anar a solucions mixtes entre diferents materials. Tot i que la majoria actualment no estan homologades són solucions més flexibles i que tenen una elevada adaptabilitat amb l'entorn.



*Imatge 3.25
Barreres de
protecció mixta
© CICSA - © DTES*

En tot cas l'elecció del sistema de contenció per a vehicles mai no haurà d'anar en detriment de la seguretat dels usuaris de la carretera.

3.7 Senyalització

La senyalització vertical haurà de complir la Instrucció de carreteres Norma 8.1-IC de “señalització vertical”. Cal tenir en compte que la senyalització vertical és un element força important dins de la carretera perquè aporta informació a l'usuari de l'indret per on circula tant des del punt de vista viari com cultural.

La senyalització horitzontal s'haurà d'adequar a la Instrucció de carreteres Norma 8.2-IC de “marques vials”.

En carreteres de traçat força sinuós la senyalització no podrà adaptar-se a l'estricta compliment de les esmentades normes.



Imatge 3.26 Senyalització vertical i horitzontal en carretera de muntanya - © DTES - © CICSA

Així doncs, en molts casos la senyalització horitzontal constarà d'una línia discontinua i la vertical d'una senyal que indiqui que la línia discontinua únicament indica separació de carrils i que es podrà avançar sempre que es consideri adequat i segur.

Pel que fa als materials a aplicar, existeixen en el mercat pintures per a la senyalització horitzontal de base ecològica que la seva utilització resulta especialment recomanable en medis sensibles com són els de muntanya.

En aquells trams més susceptibles a patir boires i nevades, s'haurà de disposar de balises per indicar la traça de la carretera a seguir.



Imatge 3.27 Abalisament en carreteres de muntanya - © DTES

4. TÈCNIQUES DE BIOENGINYERIA I CARRETERES DE MUNTANYA



4. TÈCNIQUES DE BIOENGINYERIA I CARRETERES DE MUNTANYA

La construcció de noves infraestructures viàries a Catalunya en zones de muntanya representa una de les fonts d'impactes ambientals més important en aquest àmbit. Això és degut, al nostre país, al fet que tenim habitualment una orografia complicada que dificulta molt la construcció d'aquest tipus d'infraestructura; cal tenir en compte que gran part de les pistes forestals transcorren per indrets on el pendent transversal és superior al 40%.

La incidència paisatgística o l'erosió derivada de la construcció o condicionament d'aquest tipus de carreteres afegeixen un grau més d'impacte associat, com l'augment de la inestabilitat dels vessants i del risc d'erosió.

Tenint en compte la important quantitat de terra que es mou al llarg de les obres d'una infraestructura lineal, i que tots els talussos de nova generació han de ser estables, l'objectiu a assolir és la seva ràpida revegetació per evitar l'aparició de processos erosius que comportin la pèrdua de sòl de millor qualitat i esdevenir un risc geològic a llarg termini.

Les tècniques de bioenginyeria en medis tan sensibles com pels que discorren les carreteres de muntanya, es demostren com a especialment útils per assolir els objectius de preservació del sòl i una integració paisatgística satisfactòria de la cicatriu de la infraestructura en el medi. És per aquest motiu que es dedica un apartat específic a exposar-ne les principals, tant per a la restauració de talussos amb inestabilitat superficial i geotècnica, com per a la restauració de les zones fluvials que puguin resultar afectades pel condicionament o construcció d'una nova carretera.

4.1 Tècniques de bioenginyeria per a la restauració de talussos

4.1.1 Talussos amb inestabilitat superficial (de pendent baix a elevat)

1. Jaç protector amb herbàcies de la zona

Es defineix com a coberta qualsevol material orgànic o inorgànic aplicat a la superfície del sòl per protegir les llavors, mantenir més uniformes les temperatures del sòl, reduir l'evapotranspiració, enriquir el sòl o reduir l'erosió en absorbir l'impacte directe de les gotes de pluja.

Una tècnica molt simple i sovint molt eficaç és la utilització d'herba de la zona segada (sobretot en àrees protegides) aplicada sobre la superfície del sòl a protegir. La simple aplicació del jaç protector de la desbrossada en talussos d'igual o menys de 30° és una tècnica molt recomanable. Cal tenir en compte els temps on aquestes espècies presenten llavor i evitar la manipulació excessiva entre tallat i aplicat. Resulta molt interessant utilitzar per a la manipulació recipients tipus Big-bags. La tècnica es pot millorar si hi passem el corró, també es pot utilitzar material extern com la cel·lulosa o palla de cereal. Es tindrà la precaució que durant l'estesa no es formin conglomerats d'herba que dificultin la germinació. Es considera una dosi òptima si queda inclosa en l'interval de 300-500 g/m².

2. Millora del sòl

Són els treballs consistents en la millora de l'estructura edàfica i/o la fertilitat química dels sòls afectats per la creació o modificació de talussos. Aquesta solució accelera el procés de reinserció de l'àrea que ha estat impactada.

La capacitat de retenció d'humitat d'un sòl està condicionat per la seva textura, de manera que per obtenir el valor òptim per a la seva regeneració, es poden realitzar aportaments de terres vegetals franques. En alguns casos la terra a aportar pot ser més sorrenca o argilosa per tal que un cop barrejada amb el sòl present el resultat sigui un sòl franc.

Terra vegetal: és la barreja de sorra, llims, argila i matèria orgànica junt amb els microorganismes corresponents. Aquestes terres hauran de tenir una textura franca, bastant sorrenca i amb un índex de plasticitat menor de 8. El pH haurà de ser de 6,2-7 que és l'òptim per al desenvolupament de bacteris i fongs fertilitzants.

La reposició del sòl, en altres casos, passa per una aplicació adequada d'adobs, incorporació d'esmenes orgàniques, per corregir l'acidesa, o d'altres.....

Adobs orgànics: són productes procedents, o no, de la transformació de la matèria orgànica d'altres éssers vius que poden ser aprofitats i assimilats pels components del regne vegetal. Normalment, aquesta transformació és produïda per l'acció d'una sèrie de microorganismes, la majoria aerobis, que tenen com a missió transformar la matèria orgànica inicial, no assimilable pels vegetals, en un producte final que ja pot ser aprofitat per les plantes i que les ajudarà a millorar les seves condicions de vida.

La matèria orgànica del sòl incrementa l'aportació d'humus, permet millorar la textura i l'estructura del sòl i el fa més fèrtil, ja que augmenta la seva flora microbiana.

Es poden establir diferents categories del producte segons l'origen: de procedència animal (dejeccions, banyes, ossamenta, residus de pesca, etc.), de procedència vegetal (torba, residus de cultius, fulles, etc.) o mixtos (fems, residus sòlids urbans (RSU), mantells i adobs orgànics comercials).

Per naturalesa, tenen com a mínim un 2% de N orgànic; la suma de N, P₂O₅ i K₂O ha de ser ≥ 6%, i la matèria orgànica total ≥ 30%. La seva humitat mínima és del 30%.

Compost: és matèria orgànica que ha estat estabilitzada fins a transformar-se en un producte semblant a les substàncies húmiques del sòl, lliure de patògens i de llavor de males herbes. No atrau insectes o vectors i pot ser manejat i emmagatzemat sense ocasionar molèsties; és beneficiós per al sòl i per al creixement de les plantes.

Adobs organominerals: són productes constituïts per una part important d'un substrat de naturalesa orgànica que es pot enriquir normalment amb N, P, K, microelements, àcids húmics i àcids fúlvics, etc.

Els bons adobs organominerals es caracteritzen perquè els elements que els componen, un cop feta la barreja, pateixen una operació de mòlta, fermentació i homogeneïtzació que dóna com a resultat un producte de característiques homogènies. Tenen com a mínim un 1% de N orgànic. La suma de l'N total, P₂O₅ i K₂O ha de ser superior al 13%.

Adobs minerals: són els productes sense matèria orgànica que s'obtenen com a resultat d'una reacció de síntesi química, o bé procedeixen de l'extracció natural de minerals. Es classifiquen de la manera següent, d'acord amb els tres elements químics principals: nitrogen (N), fòsfor (P) i potassi (K):

- Adobs simples. Contenen un sol element principal en la seva composició; segons l'element que contenen, hi ha adobs nitrogenats, fosfòrics o potàssics.
- Adobs compostos. Estan formats per una barreja d'adobs simples, sense que en la seva composició hi intervingui cap mena d'interacció química.
- Adobs complexos. En la seva composició hi intervé més d'un element químic per mitjà de la combinació o reacció de diferents elements químics. Segons tinguin dos o tres elements, reben el nom de binaris o ternaris.

En els adobs compostos hi ha una simple barreja addicional dels adobs que els originen; en els adobs complexos, per petita que sigui una partícula de l'adob, sempre està formada per les diferents parts, ja que hi estan enllaçades amb unions químiques.

S'han d'utilitzar adobs d'alliberament lent per tal d'evitar els problemes de pèrdues per lixiviació de l'ió NO₃⁻ i per volatilització del NH₃ procedent dels fertilitzants amoníacs o ureics.

Són fertilitzants, generalment nitrogenats o complexos de NPK, que alliberen el nutrient al medi a un ritme lent.

La millora del sòl sempre ha de pretendre englobar tot l'horitzó útil. En aquest sentit desaconsellem fer un acabat final de 10-15 cm de terra vegetal, ja que aquest horitzó condicionarà la vegetació i quan els nutrients d'aquesta capa s'esgotin hi haurà una pèrdua de cobertura vegetal (als dos tres anys). Cal treballar sempre partint del sòl base de la zona.

2.1 Escarificat

L'escarificació consisteix a trencar la superfície del sòl a manera d'esgarrapada, facilitant que hi penetri l'aigua i l'aire.

S'ha de procedir a l'escarificació quan la capa de feltre sigui massa gruixuda i impedeixi la lliure circulació de l'aigua, els nutrients i l'aire.

L'escarificació s'ha de fer preferentment durant el període principal de creixement, i en condicions atmosfèriques favorables a fi que la vegetació afectada, es pugui recuperar.

L'operació d'escarificació s'ha de fer més profundament en el cas que s'hagi d'efectuar una ressebra posterior.

L'escarificat és molt aconsellable en aquelles zones naturals afectades pel pas de maquinària.

L'escarificat ha de seguir sempre les línies altitudinals, d'aquesta manera s'evita ser front de nous problemes erosius al temps que frenem l'escorrentiu.

3. Sembra manual

Es defineix com a sembra el procediment de repoblació que consisteix en la disseminació en el terreny de les llavors de les espècies que s'intenten escampar. A l'apartat 5. Taules resum es proposen les barreges de llavors d'espècies herbàcies idònies a utilitzar per a cada àmbit de muntanya caracteritzat.

Habitualment s'utilitza en talussos suaus on les seves característiques el fan un indret de fàcil implantació de la comunitat herbàcia. També s'utilitza aquesta tècnica quan la superfície a sembrar és molt reduïda o bé quan l'accés amb vehicle no és possible.

Les llavors poden haver estat recol·lectades a la zona d'actuació i tractades per una empresa especialitzada, o bé procedir de cultius controlats pels serveis oficials corresponents. Aquestes han d'haver estat obtingudes segons les disposicions del Reglament tècnic de control i certificació de llavors i plantes farratgeres del 15 de juliol de 1986.

Les llavors utilitzades corresponen a les categories de llavor certificada i/o estàndard i no poden estar contaminades per patògens ni insectes, ni tampoc presentar senyals d'haver patit cap malaltia, ni atacs d'insectes o d'animals rosegadors. Així mateix, les llavors han d'estar netes de materials inerts, de llavors de males herbes i de llavors d'altres plantes cultivades, dintre dels límits establerts pel Reglament tècnic.

4. Cobertura de branques

Es tracta d'un recobriment de la superfície del talús inferior a 35°, mitjançant la plantació de vares que, des del principi, protegeixin de l'erosió causada per l'aigua d'escorrentiu superficial. S'aconsella que les vares siguin procedents d'espècies arbustives autòctones amb elevada capacitat de propagació vegetativa.

Confereix una protecció immediata de l'erosió mecànica i una estabilització en profunditat mitjançant una densa retícula d'arrels, amb vegetació arbustiva duradora.

Aquesta tècnica només es pot realitzar durant el període de parada vegetativa, essent la millor època a finals de tardor.

5. Hidrosembra

La sembra d'espècies preteses ajuda en els primers moments a evitar l'erosió del sòl. No obstant això, el període comprès entre la sembra i la germinació i inici de la creixença de les plantes és especialment crític en una zona restaurada on s'hagi restituit recentment el sòl. Per evitar els perills d'erosió del material edàfic durant aquesta fase, es poden emprar productes estabilitzants, materials orgànics que aplicats en solució aquosa, penetren per la superfície del sòl i redueixen l'erosió per aglomeració física de les partícules.

La hidrosembra és una sembra mecànica en la qual es projecta una barreja de llavors, adobs minerals, fixadors o estabilitzants, coberta i aigua per mitjà d'un equip de pressió anomenat hidrosebradora.



Imatge 4.1 Hidrosembra normal - © EGAM, SL

Tots els elements utilitzats són naturals i absolutament biodegradables de manera que l'actuació no pot comportar mai un impacte ambiental negatiu. Així mateix, les llavors de les espècies a utilitzar en cada sembra seran determinades específicament per l'actuació.

La taula següent mostra els elements de què es compon una hidrosembra:

Producte	Quantitat
Aigua	2,5 - 3 l/m ²
Llavor	30 g/m ²
Fixador	15 - 20 g/m ²
Adob orgànic	90 - 100g/m ²
Adob mineral	35 - 40 g/m ²
Coberta	80 - 100 g/m ²

La hidrosembra és una tècnica de sembra herbàcia recomanable en talussos de grans extensions que presenta alguns avantatges respecte a l'aplicació manual o amb tractor:

- Es pot aplicar a distància en zones de pendent o de difícil accés, així el pas de maquinària no afecta la zona.
- S'aplica la llavor mesclada en un combinat d'agents que li faciliten els nutrients i les condicions microclimàtiques precises per assegurar la seva germinació i creixement.
- La distribució és molt homogènia.
- Les llavors sembrades són combinació de llavors de diferents plantes herbàcies de característiques diferents i adaptades a la zona d'aplicació. En les condicions més favorables, això garanteix un verdeig a la primera setmana i una bona estabilització al llarg del temps.

5.1 Hidrosembra en dues fases

Es tracta del sistema de sembra mitjançant dues llençades amb la hidrosebradora. La primera segons el procediment i materials especificats en el procés d'hidrosembra d'una fase en l'apartat anterior i una segona llençada amb una barreja de cobertura de fibra curta composta per:

- Vint-i-cinc metres cúbics per hectàrea (25 m³/ha) d'aigua, que haurà de tenir les mateixes característiques que per a reg.
- Mil cinc-cents quilograms per hectàrea (1.500 kg/ha) de cobertura del tipus especificat en l'apartat anterior.
- Dos-cents cinquanta quilograms per hectàrea (250 kg/ha) de l'estabilitzador especificat a l'apartat anterior.

És fonamental que les dues llençades siguin successives, una darrera de l'altra, i que es facin el mateix dia. En el cas que es prevegi que el temps disponible per fer les dues fases no sigui el suficient per realitzar-les el mateix dia, s'hauran de posposar totes dues fases per a un altre dia que sí que ho permeti.

6. Hidromanta

En talussos on es requereix una germinació ràpida de la llavor aportada per evitar l'erosió produïda per la pluja i/o el vent, es pot aplicar la hidromanta. Es tracta d'una tècnica de projecció sobre la superfície del terreny de llavor amb una barreja formada per palla, material recuperat de planta de cotó, coles i polímers. Es recomana aquesta barreja enfront d'altres productes amb base de fusta que poden tenir una proporció de carboni a nitrogen (C:N) de més de 300:1, requerint més nitrogen del sòl per descompondre's, i deixant menys d'aquest nutrient disponible per al creixement de la planta.

Les proporcions d'aplicació mínimes de la hidromanta varien en funció del pendent del terreny:

Pendent	Proporció de l'aplicació
> 1H:1V	0,51 kg/m ²
> 2H:1V i < 1H:1V	0,45 kg/m ²
> 3H:1V i < 2H:1V	0,39 kg/m ²
< 3H:1V	0,34 kg/m ²

Aquesta tècnica es caracteritza per poder ser aplicada en una única passada de llavors, additius i producte, no tenir fibres sintètiques i donar un color verd fosc agradable al talús des del moment de la seva aplicació.



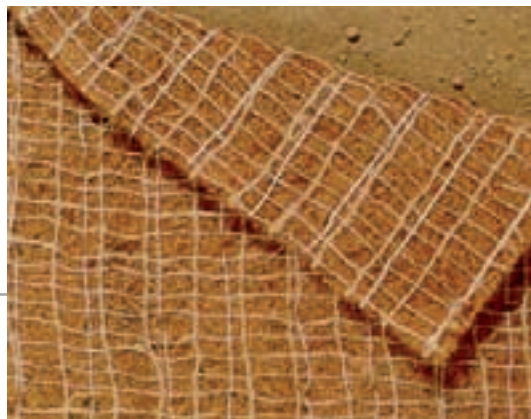
Imatge 4.2 Hidromanta - © EGAM, SL

En talussos fluvials es pot aplicar conjuntament amb una geomalla de comportament hidràulic, accelerant la cobertura vegetal i millorant ràpidament la resistència hidràulica de la geomalla.

7. Manta orgànica

Consisteix en un entramat de fibres de material orgànic com palla, espart o coco estructurades en malles degradables orgàniques (mantes temporals) o en malles semipermanents de polipropilè (mantes semipermanents). Les malles orgàniques hauran de presentar un trenat especial multifilamentat per tal de no desestructurar-se en el cas que la matriu es degradi. Aquestes geofibres serveixen de base a l'estrat orgànic, absorbeixen l'energia cinètica de les partícules erosives (gotes d'aigua, vent,...), augmenten la capacitat de camp o retenció de l'aigua del sòl en disminuir l'evaporació i regulen la temperatura del sòl, ja que redueixen la seva exposició al fred o la calor. El destí de l'estructura és incorporar-se al sòl dotant-lo d'un primer horitzó orgànic. L'aspecte més important de la manta no és el seu gramatge (que pot oscil·lar entre els 125-250 g/m²) sinó que cobreixi eficaçment tota la superfície del terreny amb una capa al màxim de fina possible per garantir els objectius esmentats, però sense impedir l'arribada de la llum indispensable per al creixement de l'herba. La degradabilitat de les matrius oscil·la entre els tres mesos (cas de la palla) i 3 anys (cas de la fibra de coco).

Quan el material s'utilitza per revegetar talussos amb un pendent superior a 4:1 (H:V) no ofereix garanties estructurals, només protegeix el sòl orgànic fins al desenvolupament de la planta. Aplicant aquesta tècnica es podran protegir talussos més verticals o inestables com més elevada sigui la durabilitat del material orgànic i més baixa la seva degradabilitat.



*Imatge 4.3 Detall de manta orgànica
Aquanea, SL*

8. Xarxa orgànica

Es tracta de mantes orgàniques en les quals es guanya capacitat estructural i resistència, però es perd la cobertura homogènia. Es tracta d'un substitut de la manta orgànica en zones amb un nivell d'impacte més elevat, i en talussos amb pendents moderats.

Aquesta tècnica es basa en la consolidació de l'estructura del sòl mitjançant una manta de coco o jute, protegint-lo de l'erosió per arrossegament de l'escorrentiu superficial generat per pluges o per avingudes. Aquesta estructura reté la humitat i facilita el restabliment de la vegetació. Amb una sembra posterior s'afavoreix la colonització herbàcia que amb el pas del temps arribarà a substituir la fibra de coco.



*Imatge 4.4 Detall de la xarxa orgànica
Naturalea Conservació, SL*

La xarxa de coco presenta unes característiques variables segons les marques:

- La mida de la seva llum permet més o menys l'entrada de radiació solar i aigua i dotar al sòl de diferent protecció, fet que condicionarà el creixement inicial.
- El seu pes pot oscil·lar entre els 300 i els 400 g/m².
- Les dimensions dels rotlles també, en general, presenten unes dimensions de 50x2 m.



*Imatge 4.5
Instal·lació de mantes orgàniques
© EGAM, SL*

Anteriorment a la seva instal·lació, es reperfila el talús per tal de suavitzar el pendent o s'eliminen les pedres o restes que dificultin la instal·lació de la xarxa, en el cas que sigui necessari. La xarxa de coco és un material totalment degradable, que es fixa al sòl mitjançant grapes de ferro o estakes biodegradables, la quantitat i disposició espacial depèn de les característiques del terreny i el pendent, tot i que com a norma general, s'instal·len 2 estakes per m². La instal·lació s'efectua a partir de la part superior del talús, mitjançant l'obertura d'una rasa, sempre que sigui possible, que estructurarà l'extrem superior de la xarxa, i a partir d'aquest punt, s'instal·larà en sentit paral·lel a la línia de màxim pendent del talús. Amb l'objectiu de minimitzar els punts d'inici d'un procés erosiu, els extrems de l'àmbit d'actuació han de quedar enterrats mitjançant petites rases i plecs de la xarxa.

9. Plantació d'espècies llenyoses, arbòries i arbustives

La plantació d'espècies arbòries i/o arbustives, generalment persegueix un únic objectiu final, que és donar al sistema una major facilitat o oportunitat per tal que es dugui a terme la progressió de la vegetació cap a etapes més madures i estables. És a dir, s'utilitza en aquells casos en què es vulgui restablir la vegetació potencial dels boscos, per tal que a curt termini i una vegada restablertes les plantes, aconseguixin el seu automanteniment.

Si les condicions climàtiques del primer i segon any no són massa extremes per al desenvolupament de la vegetació, amb la plantació directa i la sembra es pot conferir una bona cobertura vegetal a curt termini.



Imatge 4.6 Plantació d'espècies llenyoses - © DTES

9.1 Criteris d'elecció d'espècies, tipus i edat de les plantes

Les espècies escollides un cop dut a terme l'estudi botànic (a realitzar en la fase projecte), hauran de ser sempre autòctones del bosc climàtic, assegurant així la seva adequada adaptació a l'entorn i el compliment del seu futur paper com a protector del sòl més adequat.

No n'hi ha prou amb el fet que les espècies siguin autòctones, han d'estar adaptades a les condicions ecològiques de cada zona (com a mínim, manteniment dels tàxons associats a cada regió biogeogràfica).

Es prioritzarà la utilització de planta forestal autòctona i jove (dues o tres sàvies) que ofereixen un bon arrelament i per tant un índex menor d'espècies mortes.

Es podrà utilitzar planta amb un port major sempre que es tinguin garanties del seu origen i se li garanteixi un manteniment adequat. La mescla dels dos tipus de planta combina els avantatges d'ambdues i minimitza els riscos propis de cada una: menor possibilitat d'arrelament, major cost i menor garantia d'origen en el cas de la planta gran, i major risc d'atac per la fauna local o vandalisme, així com major vulnerabilitat davant la competència per les espècies herbàcies espontànies, en el cas de la planta jove.

10. Esclaons de fusta

Per evitar l'aparició de processos erosius al llarg de la superfície del talús generats per l'aigua, es poden col·locar troncs transversalment al màxim pendent, superposats en els extrems i subjectats per estakes clavades al davant. En l'esclaó generat es munten perpendicularment estakes que finalment es cobreixen de terra per recuperar el perfil del talús.

11. Feixina de branca seca (sobresortint al terreny)

Es tracta d'un dels sistemes més simples i eficaços per tal de retenir el sòl en talussos amb pendents màxims de 60°, sòls poc cohesionats nus i processos erosius intensos.

La tècnica es basa en la construcció de feixines amb brancatge procedent d'arbres o arbustos no rebrotadors o cremats. Consisteix a clavar unes estakes de fusta a través de les quals s'estructura el material horitzontalment.

Generalment es confecciona una feixina cada 0,5 metres de pendent, paral·lelament a les corbes de nivell i adaptant-se a la morfologia del talús. Per cada feixina, es clava una estaca de fusta cada metre lineal. El diàmetre de la branca ideal és de menys de 7 cm, encara que dependrà de la topologia existent al medi.

Una vegada l'estructura està realitzada, és convenient dur a terme una plantació perquè quan es pot dreixi la fusta, la planta realitzi el treball estructural.



Imatge 4.7 Feixes de branques seques - © Naturalea Conservació, SL

Es tracta d'un sistema senzill que pot realitzar-se amb material procedent de restes de poda. Serveix com a tancament de zones afectades per dreceres.

12. Sistemes de drenatges per al control de l'escorrentiu superficial

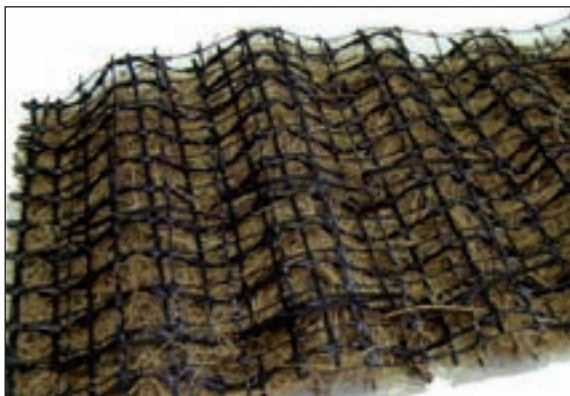
12.1 Geomalles que faciliten el flux d'aigua

Per evitar l'excavació dels drenatges i canals creats per recollir l'aigua d'escorrentiu superficial generada al llarg d'un talús, es poden cobrir amb geomalles vegetables especialment dissenyades per resistir el flux d'aigua.



Imatge 4.8 Geomalles - © Naturalea Conservació, SL

Les geomalles consisteixen en unes matrius orgàniques o sintètiques estructurades en malles de polipropilè per a la protecció superficial del sòl abans que aquest presenti una cobertura vegetal eficaç.



Les matrius orgàniques són substrats de fibra vegetal com la palla o el coco, que afavoreixen l'absorció de la humitat i protegeixen la llavor i el terreny gràcies a la densitat de la matriu. Igualment, el seu grau de degradabilitat oscil·la entre 1 any (en el cas de la palla) i 4 anys (en el cas de la fibra de coco). Algunes geomalles presenten una combinació de palla i coco.

