Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA

Estudio de comparación de procedimientos constructivos de Buenas Prácticas Ambientales en Carreteras.

TRABAJO FINAL DE GRADO

Trabajo realizado por:

Mikel Ledesma Oloriz

Dirigido:

Jorge Rodríguez Hernández

Alberto Valle Álvarez

Titulación:

Grado en Ingeniería Civil

Mención:

Construcciones Civiles

Santander, Junio de 2015

Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Civil, Mención en Construcciones Civiles

Estudio de comparación de procedimientos constructivos de Buenas Prácticas Ambientales en Carreteras

Autor: Mikel Ledesma Oloriz

Directores: Jorge Rodríguez Hernández y Alberto Valle Álvarez

Convocatoria: Junio 2015

Palabras clave: Inventario BPAs, Huella de Carbono, Palombera, Sumidero de Carbono

Motivación

Durante los años que he cursado el Grado en Ingeniería Civil he ido adquiriendo conocimientos de diferentes materias; gracias a ello es he logrado comprender el increíble efecto que tienen las obras civiles en el entorno en el que se ubican, así como el enorme despliegue de recursos, personal y maquinaria asociados a las mismas.

Las carreteras constituyen el grueso de la obra civil y debido a sus especiales características, son generadoras de importantes impactos en el medio natural. Por lo tanto, creo que resulta de vital importancia ser conocedor de aquellas técnicas o actuaciones que permitan minimizar las afecciones que resulten de su procedimiento constructivo.

Objetivos

Se han propuesto una serie de objetivos para facilitar la estructuración del trabajo:

- Establecer un método de clasificación novedoso para los impactos susceptibles de producirse en las operaciones de construcción y mantenimiento de carreteras.
- Recopilar información sobre buenas prácticas ambientales en distintos lugares del mundo y crear un inventario con las distintas buenas prácticas ambientales, agrupándolas de tal forma que resulte sencillo identificar qué utilidad tiene cada una de ellas.
- Recopilar información acerca del cálculo de la huella de carbono y comparar las principales metodologías y programas asociados.
- Justificar la importancia de aplicar buenas prácticas ambientales en las obras de carretera en Cantabria.
- Seleccionar para un proyecto particular de un tramo de carretera en Cantabria aquellas buenas prácticas ambientales más adecuadas, de forma justificada.
- Realizar un cálculo aproximado de la huella de carbono en la obra de ejemplo elegida y valorar su impacto económico.

Clasificación de los impactos de la construcción

Se han agrupado los impactos ambientales negativos en cinco categorías diferentes, cada una de ellas correspondiente a un elemento de la naturaleza. Para su clasificación se tuvo en cuenta con cuál de los distintos elementos: aire, tierra, agua, fuego o vida guarda una mayor relación cada impacto; generalmente fue suficiente con considerar aquél medio (terrestre, acuático, aéreo o biótico) sobre el cual tenía una mayor incidencia dicho impacto.

A continuación se muestra una clasificación resumida de los diferentes impactos que podemos encontrar en la construcción de carreteras:

- Aire: ruido y emisiones a la atmósfera.

- Tierra: residuos, erosión y contaminación del suelo.
- Agua: consumo y vertidos.
- Fuego: fuentes de energía y eficiencia energética.
- Vida: flora, fauna, paisaje, patrimonio cultural, histórico y artístico, salud e higiene.

Selección de Buenas Prácticas Ambientales

Para la recopilación de buenas prácticas ambientales se hizo una selección de varios manuales que recogían los diferentes impactos que pueden producirse así como las medidas que se recomiendan para reducirlos. Los manuales elegidos para este estudio fueron los siguientes:

- Instrucciones Técnicas sobre Buenas Prácticas Ambientales del Gobierno de Cantabria (2005).
- Manual de Buenas Prácticas Ambientales en la Conservación de Carreteras – Asociación española de la carretera (2007).
- Manual de Buenas Prácticas para Proyectos de Carreteras - CONAP (Guatemala) (2008).
- Manual de Buenas Prácticas Ambientales para Carreteras de Aragón (2010).
- Handbook of Environmental Practice for Road Construction and Maintenance Works - Roadside Conservation Committee Western Australia (2010).
- Environmental Best Practices for Highway Maintenance Activities– British Columbia (2010).

Se consultó bibliografía adicional para añadir más prácticas relacionadas con uso eficiente y renovable de la energía y de los materiales de construcción, ya que se consideraba insuficiente la información recogida al respecto en los manuales seleccionados.

Inventario de Buenas Prácticas Ambientales

Para una organización clara que permita localizar rápidamente las prácticas que nos puedan interesar, se han dispuesto las mismas en cinco grandes tablas, cada una de ellas correspondiente a un elemento, con ocho columnas. Aquellas buenas prácticas con un hipervínculo en su código cuentan con una o varias figuras explicativas que vienen recogidas en un índice gráfico al final del trabajo. A continuación se muestra una imagen del inventario:

Aire

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	AIRE	TIERRA	AGUA	FUEGO	VIDA	APLICABILIDAD
A1	Ajustar la capacidad de la máquina al trabajo a desarrollar.	○			●		3
A2	Entoldar los camiones siempre que transporten material pulverulento.	○					3
A3	Cubrir los acopios de tierras, morteros, cemento y otros materiales similares con toldos o plásticos protectores.	○	●				4
A4	Tener vigente la ITV y realizar un buen mantenimiento periódico de vehículos y maquinaria de acuerdo con las instrucciones del fabricante para garantizar su correcto funcionamiento.	○	●	●	●		3
A5	Disponer de un listado de todos los vehículos, equipos y maquinaria y llevar un registro de cada uno de ellos, con características, conductor, rutas, etc.	○					2
A6	Planificar las rutas de los vehículos y establecer diversas zonas a lo largo de la obra para el acopio de los materiales con el objetivo de ahorrar en kilómetros recorridos y consumo de combustible.	○			●		3
A7	Seguir criterios de conducción eficiente y apagar las máquinas cuando no se vayan a utilizar, no dejando el motor en marcha (incluso al ralentí).	○			●		3
A8	Fabricar mezclas bituminosas en frío, templadas o semicalientes permite reducir los consumos energéticos y las emisiones de gases de efecto invernadero con respecto a las mezclas bituminosas en caliente convencionales.	○			●		3

Figura 1 Ejemplo de parte de la tabla de una de las categorías (Aire)

Huella de Carbono

Tras la reciente creación en marzo de 2014 del registro de huella de carbono (HC), ha cobrado especial relevancia en el sector de la construcción la búsqueda de soluciones que permitan

reducirla considerablemente. Después de investigar acerca de bases de datos que contengan la información medioambiental necesaria de los materiales y la maquinaria para el cálculo de la HC de una obra, sólo han podido encontrarse dos fuentes de carácter abierto: la web de HueCO2 y el Banco BEDEC.