Imatge 4.9 Detall de l'estructura - © Aquanea, SL

Les malles de polipropilè hauran de presentar una resistència a la tracció superior a 110 pascals en el cas d'una única malla, i superior a 150 pascals en el cas de la triple malla. A més, hauran d'estar tractades contra els raigs UV. La durabilitat és de 20 anys garantida, podent augmentar en el cas d'estar protegides contra els raigs UV.

Actualment, existeixen al mercat una gran varietat de geomalles, algunes de les quals només són estructures volumètriques per retenir el sòl. Són especialment interessants les geomalles de nova generació dissenyades per al flux d'aigua, que poden aguantar, en perfectes condicions, velocitats de més de 6 m/s.



Imatge 4.10 Treball d'estesa de geomalles - © Aquanea, SL

12.2 Reompliment de pedres

Amb l'objectiu de drenar l'aigua d'escorrentiu superficial i subsuperficial, i afavorir la seva infiltració en profunditat, es poden construir rases regulars que es reomplen amb pedres que poden provenir del desempedrat de la superfície del mateix talús o de cantera. La mida dels blocs de pedra dependrà de la secció del canal prevista (entre 15 i 30 cm de llarg).



Imatge 4.11 Detall - © Aquanea, SL

12.3 Feixines de branca seca (enrasada al terreny)

Se segueix la mateixa metodologia que per a les feixines sobresortints, però tant el brancatge com les estagues es troben enterrats.

Cal excavar les rases de 30 a 50 cm de profunditat i amplada resseguint la línia de màxim pendent. Es poden fer igualment les rases amb un lleuger biaix per tal de millorar el drenatge de les aigües. L'amplada de les rases haurà d'anar lligada al gruix de les feixines i la profunditat haurà de poder garantir que almenys 1/3 sobresurti del terreny natural.

Les estagues es claven a una distància de separació entre 150-200 cm. A aquestes estagues o piquetes s'hi han d'intercalar altres estagues més curtes a intervals de 30 cm aproximadament. També es poden col·locar les estagues cada 50 cm sense intercalar-n'hi d'altres.

Les feixines es fan mitjançant la preparació de feixos amb 3-8 branques relligades amb filferro que queden subjectats per les estagues.

Amb la terra extreta durant l'obertura de les rases es recobreixen les feixines, compactant-la lleugerament per tal d'evitar que quedin bosses d'aire.

La disposició de les feixines sobre el terreny ha de respectar una distància mínima entre 120-200 cm.

13. Geomalles que faciliten el flux d'aigua

Per protegir talussos amb pendents inferiors a 70°, es pot utilitzar les mateixes geomalles descrites per a la construcció de drenatges (apartat 12.1).

Aquestes mantes, pensades per anar vegetades amb herbàcies, també poden suportar arbres i arbustos sense perdre estructura.

La instal·lació a talussos amb pendents moderats es realitzarà a partir de la part superior del talús mitjançant l'obertura d'una rasa de 30 cm d'amplada i 25 cm de profunditat, en la qual es fixarà la geomalla amb un plec i amb grapes cada 0,50 m. Els solapaments de cada rotlle de geomalla es realitzaran sobreposant-se entre 15 i 20 cm. La part inferior de la geomalla quedarà fixada per mitjà d'una altra rasa de proporcions i procediment similar a la part superior.



Imatge 4.12 Evolució dels talussos tractats amb geomalles - © Naturalea Conservació, SL

14. Krismer

Aquest sistema d'estabilització i revegetació de talussos es basa en l'ancoratge sobre la superfície inestable d'una malla tridimensional volumètrica d'acer galvanitzat. Aquesta malla és estructural, actua fixant el talús i a més a més permet la seva revegetació.

Aquest sistema pot aplicar-se en talussos de pendent superior a 45°.

La malla es col·loca sobre la superfície del talús en disposició diagonal a aquest, de manera que la línia de la malla travessi la línia vertical del talús a un angle comprès entre 40 i 50°, i s'ancori al talús mitjançant perns d'ancoratge.

Un cop col·locada i ancorada la malla, es reomple amb grava primerament i després amb terra vegetal. Finalment es projecta una hidrosembra per revegetar el talús.



Imatge 4.13 Krismer - © EGAM, SL

4.1.2 Talussos amb inestabilitat geotècnica (de pendent baix a elevat)

1. Feixina de branca viva (enrasada al terreny)

Obra longitudinal per a l'estabilització immediata del sòl i la revegetació del talús mitjançant la col·locació de feixines vives, realitzades a partir d'espècies amb capacitat de reproducció vegetativa.



Imatge 4.14 Implantació de feixines enrasades al terreny - © Naturalea Conservació, SL

La utilització del material viu s'ha de realitzar en el període parada vegetativa. Necessita manteniment amb podes periòdiques.

2. Rotlle estructurat de fibra vegetal

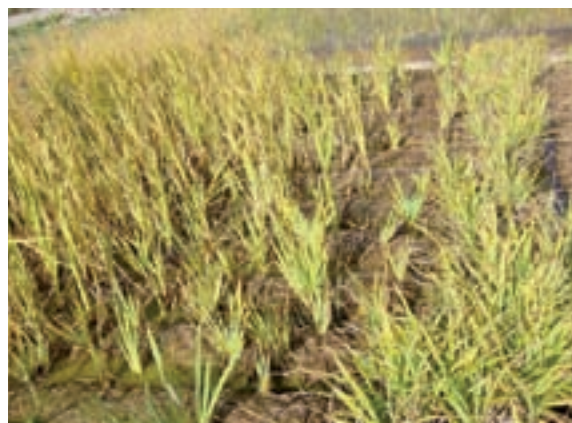
Consisteix en un cilindre de 30 cm de diàmetre de fibra de coco premsada subjectada per una malla generalment no biodegradable. Aquest material d'estructura homogènia, presenta un grau de premsat avaluat per tal que hi hagi equilibri entre la degradació de la fibra i l'ocupació d'aquests espais per a les arrels de les plantes.

D'aquesta manera aquest material no perd l'estructura al llarg del temps tot i estar absolutament curulla de vegetació. Per tal d'accelerar al màxim el procés i permetre una resistència a l'assecat, així com altres variables ambientals generalment es prevegen al viver.

El futur dels rotlles estructurats, a partir dels 5 anys, ha de ser el de biodegradar-se, essent l'estructura vegetal que s'originarà la que mantindrà la funcionalitat.

- Diàmetre habitual de 0,30 m i fins a 1 m
- Longitud de 3 o 6 m
- Pes del rotlle en sec

Diàmetre(m)	0,30	0,40	0,50	0,60
Pes (kg/m lineal)	10,9	19,5	30	39,5



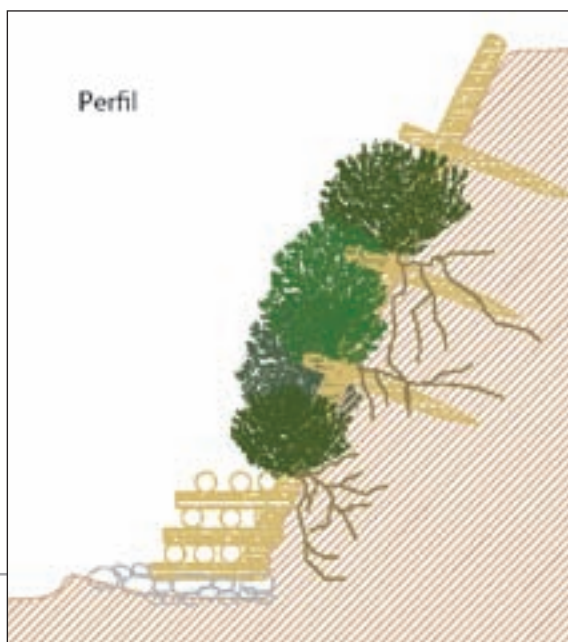
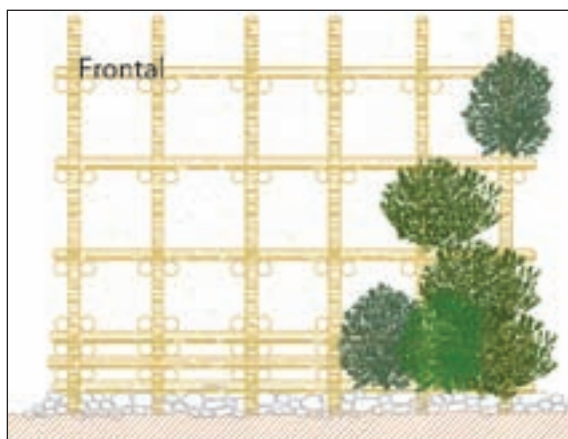
Imatge 4.15 Detall de biorotlles - © Aquanea, SL

3. Enreixat viu

Obra utilitzada en l'estabilització de talussos de terreny compactat amb elevat pendent, i per a l'estabilització de talussos amb fenòmens d'erosió superficial on, per la seva elevada inclinació (pendents superiors als 45-50°), no és possible aplicar-hi altres tècniques. Amb aquesta tècnica, l'estabilitat del talús va augmentant a mesura que la vegetació va arrelant. Les espècies vegetals també poden realitzar una acció drenant a causa de l'absorció de l'aigua necessària per al seu desenvolupament.

Es realitza amb troncs disposats perpendicularment entre si i mitjançant la col·locació d'estaques vives o plantes arrelades.

Es pot utilitzar en talussos amb superfícies reduïdes on només són possibles petits reperifats, o sobre talussos molt escarpats de carreteres o línies ferroviàries.



*Imatge 4.16 Detalls de l'enreixat viu
© Naturalea Conservació, SL*

S'ha de dur a terme la seva instal·lació durant el període de parada vegetativa. D'altra banda, les llavors es poden sembrar durant el període vegetatiu.



Imatge 4.17
© Naturalea Conservació, SL

4. Entramats

4.1 Entramat viu

Estructura de fusta constituïda per un entramat de troncs que forma una cambra frontal en la qual s'insereixen les feixines.

Frontalment es col·loca un pla vertical sobre el qual es claven els troncs horitzontals i transversals. L'obra, adossada al peu del talús, es completa amb el reompliment de terra i pedra a la part baixa.

4.2 Roma

Obra d'estabilització al peu de talussos inestables realitzats amb troncs de fusta. Abans de reomplir-lo amb terra, s'insereix una xarxa metàl·lica plastificada o un geotèxtil per repartir la càrrega. Durant el procés de reompliment, s'insereixen estagues d'espècies amb capacitat d'emissió d'arrels adventícies i plantes arrelades.



Imatge 4.18 Entramat - © Naturalea Conservació, SL

4.3 Krainer

Mur de gravetat format per una estructura cel·lular de tronc de fusta distribuïts en dues parets, combinat amb la inserció de plantes vives. El deteriorament de la fusta (en algunes desenes d'anys) pressuposa que els paràmetres d'estabilitat del mur es basen en un paràmetre extern assimilable a un pendent ben vegetat i a un terreny amb bones característiques per al desenvolupament de la vegetació. Amb un bon manteniment (poda periòdica de les plantes) es pot obtenir una acceptable estabilitat per a pendents de l'ordre de 60°.



Imatge 4.19 Detall d'un Krainer - © EGAM,SL

Existeix la variant a una paret, però en aquest cas és preferible en situacions d'espai limitat o quan es prioritza la funció de revestiment respecte a la funció d'estabilitat. Es tracta del mateix entramat que en la modalitat a dues parets, però sense la col·locació del tronc longitudinal situat dins l'estructura.

5. Geocel·les

Manta tridimensional cel·lular que exerceix una alta protecció antierosiva en talussos amb sòl escàs o grava solta.

Es tracta d'una manta de material tèxtil o plàstic tridimensional disposat en forma d'al·vèols. La mida i la longitud de les cel·les de confinament varia en funció el terreny, les necessitats i el tipus de material de reompliment.



Imatge 4.20 Detall de geocel·les - © Aquanea, SL

Una vegada instal·lada, té una llarga duració si es manté enterrada, degut a que el mateix sòl la protegeix de la degradació.

Aspectes que cal tenir presents

- Abans de col·locar les geocel·les, i degut a la falta d'adaptació a les ondulacions del terreny, és necessària la preparació del sòl, deixant la superfície llisa, sense traces d'erosió ni vegetació. En el cas d'un terraplè, aquest serà degudament comprimit i estabilitzat.
- Cal estendre la manta per sobre el talús a protegir, i clavar agulles lateralment per tal de fixar-la. A continuació cal omplir les cel·les amb el material adequat, intentant que totes les cel·les siguin homogènies. Per acabar d'omplir les cel·les, és necessari utilitzar terra vegetal. Les capes més externes de l'obra seran ancorades fortament.
- Per acabar es pot efectuar una hidrosembra.
- Per tal d'obtenir cel·les rígides és necessari utilitzar estructures metàl·liques i així mantenir una mateixa forma.
- Quan es consideri oportú, es poden fixar les geocel·les al terreny mitjançant un mètode de fixació amb clavilles de ferro. En el cas de terrenys cohesionats i pedregosos s'utilitzaran clavilles metàl·liques de 6 a 8 mm de diàmetre; mentre que en cas de terrenys poc cohesionats s'empraran estakes de fusta entre 30 i 50 cm de llarg.

- És necessari adaptar les geocel·les a la naturalesa del substrat i a la geomorfologia de la zona. En aquest sentit, és important executar prèviament una anàlisi exhaustiva del terreny per evitar possibles errors posteriors.



Imatge 4.21 Treballs d'estabilització de talussos amb geocel·les - © EGAM,SL

6. Trenat viu

Es tracta d'una tècnica estabilitzadora lineal sobre el marge del riu i formada per un trenat de branques fixades al terreny mitjançant vares de fusta o acer, i posteriorment reomplertes de terra. La tècnica permet una ràpida retenció del material superficial del pendent i l'estabilització d'aquest en trenar-se en diverses capes. Per altra banda, el peu de la ribera també es protegeix d'erosions i possibles esllavissades.

La disposició dels trenats de brancatge pot ser en files horitzontals o creuades entre si de manera que formin rombes o quadrats. Amb la finalitat d'obtenir una major eficàcia, és necessari realitzar la tècnica amb material viu que tingui capacitat d'emetre arrels adventícies.

7. Gabió flexible

Gabio flexible vegetal reomplert de grava, estructurat dins una xarxa de polipropilè d'alta densitat de 5 cm de malla i corda de polipropilè de 4,5 mm Ø, teixida sense nusos i resistent als UVA. Les pedres del reblert del gabio han de ser de mida 7-15 cm.



Dimensions i pes:

- Diàmetre, habitual de 0,40 m
- Longitud habitual de 2 m
- Pes del gabio 175 kg/m l
- Xarxa tubular de 5 cm de malla, teixida sense nusos i 2.500 N de resistència al trencament. Corda de polipropilè de 4,5 mm Ø, teixida sense nusos i resistent als UVA.

Imatge 4.22 Gabions flexibles - © Naturalea Conservació, SL

8. Mur de pedra en sec

La construcció de murs de contenció en pedra vista collada parteix de la idea de les estructures amb pedra seca. Es tracta de fet d'un mur de pedra seca reforçada amb morter per a zones amb una alta freqüentació o on cal garantir uns mínims de resistència. Aquests tipus de murs de contenció tenen una eficàcia immediata si es construeixen ben adaptats a l'ambient de la zona:

- Els fonaments han de ser suficientment profunds per no patir els efectes del gel.
- Cal garantir el funcionament dels drenatges per evacuar l'aigua d'escorrentiu subsuperficial.

Es pot seleccionar pedra de la zona però, exceptuant reconstruccions o similars, la pedra es porta de l'exterior per evitar impactes derivats de la seva recollida. Els blocs de pedra seran de la mateixa naturalesa litològica que el substrat de la zona.



Imatge 4.23 Murs de pedra en sec - © Naturalea Conservació, SL

9. Mur verd

9.1 Gabió de malla electrosoldada

Caixes normalment paral·lelepípedes de filferro galvanitzat amb un recobriment opcional de PVC per a una major protecció. Plens amb pedres, consoliden els marges longitudinalment i són capaços de resistir per gravetat. S'utilitzen quan el corrent d'aigua és molt fort i les pedres soles, sense subjecció, no ofereixen una protecció suficient. Són flexibles i per tant tenen una bona adaptació al terreny. Són elements permeables.



Imatge 4.24 Detalls de gabions de malla electrosoldada - © Aquanea, SL

Per augmentar la seva estabilitat, es recomana la intercalació de filtres de material granular o geotèxtils entre el mantell de protecció i el terreny natural.

A major nombre de divisions o cel·les que presenti el gabió, serà més fàcil d'omplir i el resultat serà més acurat i net. D'aquesta manera, els gabions podran ser utilitzats com a elements de millora paisatgística.

9.2 Escullera revegetada

Entatxat d'escullera d'estaques llenyoses no ramificades de dos o més anys, d'espècies arbustives autòctones, amb capacitat de reproducció vegetativa de 2-5 cm de diàmetre i 2,5-3 m de llargada col·locades als espais dels cantells de l'escullera i reblerts amb terra vegetal de l'obra per tal d'aconseguir la colonització de les comunitats arbustives.

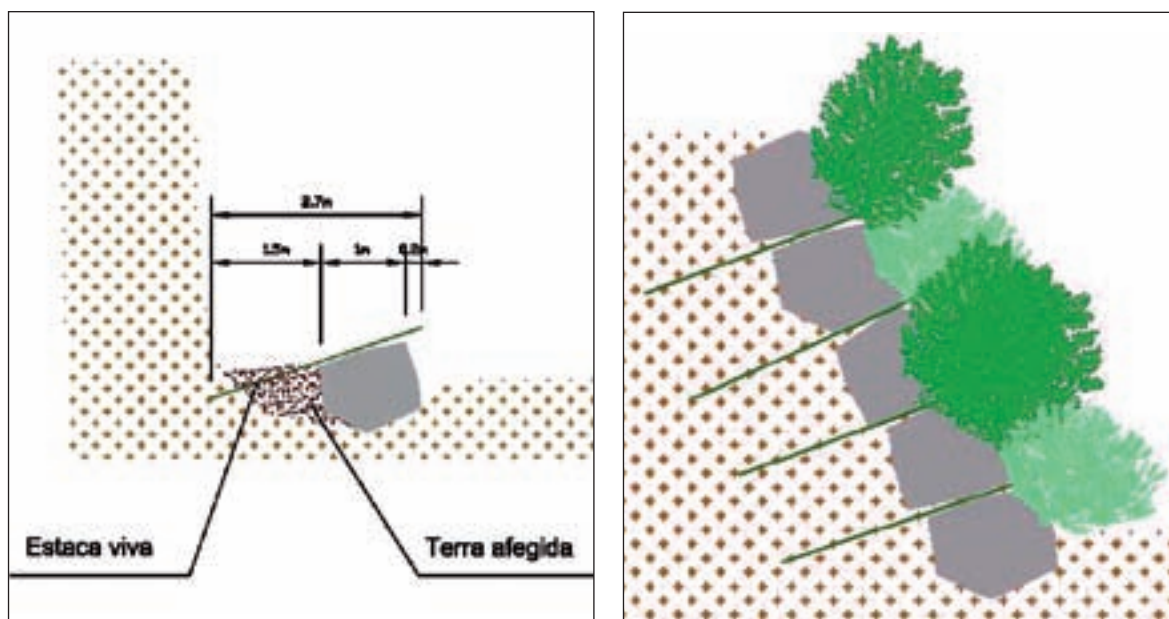
Les estaques només haurien de presentar fulla en el seu extrem (20 cm) la resta ha d'estar tallat amb tisores, no arrencat, deixant un sol tronc principal.

Per emmagatzemar-les a l'obra cal que estiguin en un recipient amb aigua amb una lleu proporció d'adob líquid (la meitat de la dosi recomanada per a reg normal) i preparades tal com s'indica en el punt anterior. Millor no retenir la planta més de 5 dies.



*Imatge 4.25 Detall d'escullera revegetada
© Naturalea Conservació, SL*

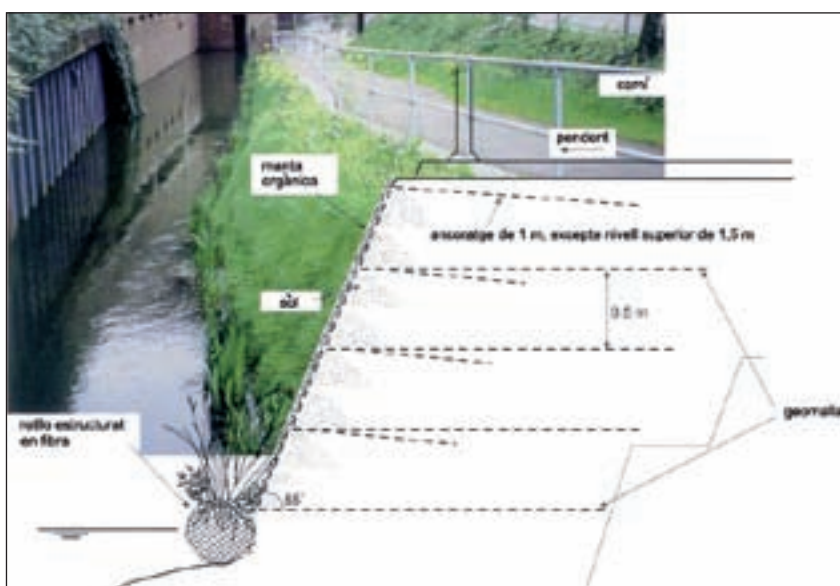
També es poden enterrar amb sorra o terra humida i a l'ombra si el període no ha de ser llarg i en refrigeradors i en sacs de plàstic si el període ha de ser prolongat.



Imatge 4.26 Esquemes de la col·locació de les estaques - © Naturalea Conservació, SL

9.3 Murs de terra armada

Les terres reforçades són murs de gravetat per a l'estabilització de talussos i riberes inestables i la construcció de murs. Aquests tipus d'obres tenen la virtut de ser deformables i suficientment permeables. Es basen en el principi de reforç horitzontal de terra (obtinguda de diverses maneres) i combinen els materials de reforç amb paràmetres externs que permeten el creixement de la vegetació. Aquests tipus de murs es poden descriure com a murs plens de terra que acaben amb una cobertura vegetal. Estan formats per diverses parts, armats i units amb una geotèxtil o malla, amb la qual cosa s'augmenta la resistència del conjunt.



Imatge 4.27 Detalls executius d'un mur de terra armada - © Aquanea, SL

9.4 Sacs de terra reforçats

Els murs verds tipus Deltalok són un sistema de bioenginyeria aplicable tant en obres d'enginyeria civil com en obres paisatgístiques i de jardineria.

És un sistema de construcció de murs verds que utilitza sacs col·locats al portell i comunicats amb un connector. Val a dir que es tracta d'uns sacs amb material vegetal sense incidència negativa en el medi ambient.



Imatge 4.28 Sacs de terra reforçats - © Aquanea, SL

La tècnica s'utilitza aplicant sacs, però amb un connector entre ells pot augmentar considerablement la seva resistència. Les unitats de connector tipus Deltalok estàndards i especials estan fabricades amb polipropilè d'alta qualitat.

Aquestes unitats són resistents a danys abans, durant i després de la construcció en tot tipus de clima. A més, poden reciclar-se i reutilitzar-se.

Les unitats s'utilitzen per interconnectar sacs amb l'objectiu d'incrementar la força mateixa de l'estructura, permetent la creació de murs de terra alts, amb fort pendent i respectuosos amb el medi ambient.

Creació de murs atractius de terra amb vegetació, per a tota una varietat de propòsits que inclouen murs mediambientals, control de l'erosió, pendents de retenció de la vegetació, estabilització de marges de corrent i murs de contenció.

És un sistema car, ja que implica mà d'obra, però útil en certes ocasions ja que no requereix grans moviments de terra i té una gran capacitat d'adaptació orogràfica.



Imatge 4.29 - © Naturalea Conservació, SL

Es tracta d'una tècnica molt utilitzada com a revestiment de talussos verticals inestables.

10. T-Verd®

És un sistema d'estabilització de talussos dissenyat i patentat per ACYCSA, que es basa en el recolzament sobre una superfície inestable, d'una estructura d'acer que exerceix una resistència als possibles moviments de massa de terra. L'estructura està composta per una malla electrosoldada, ancorada, amb unes viseres (jardineres) destinades a la contenció de terra, per a la seva posterior plantació. Aquesta terra exerceix una força addicional a l'estructura, de tal manera que la força final de l'estructura correspon a la força del pes mateix de la terra, més l'aportada pels sistemes d'ancoratge.

Aquest sistema ofereix una solució per a aquells talussos amb problemes d'estabilització, integració paisatgística i restauració ecològica que presenten un pendent elevat. D'una banda, la superfície del talús es reforça amb l'estructura ancorada al terreny i, de l'altra, la forma de l'estructura possibilita la col·locació de terra o substrat garantint l'estabilitat per pes i la revegetació (plantació, sembra, etc). Amb el temps, les arrels de les espècies vegetals implantades en el talús de terra es van introduint en el material de la base estabilitzada, portant a terme una estabilització natural del terreny.

És possible la col·locació de drenatges i regs a l'estructura, en el cas de plantacions amb exigències hídriques més altes.



Imatge 4.30 T- Verd a la C-16 - © EGAM, SL

4.2 Tècniques de bioenginyeria per a la restauració de cursos fluvials

Per a la restauració de les zones fluvials, sempre que el seu cabal, règim i pendent ho permetin, es recomana la implantació de tècniques de bioenginyeria per l'alta capacitat d'integració paisatgística que presenten. Entre aquestes:

1. Endegament de rieres

Algunes infraestructures viàries intercepten cursos d'aigua temporals o permanents, hi discorren paral·lelament, o generen una modificació del seu curs. En tots aquests casos, cal protegir tant la infraestructura com la riera mateixa de possibles avingudes o descalçaments, i una solució força habitual és fixar els marges i el llit de la riera amb pedra d'escullera.

Per a l'execució de l'escullera, s'ha de cimentar en profunditat per evitar que la força de l'aigua la descalci, i s'ha d'evitar l'artificialització de l'escullera. Per fer-ho s'han de posar els blocs de pedra de forma irregular.



Imatge 4.31 Endegament d'una riera - © EGAM, SL

2. Escullera viva (verda)

Es parla d'escullera viva quan entre els blocs de pedra es col·loquen plantes d'una saba (a arrel nua o en contenidor forestal) o esqueixos (en el cas de rius amb aigua constant o zones amb climes plujosos) d'espècies de ribera amb forta capacitat de reproducció vegetativa que, quan arrelen, permeten una estabilització suplementària del terreny.

Aquesta tècnica s'utilitza tant per donar estabilitat a l'escullera com per reduir-ne l'impacte visual. En aquest darrer cas s'aplica com a tècnica d'estabilització a riberes de cursos fluvials amb un alt transport de sòlids i elevada velocitat del corrent d'aigua, com a mesura de protecció de les riberes davant l'erosió, per reduir el risc de desbordament i per reforçar el peu de talussos reperfilats.

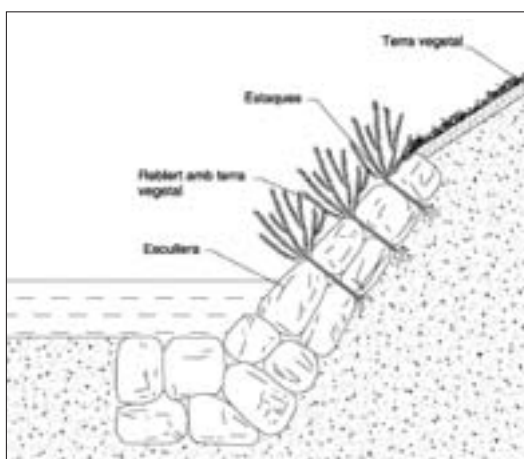
L'escullera ha de realitzar-se preferiblement utilitzant material viu i litològic disponible *in situ* o de procedència local.

El parament frontal no ha de tenir un pendent superior de 42°, preferiblement ha de situar-se entre 2H:1V i 1,5H:1V.

Les estaqués vives s'han de col·locar entre els elements estructurals de l'escullera. La quantitat va en funció de la dimensió de les pedres utilitzades: més quantitat d'estaqués com més petites siguin les pedres (orientativament 2-10 estaqués/m²). Els esqueixos han de travessar l'estructura de manera que toquin el terreny de l'extradós i han d'emergir de l'escullera un màxim d'1/5 de la seva longitud.

Per assegurar un èxit més gran de l'actuació, la inserció d'esqueixos s'ha de realitzar durant la fase de construcció i, preferiblement, durant el període de parada vegetativa. En esculleres existents o quan és impossible fer l'obra durant el període adequat, es poden col·locar estaqués vives a posteriori en els buits de l'escullera.

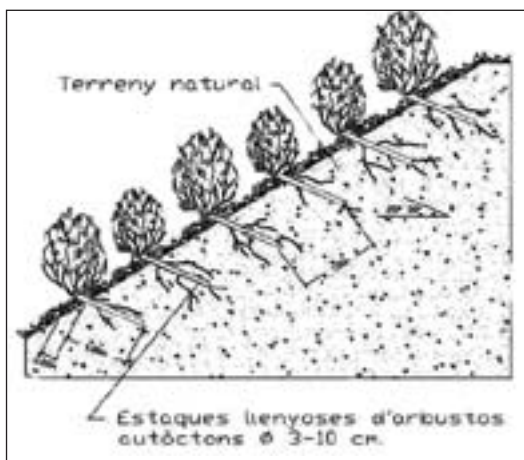
En la fase de construcció de l'escullera s'ha de cimentar en profunditat per tal d'evitar que la força de l'aigua pugui descalçar-la, i s'ha d'evitar la col·locació excessivament regular de les pedres per evitar un aspecte artificialitzat.



Imatge 4.32 Escullera viva - © EGAM, SL

3. Estaqués vives

Aquesta tècnica d'estabilització de talussos consisteix en la implantació de trossos de branques vives d'espècies llenyoses amb capacitat de propagació vegetativa a les quals se'ls han eliminat les ramificacions secundàries, de 3-10 cm de diàmetre i de 50 a 100 cm de longitud i que, eventualment, poden subministrar-se arrelades, utilitzant un marc de plantació triangular o com a complement a d'altres tècniques de bioenginyeria. L'objectiu és aconseguir que les estaqués arrelin i es desenvolupin en una planta completa.



Imatge 4.33 Detall d'estaqués vives - © EGAM, SL

Aquesta tècnica es pot aplicar en riberes fluvials amb inclinació limitada; interstícis i escletxes d'esculls, murs i gabions, com a piquetes vives per a la col·locació de malles, estores, feixines vives i palla trenada. Se n'exclouen els àmbits fluvials de règim torrencial amb corrents i transport sòlid particularment elevat.

La plantació s'ha d'efectuar en els períodes de parada vegetativa amb exclusió dels períodes de sequera estival o gelades.

La disposició de les estakes ha de ser a l'atzar, tant per motius estètics com funcionals.

Per facilitar la inserció al sòl, l'extrem basal ha de ser tallat en angle recte.

S'aconsella no plantar per sota del nivell mitjà del cabal del curs d'aigua, ja que els salzes no suporten estar submergits períodes llargs de 6-7 setmanes.

4. Feixines vives

Aquesta és una tècnica d'estabilització de talussos longitudinal que consisteix en la implantació de manats de branques vives tallades i lligades amb filferro, corda o tires vegetals, formant una estructura cilíndrica de longitud variable (feixines). Aquestes feixines es disposen en el límit del nivell freàtic perquè les arrels es desenvolupin a la part seca, però properes a l'aigua.

Aquesta és una tècnica apropiada per a l'estabilització de la vora de les riberes, per a l'establiment d'àrees de vegetació d'helòfits, per aturar focus d'erosió lateral a les riberes (sempre que es protegeixin per sota perquè no siguin soscavades per rentatge del substrat inferior), per estabilitzar talussos amb pendents màxims de 30° - 35°, per protegir contra els lliscaments superficials (30-60 cm de profunditat), per a drenatges excessivament humits, i finalment per a la reducció d'un pendent llarg a una sèrie de pendents curts.



Imatge 4.34 Detall de feixines vives - © EGAM, SL

D'altra banda, també es poden aplicar de forma horitzontal al llarg de la ribera per estabilitzar el talús en zones superiors.

Les feixines vives s'han de realitzar amb espècies amb capacitat de reproducció vegetativa, s'han de preparar immediatament abans de la plantació, i cal que es realitzin durant el període de parada vegetativa.

S'han d'implantar en terrasses superficials, seguint les corbes de nivell en el cas de pendents secs, i formant angle en pendents humits per afavorir el drenatge i reduir l'erosió superficial. L'aplicació es limita a cursos d'aigua amb velocitats de corrent inferior a 3 m/s i amb petites oscil·lacions de nivell mitjà de l'aigua.

Durant el període vegetatiu la feixina s'ha de trobar parcialment fora de l'aigua. Segons el règim del riu s'han d'emprar materials verds vius de resistència diferent a la sequera temporal.

Aquesta actuació ofereix una estabilització immediata de la ribera, ja que des del moment d'implantar-se la feixina, s'evita que continuï l'erosió lateral al curs fluvial, sense haver d'esperar que la vegetació viva incorporada arrel·li i rebroti. A mesura que les plantes s'arrel·len, l'efecte d'estabilització s'amplifica.

D'altra banda, la feixina ofereix un microclima apte per al desenvolupament i l'establiment de plantes.

La realització de les feixines implica un estrenyiment de la llera, per tant, s'ha de preveure l'espai necessari per permetre el flux regular de les aigües.

En cursos fluvials de poca importància, aquesta tècnica pot produir un efecte no desitjat pel fort desenvolupament dels salzes, creant un cinturó ampli de vegetació forestal. Si es vol evitar això, cal optar per altres materials vegetals, com ara la vegetació d'helòfits.

5. Biorotlles

Els biorotlles són unes estructures cilíndriques construïdes amb un suport de fibres vegetals plenes de terra i fibra, que s'utilitzen per afavorir la implantació d'espècies pròpies del medi de ribera, mitjançant plantació prèvia o vegetat *in situ*, les quals es mantenen un cop s'ha degradat el rotlle.

Aquestes estructures ofereixen una protecció immediata de la superfície i creen un llit porós adequat, quan no existeix suficient gruix de sòl, que permet l'establiment d'espècies vegetals, ja que el rotlle augmenta el grau de resistència i supervivència de les plantes en els primers estadis d'adaptació.

Aquesta tècnica, doncs, s'utilitza en aquelles superfícies sotmeses a l'erosió superficial i amb falta de cobertura vegetal, per donar un suport estructural per a la consolidació dels marges fluvials i per a la



Imatge 4.35 Detall de la implantació de biorotlles - © EGAM, SL

seva revegetació; per controlar l'erosió a les riberes, facilitant la revegetació de zones on l'arrossegament produït per l'aigua sol impedir l'establiment de vegetació, i en superfícies on no existeix suficient gruix del sòl i es vol aconseguir revegetació. Aquest dispositiu ofereix també la possibilitat de formar bioilles, les quals augmenten la superfície disponible per al desenvolupament de la fauna aquàtica.

És recomanable l'ús de rotlles vegetats prèviament en un viver, ja que tenen una adaptació més ràpida al terreny, es naturalitzen abans i resulten més resistents. El rotlle abans de ser instal·lat s'ha de conservar en un ambient idoni on s'eviti la humitat i l'absorció d'aigua.

El rotlle vegetal no presenta, inicialment, una continuïtat amb el sòl, per la qual cosa cal garantir que disposarà d'aigua suficient per contacte amb el flux de l'aigua.

L'ús de biorotlles no és adequat per a aigües amb força tracció hidràulica, ni a seccions estretes, ja que la col·locació suposa una disminució de la secció disponible per a la circulació de l'aigua.

5. DISSENY AMBIENTAL



5. DISSENY AMBIENTAL

El disseny ambiental d'una carretera de muntanya ha de tenir en compte els aspectes següents:

- El balanç de terres.
- La fragmentació dels hàbitats i l'efecte barrera per a la fauna.
- Els fenòmens d'erosió i/o inestabilitat de talussos.
- La protecció del sistema hidrològic.
- La integració i recuperació de l'entorn afectat per l'actuació.
- L'estètica interna de la carretera.

En tots aquests aspectes és important realitzar un estudi acurat del medi en l'estat actual, preveure els possibles impactes, mesurar la seva magnitud i avaluar la resposta del medi enfront d'aquests.

*Imatge 5.1 Talús
excessivament vertical
que no permet
la revegetació*
© CICSA



Per minimitzar l'impacte ambiental global d'una carretera sobre el medi, és decisiu tenir en compte tots aquests criteris a l'hora de planificar per on ha de transcórrer la carretera. Aleshores, s'han d'avaluar, al més detallat que es pugui i en l'escala de treball que ho requereixi, tots els corredors possibles i escollir-ne el millor tenint en compte tots els factors necessaris que influeixin en la implantació de la carretera sobre el medi.

*Imatge 5.2 Traçat adaptat
a la morfologia del terreny*
© CICSA



Posteriorment, durant la redacció del projecte s'han d'estudiar les mesures preventives següents encaminades a disminuir l'impacte ambiental de l'actuació, tant en la fase de construcció com en la d'explotació de la carretera:

- Mesures de protecció de la qualitat de l'aire.
- Mesures de protecció del sistema hidrològic superficial i subterrani.
- Mesures de protecció del sòl i la geomorfologia.
- Mesures de protecció dels usos del sòl.
- Mesures de protecció sobre la vegetació.
- Mesures de protecció de la fauna.
- Mesures relacionades amb el paisatge.
- Mesures relacionades amb el medi sociocultural i socioeconòmic.

Moltes d'aquestes es troben incloses en la publicació *Recull d'accions per minimitzar l'impacte de les infraestructures viàries sobre el territori*, de la Col·lecció "Documents dels Quaderns de Medi Ambient," núm. 5, publicat l'any 2000 per l'aleshores Departament de Medi Ambient, de la Generalitat de Catalunya.

Per tal que la implantació d'aquestes mesures sigui l'òptim, és imprescindible dur a terme un seguiment minuciós i poder establir les mesures correctores o compensatòries pertinents en els casos que faci falta i en el moment adequat.



Imatge 5.3 Mesures correctores en la restauració de talussos - © EGAM,SL

En els casos en què el projecte sigui el condicionament o la millora de carreteres existents, s'hauran de prendre les mesures adequades a la restauració del traçat antic en aquells trams que quedin al marge del nou traçat.



Imatge 5.4 Integració adequada d'una carretera de muntanya - © DTES

6. ÀREES LATERALS DE LA CARRETERA



6. ÀREES LATERALS DE LA CARRETERA

En el cas de carretera de muntanya, s'ha d'entendre aquesta com un element per gaudir del paisatge, però a la vegada com un actor que el transforma. Com a tal, s'ha de pensar la carretera com un corredor que no deixi una cicatriu permanent en el paisatge. S'ha de dissenyar, per tant, tenint en compte criteris viaris tant de seguretat, com ambientals i paisatgístics.

El Conveni Europeu del Paisatge (Florència, octubre 2000) va introduir algunes innovacions en la concepció i la gestió del paisatge⁽³⁾. Estableix el paisatge com un element del benestar de les persones, concedeix qualitat paisatgística a tot tipus de territori i lloc, fins i tot els degradats, sense limitar-se als espais naturals o històrics més privilegiats. El Conveni adjudica la responsabilitat de la seva gestió i millora de les administracions i agents socials, i assumeix el paisatge com la percepció del territori per la població. Les carreteres i altres vies de transport rodant, així com els seus àmbits, posseeixen caràcter de paisatge, al temps que els tècnics i responsables de la seva gestió, planificació i disseny també ho són de la seva qualitat paisatgística i del benestar que aquesta suposa per als ciutadans.

En aquest apartat es descriuen una sèrie de recomanacions referents al disseny de les àrees laterals (àrees d'aturada, miradors, accessos, etc.) per tal de millorar l'adaptació d'aquestes carreteres amb el paisatge. Cal tenir en compte que aquestes àrees tenen una funció paisatgística important. La missió principal d'aquestes àrees és atendre al trànsit prestant-li determinats serveis, però d'altra banda seran els punts on l'usuari prestarà més atenció tant a l'entorn com a aquests espais projectats.

En aquestes àrees serà molt important el tractament del límit entre la zona actuada i la no projectada. Aquestes franges és inevitable que quedin marcades sobre el paisatge actual, però s'hi ha d'actuar amb l'objectiu de desdibuixar-les sobre el territori a partir de materials i vegetació similars als de l'entorn, però sense disminuir la seguretat.



Imatge 6.1 Àrees laterals de la carretera - © CICSA

1 - Sense límits

2 - Amb límits

A l'hora d'escollir materials per a tots aquests elements d'una carretera, és preferible l'elecció de materials amb poques diferències de textura entre si que no pas una varietat de materials molt àmplia. L'elecció de múltiples materials perjudica la integració i la concordança de la carretera amb el paisatge i fa perdre el caràcter propi de l'actuació.

En les àrees laterals de la carretera, és interessant que les plantacions tinguin una relació estreta amb la tipologia i la funció de l'àrea lateral. Per exemple, en les àrees d'aturada, les espècies escollides hauran d'aportar ombra i un cert component estètic perquè l'usuari se senti el màxim de còmode i agradable amb el lloc escollit per descansar. En un mirador les plantacions no entorpiran les vistes, crearan una

³ El Parlament de Catalunya va aprovar el desembre de l'any 2000 adherir-se al Conveni Europeu del Paisatge i va acordar la Llei 8/2005, de 8 de juny, de protecció, gestió i ordenació del paisatge.

obertura en el paisatge per poder gaudir de les panoràmiques. En un accés o creuament no dificultaran la visió del conductor i ajudaran a disminuir la velocitat del conductor tot reduint la distància entre els arbres a mesura que ens acostem a la intersecció.

Cal assumir que aquests entorns de la carretera són un nou element de paisatge on la integració absoluta és impossible i per tant com a nou actor se l'ha de dotar d'un caràcter propi. La carretera ha de tenir els seus propis elements i materials que duran associats els seus propis colors i textures, no sempre cal buscar els més semblants amb els de l'entorn i anar-los variant segons sigui el creuament d'un riu, d'un bosc, d'unes roques, etc. És recomanable escollir un o dos materials que donin resposta a totes les situacions en les quals es troba la carretera, ajudant-la a tenir caràcter propi i a la vegada facilitar la interpretació del paisatge.

Cal tenir en compte, tant a efectes d'integració en l'entorn com de seguretat, l'aprofitament de les zones adjacents que es puguin originar a conseqüència del condicionament de carreteres existents per a la implantació d'àrees d'aturada o miradors degudament adaptats. En aquells casos que les zones adjacents no s'aprofitin, s'hauran de preveure les mesures adequades de restauració.

6.1 Àrees d'aturada

Les àrees d'aturada de les carreteres tenen una funció paisatgística important des del punt de vista que estableixen una relació directa, estreta i més lenta entre l'usuari i l'entorn. En aquest sentit és important tenir en compte els aspectes següents a l'hora de dissenyar i projectar aquestes àrees:

- La localització de l'àrea d'aturada
- La relació a mantenir amb el paisatge
- La relació a mantenir amb la carretera
- El disseny adequat i coherent amb els objectius

L'elecció de la localització ha de respondre als interessos entre l'usuari, l'orografia del terreny, la geometria de la carretera i les característiques del paisatge. Sobretot s'ha d'evitar que per una mala localització aquestes àrees quedin residuals, en desús, oblidades i per tant en la marginalitat posterior.



Imatge 6.2 Àrea d'aturada amb un disseny que manté una relació amb el paisatge - © CICSA

S'ha d'estudiar l'aprofitament i idoneïtat de reconvertir els espais empleats durant la construcció de la carretera com són les àrees de préstec, àrees auxiliars, etc., però sense oblidar que s'han d'adaptar a criteris de traçat i d'interès paisatgístic.

En els condicionaments de carreteres ja existents, ha estat una pràctica habitual l'abandonament de trams en desús, on aquests, sense una altra intervenció, senzillament queden sense utilitat.

En els millors dels casos els antics trams de carretera mantenen la seva funcionalitat com a accés a finques, encara que la no-intervenció implica la permanència de l'aglomerat i per tant una integració molt lenta i pobra en el espai. A l'escassa recuperació del tram en desús cal afegir-hi una pèrdua de valor paisatgístic de l'entorn, ja que des del nou punt d'observació, és a dir, la nova carretera o traçat, el paisatge allotja un nou element artificial: un tram antic, lineal, que en moltes ocasions conserva senyalitzacions verticals, elements de seguretat, la secció mateixa, i en general no concorda amb l'entorn natural existent.

Si bé des de la implantació del procés d'avaluació d'impacte ambiental s'ha anat fomentant la pràctica de restauració dels espais afectats, consistent en l'eliminació del ferm i la restauració vegetal, que en moltes ocasions esdevé més un maquillatge que una autèntica restauració, ja que no es té en compte la morfologia de la topografia preexistent.

Per això, en l'àmbit pel qual discorren les carreteres de muntanya, caldrà valorar en cada cas la idoneïtat de restaurar els trams en desús, o optar per tractaments alternatius a la simple restauració consistents en l'adequació d'aquests trams com a àrees d'aturada – mirador, emprant sempre un disseny tou i integrador.



Imatge 6.3 Tram en desús - © DTES

1 - Tram abandonat

2 - Tram adequat

També és convenient que aquestes àrees estiguin mínimament habilitades i equipades segons el seu ús. D'aquesta manera, es redueixen les possibles incursions dels usuaris de la carretera a aquelles zones que no estan habilitades i que amb la seva ocupació indiscriminada poden malmetre el medi.



Imatge 6.4 Àrees d'aturada - © CICSA 1 - Habilitada 2 - No habilitada

Tenint en consideració el medi muntanyenc i la varietat de l'orografia que aquest ofereix, en les carreteres de muntanya serà recomanable establir un gran nombre d'àrees d'aturada de petites dimensions en lloc de concentrar-les en pocs punts de grans extensions. En aquest sentit, es prefereix minimitzar l'actuació i l'impacte ambiental en diversos punts i repartir-lo de forma més adequada al llarg del traçat.



Imatge 6.5 Àrees d'aturada de petites dimensions i adaptades al traçat - © CICSA

6.2 Miradors

En els miradors serà imprescindible respondre el principal objectiu d'aquestes àrees que és contemplar el paisatge. Tot el disseny d'aquestes àrees anirà encaminat a respondre a aquest criteri i a facilitar a l'usuari aquest aspecte sobretot des del punt de vista del confort.

Paral·lelament, és important que els miradors vagin acompanyats dels corresponents panells informatius per poder gaudir del paisatge, però a la vegada per poder entendre el que s'està veient.

També és recomanable introduir rètols educatius, sobretot molt visuals, que expliquin els fenòmens biològics, geològics, hidrològics i històrics, en totes aquelles àrees laterals de la carretera que tinguin entorn que ho requereixi.



Imatge 6.6 Rètols educatius en una àrea lateral de la carretera - © CICSA

Per a la localització dels miradors es poden utilitzar els Sistemes d'Informació Geogràfica (SIG) per tal de trobar aquells punts on les vistes siguin més extenses. D'altra banda, mai no s'haurà d'oblidar el criteri qualitatiu a l'hora d'assignar les vistes més espectaculars i singulars per fer-ne la darrera elecció i localització.



Imatge 6.7 Miradors - © CICSA

En els miradors serà essencial escollir el mobiliari més adequat amb l'entorn, però sense oblidar la concordança amb els altres criteris de disseny de la carretera. Seria convenient que el disseny dels elements que formen els miradors (mobiliari, tancaments, murs, etc.) fossin iguals o al més similars possible que els que es van repetint al llarg de la carretera sobretot quant a materials, textures i formes.

Finalment, es pot estudiar la viabilitat econòmica, en cada cas, de realitzar un disseny propi d'aquests elements per a la carretera.

6.3 Accessos

En general, l'accés a una carretera ha d'estar condicionat pels dos sentits de circulació amb la deguda senyalització. A la vegada, l'accés s'ha de realitzar al més perpendicular possible, amb la visibilitat adequada en ambdós sentits i amb els amples suficients per poder realitzar còmodament les maniobres necessàries.



Imatge 6.8
Accés a la carretera
des d'un establiment
© CICSA

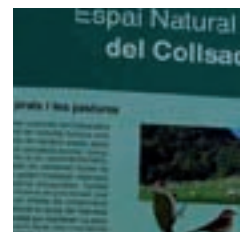
En els creuaments amb altres carreteres, sempre que sigui possible, s'hauran d'ordenar mitjançant carrils centrals d'espera, per permetre l'aturada sense interrompre la circulació dels altres vehicles i així facilitar la incorporació adequada.



Imatge 6.9 Creuaments amb altres carreteres al mateix nivell - © CICSA

La visibilitat des de la carretera a l'accés o als creuaments amb altres carreteres al mateix nivell, haurà de ser superior a la distància de parada.

7. BIBLIOGRAFIA



7. BIBLIOGRAFIA

7.1 En matèria de traçat i carreteres

A Guide for Transportation Landscape and Environmental Design
American Association of State Highway and Transportation Officials, 1991.
Especificacions tècniques de carreteres.

Association suisse de normalisation
Union suisse des professionnels de la route, 1966.
Normativa suïssa de carreteres.

Carretera y paisaje. Recomendaciones para la gestión y mejora del paisaje de la carretera
Serie monografías. Dirección General de Carreteras, 2008.

Llibre d'estil de les carreteres catalanes. Criteris generals de disseny per al desenvolupament de la xarxa de carreteres de la Generalitat de Catalunya
Departament de Política Territorial i Obres Públiques (PTOP), 2008.

Valorització de trams en desús en millores de carreteres. Tractaments estàndards versus tractaments alternatius.(Tríptic) Departament de Medi Ambient i Habitatge (DMAH), 2010.

7.2 En matèria de drenatge i estructures

La gestió i recuperació de la vegetació de ribera
Agència Catalana de l'Aigua (ACA), desembre 2008.

Puentes. Apuntes para su diseño, cálculo y construcción
Javier Manterola, juny 2006.

Recomanacions tècniques per al disseny d'infraestructures que interfereixen amb l'espai fluvial
Agència Catalana de l'Aigua (ACA), juny 2006.

Recomanacions tècniques per als estudis d'inundabilitat d'àmbit local
Agència Catalana de l'Aigua (ACA), març 2003.

Tipología de muros de carreteras. Serie monografías
Dirección General de Carreteras, 1997.

7.3 En matèria de paisatge i medi ambient

Design with Nature
McHARGH, Ian L, 1969.
Teoria sobre integració paisatgística d'infraestructures.

Indicadors de paisatge. Reptes i perspectives
Sèrie: 'Eines' 1. Joan Nogué, Laura Puigbert i Gemma Bretcha, 2009.

La carretera en el paisaje. Criterios para su planificación, trazado y proyecto
Consejería de Obras Públicas y Transportes de la Junta de Andalucía, 2008.

Línies estratègiques d'actuació en matèria de paisatge
Departament de Política Territorial i Obres Públiques (PTOP), 2006.

Normes tecnològiques de jardineria i paisatgisme
Col·legi Oficial d'Enginyers Tècnics Agrícoles i Perits Agrícoles de Catalunya (COETAPAC).

Paisatges en transformació. Intervenció i gestió paisatgístiques
Diputació de Barcelona (DIBA), 2008.
Paisatge i salut

Sèrie: 'Reflexions' 1. Joan Nogué, Laura Puigbert i Gemma Bretcha, 2008.