Se ha buscado información sobre la normativa de aplicación y los programas informáticos que permiten realizar el cálculo de la HC, adquiriendo licencias para dos de ellos: PRESTO (utiliza como base de datos la web HueCO2) y TCQ 2000 (obtiene los valores necesarios del Banco BEDEC). Por medio de este software se calculó la HC de una obra muy simplificada y se pudieron apreciar ciertas diferencias en los resultados referidos a la maquinaria.

Marco de referencia en Cantabria

Según la Ley de Cantabria 4/2006, de 19 de mayo, de conservación de la naturaleza de Cantabria, los Espacios naturales protegidos existentes en Cantabria son los siguientes: 1 Parque Nacional, 6 Parques Naturales, 1 Monumento Natural, 29 ZEPAs y 21 LICs.

Por medio del Visualizador de Información Gráfica del Gobierno de Cantabria se ha obtenido un valor aproximado de 450 km de carreteras que atraviesan espacios naturales protegidos en Cantabria, lo que supone un 17% del total de km de autovías, autopistas y carreteras convencionales existentes en la región. Como consecuencia, disponer de un plan adecuado que recoja las buenas prácticas ambientales recomendadas para obras de carretera será vital para poder así reducir los posibles impactos y preservar estos espacios naturales.

Caso práctico

El proyecto que se ha elegido para realizar un cálculo de la huella de carbono y proponer un conjunto variado de buenas prácticas ambientales ha sido la obra de Mejora de firme y seguridad vial de la Carretera CA-280, Reinosa a Cabezón de la Sal, P.K. 7,900 al P.K. 34,400. Tramo: El Tojo-Espinilla (Puerto de Palombera). Esta ha supuesto una inversión para el Gobierno de Cantabria de más de 5,30 millones de euros.

Utilizando las mediciones del proyecto y consultando bases de datos que contenían los factores de emisión de CO_2 de maquinaria y materiales de construcción (HueCO2 y el Banco BEDEC fundamentalmente), se ha llegado a realizar un cálculo aproximado de la huella de carbono de la obra elegida. Después, considerando las BPAs ya incluidas en el proyecto y las BPAs adicionalmente propuestas se ha estimado la reducción que se obtendría en la huella de carbono. Los resultados pueden observarse en las tablas siguientes:

ÁMBITO	EMISIONES DE CO_2 (t)	VALORACIÓN ECONÓMICA (€)	% VALORACIÓN
Maquinaria	4,03 – 35,02	27,73 – 240,94	0,11 – 0,09
Materiales	3.514,2 – 37.406,77	24.177,70 – 257.358,58	99,89 – 99,91
Total	3.518,23 – 37.441,79	24.205,43 – 257.599,52	100,00

Tabla 1 Valoración de la huella de carbono de la obra de Palombera

BPAs	REDUCCIÓN (%)	REDUCCIÓN (t CO_2)	REDUCCIÓN (€)
Maquinaria	70,00	2,82 – 24,51	19,40 – 168,63
Materiales	60,00	2.108,52 – 22.444,06	14.506,62 – 154.415,13
Sumideros	63,27 – 5,94	2.226,00	15.314,88
Indirectas	25,00	879,56 – 9.360,45	6.051,37 – 64.399,88
Total	148,28 – 90,95	5.216,90 – 34.055,02	35.892,27 – 234.298,52

Tabla 2 Reducciones de huella de carbono con BPAs del proyecto y BPAs propuestas

Conclusiones

Los objetivos establecidos al principio se han cumplido en su totalidad.

Se ha logrado elaborar un inventario completo de buenas prácticas ambientales aplicables a obras de carretera ejecutadas en distintos lugares del mundo, con una clasificación novedosa de los impactos ambientales en base a cinco elementos: aire, tierra, agua, fuego y vida, que permite una identificación rápida y clara de los mismos.

Tras investigar acerca del cálculo de la huella de carbono en el sector de la construcción se ha encontrado que es algo relativamente novedoso que se halla aún en desarrollo, estando más centrado actualmente en la edificación que en el resto de obra civil. Por ello ha resultado complicado encontrar varias bases de datos con información medioambiental de la maquinaria y materiales de construcción más empleados en carreteras.

Se ha justificado la importancia que tiene la aplicación de buenas prácticas ambientales en Cantabria recopilando información acerca de los espacios naturales protegidos y las carreteras de especial protección existentes; además se ha obtenido el dato de los kilómetros de carretera que atraviesan estos espacios naturales.

Se ha podido comprobar que todas las buenas prácticas aplicadas en la obra de Palombera estaban dentro del inventario previamente realizado y se han propuesto medidas adicionales, haciendo mayor hincapié en las relativas al elemento fuego (energía), que eran las más escasas.

A la hora de realizar el cálculo de la huella de carbono para la obra de Palombera se ha obtenido un rango muy amplio de valores posibles para las toneladas de CO_2 emitidas, debido a que muchos de los factores de emisión del Banco BEDEC eran muy superiores a los propuestos por HueCO2, especialmente en el caso de los materiales que componen el firme de la carretera. Por ello puede afirmarse que no es posible realizar con los datos actualmente disponibles un cálculo exacto para esta obra, sino más bien uno aproximado que permite darnos un orden de magnitud de la huella de carbono.

En el único caso en el cual resulta posible obtener un valor preciso de la huella de carbono es en aquellas obras en las que el hormigón sea el material claramente predominante. Esto es debido a que los factores de emisión del cemento, que es el componente del hormigón con el mayor peso en sus emisiones de CO_2, son muy similares en HueCO2 y en el banco BEDEC. En el momento en que la maquinaria y otros materiales como el acero o las mezclas bituminosas comiencen a tener mayor presencia en la obra los resultados perderán precisión al obtenerse rangos de valores cada vez más amplios.

El impacto económico que suponen las emisiones de gases de efecto invernadero dentro del coste total de la ejecución de una obra de la tipología estudiada no es especialmente relevante, y es quizás por ello que la reducción en el consumo de materiales y de energía no se considera de vital importancia en obras de carretera actualmente.