Protocols de criteris mediambientals de l'obra civil
Gestió d'Infraestructures, SA (GISA), 2003

Recull d'accions per minimitzar l'impacte de les infraestructures viàries sobre el territori
Departament de Medi Ambient, 2000

Revista Espais. Monogràfic sobre la muntanya a Catalunya (Núm. 49)
Departament de Política Territorial i Obres Públiques (PTOP), 2003.

Diversos autors, "Estudio comparativo de dos técnicas de revegetación para la optimización de la estabilidad en taludes con pendientes superiores a 2V:3H." *Rutas: Revista de l'Associació Tècnica de Carreteres*. Núm. 144, 2011.

ANNEX:
*RECOMENDACIONES TÉCNICAS
PARA EL DISEÑO AMBIENTAL DE LAS
CARRETERAS DE MONTAÑA*



Índice

PRESENTACIÓN	103
1 INTRODUCCIÓN	105
1.1 Objetivos	105
1.2 Ámbito de aplicación	105
1.3 Contenidos	106
2 CARRETERA Y MONTAÑA	107
3 DISEÑO BÁSICO	109
3.1 Trazado	109
3.1.1 Criterios de diseño	109
3.1.2 Tráfico	109
3.1.3 Trazado en planta	109
3.1.4 Trazado en alzado	111
3.1.5 Coordinación de la planta y el alzado	112
3.1.6 Sección transversal	112
3.1.7 Ajustes del eje de las infraestructuras	113
3.2 Drenaje	113
3.3 Pavimento	114
3.4 Estabilización y tratamiento de taludes	115
3.5 Estructuras	117
3.5.1 Consideraciones generales	117
3.5.2 Planteamiento	118
3.5.3 Materiales	118
3.5.4 Proceso ejecutivo	119
3.5.5 Tipología	120
3.5.6 Consideraciones finales	121
3.6 Sistemas de contención	121
3.7 Señalización	122
4 TÉCNICAS DE BIOINGENIERÍA Y CARRETERAS DE MONTAÑA	123
4.1 Técnicas de bioingeniería para la restauración de taludes	123
4.1.1 Taludes con inestabilidad superficial (de pendiente baja a elevada)	123
1. Abrigo protector con herbáceas de la zona	123
2. Mejora del suelo	123
2.1 Escarificado	124
3. Siembra manual	125
4. Cobertura de ramas	125
5. Hidrosiembra	125
5.1 Hidrosiembra en dos fases	126
6. Hidromanta	126
7. Manta orgánica	127
8. Red orgánica	127
9. Plantación de especies leñosas, arbóreas y arbustivas	127
9.1 Criterios de elección de especies, tipos y edad de las plantas	128
10. Escalones de madera	128
11. Fajina de rama seca (sobresaliente al terreno)	128
12. Sistemas de drenajes para el control de la escorrentía superficial	128
12.1 Geomallas que facilitan el flujo de agua	128
12.2 Relleno de piedras	129
12.3 Fajinas de rama seca (enrasada al terreno)	129
13. Geomallas que facilitan el flujo de agua	129
14. Krismer	129
4.1.2 Taludes con inestabilidad geotécnica (de pendiente baja a elevada)	129

1. Fajina de rama viva (enrasada al terreno)	129
2. Rollo estructurado de fibra vegetable	130
3. Enrejado vivo	130
4. Entramados	130
4.1 Entramado vivo	130
4.2 Roma	130
4.3 Krainer	130
5. Geoceldas	131
6. Trenzado vivo	131
7. Gavión flexible	131
8. Muro de piedra en seco	132
9. Muro verde	132
9.1 Gavión de malla electrosoldada	132
9.2 Escollera revegetada	132
9.3 Muros de tierra armada	132
9.4 Sacos de tierra reforzados	132
10. T-Verde®	133
4.2 Técnicas de bioingeniería para la restauración de cursos fluviales	133
1. Canalización de torrentes	133
2. Escollera viva (verde)	133
3. Estacas vivas	134
4. Fajinas vivas	134
5. Biorollos	135
5 DISEÑO AMBIENTAL	137
6 ÁREAS LATERALES DE LA CARRETERA	139
6.1 Áreas de parada	139
6.2 Miradores	140
6.3 Accesos	141
7 BIBLIOGRAFÍA	143
7.1 En materia de trazado y carreteras	143
7.2 En materia de drenaje y estructuras	143
7.3 En materia de paisaje y medio ambiente	143

PRESENTACIÓN

La evaluación ambiental de proyectos se ha ido integrando en todos los procesos de ejecución de infraestructuras que afectan al territorio catalán. Llegar a este punto ha sido un proceso laborioso en el que se han unido los esfuerzos de todos los agentes implicados y, gracias al soporte legislativo, ha tenido la fuerza necesaria para ser de obligado cumplimiento.

Para hacer una evaluación ambiental esmerada es importante tener los recursos necesarios que permitan dar una respuesta ambiental y socioeconómica compatibles. En un territorio complejo como el de Cataluña, la casuística es muy variada y la normativa no puede entrar en detalle en cada caso concreto. Por ello, desde la Dirección General de Políticas Ambientales del Departamento de Territorio y Sostenibilidad se han elaborado unas herramientas de soporte para tomar las medidas correctoras y preventivas necesarias que permitan un desarrollo social y económico compatible con la conservación del territorio.

En cuanto a los proyectos de carreteras, la norma 3.1-C. Trazado, de la Instrucción de Carreteras, aprobada por la Orden de 27 de diciembre de 1999 del Ministerio de Fomento, que tiene como finalidad proporcionar unas características adecuadas de funcionalidad, seguridad y comodidad de la circulación referente al trazado para todos los nuevos proyectos de carreteras, así como para el condicionamiento de los existentes.

En el caso concreto de las carreteras urbanas, de las carreteras de montaña y de las que discurren por espacios naturales de elevado interés ambiental y/o marcada fragilidad, o la mejora de existentes, la norma establece que los umbrales que ésta fija podrán disminuir, siempre y cuando lo hagan de una forma motivada y debidamente justificada.

Por otra parte, en diciembre de 2008, el entonces Departamento de Política Territorial y Obras Públicas de la Generalidad de Cataluña publicó el manual *Libro de estilo de las carreteras catalanas. Criteris generals de disseny per al desenvolupament de la xarxa de carreteres de la Generalitat de Catalunya*, con el objetivo de dar un tratamiento integral y coherente a los márgenes de las carreteras de su titularidad. Estas recomendaciones técnicas, si bien algunas son extrapolables a velocidades inferiores, están orientadas a carreteras con una velocidad igual o superior a 50 km/h.

La Dirección General de Políticas Ambientales del Departamento de Territorio y Sostenibilidad ha considerado necesario profundizar en los criterios a aplicar en las carreteras de velocidades inferiores a los 50 km/h, muchas de las cuales discurren por zonas de montaña, a menudo de titularidad de diferentes administraciones, para compatibilizar su función de comunicación con la de preservación de los entornos paisajísticos y naturales por los que discurren.

A tal fin se encargó una serie de trabajos a las empresas CICSA -Consultor de Ingeniería Civil, SA-, Naturalea Conservació, SL y EGAM-Enginyeria Estudis i Gestió Ambiental, SL, cuyos resultados se han integrado totalmente o parcialmente en la presente publicación, y que constituyen una serie de propuestas de criterios, soluciones y técnicas de restauración que previenen o disminuyen las afecciones sobre el medio a la hora de diseñar el trazado o condicionamiento y persiguen una mayor integración de la carretera en su entorno.

Esta publicación quiere ser, pues, una herramienta de soporte para el análisis y la toma de decisiones para una mejor integración de nuevas infraestructuras en el territorio.

Marta Subirà Roca
Directora general de Políticas Ambientales

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Objetivos

La Norma 3.1-C. Trazado de la Instrucción de Carreteras, aprobada por la ORDEN de 27 de diciembre de 1999 del Ministerio de Fomento, tiene como finalidad proporcionar unas características adecuadas de funcionalidad, seguridad y comodidad de la circulación en materia de trazado para todos los nuevos proyectos de carreteras, así como para el condicionamiento de los existentes.

En el caso concreto de las carreteras urbanas, de las carreteras de montaña y de las que discurren por espacios naturales de elevado interés ambiental y/o marcada fragilidad o la mejora de existentes, la norma establece que los umbrales que ésta fija podrá aminorarse, pero siempre de una forma motivada y debidamente justificada.

Por otra parte, en diciembre de 2008, el entonces Departamento de Política Territorial y Obras Públicas de la Generalitat de Catalunya publicó el manual *Libro de estilo de las carreteras catalanas. Criterios generales de diseño para el desarrollo de la red de carreteras de la Generalitat de Catalunya*, con el objetivo de dar un tratamiento integral y coherente a los márgenes de las carreteras de su titularidad. Estas recomendaciones técnicas, si bien algunas de ellas extrapolables a velocidades inferiores, están orientadas a carreteras con una velocidad igual o superior a 50 km/h.

La Dirección General de Políticas Ambientales del Departamento de Territorio y Sostenibilidad ha considerado la necesidad de adentrarse en los criterios a aplicar en la definición de carreteras de velocidades inferiores a los 50 km/h, muchas de las cuales discurren por zonas de montaña, con titularidad de diferentes administraciones, para tener en cuenta su función de comunicación con la de preservación de los entornos paisajísticos y valores naturales por los cuales discurren.

A tal fin se encargó una serie de trabajos a las empresas CICSA - Consultor de Ingeniería Civil, SA, Natura-lea Conservació, SL y EGAM - Enginyeria Estudis i Gestió Ambiental, SL, cuyos resultados se han integrado total o parcialmente en la presente publicación, y que constituyen una serie de propuestas de criterios, soluciones y técnicas de restauración que previenen o disminuyen las afecciones sobre el medio a la hora de diseñar el trazado o condicionamiento y persiguen una mayor integración de la carretera en su entorno.

Se pretende también valorar el trazado de la carretera en sí mismo, de manera que ésta se perciba más como un recurso con entidad propia que no una zona de paso para acceder a un determinado lugar. Y es que Cataluña, por su orografía montañosa y su ubicación geográfica, con una gran riqueza de climas, hábitats y paisajes, cuenta con un importante número de carreteras de montaña que en muchos casos pueden constituir un patrimonio a valorizar.

Con la intención de orientar la redacción de estudios de carreteras de montaña y ajustar los criterios de diseño a las características geomorfológicas, ambientales y paisajísticas del entorno por donde discurren, se ha desarrollado la presente publicación, que presenta unos objetivos específicos que se sintetizan en los puntos siguientes:

- Definir una tipología de carretera en zonas de montaña que sean objeto de aplicación de las recomendaciones técnicas.
- Conciliar el cumplimiento de la normativa técnica existente aplicable al sector de las infraestructuras con la protección y conservación del medio y del paisaje.
- Ofrecer una recopilación de técnicas de bioingeniería destinadas a la protección del suelo y la integración paisajística de la actuación, especialmente indicadas en las tareas de restauración en un medio tan sensible como es la montaña.
- Introducir elementos en la carretera de manera que sirva como un elemento de divulgación de los valores del entorno y de sus usos.

1.2 Ámbito de aplicación

El ámbito de aplicación de las recomendaciones es el conjunto de carreteras que transcurren por los medios montañosos en Cataluña, si bien se pueden adoptar otras soluciones técnicas siempre y cuando se justifiquen adecuadamente.

En este sentido se consideran medios montañosos todos aquellos ámbitos que poseen alguna de las características siguientes:

- Espacios situados a una altura superior a los 700 m
- Espacios situados en vertientes con pendientes superiores al 15%
- Espacios situados en sierras, cordilleras o macizos que independientemente de la altura o de la pendiente tienen valles, gargantas o puertos de montaña.
- Espacios incluidos en la Ley 2/1983, de 9 de marzo, de alta montaña

Estos espacios tienen características comunes en cuanto a morfología, climatología, hidrología, ecología, etc.

1.3 Contenidos

La presente publicación se ha estructurado en cinco bloques: Carretera y Montaña, Diseño básico, Técnicas de bioingeniería, Diseño ambiental y Áreas laterales de la carretera.

El apartado Carretera y Montaña hace una definición de las carreteras de montaña y resume las principales características del entorno que condicionan el propio diseño. Se trata de un estudio de la relación entre la carretera y la montaña, que quiere poner de manifiesto la repercusión que tiene el trazado sobre este medio tan sensible. En este apartado también se hace una breve descripción de la situación socioeconómica que vive actualmente la montaña en Cataluña.

El apartado Diseño básico especifica los criterios de diseño adaptados al medio montañoso de los elementos que conforman una carretera. En cada uno de los capítulos se dan recomendaciones de todas las partes que influyen en la carretera con un cierto carácter normativo.

Se fijan los parámetros de diseño referentes al trazado, incluyendo la definición en planta, en alzado y en sección, y se pone especial énfasis en la coordinación de los trazados en planta y alzado.

También se resumen los criterios, adaptados al medio montañoso, para realizar el drenaje, la elección del pavimento, la estabilización y el tratamiento de taludes, los sistemas de contención para vehículos, las estructuras y la señalización de la carretera.

Por cada elemento que define la carretera, se ha intentado resumir en una Tabla la evaluación de los variables que influyen en su implantación en el ámbito de las carreteras de montaña. En la última columna de esta Tabla y a partir de la ponderación de las citadas variables, se ha deducido su grado de aplicación (aplicabilidad).

Se debe considerar que esta aplicabilidad no pretende tener un carácter normativo sino que son meras recomendaciones de carácter general para las carreteras de montaña y que siempre quedarán supeditadas al estudio de cada caso en concreto.

El apartado Técnicas de bioingeniería y carreteras de montaña recoge un conjunto de técnicas destinadas tanto a la restauración de taludes como de los cursos fluviales afectados por las actuaciones asociadas a la apertura de la infraestructura, las cuales dado el alto grado de integración que alcanzan, se hacen especialmente indicadas para ser aplicadas en el ámbito de montaña.

El apartado Diseño ambiental define otras variables a tener presentes, con el objeto de minimizar el impacto sobre el medio a la hora de diseñar un condicionamiento o nuevo trazado de carretera.

En el último apartado, Áreas laterales de la carretera, se proponen una serie de elementos y materiales que dotan a la carretera de un carácter propio para mejorar el diálogo entre la vía, el medio y los usuarios.

El diseño de las áreas laterales de la carretera es importante para ayudar a propagar la divulgación de los recursos ambientales como fuente de desarrollo económico y social de un territorio, y para aumentar la sensibilización cuando su uso excesivo y desmesurado repercute muy negativamente sobre el medio.

2. CARRETERA Y MONTAÑA

Las carreteras juegan un papel primordial en el equilibrio territorial y en el desarrollo de las zonas de montaña. El correcto diseño de las carreteras en general, y especialmente en aquellos casos que se afecta a medios tan sensibles como son los de montaña, pasa por la realización de estudios previos medioambientales de calidad, y por su incorporación integral en la fase de definición de los proyectos.

A nivel de diseño se tendrá que interpretar y estudiar adecuadamente el territorio por donde circulará la vía y definir básicamente la actuación de acuerdo con las características del medio. Se tendrán que adaptar las soluciones técnicas a la minimización del impacto sobre el ámbito sin repercutir en la seguridad.

La tipología de las carreteras de montaña que se tienen en cuenta en estas recomendaciones son las siguientes:

- Carretera para acceder a un punto de interés paisajístico.
- Carretera para unir dos núcleos de población que salva un collado o puerto de montaña.
- Carretera que discurre a media vertiente por un macizo o una sierra.
- Carretera que transcurre por un ámbito con características morfológicas típicas de montaña (vertientes con pendientes elevadas).

Estas carreteras, a pesar de poder estar ubicadas en lugares muy diferentes, tienen la peculiaridad de transcurrir en ámbitos con características muy similares sobre todo des del punto de vista geomorfológico.

De esta manera las carreteras de montaña tienen que poder reunir las condiciones, tanto en el trazado, el drenaje, los elementos de contención de tierras, las estructuras, el pavimento, la señalización, entre otros, adaptada al relieve, al clima y a la vegetación de las zonas donde se implantan.

Una montaña se define por los conceptos de desnivel y de altitud sobre una superficie de referencia que es su base. En general esta superficie de referencia es la del nivel del mar. Por lo tanto, se entiende por montaña una elevación natural, acusada y abrupta del terreno cuando es una eminencia superior a 700 m desde la superficie de referencia. Las montañas se agrupan, a excepción de los volcanes, en cordilleras o sierras.

Las zonas de montaña cubren el 25% de Europa y un total del 24% de la litosfera se constituye en masa montañosa. Un 10% de la población mundial habita en regiones montañosas. Los ríos más importantes del mundo nacen en áreas montañosas y más de la mitad de la humanidad depende del agua de las montañas.

En Cataluña el 50,5% de su territorio se encuentra con pendientes superiores al 20% y el 37,7% está situado por encima de los 600 m de altura. La evolución de la población desde 1950 hasta 1981 decrece un 4% en las comarcas de montaña y en cambio en toda Cataluña crece un 84%.

La montaña en general es poco favorable a la ocupación humana. Gradualmente el hombre va abandonando un ambiente que considera demasiado hostil. Actualmente, sin embargo, la práctica de los deportes de invierno y la afluencia turística en verano abren nuevas perspectivas de cara al futuro.

A principios de los años 80, la preocupación por la situación de la montaña en Cataluña genera debate a partir de este contexto socioeconómico que acaba desencadenando la Ley 2/1983, de 9 de marzo, de alta montaña y los decretos 566/83 y 84/84, de despliegue de la Ley de alta montaña.

Los objetivos de la Ley 2/1983, de 9 de marzo, de alta montaña son:

- Igualar el nivel de vida de los habitantes de montaña al del resto de Cataluña.
- Garantizar el nivel de los servicios mediante la creación de infraestructuras y equipamientos.
- Parar la regresión demográfica y alcanzar un desarrollo armónico del territorio.
- Hacer compatible el desarrollo turístico y económico con la preservación del patrimonio natural y cultural.
- Compensar las desventajas físicas y socioeconómicas, valorando las funciones que la montaña cumple en beneficio del resto de la sociedad.

En esta Ley se concreta el ámbito de aplicación definiendo qué son las comarcas de montaña y las zonas de montaña. En la misma Ley, también se crean los instrumentos para desarrollarla que son los planes comarcales de montaña y los programas zonales.

Las comarcas de montaña son territorios que:

- Tienen terrenos con una altitud, una pendiente y un clima claramente limitadores de las actividades económicas.
- Disponen de recursos naturales que son escasos en el conjunto del territorio de Cataluña, especialmente agua, nieve, pastos, bosques y espacios naturales.
- Tienen una baja densidad de población en relación con el valor medio de Cataluña.

Estas comarcas son Alta Ribagorça, Alt Urgell, Berguedà, Cerdanya, Garrotxa, Pallars Jussà, Pallars Sobirà, Ripollès, Solsonès y Val d'Aran.

Las zonas de montaña son territorios que reúnen alguna de las condiciones siguientes:

- Tienen, como mínimo, el 65% de la superficie en cotas superiores a 800 m.
- Tienen una pendiente media superior al 20% y el 60%, como mínimo, de su superficie en cotas superiores a los 700 m.
- Sin llegar a los valores anteriores, tienen circunstancias excepcionales limitadoras de su actividad económica, y en especial de su producción agraria.

Estas zonas son 136 municipios (Tiurana es la última incorporación en diciembre de 2008).

Otras características fundamentales a considerar en un terreno montañoso son el clima, la vegetación, la hidrología y el paisaje.

El clima de montaña es más frío y húmedo que el del llano, ya que la temperatura desciende y las lluvias aumentan con la altura, debido al llamado "efecto pantalla". También es frecuente encontrar en las zonas de montaña vertientes más húmedas expuestas a vientos húmedos, frente a las más secas, en las cuales estos mismos vientos han perdido la humedad por elevación y tienden a absorber la humedad existente en el suelo, es el fenómeno conocido como efecto Föhn. Así, este fenómeno es lo que se produce en los Pirineos, donde su vertiente norte es más húmeda que la del sur.

La vegetación en montaña se encuentra escalonada o en pisos (ecotonos). En los pisos inferiores se puede encontrar vegetación similar a la del plan adyacente pero a medida que se asciende van apareciendo especies más higrofilas y más resistentes al frío; después de las últimas especies arbóreas aparece la pradera alpina seguida del peñón e incluso de la nieve perpetua.

La hidrología en zonas de montaña está muy presente y se demuestra por el hecho que en estos terrenos existen multitud de cuencas hidrográficas, en general de pequeñas dimensiones. Este hecho es un rasgo distintivo con las zonas más planas que por contra tienen pocas cuencas y muy grandes.

La hidráulica de los ríos en montaña es de carácter torrencial con grandes velocidades que provocan un elevado riesgo de erosión y arrastre de partículas.

El paisaje de montaña es un paisaje emblemático en Cataluña, con una alta apreciación social que resulta de un tipo de interacción secular entre la sociedad y el medio natural.

En las últimas décadas, el territorio de montaña se ha visto sometido a cambios económicos y demográficos profundos (crisis agraria, despoblamiento, terciarización, etc.) que, por su alcance o intensidad, pueden llegar a comprometer los valores y las oportunidades de futuro. Los proyectos en zonas de montaña tienen que llevar asociado el objetivo de generar modelos de integración paisajística coherentes con las formas actuales de desarrollo local y con las nuevas necesidades económicas y sociales.

A la hora de realizar la planificación de la carretera se tendrán que tener en cuenta todos estos parámetros para poder escoger el mejor corredor, que dé respuesta a las necesidades de desarrollo social y económico de un país pero sin despreciar las características del medio. Esta premisa es válida para todas las carreteras en general pero es en este ámbito tan sensible como es el de las zonas de montaña que se nutre de una importancia mucho más relevante.

3. DISEÑO BÁSICO

3.1 Trazado

Tal como se ha hecho referencia en la introducción, la Instrucción de carreteras Norma 3.1-IC de “Trazado” de diciembre de 1999 publicada por el Ministerio de Fomento plantea que las carreteras de montaña pueden presentar excepciones a la baja para el conjunto de las reglas de trazado que fija, si bien no se especifica cuál puede ser el grado de excepción, ni presenta criterios y parámetros alternativos para este tipo de carreteras.

El objetivo de este apartado es el de llevar a cabo una reflexión alrededor de cuáles tendrían que ser estos criterios, para establecer a partir de ellos unos parámetros mínimos adecuados para el trazado de carreteras en zonas de montaña.

En todo caso, es preciso remarcar que los parámetros deseables son siempre los que marca la Norma 3.1-IC, y que las sugerencias de este estudio tan solo serían aplicables cuando, por las características orográficas del terreno o por motivos de impacto ambiental, **la aplicación de la mencionada Norma resulta casi imposible.**

3.1.1 Criterios de diseño

A la hora de definir la geometría de cualquier carretera es preciso tener en cuenta tres factores que son en función de la velocidad de diseño: la seguridad, el confort de los ocupantes del vehículo y el impacto que la nueva vía produce en el entorno.

Cuando nos enfrentamos al diseño de una carretera de montaña, es preciso plantearse la reformulación del análisis de estos factores desde una nueva perspectiva que contemple sus particularidades.

Está claro que las carreteras de montaña afectan principalmente al tercer factor, el impacto en el entorno, que en estos casos resulta mucho más delicado y requiere un cuidado especial, objeto de la presente publicación.

Por otra parte, también es evidente que el primero de los factores -el de la seguridad en ningún caso no puede ser desatendido: las transgresiones a la Norma no pueden ir nunca en detrimento de la seguridad.

En consecuencia, bajo el punto de vista del trazado, tan solo es posible disminuir el impacto, asumiendo una reducción racional del factor restante: el confort. Eso se traduce principalmente en una reducción general de la velocidad de diseño de la carretera. Incluso, se contemplará la posibilidad de disminuir aún más el límite de la velocidad de diseño en determinados tramos puntuales donde el terreno es muy accidentado.

3.1.2 Tráfico

El diseño de la carretera de montaña tiene que tener en cuenta que las intensidades son bajas pero que los tipos de vehículo pueden ser grandes y pesados (autocares, camiones, etc.). Las características de estos vehículos condicionan la definición geométrica de la carretera.

Los parámetros de trazado de las presentes recomendaciones se han establecido por Intensidades Medias Diarias (IMD) inferiores a 1.000 vehículos/día que se consideran representativas para las carreteras de montaña.

3.1.3 Trazado en planta

La Norma 3.1-IC estudia los parámetros para cada velocidad de diseño, a partir de 40 km/h. En este apartado se contemplarán los casos en los que los parámetros es preciso que sean menores, y por lo tanto también más bajas las velocidades aconsejables.

Los parámetros circulares mínimos para cada velocidad se fijan en función del frotamiento transversal movilizad y el peralte mediante la fórmula de la Instrucción:

$$V^2 = 127 \cdot R \cdot (f_t + p / 100)$$

Donde,

- V** es la velocidad (km/h)
R es el radio de la circunferencia (m)
f_t es el coeficiente de frotamiento transversal movilizado
p es el peralte (%)

Para una velocidad de 40 km/h, la Tabla 4.2 de la Instrucción coloca el umbral del coeficiente de frotamiento transversal movilizado en un valor máximo de 0,18. Si se aplica éste **ft** máximo de 0,18 a la velocidad de 30Km/h a la fórmula anterior, y se considera un peralte del 6%, se obtiene un valor para el radio mínimo de 30 m.

Así pues, se considera el radio 30 m el valor circular mínimo aconsejable en el trazado de una carretera de montaña. Aun así, se pueden dar casos, de hecho se dan a menudo, en los que la adaptación a la orografía del terreno reclama radios menores.

En estas situaciones, que han de ser advertidas mediante la señalización correspondiente, se podrán adoptar radios menores, sin disminuir nunca el radio de 10 m en el reborde del carril interior de la curva.

Como criterio general, se considera que las situaciones descritas tienen lugar, resultando aplicable la excepción, cuando la diferencia entre el ángulo de entrada y el ángulo de salida de una curva circular supera los 100 gonis.

En cuanto a las curvas de transición, la clotoide, se establecerán los valores de forma que permitan una transición del peralte y una variación de la aceleración centrífuga aceptables.