Las buenas prácticas ambientales aplicadas que han tenido un mayor efecto en la reducción de la HC de Palombera han sido aquellas referidas a los materiales, y dentro de estas las encaminadas a reducir las emisiones de las mezclas bituminosas. El efecto de absorción de los sumideros es muy superior en caso de utilizar los datos proporcionados por HueCO2 si lo comparamos con el obtenido usando los valores del banco BEDEC.

Dissertation of the Degree in Civil Engineering, Mention in Civil Constructions

Comparative study of constructive procedures of good environmental practices in roadworks

Author: Mikel Ledesma Oloriz

Directors: Jorge Rodríguez Hernández and Alberto Valle Álvarez

Convocatory: June 2015

Key words: Inventory of GEPs, Carbon Footprint, Palombera, Carbon Sink

Motivation

During the years that I have been studying this Civil Engineering Degree I have acquired knowledge in different subjects. Thanks to it, I have managed to understand the incredible effect that civil works have in the environment where they are located, as well as the huge deployment of resources, workforce and machinery associated with them.

Roads are the bulk of civil works and due to its special features they cause important impacts in the natural environment. Therefore, I think that it is vital to be knowledgeable of technics and measures that allow us to minimize the environmental impacts caused by their construction procedure.

Objectives

Several proposed objectives that had facilitated the organization of the document are listed below:

- Establish a new method of classification for the environmental impacts produced by the construction and maintenance of roads.
- Gather information about good environmental practices in different zones of the globe and create an inventory that includes all this measures, grouping them in a way that makes it easy to identify which utility each one has.
- Gather information about carbon footprint calculation and compare the principal methodologies and associated programs.
- Justify the importance of implementing good environmental practices in road works in Cantabria.
- Select suitable good environmental practices for a specific road project in Cantabria, justifiably.
- Carry out an approximate calculation of the carbon footprint of the chosen project and assess its economic impact.

Classification of construction impacts

The environmental impacts have been grouped into five different categories, each one corresponding to a natural element. In order to classify them, it has been taken into account which of the different elements (Air, Earth, Water, Fire and Life) is more related to each impact. In most cases the classification has been done by considering which environment (terrestrial, aquatic, aerial or biotic) is more affected by the impact.

A summarized classification of the different impacts that we can find in road construction works is shown now:

- Air: noise and atmospheric emissions.

- Earth: waste, erosion and soil contamination.
- Water: consumption and discharges.
- Fire: energy sources and energetic efficiency.
- Life: flora, fauna, landscape, cultural, historical and artistic heritage, health and hygiene.

Selection of Good Environmental Practices

In order to do a compilation of good environmental practices (GEPs), several manuals which include information about the different impacts that can be produced and their corrective measures have been selected. The chosen manuals for this study are the following:

- Instrucciones Técnicas sobre Buenas Prácticas Ambientales del Gobierno de Cantabria (2005).
- Manual de Buenas Prácticas Ambientales en la Conservación de Carreteras – Asociación española de la carretera (2007).
- Manual de Buenas Prácticas para Proyectos de Carreteras - CONAP (Guatemala) (2008).
- Manual de Buenas Prácticas Ambientales para Carreteras de Aragón (2010).
- Handbook of Environmental Practice for Road Construction and Maintenance Works - Roadside Conservation Committee Western Australia (2010).
- Environmental Best Practices for Highway Maintenance Activities– British Columbia (2010).

Additional bibliography has been consulted to add more measures related to the efficient and renewable use of energy and construction materials, since the information included about this topics in the selected manuals was insufficient.

Inventory of Good Environmental Practices

For the purpose of having a clear organization which allows to quickly locate those measures of interest, all the practices have been disposed in five big tables, each of them corresponding to one natural element from the impact classification, with eight columns. Those practices with a hyperlink in their code have one or more explicative images that can be found in a graphic index at the end of the document. In the following image we can see a sample of the inventory:

Aire

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	AIRE	TIERRA	AGUA	FUEGO	VIDA	APLICABILIDAD
A1	Ajustar la capacidad de la máquina al trabajo a desarrollar.						3
A2	Entoldar los camiones siempre que transporten material pulverulento.						3
A3	Cubrir los acopios de tierras, morteros, cemento y otros materiales similares con toldos o plásticos protectores.						4
A4	Tener vigente la ITV y realizar un buen mantenimiento periódico de vehículos y maquinaria de acuerdo con las instrucciones del fabricante para garantizar su correcto funcionamiento.						3
A5	Disponer de un listado de todos los vehículos, equipos y maquinaria y llevar un registro de cada uno de ellos, con características, conductor, rutas, etc.						2
A6	Planificar las rutas de los vehículos y establecer diversas zonas a lo largo de la obra para el acopio de los materiales con el objetivo de ahorrar en kilómetros recorridos y consumo de combustible.						3
A7	Seguir criterios de conducción eficiente y apagar las máquinas cuando no se vayan a utilizar, no dejando el motor en marcha (incluso al ralentí).						3
A8	Fabricar mezclas bituminosas en frío, templadas o semicalientes permite reducir los consumos energéticos y las emisiones de gases de efecto invernadero con respecto a las mezclas bituminosas en caliente convencionales.						3

Figure 1 Example of a table from the Inventory of Good Environmental Practices (Air element)

Carbon Footprint

After the recent creation of the Carbon Footprint Registry in March of 2014, the search of solutions which allow to significantly reduce the Carbon Footprint has become more important

in the construction sector. It has only been possible to find two open data bases that include the necessary environmental information about the materials and machinery to perform the Carbon Footprint calculation: HueCO2 website and Banco BEDEC.

More information about applicable regulations and computer programs which can be used to perform the Carbon Footprint calculation has been collected. Afterwards, licenses for two of these programs, PRESTO (uses HueCO2 data base) and TCQ 2000 (takes its values from Banco BEDEC), have been acquired in order to calculate the Carbon Footprint of a simplified work. Certain differences have been observed in the results related to the machinery.

Frame of reference in Cantabria

According to the Cantabria law 4/2006, from 19 of May, of nature conservation in Cantabria, the existing Protected Natural Areas in Cantabria are the following: 1 National Park, 6 Natural Parks, 1 Natural Monument, 29 ZEPAs and 21 LICs.

An estimation of the kilometers of roads passing through protected natural areas in the region has been made by using a graphic information display that can be found on the website of the Government of Cantabria. An approximated value of 450 km has been obtained, which is a 17% of the total number of kilometers of highways and conventional roads which exist in Cantabria.