Aplicando la velocidad 30 km/h a la fórmula de la Instrucción:

$$ip_{m\acute{a}x} = 1,8 - 0,01 \cdot V_p$$

Donde,

- ip_{máx}** es la inclinación máxima de los bordes de la calzada respecto al eje de giro del peralte, habitualmente el eje central de la carretera (%)
V_p es la velocidad de proyecto (km/h)

Se obtiene un valor:

$$ip_{m\acute{a}x} = 1,5$$

Este valor, mediante la fórmula de la Instrucción:

$$ip_{m\acute{i}n} = \frac{(p_i - p_f)}{ip_{m\acute{a}x}} \cdot B_t$$

Donde,

- I_{mín}** es la longitud mínima del tramo de transición de peralte (m)
p_i y p_f son el peralte inicial y el peralte final (%)
B es el ancho de carril que se considera de 5 m como máximo, como se explicará más adelante (m)

Resulta una longitud del tramo de variación del peralte de valor:

$$i_{m\acute{i}n} = 3,3m \text{ (para cada 1\%)}$$

Dado que se ha fijado el peralte máximo en un 6%, la longitud mínima de transición de inflexión del sentido de peraltado se sitúa en 20 m. Según este dato, cada rama de la clotoide deberá tener una longitud mínima de 20 m para que pueda contener esta variación del peralte entre dos curvas de sentido opuesto.

Por otra parte, en el plan de la seguridad, es preciso asegurar que la variación de la aceleración centrífuga en el plano horizontal no sobrepase los valores que establece la Instrucción:

$$J_{m\acute{a}x} = 0,7$$

Según la fórmula de la Instrucción:

$$L_{min} = \frac{V_e}{46,656 \cdot J} \cdot \left[\frac{V_e^2}{R_o} - 1,27 \cdot \frac{(p_o - p_i)}{(1 - R_o / R_i)} \right]$$

Donde,

- L_{min} es la longitud mínima de la clotoide
- V_e es la velocidad específica de la curva circular asociada de radio menor (km/h)
- J es la variación de la aceleración centrífuga (m/s³)
- R_i es el radio de la curva circular asociada de radio mayor (m)
- R_o es el radio de la curva circular asociada de radio menor (m)
- p_i es el peralte de la curva circular asociada de radio mayor (%)
- p_o es el peralte de la curva circular asociada de radio menor (%)

Se obtiene en el caso más restrictivo (radio mínimo de 30m) un valor de:

$$L_{min} = 20,56 \text{ m}$$

A partir de la fórmula de la Instrucción: $R \cdot L = A^2$

Donde,

- R es el radio de la curva (m)
- L es la longitud de la curva (m)
- A es el parámetro de la clotoide

Se obtiene la Tabla siguiente de correspondencia de valores:

RADIO(m)	PERALTE (%)	L _{mín} (m)	CLOTOIDE (A)
15	6	20	18
20	6	20	20
25	6	20	23
30	6	20	25
35	6	20	27
40	6	20	29
45	6	20	30

Tabla 3.1 Peralte y clotoide en función del radio de curvatura

Para finalizar, es preciso mencionar que todo cuanto hace referencia a las longitudes mínimas y máximas de las rectas estipuladas en la Norma 3.1-IC, son consideraciones que no se pueden aplicar en los trazados de carreteras de montaña.

3.1.4 Trazado en alzado

En cuanto a los parámetros para el trazado en alzado, se intentará ajustarse estrictamente a los valores límites fijados por la Norma 3.1-IC. Es preciso tener en cuenta que en el caso de las zonas montañosas la posibilidad de hielo en calzada aumenta, por lo que no resulta aconsejable exceder las inclinaciones longitudinales máximas del 10%.

Por último, es preciso tener en cuenta que en las curvas las inclinaciones del eje de la carretera se incrementan en el reborde del carril interior. Eso también sucede en los tramos de transición de peralte, en el reborde exterior del carril donde el peralte varía en el mismo sentido que la inclinación longitudinal. En estos dos casos, se admitirá un incremento de la inclinación longitudinal del borde de carril hasta el 2%, respecto a la pendiente longitudinal del eje.

Por otra parte, se recomienda respetar como máximo pendiente combinado (resultante del pendiente longitudinal más el peralte) el 10%.

Teniendo en cuenta los anteriores párrafos y los sobreamanchos que se indican más adelante, se obtiene la Tabla siguiente de correspondencia entre las diferentes alineaciones en planta y las inclinaciones longitudinales que admiten:

RADIO (m)	INCLINACIÓN (%)
15	5,30
20	6,00
25	6,40
30	6,80
35	7,00
40	7,20
45	7,30

Tabla 3.2 Inclinación en función del radio de curvatura

Finalmente, para establecer los acuerdos mínimos de transición entre dos inclinaciones, se ha considerado una velocidad de diseño de 30 km/h y se ha tenido en cuenta la Instrucción. Con estas consideraciones se recomiendan los parámetros mínimos siguientes:

Kv convexa mínima = 150m

Kv cóncava mínima = 200m

Así mismo, en ningún caso no se utilizarán acuerdos de longitudes menores de 20 m.

3.1.5 Coordinación de la planta y el alzado

Los criterios de coordinación entre los elementos de trazado en planta y los elementos de trazado en alzado se basan en aspectos estéticos y de visibilidad. En el caso de una carretera de montaña, las pérdidas de visibilidad a menudo las provocan las características abruptas del terreno, siendo responsabilidad del proyectista no incrementarlas.

Entre todas las recomendaciones que explicita la Norma 3.1-IC, se considera ineludible la que se refiere a evitar la coincidencia de un acuerdo convexo en alzado con cambio de curvatura en planta.

También se considera fundamental respetar la recomendación de no hacer coincidir más de un acuerdo vertical en una misma alineación en planta. No es preciso decir que todas las otras recomendaciones que en este sentido figuran en la mencionada norma, son de aplicación deseable siempre y cuando sea posible.

3.1.6 Sección transversal

Para una velocidad de 40 km/h, la sección transversal mínima que estipula la Norma 3.1-IC consta de dos carriles de 3 m de anchura y arcenes exteriores de 0,50 m.

En una carretera de montaña, donde los desniveles del entorno pueden ser importantes, se hace imprescindible la disposición de bermas de al menos 0,50 m para la colocación de barreras. Por otra parte, la sinuosidad del trazado y la sucesión de sobreamanchos hace recomendable disponer carriles de 3,50 m siempre y cuando sea posible para evitar transiciones de anchura demasiado bruscas.

Los anchos totales de carril, considerando los sobreamanchos, que es preciso aplicar a las diferentes curvas circulares se detallan en el cuadro siguiente (se especifica el ancho total del carril en metros):

RADIO (m)	INCLINACIÓN (%)
15	5
20	5
25	5
30	4,35
35	4,15
40	4
45	3,90

Tabla 3.3 Ancho de carril en función del radio de curvatura

Para las secciones especiales en túneles, viaductos y lechos de frenado se aplicarán las especificaciones que figuran en la Norma 3.1-IC.

3.1.7 Ajustes del eje de las infraestructuras

Finalmente, y con el objeto de menguar la ocupación del espacio por parte de la infraestructura, pero también para optimizar otros factores como son la minimización de los movimientos de tierras o la aparición de grandes taludes, conjuntamente con lo que se ha expuesto hasta ahora, se puede estudiar aún en la fase de definición de la traza el ajuste del eje de la infraestructura (en planta o en alzado).

Según los casos, se puede decir que:

- En desmontes y trincheras muy importantes se puede alzar la rasante o desplazar el eje hacia el fondo del valle unos metros para reducir la afectación.
- En terraplenes importantes se puede bajar la rasante o desplazar el eje hacia la carena unos metros para reducir la afectación.

La combinación múltiple de todos estos factores debe permitir encontrar la solución óptima para cada caso.

3.2 Drenaje

El drenaje debe garantizar la evacuación de las aguas interceptadas por la traza, cumpliendo con las recomendaciones de la Agencia Catalana del Agua y la Instrucción 5.2-IC de drenaje superficial, pero con un diseño de los elementos (bajantes, disipadores de energía, cunetas de guarda, etc.) más esmerado con su entorno montañoso.

Se debe tener en cuenta que las carreteras de montaña se encuentran en las cabeceras de las cuencas, hecho que produce una hidrología superficial con caudales elevados debido a tiempos de concentración pequeños y a velocidades elevadas debido a las fuertes pendientes del terreno.

La combinación de estos dos elementos provoca un elevado riesgo de erosión y el posible arrastre de piedras de medio y gran diámetro. El diseño de los elementos de protección frente a la erosión y la elección de los materiales tendrá que seguir una cierta concordancia con los materiales escogidos en los muros y las estructuras.

En todo caso, siempre y cuando sea posible, teniendo en cuenta los fenómenos de erosión y sedimentación, la canalización y los elementos de protección de avenidas se realizarán mediante materiales lo más naturales posible, evitando los revestimientos, a poder ser con elementos vegetales y con trazados adaptados al terreno natural.

Las obras de drenaje transversal y longitudinal se definen para permitir una dinámica y un flujo adecuado del sistema hidrológico.

En el primer caso dan la continuidad a los lechos que resultan interceptados por el trazado y en el segundo permiten la evacuación correcta de las aguas, que caen sobre la propia carretera y taludes adyacentes, hasta los lechos naturales.

Las nuevas obras de drenaje transversal se proyectarán por un periodo de retorno de 500 años, tal como indica la Agencia Catalana del Agua según la publicación *Recomendaciones técnicas para el diseño de infraestructuras que interfieren con el espacio fluvial*, de junio de 2006. Paralelamente los cálculos hidrológicos e hidráulicos se tendrán que hacer tal como se especifican en la publicación de la Agencia Catalana del Agua *Recomendaciones técnicas para los estudios de inundabilidad de ámbito local*, de marzo de 2003.

Los elementos de drenaje longitudinal se proyectarán por un periodo de retorno de 25 años tal como exige la *Instrucción 5.2-I.C. drenaje superficial*, de julio de 1990.

Las obras de drenaje transversal representan un papel fundamental para garantizar la permeabilidad transversal de la vía para la fauna. Por ello, independientemente de que se habiliten pasos específicos de fauna en los corredores interceptados por la traza, todas las obras de drenaje transversal se diseñarán para permitir el paso de invertebrados y de pequeños mamíferos.

A tal efecto, se recomienda modificar la base de las secciones circulares para que ésta sea plana y favorecer el paso de la fauna. En lechos de aguas permanentes o frecuentes, también habrá que habilitar las bases de la obra de drenaje, tanto si es circular como marco, para favorecer la creación de un cauce “de aguas bajas”. A la vez se dotará a las arquetas y a las estructuras de captación de rampas de escape en aquellos tramos más conflictivos.

Se desaconseja, en general, proyectar obras de drenaje transversal con acero corrugado, puesto que aumentan considerablemente las dificultades de paso para la fauna y las tareas de mantenimiento.

En general, los elementos de drenaje longitudinal se diseñarán adecuándolos lo mejor posible a los movimientos de la fauna evitando los posibles puntos de atrapada. Bajo el punto de vista paisajístico, se adoptarán medidas que minimicen el impacto visual de las cunetas laterales, bajantes y canalizaciones, utilizando revestimientos de piedra, escollera con materiales del lugar, hormigón impreso o tinta, y cualquier otra técnica que posibilite una adecuada integración en el medio.

3.3 Pavimento

El pavimento debe dar respuesta a dos grandes objetivos, como son tener suficiente capacidad para aguantar el tránsito de vehículos pesados que circulará por la carretera y a la vez resistir las extremas características climatológicas típicas de las zonas de montaña.

Por el dimensionamiento del firme para carreteras de montaña, al igual que en el resto de vías se tendrá que tener en cuenta la normativa siguiente:

- Norma 6.1-IC “Secciones de firme”, del Ministerio de Fomento, aprobada por la orden FOM/3460/2003 de 28 de noviembre (BOE de 12 de diciembre de 2003).
- Norma 6.3-IC “Rehabilitación de firmes”, del Ministerio de Fomento, aprobada por la Orden FOM/3459/2003 de 28 de noviembre (BOE de 12 de diciembre de 2003).
- Orden circular 21/2007. “Sobre el uso y especificaciones que deben cumplir los ligantes y mezclas bituminosas que incorporan caucho procedente de neumáticos fuera de uso (NFU)”.

En estas vías la intensidad media diaria acostumbra a ser relativamente pequeña, pero es preciso resaltar que el porcentaje de vehículos pesados es bastante elevado, por cuyo motivo se condiciona la sección de firme a disponer, según el catálogo de la Norma 6.1-IC “Secciones de firme”.

Estas vías suelen tener curvas y pendientes muy pronunciadas, con radios de giro muy pequeños y suelen estar ubicadas en zonas donde las características climatológicas son bastante extremas.

Es recomendable, por lo tanto, disponer de capas de rodamiento densas o semidensas, evitando mezclas bituminosas drenantes o abiertas, que aunque mejoran la seguridad ante el hidroplaneo, en zonas con cambios de gradiente térmico elevado ocasionan problemas de hielo/deshielo, ocasionando la congelación del agua que filtra entre los vacíos de la mezcla y provocando que con la congelación de la misma la capa de mezcla bituminosa se fisure. Paralelamente las mezclas densas o semidensas también son las que dan mejor respuesta a los fundentes (sales), imprescindibles para deshelar las carreteras.

Otro de los problemas de estas vías es garantizar la adherencia suelo-neumático, por lo que se recomienda proyectar el tendido de un tratamiento superficial antideslizante (bauxita) en zonas con posible riesgo de accidentalidad, curvas pronunciadas, pendientes elevados, etc.

La bauxita consiste en la aplicación sobre el pavimento de una resina de poliuretano de dos componentes, y sobre ella el tendido de un árido de bauxita calcinada (coloreada o sin pintar), ya que este material tiene un coeficiente de pulimento acelerado muy elevado y garantiza sobre el pavimento un coeficiente de frotamiento transversal (CRT) muy elevado, consiguiendo de esta manera una elevada adherencia y reduciendo la distancia del frenado de los vehículos.

En estas vías es posible introducir mezclas bituminosas que incorporen caucho procedente de neumáticos fuera de uso (NFU), así como hacer aportación de materiales reciclados procedentes del fresado, colaborando así con la sostenibilidad ambiental.

Únicamente no es recomendable utilizar el reciclaje *in situ*, ya que al ser zonas con temperaturas extremas, no es posible garantizar la temperatura del tendido de la mezcla y se pueden originar problemas de adherencia de la capa extendida con el firme existente.

3.4 Estabilización y tratamiento de taludes

A partir de las secciones transversales del trazado, se estudiará en cada caso la mejor implantación entre proyectar taludes en terraplén o desmonte y diseñar elementos de contención. Dentro de los elementos de contención, en cada caso se evaluarán los pros y los contras bajo el punto de vista estructural, económico, constructivo y ambiental de cada tipología.

En general, los taludes en terraplén o desmonte son la solución a la sección transversal que minimiza el impacto ambiental siempre y cuando éstos tengan una pendiente máxima del 3 H/2V.

Eso se produce por dos motivos: Por una parte son revegetables hecho que ayuda a integrar mejor la carretera visualmente y por otra parte aceleran el proceso de construcción por lo que se disminuye el daño ecológico durante las obras. A pesar de ello, tienen el inconveniente que aumentan considerablemente el ámbito de ocupación del territorio y el movimiento de tierras.

Aun así, en las carreteras de montaña existen numerosas secciones transversales donde la implantación de los taludes en terraplén o desmonte es inviable por razones ambientales y/o económicas, o en las que es recomendable minimizar su ocupación y/o compatibilizar con la pendiente máxima recomendada 3H:2V.

En estos casos y aquellas secciones en las cuales la altura del talud sea superior a 15 m, se pueden ejecutar muros al pie de los desmontes y terraplenes. Con esta actuación se reduce la superficie de afectación y a la vez se consigue obtener una pendiente que permita una buena restauración.

Los muros a pie de desmonte pueden estar constituidos por bloques de piedra de escollera (muro de escollera) o por gaviones (muro de gaviones), y se recomienda que tengan una altura máxima de 3 a 3,5 m, y su ejecución, si bien se debe prever en la fase de proyecto, si se cree conveniente en la fase constructiva se pueden hacer modificaciones del proyecto para poder ejecutarlos.

Los elementos de contención de tierras permiten una minimización de la sección transversal, y por lo tanto del movimiento de tierras, pero generan un gran impacto ambiental tanto visual como ecológico. Normalmente estos elementos de contención suponen, para la fauna, una interrupción de los corredores biológicos.

La decisión de la adopción de muros a pie de terraplén o de desmonte es preciso que se valore en la fase de Estudio de Impacto Ambiental (EIA). Esta valoración se debe hacer teniendo en cuenta tres parámetros: el interés intrínseco del entorno ocupado por el terraplén y el impacto paisajístico.

Los muros de contención pueden ser de diferentes tipologías:

- de hormigón armado
- de tierra armada
- de gaviones
- de escolleras
- de muro verde

En todos los casos es preciso prever la integración paisajística de los muros.

Si se opta por aplacar el muro con piedra del lugar, se obtienen muy buenos resultados de integración.

Los muros de hormigón se pueden integrar también mediante la adecuación superficial del hormigón (color, textura, aplacados, etc.) o mediante la ocultación física del muro con vegetación. La oxidación del muro es otra opción, pero tan solo recomendable en entornos paisajísticos de tonos ocre y rojizos.

Los gaviones es preciso que estén rellenos con piedras litológicamente compatibles con el entorno, y, además, con materiales finos y un poco de tierra vegetal, para que la vegetación se pueda implantar con facilidad. Es recomendable que, una vez ejecutado el muro, se realice una hidrosiembra en el frontal del muro.

El muro verde es preciso que tenga una hidrosiembra adaptada a las condiciones particulares del muro – de sol o de sombra – y trabajos constantes de mantenimiento – riegos, resiembras, etc. En cuanto a las escolleras, es preciso un tratamiento de restauración que incluya los rellenos con tierras vegetales de los agujeros que quedan entre los bloques de piedra y la plantación posterior en estos intersticios.

Para cada tipo de elementos de contención, se destacan en la siguiente Tabla aspectos ambientales, técnicos y económicos relacionados con el elemento considerado y su aplicabilidad en el medio montañoso.

Estabilización y tratamiento de taludes	Talud máximo	Construcción	Coste económico	Impacto ambiental	Aplicabilidad
Muro de hormigón	90°	Lenta	Medio	Elevado	Baja
Muro de hormigón revestido	90°	Lenta	Elevado	Medio	Media
Muros de escollera	70°	Media	Bajo	Bajo	Alta
Muro de tierra armada	90°	Lenta	Bajo	Elevado	Baja
Muro verde	70°	Lenta	Elevado	Bajo	Media
Muro de gaviones	90°	Media	Elevado	Medio	Media
Talud revegetable	33°	Rápida	Bajo	Bajo	Alta

Tabla 3.4 Estabilización y tratamiento de taludes

En carreteras de montaña se recomienda utilizar taludes revegetables siempre y cuando sea posible y posteriormente realizar las medidas correctoras con las especies más adecuadas con el paisaje del entorno.

En el caso de las curvas de herradura es muy probable que tanto los desmontes como los terraplenes no se puedan realizar con taludes revegetables. En estas situaciones se recomienda recorrer a soluciones mixtas entre muros verdes y muros de piedra seca o gaviones debido a su carácter más flexible e integrable con el entorno montañoso.

Respecto al impacto visual de los taludes, se puede reducir aplicando técnicas de bioingeniería (¹), algunas de las cuales se detallan más adelante, que permiten revegetar taludes más verticales a un 3H/2V, pero es preciso estudiar su idoneidad según las condiciones climatológicas, edafológicas y biológicas. En estas técnicas siempre se tendrá que trabajar con especies autóctonas para solucionar problemas y mejorar el estado ecológico de los espacios en los que se actúa.

Cuando la carretera discurre en trinchera y los desmontes son muy desproporcionados, es recomendable implementar un falso túnel. Estos elementos disminuyen el impacto visual y mantienen las condiciones originales de corredor biológico. Una vez acabada la obra del falso túnel es preciso hacer el relleno de las tierras hasta recuperar el relieve original.

Atravesar una montaña con túnel es más costoso que hacerlo mediante trincheras. Las ventajas, sin embargo, no sólo son ambientales sino que también son de trazado. Los túneles pueden reducir la pendiente de la carretera y acortar notablemente la longitud de la traza.

Con la construcción de túneles, se mengua, además, uno de los impactos indirectos más importantes de la construcción de infraestructuras en zonas de relieve abrupto: la generación de un gran volumen de materiales excedentarios proveniente de las excavaciones.

A pesar de que la construcción de túneles y falsos túneles presenta grandes ventajas, no está exenta de impactos que pueden llegar a ser importantes y que, por lo tanto, es preciso prever y corregir en los correspondientes proyectos constructivos y de medidas correctoras.

Con el objeto de conseguir una plena integración de la estructura, en la construcción de falsos túneles se tiene que tener presente cumplir una serie de condiciones:

- el relleno de tierras tiene que restituir la morfología original, o sea, debe dar continuidad al relieve natural a ambos lados de la infraestructura
- la longitud del falso túnel tiene que ser la que permita integrar la trinchera en su entorno
- la estructura del falso túnel tiene que soportar, cuando convenga, cargas asimétricas, como consecuencia de una acumulación de tierras superiores a uno de los lados del falso túnel.

Como medida complementaria de integración paisajística se puede plantear también la construcción de falsos túneles en las embocaduras de túneles, que consiste en construir una estructura sobre la cual se puedan poner tierras, de manera que la parte frontal de la excavación quede tapada. Para asegurar la máxima integración con el entorno, el falso túnel debe tener suficiente longitud para que el relleno de tierras llegue a tapar al máximo los desmontes, tanto frontales como laterales. Es preciso tener presente que la pendiente máxima de las tierras de relleno es de 3H:2V.

3.5 Estructuras

En los capítulos anteriores se han explicado los criterios que es preciso adoptar para hacer compatible la normativa vigente del trazado, encaminada sobre todo a garantizar la seguridad de los usuarios de la carretera, y que tenga la mínima afectación al medio. Los mencionados criterios constituyen, por sí mismos, la mejor garantía para una integración correcta de las obras de fábrica en el entorno. Resulta evidente que las obras de fábrica y estructuras de una carretera bien encajada en el terreno no serán importantes, y cuando menos su impacto será lo más reducido posible.

Por otra parte es preciso esperar que en carreteras de montaña, en general no sean frecuentes los enlaces a distinto nivel y que no sea necesario atravesar lechos demasiado importantes. Se puede dar el caso, en el supuesto de que en un determinado proyecto de mejora o nueva carretera se resuelva sin obras de fábrica, puesto que no se cruza ninguna infraestructura y que los lechos atravesados se puedan salvar con obras de drenaje.

La frontera entre una obra de drenaje y una obra de fábrica es difusa y ninguna normativa o recomendación establece nada al respecto. Intentando armonizar los criterios hidráulicos y los estructurales, y sin ninguna pretensión de aportar un carácter normativo, en carreteras de montaña se puede considerar que son obras de drenaje transversal los tubos o marcos hasta 8 m de luz y a partir de esta luz, para cualquier tipología, son obras de fábrica o estructuras.

En los apartados siguientes se tratarán de establecer los criterios y las líneas de actuación encaminadas a minimizar los impactos de una obra de fábrica o estructura en las carreteras de montaña.

3.5.1 Consideraciones generales

En primer lugar, es preciso señalar que los condicionantes o las recomendaciones para el trazado tienen que prevalecer sobre los de las obras de fábrica. Se considera que la afectación global que provoca una carretera depende, básicamente, de su trazado, siendo la obra de fábrica un elemento, que pese a que se tenga que cuidar, no será decisivo. Lógicamente siempre se podrán encontrar excepciones en las que la obra de fábrica sea determinante, pero en general no será así.

En segundo lugar, es preciso tener presente que la funcionalidad de la estructura es irrenunciable, o sea si pasa sobre o por debajo de un ferrocarril debe cumplir las prescripciones fijadas con la compañía administradora de la línea y si pasa sobre un río debe cumplir los criterios que la Administración responsable fije al respecto.

En tercer lugar, es preciso tener en cuenta que la tendencia general, para minimizar impactos, de proyectar obras de fábrica de grandes luces, en el caso de carreteras de montaña puede resultar contraproducente, puesto que puede dar lugar a trazados inadecuados, sobre todo en alzado, y afectaciones al medio de entidad, durante su construcción.

Se recomienda, por lo tanto, pensar que cuando se trata de una carretera de montaña los criterios se tienen que matizar y sobre todo se tienen que adaptar a las características morfológicas de este entorno tan peculiar. Finalmente es preciso añadir que si el documento en redacción ya dispone de la Declaración de Impacto Ambiental (DIA), como en el caso de la mayoría de proyectos constructivos, es preciso cumplirla.

3.5.2 Planteamiento

En el caso de que se tenga que afrontar el diseño de una obra de fábrica en una carretera de montaña, inicialmente se tiene que intentar que pase desapercibida, o sea que tenga el menor impacto visual posible.

Si eso no es posible se plantea la duda, de ir en busca de un elemento singular que destaque y aporte una nueva calidad al paisaje, o, por contra, diseñar una obra de fábrica estándar, que pese a no aportar nada nuevo al entorno pase al máximo de desapercibida e integrada con el paisaje existente. Esta duda no tiene respuesta genérica y es preciso plantearlo de nuevo en cada caso. Depende de una parte del entorno de la estructura y de la otra de los recursos que se pueden destinar para su construcción.

En general, en las carreteras de montaña lo más probable es encontrar estructuras de pequeñas dimensiones y no grandes viaductos, más típicos de las zonas planas. Este hecho responde a las características morfológicas de la montaña y a la importancia viaria de la carretera, que normalmente no justifican grandes estructuras ni por motivos económicos ni ambientales. A pesar de que a veces, en una carretera de montaña se puede dar el supuesto de que se tenga que superar una línea de ferrocarril, otra carretera o un cauce importante por motivos hidráulicos o ambientales y entonces sea necesario proyectar obras de fábrica de entidad.

3.5.3 Materiales

Las obras de fábrica, en función de los materiales utilizados para su construcción, se clasifican como sigue:

- **De mazonería**

Actualmente casi ha desaparecido por su elevado coste y la falta de mano de obra especializada. Tan solo se proyectan algunos muros de dicho tipo, como se ha señalado en el capítulo correspondiente a los elementos de contención. Son de aplicación, en general, luces pequeñas y estribaciones de escasa altura. Las obras de fábrica construidas con estos materiales proporcionan un aspecto agradable (impacto visual reducido) y quedan bien integradas al entorno. Sin embargo, no hay que olvidar que el suministro de la piedra obliga al mantenimiento de canteras y a un transporte importante.

- **De hormigón en masa**

El ámbito de utilización es muy parecido al de la mazonería, pero, actualmente, también casi ha desaparecido porque no se contemplan en las normativas vigentes. Son igualmente de aplicación en vueltas de luces pequeñas y estribaciones de escasa altura. En general obligan a elementos poco esbeltos, que provocan impactos visuales importantes.

- **De hormigón armado**

Actualmente es el material más utilizado en estructuras, principalmente para fundamentos y alzados de pilas y estribaciones. Para tableros de tramos rectos su utilización queda limitada hasta luces de unos 15 m. El coste de las obras de fábrica de hormigón armado es óptimo dentro de su campo de utilización. En alzados permiten elementos esbeltos, pero en tableros la relación luz/canto es alta. Los impactos que provocan pueden clasificarse como medios.

- **De hormigón pretensado**

Actualmente es el material más utilizado, principalmente, para tableros de tramos rectos. El coste de los tableros de este material es óptimo dentro de su campo de utilización que llega, competitivamente, hasta luces de 100 m. Permite tableros esbeltos con relaciones luz/canto que pueden llegar a 30. Los impactos que provocan pueden clasificarse como bajos.

- **Mixtos de acero y hormigón**

Su campo de aplicación coincide con los de hormigón pretensado, con los que compiten económicamente dependiendo del precio del acero. Particularmente, no es demasiado conveniente utilizarlos en las carreteras de montaña, puesto que para minimizar los efectos de las nevadas se utilizan sales fundentes altamente perjudiciales para la conservación del acero.

- **De acero**

Su campo de aplicación son las grandes luces, circunstancia que no hay que esperar en las carreteras de montaña. Además tienen el problema de las sales, señalado en el apartado anterior.

A continuación se resumen en un cuadro los criterios de aplicación, en cuanto a los materiales en las carreteras de montaña:

Material	Luces	Construcción	Coste económico	Impacto ambiental	Aplicabilidad
Mazonería	<10 m	Lenta	Alto	Bajo	Alta
Hormigón armado	<15 m	Media	Bajo	Medio	Media
Hormigón pretensado	<100 m	Rápida	Bajo	Bajo	Alta
Mixto de acero y hormigón	<100 m	Rápida	Medio	Bajo	Alta (*)
Acero	>100 m	Rápida	Elevado	Bajo	Media (*)

Tabla 3.5 Materiales utilizados en estructuras

(*) No utilizar en zonas con riesgos de nevadas

3.5.4 Proceso ejecutivo

Las obras de fábrica, en función del proceso ejecutivo seguido por su construcción, se clasifican como sigue:

• Obras de fábrica ejecutadas *in situ*

Desde hace unos cuarenta años, fecha en la que aparece de una manera competitiva el elemento prefabricado, han ido perdiendo cuota de mercado. En el coste de dicho tipo de estructura la mano de obra tiene un peso importante, y eso da una incertidumbre en el coste que no gusta al constructor.

Sus campos de aplicación son, casi antagónicos, por una parte las pequeñas obras de fábrica y por otro los grandes viaductos. Aunque la prefabricación ya resulta muy competitiva en las pequeñas obras de fábrica, e incluso en las obras de drenaje, se continúan ejecutando muchas pequeñas obras de fábrica *in situ*.

Actualmente se recomienda construir puentes integrales (sin juntas ni soportes de neopreno) por su bajo coste de mantenimiento. Estos tipos de puente, básicamente, realizado *in situ* es obligatorio en algunos países dentro de su campo de aplicación, que son los puentes de luz inferiores a los 80 m y con poca desviación.

Por otra parte los grandes viaductos, pese a que no son frecuentes en carreteras de montaña, es preciso realizarlos *in situ*. Al respecto es preciso señalar que, en los últimos años, las cindras han mejorado técnicamente y económicamente, hecho que ha supuesto un fuerte crecimiento del número de viaductos realizados *in situ*.

En principio, una obra ejecutada *in situ* provoca un impacto, de cualquier tipo, menor que el de una obra prefabricada. Sin embargo, es preciso ser prudentes en esta afirmación, puesto que los impactos dependen en gran parte del cuidado en el que se ejecuta la estructura.

Es preciso pensar que, aparte del impacto visual que depende del encaje y el diseño, los principales impactos ambientales que provoca una obra de fábrica son debidos a su ejecución.

• Obras de fábrica con porcentaje significativo de prefabricación

La aparición del elemento prefabricado conjuntamente con el abaratamiento del transporte, debido a la mejora de las infraestructuras y el bajo precio de los combustibles, han provocado un desarrollo muy importante de las estructuras de dicho tipo. La gran ventaja de dicho tipo de obras es el bajo coste y sobre todo su control.

No existen obras totalmente prefabricadas. Esta técnica se aplica, preferentemente, en los tableros de luces inferiores a 50 m y también a los alzados de pilas y estribaciones. En los fundamentos, ocasionalmente se pueden utilizar pilotes prefabricados, pero casi siempre, se ejecutan *in situ*.

En principio, una obra con prefabricados provoca más impacto que una ejecutada *in situ*, pero, tal y como se ha dicho antes esto no se puede decir de una manera general, puesto que los impactos dependen en gran parte del cuidado en el que se ejecuta la estructura.

Se resumen en el siguiente cuadro los criterios de aplicación, en cuanto al proceso ejecutivo en las carreteras de montaña:

<i>Proceso ejecutivo</i>	<i>Luces</i>	<i>Construcción</i>	<i>Coste económico</i>	<i>Impacto ambiental</i>	<i>Aplicabilidad</i>
Ejecutados in situ	<10 m >50 m	Lenta	Medio	Bajo	Alta
Ejecutados con porcentaje significativo de prefabricación	>10 m <50 m	Rápida	Bajo	Medio	Media

Tabla 3.6 Proceso ejecutivo de las estructuras

3.5.5 Tipología

Las obras de fábrica, en función de la tipología estructural, se clasifican como sigue a continuación de más a menos utilizadas en carretera de montaña:

- **Vueltas con relleno de tierras**

Se trata de la tipología más utilizada hasta que el acero se incorporó al mundo de la construcción. Aún se utiliza para salvar luces hasta unos 15 m, pero su uso está en un claro retroceso, puesto que el coste de dicho tipo de estructura es elevado.

- **Marco o pórticos de hormigón**

Se trata de la tipología más utilizada para luces hasta unos 15 m. El motivo por el que se elige esta tipología es el bajo coste, que deriva de la facilidad de ejecución y la posibilidad de prefabricación, sobre todo con luces pequeñas.

- **Tramos rectos biapoyados**

Se trata de la tipología más utilizada actualmente para luces inferiores a los 50 m. El motivo por el que se elige esta tipología, también, es el bajo coste, que deriva de la facilidad para prefabricar los elementos de más coste (las vigas) y la rapidez de ejecución.

- **Tramos rectos continuos**

Se trata de la tipología más utilizada actualmente para luces entre 50 y 100m. El motivo por el que se elige esta tipología es porque proporciona el coste más bajo posible, que deriva del gran desarrollo que han tenido, en los últimos años, las cindras de todo tipo.

- **Grandes arcos**

Se trata de una solución elegante para determinadas situaciones geográficas. Su principal campo de aplicación son las luces entre 50 y 150 m, siempre y cuando la fundamentación sea sencilla. El coste de las obras de esta tipología resulta elevado, si bien en determinadas situaciones resulta competitivo.

- **Puentes colgantes y atirantados**

Es preciso situar estas tipologías en el grupo de los puentes singulares. No es probable que en una carretera de montaña sea necesario recorrer a estructuras de dicho tipo, pero en algún caso particular puede resolver, con una inmejorable estética y un impacto reducido, una situación difícil para tipologías más convencionales. El coste de estas estructuras es alto y el proceso ejecutivo complicado.

Se resumen en el cuadro siguiente los criterios de aplicación, en cuanto a la tipología estructural en las carreteras de montaña:

<i>Tipología estructural</i>	<i>Luces</i>	<i>Construcción</i>	<i>Coste económico</i>	<i>Impacto ambiental</i>	<i>Aplicabilidad</i>
Vueltas con relleno de tierras	<15 m	Lenta	Medio	Bajo	Alta
Marcos y pórticos de hormigón	<15 m	Rápida	Bajo	Medio	Media

Sigue en la página siguiente

<i>Tipología estructural</i>	<i>Luces</i>	<i>Construcción</i>	<i>Coste económico</i>	<i>Impacto ambiental</i>	<i>Aplicabilidad</i>
Tramos rectos biapoyados	<50 m	Rápida	Bajo	Elevado	Baja
Tramos continuos	>50 m <100 m	Media	Medio	Medio	Media
Grandes arcos	>100 m <150 m	Lenta	Elevado	Medio	Baja
Puentes atirantados y colgantes	>100 m	Media	Elevado	Medio	(*)

Tabla 3.7 Tipologías estructurales

(*) Su aplicación en carreteras de montaña no responde ni a criterios económicos ni ambientales

3.5.6 Consideraciones finales

Estudiando los cuadros anteriores, se deduce que no es posible establecer criterios generales para determinar un determinado tipo de material, proceso ejecutivo o tipología de puente. La mejor opción siempre será la que mejor se adapte al terreno y al trazado, independientemente de materiales, proceso o tipologías.

A la hora de encajar lo mejor posible estas estructuras, es imprescindible realizar los preceptivos estudios geotécnicos e hidráulicos para así poder caracterizar adecuadamente el medio físico donde se emplacen. En estos ámbitos, es del todo ineludible realizar un trabajo multidisciplinar entre los conocimientos estructurales, geotécnicos e hidráulicos, en el momento de establecer la disposición de pilas y estribaciones.

Aunque ya se ha dicho antes, es preciso repetir el concepto que de nada sirve proyectar una estructura, a pesar de que esté bien encajada en el terreno, que obligue a un trazado inadecuado. El trazado tiene que prevalecer sobre la estructura, puesto que los impactos globales de la infraestructura derivan, básicamente, del encaje geométrico de la carretera y muy poco del diseño de la estructura.

Con todo, finalmente se indican una serie de recomendaciones o criterios para la elección de un determinado tipo de estructura para las carreteras de montaña:

- No condicionar el trazado por la estructura.
- Cuidar la estética.
- Evitar, si es posible, las grandes luces.
- Evitar estribaciones de gran altura.
- Evitar los trabajos a media vertiente.
- Si es preciso favorecer el trazado, no renunciar a grandes estructuras.
- Integrar los acabados.
- Utilizar materiales naturales cuando sea posible.

Observando la lista anterior, se deduce que algunas de las recomendaciones son contradictorias. Como ejemplo hay que evitar las grandes luces y proyectar estribaciones de poca altura. Es por ello que se quiere concluir este apartado con el que ha sido un leitmotiv continuado: No se pueden establecer criterios generales para las obras de fábrica, la lógica tiene que prevalecer siempre sobre otras consideraciones.

3.6 Sistemas de contención

Los sistemas para contención de vehículos son elementos lineales de fuerte presencia visual. Su elección puede condicionar de forma elevada el impacto visual de la carretera sobre el medio.

A continuación se adjunta una Tabla de aplicación de los diferentes sistemas de contención para vehículos con sus pros y contras. Esta Tabla no pretende ser impositiva, sino que intenta tener en cuenta todas las variables que condicionan la propia elección, y supeditando siempre la mejor implantación según las características de cada caso.

Sistemas de contención	Adaptación al medio	Facilidad de drenaje	Ocupación de berma	Cumplimiento de la normativa	Coste ambiental	Aplicabilidad
Barrera metálica	<i>Baja</i>	<i>Alta</i>	<i>0,75 m</i>	<i>Sí</i>	<i>Alto</i>	Baja
Barrera de hormigón prefabricada	<i>Baja</i>	<i>Alta</i>	<i>0,50 m</i>	<i>Sí</i>	<i>medio</i>	Baja
Barrera de hormigón in situ	<i>Media</i>	<i>Media</i>	<i>0,50 m</i>	<i>Sí</i>	<i>Medio</i>	Alta
Barrera de madera	<i>Alta</i>	<i>Alta</i>	<i>0,50 m</i>	<i>No</i>	<i>Bajo</i>	Media
Barrera de muro de piedra	<i>Alta</i>	<i>Baja</i>	<i>1 m</i>	<i>No</i>	<i>Alto</i>	Baja

Tabla 3.8 Sistemas de contención

Se recomienda evitar todas aquellas soluciones que no cumplan con la normativa vigente o que no estén homologadas, sobre todo por motivos de seguridad, pero también porque los posteriores trabajos para adecuarlas no siempre van de acuerdo con la mejor integración de la carretera.

Por lo tanto, a partir de la Tabla anterior, se puede deducir que como sistema de contención para vehículos en carreteras de montaña, resulta más adecuada la barrera de hormigón *in situ*. Se trata de un elemento seguro y homologado que con un tratamiento superficial del hormigón se puede adecuar mejor al paisaje del entorno.

Es preciso poner de manifiesto que, concretamente en el caso de barreras de madera, la normativa europea, que posiblemente entrará en vigor en los próximos años, contempla la utilización de estas barreras que tendrán que acreditar una serie de exigencias en relación con el nivel de retención, intensidad del impacto, etc.

Las carreteras de montaña con mucha frecuencia son de uso para motoristas por lo tanto también se tendrán que proteger para los posibles accidentes por este tipo de vehículos.

Más recientemente, se puede ir a soluciones mixtas entre diferentes materiales. A pesar de que la mayoría actualmente no estén homologadas son soluciones más flexibles y que tienen una elevada adaptabilidad con el entorno.

En todo caso la elección del sistema de contención para vehículos nunca tendrá que ir en detrimento de la seguridad de los usuarios de la carretera.

3.7 Señalización

La señalización vertical deberá cumplir la Instrucción de Carreteras Norma 8.1-IC de “señalización vertical”. Hay que tener en cuenta que la señalización vertical es un elemento bastante importante dentro de la carretera porque aporta información al usuario del lugar por donde circula tanto bajo el punto de vista viario como cultural.

La señalización horizontal se tendrá que adecuar a la Instrucción de Carreteras Norma 8.2-IC de “marcas viales”.

En carreteras de trazado bastante sinuoso la señalización no podrá adaptarse al cumplimiento estricto de las mencionadas normas.

Así pues, en muchos casos la señalización horizontal constará de una línea discontinua y la vertical de una señal que indica que la línea discontinua únicamente indica separación de carriles y que se podrá avanzar siempre y cuando se considere adecuado y seguro.

En cuanto a los materiales a aplicar existen en el mercado pinturas para la señalización horizontal de base ecológica que su utilización resulta especialmente recomendable en medios sensibles como son los de montaña.

En aquellos tramos más susceptibles a sufrir nieblas y nevadas, se tendrá que disponer de balizas para indicar la traza de la carretera a seguir.

4 TÉCNICAS DE BIOINGENIERÍA Y CARRETERAS DE MONTAÑA

La construcción de nuevas infraestructuras viarias en Cataluña en zonas de montaña representa una de las fuentes de impactos ambientales más importante en este ámbito. Eso es debido, en nuestro país, al hecho de que tenemos habitualmente una orografía complicada que dificulta mucho la construcción de dicho tipo de infraestructura, hay que tener en cuenta de que gran parte de las pistas forestales transcurren por lugares donde la pendiente transversal es superior al 40%.

La incidencia paisajística o la erosión derivada de la construcción o condicionamiento de dicho tipo de carreteras añaden un grado más de impacto asociado, como el aumento de la inestabilidad de las vertientes y del riesgo de erosión.

Teniendo en cuenta la importante cantidad de tierra que se mueve a lo largo de las obras de una infraestructura lineal, y que todos los taludes de nueva generación tienen que ser estables, el objetivo a alcanzar es su pronta revegetación para evitar la aparición de procesos erosivos que comporten la pérdida de suelo de mejor calidad y acaecer un riesgo geológico a largo plazo.

Las técnicas de bioingeniería en medios tan sensibles como por los que discurren las carreteras de montaña, se demuestran como especialmente útiles para alcanzar los objetivos de preservación del suelo y una integración paisajística satisfactoria de la cicatriz de la infraestructura en el medio. Es por este motivo que se dedica un apartado específico a exponer las principales, tanto para la restauración de taludes con inestabilidad superficial y geotécnica, como para la restauración de las zonas fluviales que puedan resultar afectadas por el condicionamiento o construcción de una nueva carretera.

4.1 Técnicas de bioingeniería para la restauración de taludes

4.1.1 Taludes con inestabilidad superficial (de pendiente baja a elevada)

1. Abrigo protector con herbáceas de la zona

Se define como cubierta cualquier material orgánico o inorgánico aplicado a la superficie del suelo para proteger las semillas, mantener más uniformes las temperaturas del suelo, reducir la evapotranspiración, enriquecer el suelo o reducir la erosión al absorber el impacto directo de las gotas de lluvia.

Una técnica muy simple y a menudo muy eficaz es la utilización de hierba de la zona segada (sobre todo en áreas protegidas) aplicada sobre la superficie del suelo a proteger. La simple aplicación del abrigo protector de la desbrozada en taludes de igual o menos de 30° es una técnica muy recomendable. Es preciso tener en cuenta la época en la que estas especies presentan semilla y evitar la manipulación excesiva entre cortado y aplicado. Resulta muy interesante utilizar para la manipulación recipientes tipo *Big-bags*. La técnica se puede mejorar si pasamos el rodillo, también se puede utilizar material externo como la celulosa o paja de cereal. Se tendrá la precaución de que durante el tendido no se formen conglomerados de hierba que dificulten la germinación. Se considera una dosis óptima si queda incluida en el intervalo de 300-500 g/m².

2. Mejora del suelo

Son los trabajos consistentes en la mejora de la estructura edáfica y/o la fertilidad química de los suelos afectados por la creación o modificación de taludes. Esta solución acelera el proceso de reinserción del área que ha sido impactada.

La capacidad de retención de humedad de un suelo está condicionada por su textura, de manera que para obtener el valor óptimo para su regeneración, se pueden realizar aportaciones de tierras vegetales francas. En algunos casos la tierra a aportar puede ser más arenisca o arcillosa para que una vez mezclada con el suelo presente el resultado sea un suelo franco.

Tierra vegetal: es la mezcla de arena, limos, arcilla y materia orgánica junto con los microorganismos correspondientes. Estas tierras tendrán que tener una textura franca, bastante arenisca y con un índice de plasticidad menor de 8. El pH tendrá que ser de 6,2-7 que es el óptimo para el desarrollo de bacterias y hongos fertilizantes.

La reposición del suelo, en otros casos, pasa por una aplicación adecuada de abonos, incorporación de enmiendas orgánicas, para corregir la acidez, u otros...

Abonos orgánicos: son productos procedentes, o no, de la transformación de la materia orgánica de otros seres vivos que pueden ser aprovechados y asimilados por los componentes del reino vegetal. Normalmente, esta transformación es producida por la acción de una serie de microorganismos, la mayoría aeróbicos, que tienen como misión transformar la materia orgánica inicial, no asimilable por los vegetales, en un producto final que ya puede ser aprovechado por las plantas y que las ayudará a mejorar sus condiciones de vida.

La materia orgánica del suelo incrementa la aportación de humus, permite mejorar la textura y la estructura del suelo y lo hace más fértil, ya que aumenta su flora microbiana.

Se pueden establecer diferentes categorías del producto según el origen: de procedencia animal (deyecciones, cuernos, huesos, residuos de pesca, etc.), de procedencia vegetal (turba, residuos de cultivos, hojas, etc.) o mixtos (desperdicios, residuos sólidos urbanos (RSU), mantos y abonos orgánicos comerciales).

Por naturaleza, tienen como mínimo un 2% de N orgánico; la suma de N, P_2O_5 y K_2O debe ser $\geq 6\%$; la materia orgánica total $\geq 30\%$. Su humedad mínima es del 30%.

Compuesto: es materia orgánica que ha sido estabilizada hasta transformarse en un producto parecido a las sustancias húmicas del suelo, libre de patógenos y de semilla de malas hierbas. No atrae insectos o vectores y puede ser manejado y almacenado sin ocasionar molestias; es beneficioso para el suelo y para el crecimiento de las plantas.

Abonos organominerales: son productos constituidos por una parte importante de un sustrato de naturaleza orgánica que se puede enriquecer normalmente con N, P, K, microelementos, ácidos húmicos y ácidos fúlvicos, etc.

Los buenos abonos organominerales se caracterizan porque los elementos que los componen, una vez hecha la mezcla, sufren una operación de molienda, fermentación y homogeneización que da como resultado un producto de características homogéneas. Tienen como mínimo un 1% de N orgánico. La suma del N total, P_2O_5 y K_2O debe ser superior al 13%.

Abonos minerales: son los productos sin materia orgánica que se obtienen como resultado de una reacción de síntesis química, o bien proceden de la extracción natural de minerales. Se clasifican de la manera siguiente, de acuerdo con los tres elementos químicos principales: nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K):

- **Abonos simples.** Contienen un solo elemento principal en su composición; según el elemento que contienen, hay abonos nitrogenados, fosfóricos o potásicos.
- **Abonos compuestos.** Están formados por una mezcla de abonos simples, sin que en su composición intervenga ningún tipo de interacción química.
- **Abonos complejos.** En su composición interviene más de un elemento químico por medio de la combinación o reacción de diferentes elementos químicos. Según tengan dos o tres elementos, reciben el nombre de binarios o ternarios.

En los abonos compuestos hay una simple mezcla adicional de los abonos que los originan; en los abonos complejos, por pequeña que sea una partícula del abono, siempre está formada por las diferentes partes, ya que están enlazadas con uniones químicas.

Se tienen que utilizar abonos de liberación lenta para evitar los problemas de pérdidas por lixiviación del ion NO_3^- y por volatilización del NH_3 procedente de los fertilizantes amónicos o ureicos.

Son fertilizantes, generalmente nitrogenados o complejos de NPK, que liberan el nutriente al medio a un ritmo lento.

La mejora del suelo siempre pretende englobar todo el horizonte útil. En este sentido desaconsejamos hacer un acabado final de 10-15 cm de tierra vegetal ya que este horizonte condicionará la vegetación y cuando los nutrientes de esta capa se agoten habrá una pérdida de cobertura vegetal (a los dos tres años). Es preciso trabajar siempre partiendo del suelo base de la zona.

2.1 Escarificado

La escarificación consiste en romper la superficie del suelo a manera de araño, facilitando que penetre el agua y el aire.

Se debe proceder a la escarificación cuando la capa de fieltro sea demasiado gruesa e impida la libre circulación del agua, los nutrientes y el aire.

La escarificación se debe hacer preferentemente durante el periodo principal de crecimiento, y en condiciones atmosféricas favorables a fin de que la vegetación afectada se pueda recuperar.

La operación de escarificación se debe hacer más profundamente en el caso de que se tenga que efectuar una resiembra posterior.

El escarificado es muy aconsejable en aquellas zonas naturales afectadas por el paso de maquinaria.

El escarificado debe seguir siempre las líneas altitudinales de esta forma se evita ser frente de nuevos problemas erosivos al tiempo que frenan la escorrentía

3. Siembra manual

Se define como siembra el procedimiento de repoblación que consiste en la diseminación en el terreno de las semillas de las especies que se intentan propagar. En el apartado 5. Tablas resumen se proponen las mezclas de semillas de especies herbáceas idóneas a utilizar para cada ámbito de montaña caracterizado.

Habitualmente se utiliza en taludes suaves donde sus características lo hacen un lugar de fácil implantación de la comunidad herbácea. También se utiliza esta técnica cuando la superficie a sembrar es muy reducida o bien cuando el acceso con vehículo no es posible.

Las semillas pueden haber sido recolectadas en la zona de actuación y tratadas por una empresa especializada, o bien proceder de cultivos controlados por los servicios oficiales correspondientes. Éstas tienen que haber sido obtenidas según las disposiciones del Reglamento técnico de control y certificación de semillas y plantas forrajeras del 15 de julio de 1986.

Las semillas utilizadas corresponden a las categorías de semilla certificada y/o estándar y no pueden estar contaminadas por patógenos ni insectos, ni tampoco presentar señales de haber sufrido ninguna enfermedad, ni ataques de insectos o de animales roedores. Asimismo, las semillas tienen que estar limpias de materiales inertes, de semillas de malas hierbas y de semillas de otras plantas cultivadas, dentro de los límites establecidos por el Reglamento técnico.

4. Cobertura de ramas

Se trata de un recubrimiento de la superficie del talud inferior a 35°, mediante la plantación de varas que, desde el principio, protejan de la erosión causada por el agua de escorrentía superficial. Se aconseja que las varas sean procedentes de especies arbustivas autóctonas con elevada capacidad de propagación vegetativa.

Confiere una protección inmediata de la erosión mecánica y una estabilización en profundidad mediante una densa retícula de raíces, con vegetación arbustiva duradera.

Esta técnica sólo se puede realizar durante el periodo de parada vegetativa, siendo la mejor época a finales de otoño.

5. Hidrosiembra

La siembra de especies elegidas ayuda en los primeros momentos a evitar la erosión del suelo. Sin embargo, el periodo comprendido entre la siembra y la germinación e inicio del crecimiento de las plantas es especialmente crítico en una zona restaurada donde se haya restituido recientemente el suelo. Para evitar los peligros de erosión del material edáfico durante esta fase, se pueden utilizar productos estabilizantes, materiales orgánicos que aplicados en solución acuosa, penetran por la superficie del suelo y reducen la erosión por aglomeración física de las partículas.