Practical case

The chosen project to carry out a calculation of the carbon footprint and to propose a varied set of good environmental practices has been the work of Improvement of roadbed and road safety in the road CA-280, Reinosa to Cabezón de la Sal (Kilometer 7,900 to Kilometer 34,400). Stretch: El Tojo-Espinilla (Puerto de Palombera). The Government of Cantabria has invested more than 5,30 million euros in this project.

An approximated calculation of the carbon footprint of this work has been made by using project measurements and data bases which include CO_2 emission factors from the machinery and construction materials (HueCO2 and Banco BEDEC mainly). Afterwards, by taking into account the good environmental practices already included in the project and those additionally proposed, an estimation of the possible reduction of the carbon footprint has been made. The results are shown in the following tables:

SCOPE	CO_2 EMISSIONS (t)	ECONOMIC ASSESSMENT(€)	% ASSESSMENT
Machinery	4,03 – 35,02	27,73 – 240,94	0,11 – 0,09
Materials	3.514,2 – 37.406,77	24.177,70 – 257.358,58	99,89 – 99,91
Total	3.518,23 – 37.441,79	24.205,43 – 257.599,52	100,00

Table 1 Assessment of the Carbon Footprint in Palombera works

GEPs	REDUCTION (%)	REDUCTION (t CO_2)	REDUCTION (€)
Machinery	70,00	2,82 – 24,51	19,40 – 168,63
Materials	60,00	2.108,52 – 22.444,06	14.506,62 – 154.415,13
Carbon sinks	63,27 – 5,94	2.226,00	15.314,88
Indirect	25,00	879,56 – 9.360,45	6.051,37 – 64.399,88
Total	148,28 – 90,95	5.216,90 – 34.055,02	35.892,27 – 234.298,52

Table 2 Reductions of the Carbon Footprint

Conclusions

The objectives established at the beginning have been fully met.

A complete inventory of good environmental practices for road works in different areas of the world has been elaborated, with a new classification for the environmental impacts based on five natural elements: air, earth, water, fire and life, which ensures a fast and clear identification.

After inquiring about the calculation of the carbon footprint in the construction sector it has been found that this is a new topic that is still in development, being nowadays more focused on edification than in the rest of civil works. As a result, it has been difficult to find different data bases with environmental information about the machinery and materials mainly used in roads.

It has been justified the importance of applying good environmental practices in Cantabria by gathering information about its protected natural areas and protected roads. It has also been obtained the number of kilometers of roads which pass through this protected natural areas.

It has been found that all the good environmental practices applied in Palombera works were included in the elaborated inventory. Additional measures have been proposed, focusing more on those related to the fire element (energy), since they were the scarcest.

A wide range of values for the carbon footprint of Palombera works has been obtained due to the fact that the emission factors from Banco BEDEC were much higher than the ones from HueCO2, especially in the case of pavement materials. As a result, we can say that it is not possible to make an accurate calculation with the available data for this work. Instead, we can obtain an approximate value that lets us know the order of magnitude for the carbon footprint.

It is only possible to make an accurate calculation of the carbon footprint if concrete is the predominant material in the selected work. This is due to the fact that the emission factors for cement, which is the concrete component with the higher CO_2 emissions, are quite similar in HueCO2 and Banco BEDEC. The results will lose accuracy at the time machinery and other materials such as steel or bituminous mixtures become more significant in the work, since the range of values for the carbon footprint will become wider.

The economic impact of the greenhouse gases emitted in Palombera works seems to be nearly irrelevant if compared with all its construction costs. That is maybe the reason why reducing material and energy consumption in road works is not considered as something important nowadays.

The applied good environmental practices with a greater influence on the reduction of the carbon footprint of Palombera works have been the ones related to the materials, particularly those which were aimed to reduce the emissions of the bituminous mixtures. The absorption effect of carbon sinks is quite big if we use the emission factors of HueCO2 data base, whereas it becomes very small when using the values given by Banco BEDEC.

Contenido

Introducción 5
Motivación 5
Objetivos 5
Estructura del documento 6
Clasificación de los impactos de la construcción 7
Justificación de la clasificación 7
Aire 8
Ruido 8
Emisiones a la atmósfera 8
Tierra 10
Residuos 10
Erosión 10
Contaminación del suelo 11
Agua 12
Consumo 12
Vertidos 12
Fuego 14
Fuentes de energía 14
Eficiencia energética 14
Vida 15
Flora y fauna 15
Paisaje 15
Patrimonio cultural, histórico y artístico 16
Salud e higiene 16
Selección de Buenas Prácticas Ambientales 18
Fuentes consultadas 18
Criterios de selección 19
Criterios de clasificación 20
Inventario de medidas 21
Aire 21
Tierra 24
Agua 31
Fuego 34

Vida 37
Huella de carbono 43
Introducción a la huella de carbono 43
Definición y normativa 45
Certificaciones medioambientales 47
Programas para cálculo de la Huella de Carbono 48
PRESTO 50
TCQ2000 56
Comparativa 61
Marco de referencia en Cantabria 62
Espacios naturales protegidos de Cantabria 62
Parques Nacionales, Parques Naturales y Monumentos Naturales 63
Lugares de Importancia Comunitaria (LIC) 64
Zonas de especial protección para las aves (ZEPA) 64
Carreteras de especial protección en Cantabria 66
Marco legal 66
Inventario 66
Caso práctico de aplicación de buenas prácticas ambientales 68
El proyecto del Puerto de Palombera 68
BPAs del proyecto 70
Inspección de campo 73
BPAs propuestas 79
Caso práctico de cálculo de la Huella de Carbono 81
Estimación de la Huella de Carbono 81
Maquinaria 82
Materiales 85
Energía 88
Cotización de las emisiones de CO_2 89
Propuesta de valoración de las BPAs en emisiones de CO_2 90
Valores de reducción 90
Consideración de las BPAs del proyecto 91
Consideración de las BPAs propuestas 92
Comparativa 93
Conclusiones 94
Discusión 94
Conclusiones 98

Anexos 99
Índice gráfico de medidas 99
A2 99
A3 100
A10 100
A15 101
A26 102
A31 103
E3 104
E16 105
E28 106
E30 108
E42 110
E49 111
E50 111
E51 113
E52 114
E54 115
E55 117
E56 119
E57 121
E58 122
E59 123
E62 128
W3 129
W4 130
W11 133
W21 133
W22 137
W23 138
W35 140
F18 142
L1 144
L11 145
L14 146
L47 147

Fotografías de Palombera 148
Humedal del alto de Palombera 148
Paso de ganado 150
Obras de fábrica 151
Mirador de La Cardosa 156
Aparcamiento de hormigón con césped 158
Cunetas 159
Señalización y cartelería 162
Integración de la carretera en el paisaje 164
Figuras 166
Tablas 171
Bibliografía 172

Introducción

Motivación

Durante los años que he cursado el Grado en Ingeniería Civil he ido adquiriendo conocimientos de diferentes materias. Las que suscitaron mayor interés por mi parte fueron aquellas que tenían una orientación más práctica, que permitían entender el porqué de muchas cosas que nos rodean en el mundo real, tal es el caso de asignaturas como: Maquinaria, equipos y plantas, Impacto Ambiental, Edificación, Caminos e Infraestructuras Viarias, Proyectos, Organización y Control de Obras, Geotecnia o Geología.

Gracias a dichos conocimientos ahora soy más consciente de todo lo que implica la ejecución de una obra civil, y uno de los aspectos que más llaman mi atención es el increíble efecto que estas tienen en el entorno en el que se ubican así como el enorme despliegue de recursos, personal y maquinaria necesarios para su construcción.

La construcción y conservación de carreteras es una actividad que por sus especiales características: linealidad, afección a espacios protegidos, consumo de materiales naturales y derivados del petróleo, es generadora de importantes impactos en el medio natural. Se producen residuos que en ocasiones no son debidamente gestionados, se utilizan materias primas o sustancias peligrosas, se realizan desbroces o movimientos de tierras, etc., provocando con todo ello impactos negativos sobre el medio ambiente (Gobierno de Aragón, 2010).

Las carreteras constituyen el grueso de la obra civil, al contar con una gran cantidad de superficie ocupada (La Red de carreteras de España tenía, a 31 de diciembre de 2013, 165.361 km) y, por lo tanto, creo que resulta de vital importancia ser conocedor de aquellas técnicas o actuaciones que permitan minimizar las afecciones que resulten de su procedimiento constructivo (Asociación española de la carretera, 2007) (Wikipedia, 2015).

Hasta hace no mucho tiempo no se prestaba especial atención a los efectos negativos de todas estas acciones asociadas a las obras de carretera, pero actualmente existen manuales específicos de buenas prácticas ambientales que tienen como objetivo minimizar cada uno de los impactos susceptibles de producirse.

Objetivos

Se listan a continuación una serie de objetivos propuestos, para facilitar la estructuración del trabajo y poder evaluar más adelante su grado de cumplimiento y utilidad.

- Establecer un método de clasificación novedoso para los impactos susceptibles de producirse en las operaciones de construcción y mantenimiento de carreteras.
- Recopilar información sobre buenas prácticas ambientales en distintos lugares del mundo y crear un inventario con las distintas buenas prácticas ambientales, agrupándolas de tal forma que resulte sencillo identificar qué utilidad tiene cada una de ellas.
- Recopilar información acerca del cálculo de la huella de carbono y comparar las principales metodologías y programas asociados.
- Justificar la importancia de aplicar buenas prácticas ambientales en las obras de carretera en Cantabria.
- Seleccionar para un proyecto particular de un tramo de carretera en Cantabria aquellas buenas prácticas ambientales más adecuadas, de forma justificada.

- Realizar un cálculo aproximado de la huella de carbono en la obra de ejemplo elegida y valorar su impacto económico.

Estructura del documento

Para lograr la consecución de los objetivos establecidos y facilitar la lectura y comprensión del documento, es necesario realizar una correcta estructuración del mismo. Por ello, este trabajo se divide en dos partes principales:

En la primera, se lleva a cabo una investigación de carácter genérico; describiendo los tipos de impactos ambientales producidos en las obras de carretera a nivel mundial y recopilando información de distintos manuales para después realizar un inventario ordenado en el que se recojan las buenas prácticas ambientales seleccionadas. Por otro lado, se investigará acerca del cálculo de la huella de carbono para poder hacer una aplicación práctica del mismo más adelante.

En la segunda parte se particularizará todo lo anterior para una zona en concreto, la Comunidad Autónoma de Cantabria. Para ello se comenzará justificando la relevancia que tiene la aplicación de buenas prácticas ambientales en Cantabria, apoyándose en cartografía que refleje la importancia de su medio natural. Después se seleccionarán varias buenas prácticas ambientales del inventario elaborado para ser aplicadas a una obra ejecutada en la región, en función de las características de esta. Por último se realizará un cálculo de la huella de carbono de dicha obra, valiéndose de la información obtenida en la primera parte del trabajo, y se estimará el impacto económico que tienen las emisiones de gases de efecto invernadero de la misma.

Para cerrar el documento se concluye con dos apartados, primero una discusión en la cual se explican detalladamente los resultados obtenidos tras la realización de todo el trabajo y luego unas conclusiones en las cuales se valoran el cumplimiento de los objetivos inicialmente propuestos y se mencionan brevemente los resultados que se consideran más relevantes.

Clasificación de los impactos de la construcción

Justificación de la clasificación

Las actividades relacionadas con la construcción de infraestructuras viarias llevan asociadas diversas actuaciones y manejos de materiales que pueden suponer un riesgo importante para el medio ambiente al producir cambios adversos en el mismo, conocidos como impactos ambientales negativos (Asociación española de la carretera, 2007).

Se van a agrupar los impactos en cinco categorías diferentes, cada una de ellas correspondiente a un elemento de la naturaleza. Para su clasificación se tendrá en cuenta con cuál de los distintos elementos: aire, tierra, agua, fuego o vida guarda una mayor relación cada impacto; generalmente con considerar aquél medio (terrestre, acuático, aéreo o biótico) sobre el cual tenga una mayor incidencia dicho impacto será suficiente.

Está clasificación se empleará más adelante para evaluar la efectividad de las diferentes prácticas ambientales en los distintos elementos de la naturaleza, y de ese modo poder estimar cuáles son las más versátiles.

A continuación se muestra la clasificación de los diferentes impactos que podemos encontrar en la construcción de carreteras, así como una breve descripción de cada uno de ellos, agrupándolos en los elementos correspondientes.

Aire

Ruido

En la construcción de carreteras, el ruido es producido generalmente por los equipos y maquinaria empleados en las distintas operaciones que se llevan a cabo como pueden ser: podas y talas, pintado, reparaciones, explanaciones, excavaciones, rellenos, firmes, arranque y carga de material, perforaciones, adecuación de taludes, voladuras o la propia circulación de los vehículos.