La hidrosiembra es una siembra mecánica en la que se proyecta una mezcla de semillas, abonos minerales, fijadores o estabilizantes, cubierta y agua por medio de un equipo de presión llamado hidrosembadora.

Todos los elementos utilizados son naturales y absolutamente biodegradables de manera que la actuación no puede comportar nunca un impacto ambiental negativo. Asimismo las semillas de las especies a utilizar en cada siembra serán determinadas específicamente por la actuación.

La Tabla siguiente muestra los elementos de que se compone una hidrosiembra:

Producto	Cantidad
Agua	2,5 - 3 l/m ²
Semilla	30 g/m ²
Fijador	15 - 20 g/m ²

Sigue en la página siguiente

Producto	Cantidad
Abono orgánico	90 - 100g/m ²
Aono mineral	35 - 40 g/m ²
Cubierta	80 - 100 g/m ²

La hidrosiembra es una técnica de siembra herbácea recomendable en taludes de grandes extensiones que presenta algunas ventajas respecto a la aplicación manual o con tractor:

- Se puede aplicar a distancia en zonas de pendiente o de difícil acceso, así el paso de maquinaria no afecta a la zona.
- Se aplica la semilla mezclada en un combinado de agentes que le facilitan los nutrientes y las condiciones microclimáticas precisas para asegurar su germinación y crecimiento.
- La distribución es muy homogénea.
- Les semillas sembradas son combinación de semillas de diferentes plantas herbáceas de características diferentes y adaptadas a la zona de aplicación. En las condiciones más favorables, eso garantiza unos brotes a la primera semana y una buena estabilización a lo largo del tiempo.

5.1 Hidrosiembra en dos fases

Se trata del sistema de siembra mediante dos tiradas con la hidrosembadora. La primera según el procedimiento y materiales especificados en el proceso de hidrosiembra de una fase en el apartado anterior y una segunda tirada con una mezcla de cobertura de fibra corta compuesta por:

- Veinticinco metros cúbicos por hectárea (25 m³/ha) de agua, que tendrá que tener las mismas características que para riego.
- Mil quinientos kilogramos por hectárea (1.500 kg/ha) de cobertura del tipo especificado en el apartado anterior.
- Doscientos cincuenta kilogramos por hectárea (250 kg/ha) del estabilizador especificado en el apartado anterior.

Es fundamental que las dos tiradas sean sucesivas, una detrás de la otra, y que se hagan el mismo día. En el caso de que se prevea que el tiempo disponible para hacer las dos fases no sea el suficiente para realizarlas el mismo día, se tendrán que posponer las dos fases por otro día que sí lo permita.

6. Hidromanta

En taludes donde se requiere una rápida germinación de la semilla aportada para evitar la erosión producida por la lluvia y/o el viento, se puede aplicar la hidromanta. Se trata de una técnica de proyección sobre la superficie del terreno de semilla con una mezcla formada por paja, material recuperado de planta de algodón, colas y polímeros. Se recomienda esta mezcla frente a otros productos con base de madera que pueden tener una proporción de carbono a nitrógeno (C:N) de más de 300:1, requiriendo más nitrógeno del suelo para descomponerse, y dejando menos de este nutriente disponible para el crecimiento de la planta.

Las proporciones de aplicación mínimas de la hidromanta varían en función de la pendiente del terreno:

Pendiente	Proporción de la aplicación
> 1H:1V	0,51 kg/m ²
> 2H:1V i < 1H:1V	0,45 kg/m ²
> 3H:1V i < 2H:1V	0,39 kg/m ²
< 3H:1V	0,34 kg/m ²

Esta técnica se caracteriza por poder ser aplicada en una única pasada de semillas, aditivos y producto, no tener fibras sintéticas y dar un color verde oscuro agradable al talud desde el momento de su aplicación.

En taludes fluviales se puede aplicar conjuntamente con una geomalla de comportamiento hidráulico, acelerando la cobertura vegetal y mejorando rápidamente la resistencia hidráulica de la geomalla.

7. Manta orgánica

Consiste en un entramado de fibras de material orgánico como paja, esparto o coco estructuradas en mallas degradables orgánicas (mantas temporales) o en mallas semipermanentes de polipropileno (mantas semipermanentes). Las mallas orgánicas tendrán que presentar un trenzado especial multifilamentado para no desestructurarse en el supuesto de que la matriz se degrade. Estas geofibras sirven de base al estrato orgánico, absorben la energía cinética de las partículas erosivas (gotas de agua, viento,...), aumentan la capacidad de campo o retención del agua del suelo al disminuir la evaporación y regulan la temperatura del suelo ya que reducen su exposición al frío o calor. El destino de la estructura es el de incorporarse al suelo dotándolo de un primer horizonte orgánico. El aspecto más importante de la manta no es su gramaje (que puede oscilar entre los 125-250 g/m²) sino que cubra eficazmente toda la superficie del terreno con una capa el máximo de fina posible para garantizar los objetivos mencionados pero sin impedir la llegada de la luz indispensable para el crecimiento de la hierba. La degradabilidad de las matrices oscila entre los tres meses (caso de la paja) y 3 años (caso de la fibra de coco).

Cuando el material se utiliza para revegetar taludes con una pendiente superior a 4:1 (H:V) no ofrece garantías estructurales, sólo protege el suelo orgánico hasta el desarrollo de la planta. Aplicando esta técnica se podrán proteger taludes más verticales o inestables cuanto más elevada sea la durabilidad del material orgánico y más baja su degradabilidad.

8. Red orgánica

Se trata de mantas orgánicas en las que se gana capacidad estructural y resistencia pero se pierde la cobertura homogénea. Se trata de un sustituto de la manta orgánica en zonas con un nivel de impacto más elevado, en taludes con pendientes moderadas.

Esta técnica se basa en la consolidación de la estructura del suelo mediante una manta de coco o yute, protegiéndolo de la erosión por arrastre de la escorrentía superficial generado por lluvias o por avenidas. Esta estructura retiene la humedad y facilita el restablecimiento de la vegetación. Con una siembra posterior se favorece la colonización herbácea que con el paso del tiempo llegará a sustituir la fibra de coco.

La red de coco presenta unas características variables según las marcas:

- El tamaño de su luz permite más o menos la entrada de radiación solar y agua y dotar al suelo de diferente protección, hecho que condicionará el crecimiento inicial.
- Su peso puede oscilar entre los 300 y los 400 g/m².
- Las dimensiones de los rollos también, en general, presentan unas dimensiones de 50x2 m.

Anteriormente a su instalación, se reperfila el talud para suavizar la pendiente o se eliminan las piedras o restos que dificulten la instalación de la red, en el supuesto de que sea necesario. La red de coco es un material totalmente degradable, que se fija al suelo mediante grapas de hierro o estacas biodegradables, la cantidad y disposición espacial depende de las características del terreno y la pendiente, a pesar de que, como norma general, se instalan 2 estacas por m². La instalación se efectúa a partir de la parte superior del talud, mediante la abertura de una rasa, siempre y cuando sea posible, que estructurará el extremo superior de la red, y a partir de este punto, se instalará en sentido paralelo a la línea de máxima pendiente del talud. Con el objetivo de minimizar los puntos de inicio de un proceso erosivo, los extremos del ámbito de actuación tienen que quedar enterrados mediante pequeñas rasas y pliegues de la red.

9. Plantación de especies leñosas, arbóreas y arbustivas

La plantación de especies arbóreas y/o arbustivas, generalmente persigue un único objetivo final, que es el de dar al sistema una mayor facilidad u oportunidad para que se lleve a cabo la progresión de la vegetación hacia etapas más maduras y estables. O sea, se utiliza en aquellos casos en los que se quiera restablecer la vegetación de los bosques potenciales, para que a corto plazo y una vez establecidas las plantas, consigan su automantenimiento.

Si las condiciones climáticas del primero y segundo año no son demasiado extremas para el desarrollo de la vegetación, con la plantación directa y la siembra se puede conferir una buena cobertura vegetal a corto plazo.

9.1 Criterios de elección de especies, tipos y edad de las plantas

Las especies escogidas una vez llevado a cabo el estudio botánico (a realizar en la fase proyecto), tendrán que ser siempre autóctonas del bosque climático, asegurando así su adecuada adaptación al entorno y el cumplimiento de su futuro papel como protector del suelo más adecuado.

No basta con que las especies sean autóctonas, tienen que estar adaptadas a las condiciones ecológicas de cada zona (como mínimo, mantenimiento de los taxones asociados a cada región biogeográfica).

Se priorizará la utilización de planta forestal autóctona y joven (dos o tres sabias) que ofrecen un buen arraigo y por lo tanto un índice menor de especies muertas.

Se podrá utilizar planta con un puerto mayor siempre y cuando se tengan garantías de su origen y se le garantice un mantenimiento adecuado. La mezcla de los dos tipos de planta combina las ventajas de ambas y minimiza los riesgos propios de cada una: menor posibilidad de arraigo, mayor coste y menor garantía de origen en el caso de la planta grande, y mayor riesgo de ataque por la fauna local o vandalismo, así como mayor vulnerabilidad ante la competencia por las especies herbáceas espontáneas, en el caso de la planta joven.

10. Escalones de madera

Para evitar la aparición de procesos erosivos a lo largo de la superficie del talud generado por el agua, se puede colocar troncos transversalmente al máximo pendiente, superpuestos en los extremos y sujetados por estacas clavadas delante. En el escalón generado se montan perpendicularmente estacas que finalmente se cubre de tierra para recuperar el perfil del talud.

11. Fajina de rama seca (sobresaliente al terreno)

Se trata de uno de los sistemas más simples y eficaces para retener el suelo en taludes con pendientes máximos de 60°, suelos poco cohesionados nudo y procesos erosivos intensos.

La técnica se basa en la construcción de fajinas con ramaje procedente de árboles o arbustos no rebrotados o quemados. Consiste al clavar unas estacas de madera a través de las cuales se estructura el material horizontalmente.

Generalmente se confecciona una fajina cada 0,5 metros de pendiente, paralelamente a las curvas de nivel y adaptándose a la morfología del talud. Por cada fajina, se clava una estaca de madera cada metro lineal. El diámetro de la rama ideal es de menos de 7cm, aunque dependerá de la topología existente al medio.

Una vez la estructura está realizada, es conveniente llevar a cabo una plantación por que cuando se pudra la madera, la planta realice el trabajo estructural.

Se trata de un sistema sencillo que puede realizarse con material procedente de restos de poda. Sirve como cierre de zonas afectadas por atajos.

12. Sistemas de drenajes para el control de la escorrentía superficial

12.1 Geomallas que facilitan el flujo de agua

Para evitar la excavación de los drenajes y canales creados para recoger el agua de escorrentía superficial generada a lo largo de un talud, se pueden cubrir con geomallas vegetales especialmente diseñadas para resistir al flujo de agua.

Las geomallas consisten en unas matrices orgánicas o sintéticas estructuradas en mallas de polipropileno para la protección superficial del suelo antes de que éste presente una cobertura vegetal eficaz.

Las matrices orgánicas consisten en sustratos de fibra vegetal como la paja o el coco, que favorecen la absorción de la humedad y protegen la semilla y el terreno gracias a la densidad de la matriz. Igualmente, su grado de degradabilidad oscila entre 1 año (en el caso de la paja) y 4 años (en el caso de la fibra de coco). Algunas geomallas presentan una combinación de paja y coco.

Las mallas de polipropileno tendrán que presentar una resistencia a la tracción superior a 110 pascales en el caso de una única malla, y superior a 150 pascales en el caso de la triple malla. Además, tendrán que estar tratadas contra los rayos UV. La durabilidad es de 20 años garantizada, pudiendo aumentar en el caso de estar protegidas contra los rayos UV.

Actualmente existen en el mercado una gran variedad de geomallas, algunas de las cuales sólo son estructuras volumétricas para retener el suelo. Son especialmente interesantes las geomallas de nueva generación diseñadas para el flujo de agua, que pueden aguantar en perfectas condiciones, velocidades de más de 6 m/s.

12.2 Rellenado de piedras

Con el objetivo de drenar el agua de escorrentía superficial y subsuperficial, y favorecer su infiltración en profundidad, se pueden construir rasas regulares que se rellenan con piedras que pueden provenir del desempedrado de la superficie del propio talud o de cantera. El tamaño de los bloques de piedra dependerá de la sección del canal prevista (entre 15 y 30 cm de largo).

12.3 Fajinas de rama seca (enrasada al terreno)

Se sigue la misma metodología que para las fajinas sobresalientes pero tanto el ramaje como las estacas se encuentran enterradas.

Es preciso excavar las rasas de 30 a 50 cm de profundidad y anchura resiguiendo la línea de máxima pendiente. Se pueden hacer igualmente las rasas con un ligero sesgo para mejorar el drenaje de las aguas. La anchura de las rasas tendrá que ir atada al grueso de las fajinas y la profundidad tendrá que poder garantizar que por lo menos 1/3 del mismo sobresalga del terreno natural.

Las estacas se clavan a una distancia de separación entre 150-200 cm. A estas estacas o piquetas se deben intercalar otras estacas más cortas a intervalos de 30 cm aproximadamente. También se pueden colocar las estacas cada 50 cm sin intercalar otras.

Las fajinas se hacen mediante la preparación de manojos con 3-8 ramas religadas con alambre que quedan sujetadas por las estacas.

Con la tierra extraída durante la abertura de las rasas se recubren las fajinas, compactándola ligeramente para evitar que queden bolsas de aire.

La disposición de las fajinas sobre el terreno debe respetar una distancia mínima entre 120-200 cm.

13. Geomallas que facilitan el flujo de agua

Para proteger taludes con pendientes inferiores a 70°, se pueden utilizar las mismas geomallas descritas para la construcción de drenajes (apartado 12.1).

Estas mantas, pensadas para revegetarlas con herbáceas, también pueden soportar árboles y arbustos sin perder estructura.

La instalación en taludes con pendientes moderadas se realizará a partir de la parte superior del talud mediante la abertura de una rasa de 30 cm de anchura y 25 cm de profundidad, en la que se fijará la geomalla con un pliegue y con grapas cada 0,50 m. Los solapamientos de cada rollo de geomalla se realizarán sobreponiéndose entre 15 y 20 cm. La parte inferior de la geomalla quedará fijada por medio de otra rasa de proporciones y procedimiento similar en la parte superior.

14. Krismer

Este sistema de estabilización y revegetación de taludes se basa en el anclaje sobre la superficie inestable de una malla tridimensional volumétrica de acero galvanizado. Esta malla es estructural, actúa fijando el talud y además permite su revegetación.

Este sistema puede aplicarse en taludes de pendiente superior a 45°.

La malla se coloca sobre la superficie del talud en disposición diagonal al mismo, de manera que la línea de la malla atraviesa la línea vertical del talud a un ángulo comprendido entre 40 y 50°, y se ancla al talud mediante pernos de anclaje.

Una vez colocada y anclada la malla, se rellena con grava primero y después con tierra vegetal. Finalmente se proyecta una hidrosiembra para revegetar el talud.

4.1.2 Taludes con inestabilidad geotécnica (de pendiente baja a elevada)

1. Fajina de rama viva (enrasada al terreno)

Obra longitudinal para la estabilización inmediata del suelo y la revegetación del talud mediante la colocación de fajinas vivas, realizadas a partir de especies con capacidad de reproducción vegetativa.

La utilización del material vivo debe realizarse en el periodo parada vegetativa. Necesita mantenimiento con podas periódicas.

2. Rollo estructurado de fibra vegetal

Consiste en un cilindro de 30 centímetros de diámetro de fibra de coco prensada sujeta por una malla generalmente no biodegradable. Este material de estructura homogénea presenta un grado de prensado evaluado para que haya equilibrio entre la degradación de la fibra y la ocupación de estos espacios por las raíces de las plantas.

De esta manera este material no pierde la estructura a lo largo del tiempo a pesar de estar absolutamente lleno de vegetación. Para acelerar al máximo el proceso y permitir una resistencia al secado, así como otras variables generalmente ambientales se prevegetan en el vivero.

El futuro de los rollos estructurados, a partir de los 5 años, debe ser el de biodegradarse, siendo la estructura vegetal que se originará la que mantendrá la funcionalidad.

- Diámetro habitual de 0,30 m y hasta 1 m
- Longitud de 3 o 6 metros
- Peso del rollo en seco

<i>Diámetro(m)</i>	<i>0,30</i>	<i>0,40</i>	<i>0,50</i>	<i>0,60</i>
<i>Peso (kg/m. l.)</i>	<i>10,9</i>	<i>19,5</i>	<i>30</i>	<i>39,5</i>

3. Enrejado vivo

Obra utilizada en la estabilización de taludes de terreno compactado con elevada pendiente, y para la estabilización de taludes con fenómenos de erosión superficial donde, por su elevada inclinación (pendientes superiores a los 45-50°), no es posible aplicar otras técnicas. Con esta técnica, la estabilidad del talud va aumentando a medida que la vegetación va arraigando. Las especies vegetales también pueden realizar una acción de drenado debido a la absorción del agua necesaria para su desarrollo.

Se realiza con troncos dispuestos perpendicularmente entre sí y mediante la colocación de estacas vivas o plantas arraigadas.

Se puede utilizar en taludes con superficies reducidas donde sólo son posibles pequeños reperfilados, o sobre taludes muy escarpados de carreteras o líneas ferroviarias.

Se debe llevar a cabo su instalación durante el periodo de parada vegetativa. Por otra parte, las semillas se pueden sembrar durante el periodo vegetativo.

4. Entramados

4.1 Entramado vivo

Estructura de madera constituida por un entramado de troncos que forma una cámara frontal en la cual se insertan las fajas.

Frontalmente se coloca un plano vertical sobre el que se clavan los troncos horizontales y transversales. La obra, adosada al pie del talud, se completa con los rellenos de tierra y piedra en la parte baja.

4.2 Roma

Es este tipo de entramado Obra de estabilización al pie de taludes inestables realizados con troncos de madera. Antes de rellenarlo con tierra, se inserta una red metálica plastificada o una geotextil para repartir la carga. Durante el proceso de rellenos, se insertan estacas de especies con capacidad de emisión de raíces adventicias y plantas arraigadas.

4.3 Krainer

Muro de gravedad formado por una estructura celular de troncos de madera distribuidos en dos paredes, combinado con la inserción de plantas vivas. El deterioro de la madera (en algunas decenas de años) presupone que los parámetros de estabilidad del muro se basan en un parámetro externo asimilable a una pendiente bien plantada y a un terreno con buenas características para el desarrollo de la vegetación. Con un buen mantenimiento (poda periódica de las plantas) se puede obtener una estabilidad aceptable para pendientes del orden de 60°.

Existe la variante a una pared, pero en este caso es preferible en situaciones de espacio limitado o cuando se prioriza la función de revestimiento respecto a la función de estabilidad. Se trata del mismo entramado que en la modalidad a dos paredes, pero sin la colocación del tronco longitudinal situado dentro la estructura.

5. Geoceldas

Manta tridimensional celular que ejerce una alta protección antierosiva en taludes con suelo escaso o grava suelta.

Se trata de una manta de material textil o plástico tridimensional dispuesta en forma de alvéolos. El tamaño y la longitud de las celdas de confinamiento varía en función del terreno, las necesidades y el tipo de material de relleno.

Una vez instalada, tiene una larga duración si se mantiene enterrada, debido a que el propio suelo la protege de la degradación.

Aspectos que hay que tener presentes

- Antes de colocar las geoceldas, y debido a la falta de adaptación a las ondulaciones del terreno, es necesaria la preparación del suelo, dejando la superficie lisa, sin trazas de erosión ni vegetación. En el caso de un terraplén, éste será debidamente comprimido y estabilizado.
- Hay que extender la manta por encima del talud a proteger, y clavar agujas lateralmente para fijarla. A continuación se deben llenar las celdas con el material adecuado, intentando que todas las celdas sean homogéneas. Para acabar de llenar las celdas, es necesario utilizar tierra vegetal. Las capas más externas de la obra serán ancladas fuertemente.
- Para acabar se puede efectuar una hidrosiembra.
- Para obtener celdas rígidas es necesario utilizar estructuras metálicas y así mantener una misma forma.
- Cuando se considere oportuno, se pueden fijar las geoceldas al terreno mediante un método de fijación con clavijas de hierro. En el caso de terrenos cohesionados y pedregosos se utilizarán clavijas metálicas de 6 a 8 mm de diámetro; mientras que en caso de terrenos poco cohesionados se utilizarán estacas de madera entre 30 y 50 cm. de largo.
- Es necesario adaptar las geoceldas a la naturaleza del sustrato y a la geomorfología de la zona. En este sentido, es importante ejecutar previamente un análisis exhaustivo del terreno para evitar posibles errores posteriores.

6. Trenzado vivo

Se trata de una técnica estabilizadora lineal sobre el margen del río y formada por un trenzado de ramas fijadas al terreno mediante varas de madera o acero, y posteriormente rellenas de tierra. La técnica permite una rápida retención del material superficial de la pendiente y la estabilización de éste al trenzarse en diversas capas. Por otra parte, el pie de la ribera también se protege de erosiones y posibles deslizamientos.

La disposición de los trenzados de ramaje puede ser en filas horizontales o cruzadas entre sí de manera que formen rombos o cuadrados. Con la finalidad de obtener una mayor eficacia, es necesario realizar la técnica con material vivo que tenga capacidad de emitir raíces adventicias.

7. Gavión flexible

Gavión flexible vegetal relleno de grava, estructurado dentro de una red de polipropileno de alta densidad de 5 cm de malla y cuerda de polipropileno de 4,5 mm, tejida sin nudos y resistente a los UVA. Las piedras del relleno del gavión han de ser de tamaño 7-15 cm.

Dimensiones y peso:

- Diámetro, habitual de 0,40 m
- Longitud habitual de 2 m
- Peso del gavión 175 kg/m l
- Red tubular de 5 cm de malla, tejida sin nudos y 2.500 N de resistencia a la rotura. Cuerda de polipropileno de 4,5 mm, tejida sin nudos y resistente a los UVA.

8. Muro de piedra en seco

La construcción de muros de contención en piedra vista fijada parte de la idea de las estructuras con piedra seca. Se trata de hecho de un muro de piedra seca reforzada con mortero para zonas con alta frecuencia o donde es preciso garantizar unos mínimos de resistencia. Estos tipos de muros de contención tienen una eficacia inmediata si se construyen bien adaptados al ambiente de la zona:

- Los fundamentos tienen que ser suficientemente profundos para no sufrir los efectos del hielo.
- Es preciso garantizar el funcionamiento de los drenajes para evacuar el agua de escorrentía subsuperficial.

Se puede seleccionar piedra de la zona pero, exceptuando reconstrucciones o similares, la piedra se lleva del exterior para evitar impactos derivados de la recogida de la misma. Los bloques de piedra serán de la misma naturaleza litológica que el sustrato de la zona.

9. Muro verde

9.1 Gavión de malla electrosoldada

Cajas normalmente paralelepípedas de alambre galvanizado con un recubrimiento opcional de PVC para una mayor protección. Llenos con piedras, consolidan los márgenes longitudinalmente y son capaces de resistir por gravedad. Se utilizan cuando el corriente de agua es muy fuerte y las piedras solas, sin sujeción, no ofrecen una protección suficiente. Son flexibles y por lo tanto tienen una buena adaptación al terreno. Son elementos permeables.

Para aumentar su estabilidad, se recomienda la intercalación de filtros de material granular o geotextiles entre el manto de protección y el terreno natural.

A mayor número de divisiones o celdas que presente el gavión, será más fácil de llenar y el resultado será más esmerado y limpio. De esta manera, los gaviones podrán ser utilizados como elementos de mejora paisajística.

9.2 Escollera revegetada

Estaquillado de escollera de estacas leñosas no ramificadas de dos o más años, de especies arbustivas autóctonas, con capacidad de reproducción vegetativa de 2-5 cm de diámetro y 2,5-3 m de longitud colocadas en los espacios de los cantos del rompeolas y rellenos con tierra vegetal de la obra para conseguir la colonización de las comunidades arbustivas.

Las estacas sólo tendrían que presentar hoja en su extremo (20 cm) el resto tiene que estar cortado con tijera, no arrancado, dejando un solo tronco principal.

Para almacenarlas en la obra es preciso que estén en un recipiente con agua con una leve proporción de abono líquido (la mitad de la dosis recomendada para riego normal) y preparadas tal y como se indica en el punto anterior. Mejor no retener la planta más de 5 días.

También se pueden enterrar con arena o tierra húmeda y a la sombra si el periodo no debe ser largo y en refrigeradores y en sacos de plástico si el periodo debe ser prolongado.

9.3 Muros de tierra armada

Las tierras reforzadas son muros de gravedad para la estabilización de taludes y riberas inestables y la construcción de muros. Estos tipos de obras tienen la virtud de ser deformables y suficientemente permeables. Se basan en el principio de refuerzo horizontal de tierra (obtenida de diversas maneras) y combinan los materiales de refuerzo con parámetros externos que permiten el crecimiento de la vegetación. Estos tipos de muros se pueden describir como muros llenos de tierra que acaban con una cobertura vegetal. Están formados por diversas partes, armados y unidos con una geotextil o malla, con lo cual se aumenta la resistencia del conjunto.

9.4 Sacos de tierra reforzados

Los muros verdes tipo Deltalok son un sistema de bioingeniería aplicable tanto en obras de ingeniería civil como en obras paisajísticas y de jardinería.

Es un sistema de construcción de muros verdes que utiliza sacos colocados en el portillo y comunicados con uno conector. Justo es decir que se trata de unos sacos con material vegetal sin incidencia negativa en el medio ambiente.

La técnica se utiliza aplicando sacos, pero con un conector entre ellos puede aumentar considerablemente su resistencia. Las unidades de conector tipos Deltalok estándares y especiales están fabricadas con polipropileno de alta calidad.

Estas unidades son resistentes a daños antes, durante y después de la construcción en todo tipo de clima. Además, pueden reciclarse y reutilizarse.

Las unidades se utilizan para interconectar sacos con el objetivo de incrementar la propia fuerza de la estructura, permitiendo la creación de muros de tierra altos, con fuerte pendiente, y respetuosos con el medio ambiente.

Creación de muros atractivos de tierra con vegetación, para toda una variedad de propósitos que incluyen muros medioambientales, control de la erosión, pendientes de retención de la vegetación, estabilización de márgenes de corriente y muros de contención.

Es un sistema caro, puesto que implica mano de obra, pero útil en ciertas ocasiones ya que no requiere grandes movimientos de tierra y tiene una gran capacidad de adaptación orográfica.

Se trata de una técnica muy utilizada como revestimiento de taludes verticales inestables.

10. T-Verde®

Es un sistema de estabilización de taludes diseñado y patentado por ACYCSA, que se basa en el apoyo sobre una superficie inestable, de una estructura de acero que ejerce una resistencia a los posibles movimientos de masa de tierra. La estructura está compuesta por una malla electrosoldada, anclada, con unas viseras (jardineras) destinadas a la contención de tierra, para su posterior plantación. Esta tierra ejerce una fuerza adicional a la estructura, de tal manera que la fuerza final de la estructura corresponde a la fuerza del propio peso de la tierra, más la aportada por los sistemas de anclaje.

Este sistema ofrece una solución para aquellos taludes con problemas de estabilización, integración paisajística y restauración ecológica que presentan una pendiente elevada. Por un lado, la superficie del talud se refuerza con la estructura anclada al terreno y, por otro, la forma de la estructura posibilita la colocación de tierra o sustrato garantizando la estabilidad por peso y la revegetación (plantación, siembra, etc.). Con el tiempo, las raíces de las especies vegetales implantadas en el talud de tierra se van introduciendo en el material de la base estabilizada, llevando a cabo una estabilización natural del terreno.

Es posible la colocación de drenajes y riegos a la estructura, en el caso de plantaciones con mayores exigencias hídricas.

4.2 Técnicas de bioingeniería para la restauración de cursos fluviales

Para la restauración de las zonas fluviales, siempre y cuando su caudal, régimen y pendiente lo permitan, se recomienda la implantación de técnicas de bioingeniería por la alta capacidad de integración paisajística que presentan. Entre éstas:

1. Canalización de torrentes

Algunas infraestructuras viarias interceptan cursos de agua, temporales o permanentes, discurren paralelamente, o generan una modificación de su curso. En todos estos casos, es preciso proteger tanto la infraestructura como el propio torrente de posibles avenidas o desbordamientos, y una solución bastante habitual es fijar los márgenes y el lecho del torrente con piedra de escollera.

Para la ejecución de la escollera, se debe cimentar en profundidad para evitar que la fuerza del agua la descalce, y se tiene que evitar la artificialización de la escollera. Para hacerlo se tienen que poner los bloques de piedra de forma irregular.

2. Escollera viva (verde)

Se habla de escollera viva cuando entre los bloques de piedra se colocan plantas de una savia (a raíz desnuda o en contenedor forestal) o esquejes (en el caso de ríos con agua constante o zonas con climas lluviosos) de especies de ribera con fuerte capacidad de reproducción vegetativa que, cuando arraigan, permiten una estabilización suplementaria del terreno.

Esta técnica se utiliza tanto para dar estabilidad a la escollera como para reducir el impacto visual. En este último caso se aplica como técnica de estabilización en riberas de cursos fluviales con un alto transporte de sólidos y elevada velocidad de la corriente de agua, como medida de protección de las riberas ante la erosión, para reducir el riesgo de desbordamiento y para reforzar el pie de taludes reperfilados.

La escollera tiene que realizarse preferiblemente utilizando material vivo y litológico disponible *in situ* o de procedencia local.

La zona frontal no debe tener una pendiente superior de 42°, preferiblemente tiene que situarse entre 2H:1V y 1,5H:1V.

Las estacas vivas se tienen que colocar entre los elementos estructurales de la escollera. La cantidad va en función de la dimensión de las piedras utilizadas: mayor cantidad de estacas cuando las piedras sean más pequeñas (orientativamente 2-10 estacas/m²). Los esquejes tienen que atravesar la estructura de forma que toquen el terreno del trasdós y tienen que emerger de la escollera un máximo de 1/5 de su longitud.

Para asegurar un mayor éxito de la actuación, la inserción de esquejes debe realizarse durante la fase de construcción y, preferiblemente, durante el periodo de parada vegetativa. En escolleras existentes o cuando es imposible hacer la obra durante el periodo adecuado, se pueden colocar estacas vivas a posteriori en los vacíos de la escollera.

En la fase de construcción de la escollera se debe cimentar en profundidad para evitar que la fuerza del agua pueda descalzar-la, y se tiene que evitar la colocación excesivamente regular de las piedras para evitar un aspecto artificial.

3. Estacas vivas

Esta técnica de estabilización de taludes consiste en la implantación de trozos de ramas vivas de especies leñosas con capacidad de propagación vegetativa a las que se les han eliminado las ramificaciones secundarias, de 3-10 cm de diámetro y de 50 a 100 cm de longitud y que, eventualmente, pueden suministrarse arraigadas, utilizando un marco de plantación triangular o como complemento a otras técnicas de bioingeniería. El objetivo es conseguir que las estacas arraiguen y se desarrollen en una planta completa.

Esta técnica se puede aplicar en riberas fluviales con inclinación limitada; intersticios y resquicios de escolleros, muros, gaviones; como piquetas vivas para la colocación de mallas, alfombrillas, fajinas vivas y paliza trenzada. Se excluyen los ámbitos fluviales de régimen torrencial con corrientes y transporte sólido particularmente elevado.

La densidad de la plantación es de 2-10 estacas /m² dependiendo de las exigencias a las que estará sometida la estructura y a sus características constructivas. Al aumentar la inclinación del terreno aumenta de densidad de plantación: de 2-5 estacas/m² a 5-10 estacas/m².

Las estacas se tienen que cosechar e implantar el mismo día que se preparan. En el caso de que se recojan mucho antes de su plantación se tienen que conservar en cámaras frigoríficas a bajas temperaturas, 4-5 °C y al 90 % de humedad, o bien sumergidas en agua fría.

La plantación se tiene que efectuar en los periodos de parada vegetativa con exclusión de los periodos de sequía estival o heladas.

La disposición de las estacas debe ser al azar, tanto por motivos estéticos como funcionales.

Para facilitar la inserción en el suelo, el extremo basal debe ser cortado en ángulo recto.

Se aconseja no plantar por debajo del nivel medio del caudal del curso de agua ya que los sauces no soportan estar sumergidos periodos largos de 6-7 semanas.

4. fajinas vivas

Ésta es una técnica de estabilización de taludes longitudinal que consiste en la implantación de manojos de ramas vivas cortadas y atadas con alambre, cuerda o tiras vegetales, formando una estructura cilíndrica de longitud variable (fajinas). Estas fajinas se disponen en el límite del nivel freático con el fin de que las raíces se desarrollen en la parte seca, pero próximas al agua.

Ésta es una técnica apropiada para la estabilización del borde de las riberas, por el establecimiento de áreas de vegetación de helófitos para parar focos de erosión lateral en las riberas (siempre y cuando se protejan por debajo para que no sean socavadas por lavado del sustrato inferior), para estabilizar taludes con pendientes máximas de 30° - 35°, para proteger contra los deslizamientos superficiales (30-60 cm de profundidad), para drenajes excesivamente húmedos, y finalmente para la reducción de una pendiente larga a una serie de pendientes cortas.

Por otra parte también se pueden aplicar de forma horizontal a lo largo de la ribera para estabilizar el talud en zonas superiores.

Las fajinas vivas se tienen que realizar con especies con capacidad de reproducción vegetativa, se deben

preparar inmediatamente antes de la plantación, y es preciso que se realicen durante el periodo de parada vegetativa.

Se tienen que implantar en terrazas superficiales, siguiendo las curvas de nivel en el caso de pendientes secas, y formando ángulo en pendientes húmedas para favorecer el drenaje y reducir la erosión superficial. La aplicación se limita a cursos de agua con velocidades de corriente inferior a 3 m/s y con pequeñas oscilaciones de nivel medio del agua.

Durante el periodo vegetativo la fajina se debe encontrar parcialmente fuera del agua. Según el régimen del río se tienen que utilizar materiales verdes vivos de diferente resistencia a la sequía temporal.

La distancia entre hileras de fajinas está en función de la pendiente del talud, oscilando entre los 2 m para taludes del 40% a 3 m para taludes del 20%.

Las ramas que conforman la fajina tienen que tener una longitud superior a 1 m (generalmente muy superior) y un diámetro inferior a 10 cm.

La fajina se tiene que asegurar al terreno mediante piquetas de hierro clavadas con orientación alterna para conseguir una estructura elástica y sólida frente a las avenidas.

El vacío que queda entre la fajina y la ribera se debe rellenar con tierras vegetales, grava, guijarros, etc., y se plantará o sembrará para fijarlos.

En algunos casos se puede prever la colocación de ramas muertas en la base, o incluso un pequeño pie de escollera, si se prevé que la erosión sea excesiva.

Esta actuación ofrece una estabilización inmediata de la ribera, ya que desde el momento de implantarse la fajina, se evita que continúe la erosión lateral en el curso fluvial, sin tener que esperar que la vegetación viva incorporada arraigue y retoñe. A medida que las plantas se arraigan, el efecto de estabilización se amplifica.

Por otra parte, la fajina ofrece un microclima apto para el desarrollo y el establecimiento de plantas.

La realización de las fajinas implica un estrechamiento del cauce, por lo tanto se debe prever el espacio necesario para permitir el flujo regular de las aguas.

En cursos fluviales de poca importancia, esta técnica puede producir un efecto no deseado por el fuerte desarrollo de los sauces, creando un cinturón amplio de vegetación forestal. Si se quiere evitar eso, es preciso optar por otros materiales vegetales, como por ejemplo la vegetación de helófitos.

5. Biorrollos

Los biorrollos son unas estructuras cilíndricas construidas con un soporte de fibras vegetales llenas de tierra y fibra, que se utilizan para favorecer la implantación de especies propias del medio de ribera, mediante plantación previa o plantar *in situ*, las cuales se mantienen una vez se ha degradado el biorrollo.

Estas estructuras ofrecen una protección inmediata de la superficie y crean un lecho poroso adecuado, cuando no existe suficiente grosor de suelo, que permite el establecimiento de especies vegetales, ya que el biorrollo aumenta el grado de resistencia y supervivencia de las plantas en los primeros estadios de adaptación.

Esta técnica se utiliza en aquellas superficies sometidas a la erosión superficial y con falta de cobertura vegetal, para dar un soporte estructural para la consolidación de los márgenes fluviales y para su revegetación; para controlar la erosión de las riberas, facilitando la revegetación de zonas donde el arrastre producido por el agua suele impedir el establecimiento de vegetación, y en superficies donde no existe suficiente espesor del suelo y se quiere conseguir revegetación. Este dispositivo ofrece también la posibilidad de formar biorrollos, los cuales aumentan la superficie disponible para el desarrollo de la fauna acuática.

Es recomendable el uso de rollos vegetales previamente en un vivero ya que tienen una adaptación más rápida en el terreno, se naturalizan antes y resultan más resistentes. El rollo antes de ser instalado se debe conservar en un ambiente idóneo donde se evite la humedad y la absorción de agua.

El biorrollo vegetal no presenta, inicialmente, una continuidad con el suelo, por lo que es preciso garantizar que dispondrá de agua suficiente por contacto con el flujo del agua.

El uso de biorrollos no es adecuado para aguas con mucha tracción hidráulica, ni en secciones estrechas, ya que la colocación supone una disminución de la sección disponible para la circulación del agua.

5 DISEÑO AMBIENTAL

El diseño ambiental de una carretera de montaña tiene que tener en cuenta los aspectos siguientes:

- El balance de tierras.
- La fragmentación de los hábitats y el efecto barrera para la fauna.
- Los fenómenos de erosión y/o inestabilidad de taludes.
- La protección del sistema hidrológico.
- La integración y recuperación del entorno afectado por la actuación.
- La estética interna de la carretera.

En todos estos aspectos es importante realizar un estudio esmerado del medio en el estado actual, prever los posibles impactos, medir su magnitud y evaluar la respuesta del medio frente a éstos.

Para minimizar el impacto ambiental global de una carretera sobre el medio, es decisivo tener en cuenta todos estos criterios a la hora de planificar por donde tiene que transcurrir la carretera. Entonces, se tiene que evaluar, lo más detallado que se pueda y en la escala de trabajo que lo requiera, todos los posibles corredores y escoger el mejor teniendo en cuenta todos los factores necesarios que influyan en la implantación de la carretera sobre el medio.

Posteriormente, durante la redacción del proyecto se tienen que estudiar las siguientes medidas preventivas encaminadas a aminorar el impacto ambiental de la actuación, tanto en la fase de construcción como en la de explotación de la carretera:

- Medidas de protección de la calidad del aire.
- Medidas de protección del sistema hidrológico superficial y subterráneo.
- Medidas de protección del suelo y la geomorfología.
- Medidas de protección de los usos del suelo.
- Medidas de protección sobre la vegetación.
- Medidas de protección de la fauna.
- Medidas relacionadas con el paisaje.
- Medidas relacionadas con el medio sociocultural y socioeconómico.

Muchas de éstas, se encuentran incluidas en la publicación *Recull d'accions per minimitzar l'impacte de les infraestructures viàries sobre el territori*, de la Colección "Documents dels Quaderns de Medi Ambient," núm. 5, publicado el año 2000 por el entonces Departamento de Medio Ambiente, de la Generalitat de Catalunya.

Para que la implantación de estas medidas sea el óptimo, es imprescindible llevar a cabo un seguimiento minucioso y poder establecer las pertinentes medidas correctoras o compensatorias en los casos que haga falta y en el momento adecuado.

En los casos en los que el proyecto sea el condicionamiento o la mejora de carreteras existentes, se tendrán que aplicar las medidas adecuadas a la restauración del trazado antiguo en aquellos tramos que quedan al margen del nuevo trazado.

6 ÁREAS LATERALES DE LA CARRETERA

En el caso de carreteras de montaña, debe entenderse ésta como un elemento para disfrutar del paisaje pero a la vez como un actor que transforma el paisaje. Como tal, se debe pensar la carretera como un corredor que no deje una cicatriz permanente en el paisaje. Se debe diseñar, por lo tanto, teniendo en cuenta criterios viarios tanto de seguridad, como ambientales y paisajísticos.

El Convenio Europeo del Paisaje (Florenia, octubre 2000) introdujo algunas innovaciones en la concepción y la gestión del paisaje(). Establece el paisaje como un elemento del bienestar de las personas, concede calidad paisajística a todo tipo de territorio y lugar, incluso los degradados, sin limitarse a los espacios naturales o históricos más privilegiados. El Convenio adjudica la responsabilidad de su gestión y mejora de las administraciones y agentes sociales, y asume el paisaje como la percepción del territorio por la población. Las carreteras y otras vías de transporte rodado, así como sus ámbitos, poseen carácter de paisaje, al tiempo que los técnicos y responsables de su gestión, planificación y diseño también lo son de su cualidad paisajística y del bienestar que ésta supone para los ciudadanos.

En este apartado se describen una serie de recomendaciones referentes al diseño de las áreas laterales (áreas de parada, miradores, accesos, etc.) para mejorar la adaptación de estas carreteras con el paisaje. Es preciso tener en cuenta que estas áreas tienen una importante función paisajística. La misión principal de estas áreas son atender al tránsito prestandole determinados servicios pero por otra parte serán los puntos donde el usuario prestará más atención tanto con el entorno como estos espacios proyectados.

En estas áreas será muy importante el tratamiento del límite entre la zona actuada y la no proyectada. Estas franjas es inevitable que queden marcadas sobre el paisaje actual pero hay de actuar con el objetivo de desdibujarlas sobre el territorio a partir de materiales y vegetación similares a los del entorno, pero sin disminuir la seguridad.

A la hora de escoger materiales por todos estos elementos de una carretera, es preferible la elección de materiales con pocas diferencias de textura entre ellos que no que haya una variedad de materiales muy amplia. La elección de múltiples materiales perjudica la integración y la concordancia de la carretera con el paisaje y hace perder el carácter propio de la actuación.

En las áreas laterales de la carretera, es interesante que las plantaciones tengan una estrecha relación con la tipología y la función del área lateral. Por ejemplo, en las áreas de parada, las especies escogidas tendrán que aportar sombra y una cierta componente estética porque el usuario se sienta el máximo de cómodo y agradable con el lugar escogido para descansar. En un mirador las plantaciones no entorpecerán las vistas, crearán una apertura en el paisaje para poder disfrutar de las panorámicas. En un acceso o cruce, no dificultarán la visión del conductor y ayudarán a aminorar la velocidad del conductor, reduciendo la distancia entre los árboles a medida que nos acerquemos a la intersección.

Es preciso asumir que, estos entornos de la carretera son un nuevo elemento de paisaje donde la integración absoluta es imposible y por lo tanto como nuevo actor se tiene que dotar de un carácter propio. La carretera debe tener sus propios elementos y materiales que llevarán asociados sus propios colores y texturas, no siempre es preciso buscar los más parecidos con los del entorno e irlos variante según sea el cruce con un río, con un bosque, con unas rocas, etc. Es recomendable escoger uno o dos materiales que den respuesta a todas las situaciones en las que se encuentra la carretera, ayudándola a tener carácter propio y a la vez facilitar la interpretación del paisaje.

Es preciso tener en cuenta, tanto a efectos de integración en el entorno como de seguridad, el aprovechamiento de las zonas adyacentes que se puedan originar a consecuencia del condicionamiento de carreteras existentes para la implantación de áreas de parada o miradores debidamente adaptados. En aquellos casos que las zonas adyacentes no se aprovechen, se tendrá que contemplar las medidas adecuadas de restauración.

6.1 Áreas de parada

Las áreas de parada de las carreteras tienen una importante función paisajística bajo el punto de vista que establece una relación directa, estrecha y más lenta entre el usuario y el entorno. En este sentido es importante tener en cuenta los siguientes aspectos a la hora de diseñar y proyectar estas áreas:

- La localización del área de parada
- La relación que hay que mantener con el paisaje

- La relación que hay que mantener con la carretera
- El diseño adecuado y coherente con los objetivos

La elección de la localización tiene que responder a los intereses entre el usuario, la orografía del terreno, la geometría de la carretera y las características del paisaje. Sobre todo se tiene que evitar que por una mala localización estas áreas queden residuales, en desuso, olvidadas y por lo tanto en la posterior marginalidad.

Se tiene que estudiar el aprovechamiento e idoneidad de reconvertir los espacios empleados durante la construcción de la carretera como son las áreas de préstamo, áreas auxiliares, etc. pero sin olvidar que se tienen que adaptar a criterios de trazado y de interés paisajístico.

En los acondicionamientos de carreteras ya existentes, ha sido una práctica habitual el abandono de tramos en desuso, donde éstos, sin otra intervención, sencillamente quedan sin utilidad.

En los mejores de los casos los antiguos tramos de carretera mantienen su funcionalidad como acceso a fincas, aunque la no intervención implica la permanencia del aglomerado y por lo tanto una integración muy lenta y pobre en el espacio. A la escasa recuperación del tramo en desuso es preciso añadir una pérdida de valor paisajístico del entorno, ya que desde el nuevo punto de observación, o sea, la nueva carretera o trazado, el paisaje aloja un nuevo elemento artificial: un tramo antiguo, lineal, que en muchas ocasiones conserva señalizaciones verticales, elementos de seguridad, la propia sección, y en general no concuerda con el entorno natural existente.

Si bien desde la implantación del proceso de evaluación de impacto ambiental se ha ido fomentando la práctica de restauración de los espacios afectados, consistente en la eliminación del firme y la restauración vegetal, en muchas ocasiones deviene más un maquillaje que una auténtica restauración, ya que no se tiene en cuenta la morfología de la topografía preexistente.

Por ello, en el ámbito por el que discurren las carreteras de montaña, habrá que valorar en cada caso la idoneidad de restaurar los tramos en desuso, u optar por tratamientos alternativos a la simple restauración consistentes en la adecuación de estos tramos como áreas de parada – mirador, utilizando siempre un diseño blando e integrador.

También es conveniente que estas áreas estén mínimamente habilitadas y equipadas según su uso. De esta manera, se reducen las posibles incursiones de los usuarios de la carretera a aquellas zonas que no están habilitadas y que con su ocupación indiscriminada pueden dañar el medio.

Teniendo en consideración el medio montañoso y la variedad de la orografía que éste ofrece, en las carreteras de montaña será recomendable establecer un gran número de áreas de parada de pequeñas dimensiones en vez de concentrarlas en pocos puntos de grandes extensiones. En este sentido, se prefiere minimizar la actuación y el impacto ambiental en diversos puntos y repartirlo de forma más adecuada a lo largo del trazado.

6.2 Miradores

En los miradores será imprescindible responder el principal objetivo de estas áreas que es el de contemplar el paisaje. Todo el diseño de estas áreas irá encaminado a responder a este criterio y a facilitar al usuario este aspecto sobre todo bajo el punto de vista del confort.

Paralelamente, es importante que los miradores vayan acompañados de los correspondientes paneles informativos para poder disfrutar del paisaje pero a la vez para poder entender lo que se está viendo.

También es recomendable introducir rótulos educativos, sobre todo muy visuales, que expliquen los fenómenos biológicos, geológicos, hidrológicos e históricos, en todas aquellas áreas laterales de la carretera que tengan entorno que lo requiera.

Para la localización de los miradores se pueden utilizar los Sistemas de Información Geográfica (SIG) para encontrar aquellos puntos donde las vistas sean más extensas. Por otra parte nunca se tendrá que olvidar el criterio cualitativo a la hora de asignar las vistas más espectaculares y singulares para hacer la última elección y localización.

En los miradores será esencial escoger el mobiliario más adecuado con el entorno pero sin olvidar la concordancia con los demás criterios de diseño de la carretera. Sería conveniente que el diseño de los elementos que forman los miradores (mobiliario, cierres, muros, etc.) fuesen iguales o lo más similares posibles a los que se van repitiendo a lo largo de la carretera sobre todo en cuanto a materiales, texturas y formas.

Finalmente se puede estudiar la viabilidad económica, en cada caso, de realizar un diseño propio de estos elementos para la carretera.

6.3 Accesos

En general, el acceso a una carretera tiene que estar condicionado por los dos sentidos de circulación con la debida señalización. A la vez, el acceso debe realizarse lo más perpendicular posible, con la adecuada visibilidad en ambos sentidos y con los anchos suficientes para poder realizar cómodamente las maniobras necesarias.

En los cruces con otras carreteras, siempre y cuando sea posible, se tendrán que ordenar mediante carriles centrales de espera, para permitir la parada sin interrumpir la circulación de los demás vehículos y así facilitar la adecuada incorporación.

La visibilidad desde la carretera al acceso o a los cruces con otras carreteras al mismo nivel, tendrá que ser superior a la distancia de parada.

7 BIBLIOGRAFÍA

7.1 En materia de trazado y carreteras

A Guide for Transportation Landscape and Environmental Design
American Association of State Highway and Transportation Officials, 1991.
Especificaciones técnicas de carreteras.

Association suisse de normalisation
Union suisse des professionnels de la route, 1966.
Normativa suiza de carreteras.

Carretera y paisaje. Recomendaciones para la gestión y mejora del paisaje de la carretera
Serie monografías. Dirección General de Carreteras, 2008.

Libro de estilo de las carreteras catalanas. Criterios generales de diseño para el desarrollo de la red de carreteras de la Generalitat de Catalunya
Departamento de Política Territorial y Obras Públicas (PTOP), 2008.

Valorització de trams en desús en millores de carreteres. Tractaments estàndards versus tractaments alternatius. (Triptico) Departament de Medi Ambient i Habitatge (DMAH), 2010.

7.2 En materia de drenaje y estructuras

La gestió i recuperació de la vegetació de ribera
Agència Catalana de l'Aigua (ACA), diciembre 2008.

Puentes. Apuntes para su diseño, cálculo y construcción
Javier Manterola, junio 2006.

Recomanacions tècniques per al disseny d'infraestructures que interfereixen amb l'espai fluvial
Agència Catalana de l'Aigua (ACA), junio 2006.

Recomanacions tècniques per als estudis d'inundabilitat d'àmbit local
Agència Catalana de l'Aigua (ACA), marzo 2003.

Tipología de muros de carreteras. Serie monografías
Dirección General de Carreteras, 1997.

7.3 En materia de paisaje y medio ambiente

Design with Nature
McHARGH, Ian L., 1969.
Teoría sobre integración paisajística de infraestructuras.

Indicadors de paisatge. Reptes i perspectives
Sèrie: 'Eines' 1. Joan Nogué, Laura Puigbert i Gemma Bretcha, 2009.

La carretera en el paisaje. Criterios para su planificación, trazado y proyecto
Consejería de Obras Públicas y Transportes de la Junta de Andalucía, 2008.

Línies estratègiques d'actuació en matèria de paisatge
Departament de Política Territorial i Obres Públiques (PTOP), 2006.

Normas tecnológicas de jardinería y paisajismo
Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos Agrícolas y Peritos Agrícolas de Cataluña (COETAPAC).

Paisajes en transformación. Intervención y gestión paisajísticas
Diputación de Barcelona (DIBA), 2008.

Paisaje y salud
Serie: 'Reflexions' 1. Joan Nogué, Laura Puigbert i Gemma Bretcha, 2008.

Protocols de criteris mediambientals de l'obra civil
Gestió d'Infraestructures, SA (GISA), 2003

Recull d'accions per minimitzar l'impacte de les infraestructures viàries sobre el territori
Departament de Medi Ambient, 2000

Revista Espais. Monogràfic sobre la muntanya a Catalunya (Núm. 49)
Departament de Política Territorial i Obres Públiques (PTOP), 2003.

Diversos autores, "Estudio comparativo de dos técnicas de revegetación para la optimización de la estabilidad en taludes con pendientes superiores a 2V:3H." Rutas: Revista de la Asociación Técnica de Carreteras. Núm. 144, 2011.