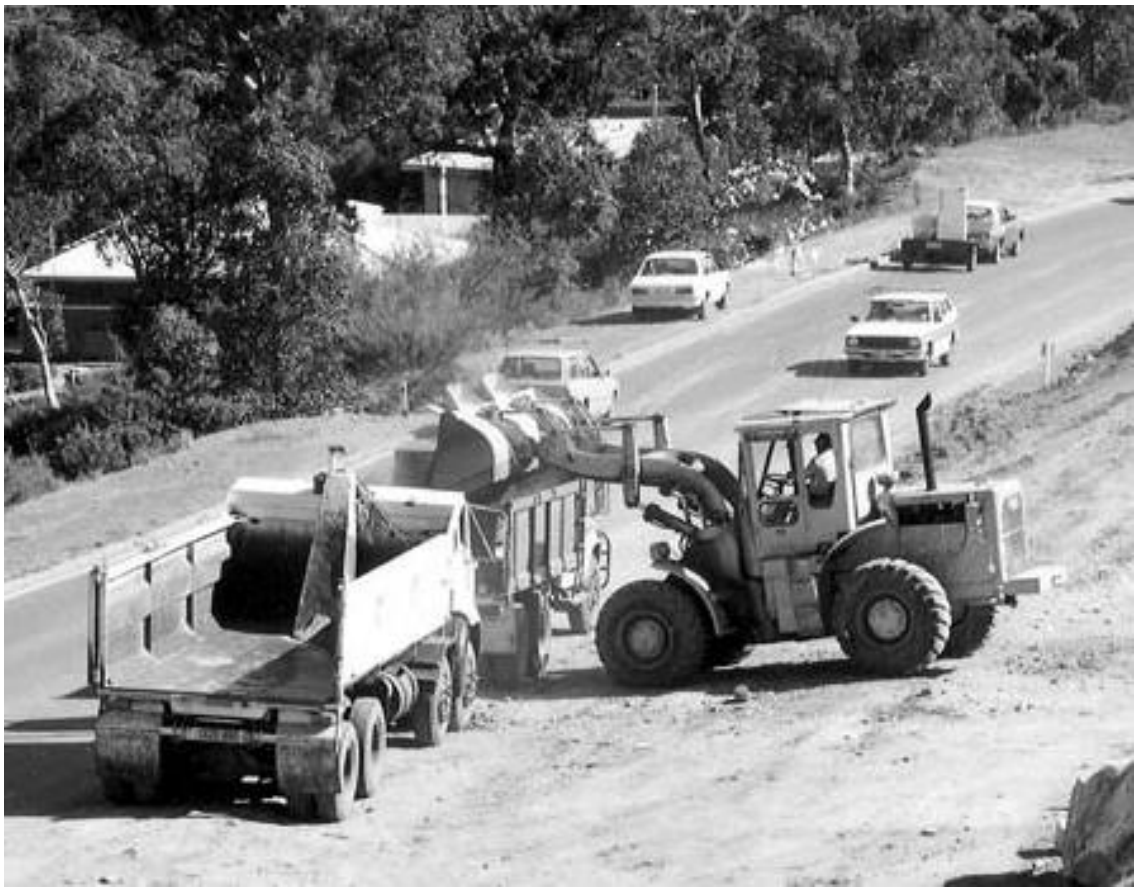


Figura 1 Operaciones típicas de movimiento de tierras en obras de carretera (The Roadside Conservation Committee Western Australia, 2010)

El ruido excesivo tiene efectos perjudiciales para la salud y calidad de vida de las personas, flora y fauna. En España la legislación de referencia es:

- Real Decreto 212/2002, de 22 de febrero, por el que se regulan las emisiones sonoras en el entorno debidas a determinadas máquinas de uso al aire libre.
- Ley 37/2003, de 17 de noviembre, de Ruido.

En ella se marca como límite aceptable 65 db durante el día y 55 db durante la noche, ya que la capacidad auditiva se deteriora en la banda comprendida entre 75 db y 125 db y pasa a un nivel doloroso, cuando se superan los 125 db. El umbral de dolor llega a los 140 db (Asociación española de la carretera, 2007) (Gobierno de Aragón, 2010).

Emisiones a la atmósfera

Las emisiones de gases y partículas a la atmósfera pueden poner en peligro la salud de las personas, plantas y animales. El mayor impacto proviene de las emisiones de gases de efecto

invernadero generados por los vehículos y maquinaria tales como dióxido de carbono (CO2), monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre, etc.

Las emisiones de polvo son muy frecuentes en la construcción de carreteras debido fundamentalmente a las operaciones de movimiento de tierras, especialmente en entornos muy secos. Estas partículas pueden repercutir sobre el desarrollo de plantas y cultivos al impedir que estos realicen su respiración y afectar a aguas superficiales, suelos o estructuras cuando este se deposita, además de poder provocar problemas respiratorios en personas y animales o dificultar la visibilidad.

Figura 2 Las actividades de construcción y mantenimiento de carreteras frecuentemente generan cantidades importantes de polvo (The Roadside Conservation Committee Western Australia, 2010)

También el empleo de ciertos productos como pinturas y aerosoles que contienen compuestos orgánicos volátiles (COV´s) contribuye a incrementar las emisiones de gases de efecto invernadero (Asociación española de la carretera, 2007) (Gobierno de Aragón, 2010).

Tierra

Residuos

Las operaciones de construcción y mantenimiento de carreteras llevan asociada la utilización de distintos tipos de materiales: compuestos de asfalto y hormigón, combustibles, aceites, plásticos, fertilizantes, herbicidas, pesticidas, detergentes, cal, pinturas, disolventes, etc.

Es importante saber diferenciar cada uno de los materiales empleados, puesto que de sus características va a depender el grado de peligrosidad del residuo al que puede dar lugar y los daños ambientales que este puede generar si no se trata de la manera adecuada.

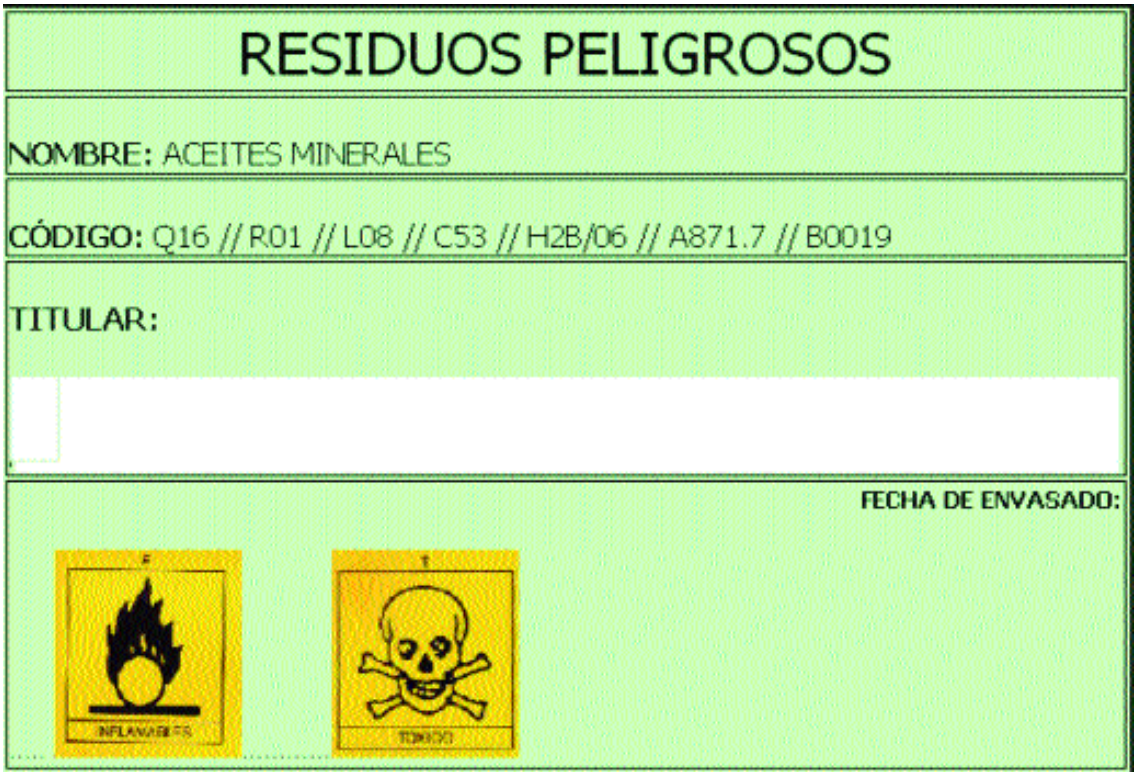


Figura 3 Ejemplo de etiqueta de residuos peligrosos (Asociación española de la carretera, 2007)

Por ello, será necesario establecer una serie de procedimientos y prácticas para optimizar la recepción, almacenamiento, uso y manipulación de los materiales a utilizar en la obra, de manera que se minimicen o eliminen sus pérdidas, la generación de residuos, vertidos o derrames por el sistema de alcantarillado o por los cursos de agua.

Los residuos generados en las actividades de construcción y conservación de carreteras, están incluidos dentro del grupo denominado Residuos de Construcción y Demolición (RCD) (Asociación española de la carretera, 2007) (Gobierno de Aragón, 2010) (gestionambientalobracivil, 2015).

Erosión

Durante la construcción de una carretera se llevan a cabo una serie de actividades que alteran la superficie del suelo, favoreciendo la erosión producida por el viento, agua o tránsito de vehículos y por consiguiente la aparición de sedimentos que pueden depositarse en cursos de agua o, en caso de ser muy finos, quedar en suspensión en el aire.

La erosión es función de una serie de factores: tipo y estructura del suelo, cobertura vegetal, topografía, clima (precipitaciones y viento), intensidad, tipo de trabajos llevados a cabo… (Guatemala, 2008).

Contaminación del suelo

El suelo es la capa superior de la corteza terrestre, situada entre el lecho rocoso y la superficie, compuesto por partículas minerales, materia orgánica, agua, aire y organismos vivos y que constituye la interfaz entre la tierra, el aire y el agua, lo que le confiere capacidad de desempeñar tanto funciones naturales como de uso.

Es un recurso finito, que requiere cuidado y conservación. Si sus características físicas o químicas se ven alteradas (vertidos de aceites, disolventes, compactación por el paso de maquinaria, etc.) se ponen en peligro la estructura y organismos que lo forman al producir un daño en el sistema ecológico, apartándolo de su equilibrio. Es necesario por lo tanto que se extremen las precauciones en el uso del suelo como recurso, favoreciendo la restauración, siempre que sea posible, y evitando la pérdida y contaminación (Asociación española de la carretera, 2007) (Gobierno de Aragón, 2010).

Agua

Consumo

El agua es un recurso escaso y sin embargo cada vez consumimos más. Son ya habituales en televisión, radio y otros medios de publicidad campañas que nos incitan al ahorro del agua, incluso sin tratarse de periodos de sequía. En las obras de carreteras, se le da diversos usos:

- Es materia prima esencial en las tareas de compactación de terraplenes, rellenos, suelos tratados, zahorra artificial, etc. Dado que la cantidad de agua para ejecutar estas unidades de obra se define y controla no suele producirse un uso inadecuado de la misma en estos casos.
- Riego de caminos de obra o capas ya extendidas para evitar la formación de polvo por la circulación de vehículos.
- Riego de plantas y rotondas
- Lavado de vehículos
- Agua sanitaria

El uso racional del agua es una práctica elemental y sencilla de aplicar. No se trata de escatimar su consumo, sino de consumir estrictamente la cantidad necesaria (Asociación española de la carretera, 2007) (Gobierno de Aragón, 2010).

Figura 4 Agua empleada en trabajos de compactación (Gobierno de Aragón, 2010)

Vertidos

Pese a ser un recurso renovable, las actividades humanas han provocado el deterioro de gran parte del agua. La idea de que puede regenerarse, y su aparente abundancia, hacen que sea el vertedero habitual en el que se arrojan los residuos producidos por nuestras actividades.

Se define como vertido o contaminación de aguas a la alteración de las propiedades físico-químicas y/o biológicas del agua por sustancias ajenas, por encima o debajo de los límites máximos o mínimos permisibles, según corresponda, de modo que produzcan daños a la salud del hombre deteriorando su bienestar o su medio ambiente.

Algunas de las sustancias que se generan en las operaciones de construcción de carreteras y que pueden afectar a la calidad de las aguas son: microorganismos patógenos, desechos orgánicos, sustancias químicas inorgánicas, nutrientes vegetales inorgánicos, compuestos orgánicos,

sedimentos y materiales suspendidos. Estas proceden fundamentalmente de las aguas de lavado de vehículos, maquinaria y equipos, con restos de aceite y grasas, aguas sanitarias, vertidos accidentales de productos tóxicos o peligrosos, actividades de retirada de animales en la vía, abonos, plaguicidas, partículas arrancadas del suelo... (Asociación española de la carretera, 2007) (Gobierno de Aragón, 2010).

Fuego

Fuentes de energía

En la construcción y conservación de carreteras la principal fuente de energía son los combustibles fósiles, principalmente el gasoil, necesario para el funcionamiento de los vehículos, maquinaria y equipos. También se debe de tener en cuenta la energía eléctrica utilizada en oficinas, climatización, iluminación, servicios y talleres.

Como dato, el 94% de la energía utilizada en España proviene de fuentes no renovables; de ahí la importancia de potenciar el uso de fuentes alternativas y renovables como la energía solar, eólica, hidráulica, mareomotriz, geotérmica y biomasa. Estas permiten una explotación ilimitada dado que o bien son inagotables, o bien se regeneran fácilmente.

Eficiencia energética

El consumo de energía se debe de administrar no sólo para ahorrar dinero, sino también para ayudar al medio ambiente, ya que es uno de los factores principales del cambio climático y la contaminación atmosférica. La eficiencia energética consiste en reducir el consumo al mismo tiempo que se mantiene el servicio energético, logrando de este modo realizar las mismas actividades pero con un coste energético asociado inferior.

En las obras de carretera es necesario un despliegue considerable de maquinaria pesada para poder realizar operaciones como el movimiento de tierras o el extendido de firmes, por lo tanto el consumo de combustible asociado es muy relevante. Por otro lado, los materiales empleados en la construcción también llevan asociado un consumo energético fruto de todo su proceso de fabricación y transporte a obra. Como consecuencia, una mejora en la eficiencia energética de la maquinaria e instalaciones de fabricación de materiales puede suponer una reducción importante en el consumo energético de una obra (Asociación española de la carretera, 2007) (Gobierno de Aragón, 2010).

Vida

Flora y fauna

Los márgenes de las carreteras suponen grandes extensiones de territorio en los que existen gran cantidad de especies vegetales y animales. En muchos países, como en Australia, los márgenes de las carreteras son el último vestigio de hábitats naturales de flora, considerándose estos como espacios protegidos.

Cualquier alteración del medio en el que estos se encuentran supone un impacto importante para ellos, y como consecuencia habrá que obrar con especial precaución, realizando solo aquellas modificaciones de lugares que sean estrictamente necesarias.

En la construcción y mantenimiento de una carretera hay numerosas actividades que pueden causar daños relevantes a la flora y la fauna: operaciones de movimientos de tierras con la consiguiente generación de ruido y polvo, trabajos de siega y de desbroce, atropellos de animales, empleo de herbicidas o extendido de fundentes en el mantenimiento de la vialidad invernal. Además, las carreteras son obras lineales que cuentan con una serie de infraestructuras auxiliares, temporales o permanentes, y crean por lo tanto barreras para el paso de los animales (Asociación española de la carretera, 2007) (Gobierno de Aragón, 2010).

Figura 5 Obra de drenaje que funciona también como paso para la fauna (Asociación española de la carretera, 2007)

Paisaje

El impacto visual o paisajístico es un tipo de perturbación que afecta al aspecto de un determinado lugar. Los cambios de forma y color en el territorio y los residuos vertidos de manera descontrolada al medio (especialmente los restos de construcción y demolición) son susceptibles de generar impactos visuales.

En carreteras este impacto es difícil de valorar en términos absolutos, por lo que se atiende frecuentemente a consideraciones de tipo subjetivo. Para su determinación se definen una serie de parámetros como: composición escénica, fondo escénico y posición del observador. Tras la valoración y definición del paisaje, el desarrollo de la actividad puede adecuarse a la tipología del mismo para minimizar el impacto (Asociación española de la carretera, 2007) (Gobierno de Aragón, 2010).

Patrimonio cultural, histórico y artístico

Según el artículo 46 de la Constitución Española del 27/12/1978 BOE nº 311:

Los poderes públicos garantizarán la conservación y promoverán el enriquecimiento del patrimonio histórico, cultural y artístico de los pueblos de España y de los bienes que lo integran, cualquiera que sea su régimen jurídico y su titularidad. La ley penal sancionará los atentados contra este patrimonio.

Como consecuencia, todas las actividades realizadas durante la construcción de carreteras deberán de ser debidamente planificadas y gestionadas para no producir daños en el patrimonio arqueológico, histórico, artístico, geológico y subterráneo. Habrá que conocer de antemano si existen zonas de importancia histórica (monumentos, restos arqueológicos, edificios antiguos), áreas naturales protegidas u otros lugares de interés cultural en el entorno de la carretera (The Roadside Conservation Committee Western Australia, 2010) (DerechosHumanos.net, 2015).

Figura 6 Patrimonio aborigen en Australia (The Roadside Conservation Committee Western Australia, 2010)

Salud e higiene

Los efectos negativos sobre la salud de los trabajadores en la ejecución de la obra, pueden ocurrir debido a las situaciones siguientes:

• Por accidentes en el trabajo: contacto con agentes externos que producen una lesión orgánica o perturbación funcional, inmediata o posterior (muerte), recibida repentinamente con motivo del trabajo, en cualquier lugar o momento que se presente.

• Por enfermedades del trabajo: estado patológico derivado de la acción continúa de causas que se presentan en el trabajo o en el medio en el cual el trabajador presta sus servicios.

• Por efectos tóxicos: efectos nocivos en el organismo, sean reversibles o irreversibles.

(Guatemala, 2008)

Selección de Buenas Prácticas Ambientales

Fuentes consultadas

Para la recopilación de buenas prácticas ambientales se hará una selección de varios manuales que recojan los diferentes impactos que puedan producirse así como las medidas que se recomiendan para reducirlos, siendo estos los siguientes:

(Agency, 2009) (Asociación española de la carretera, 2007) (Environment Protection Authority - Victoria, 1996) (Gobierno de Aragón, 2010) (Gobierno de Cantabria - Dirección General de Carreteras, Vías y obras, 2005) (Guatemala, 2008) (Ministerio de Medio Ambiente, 2005) (Ministerio de Medio Ambiente, 2005) (Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales, 2003) (Ministry of Transportation and Infrastructure, 2010) (The Roadside Conservation Committee Western Australia, 2010) (UOCRA, 2009)

Dentro de este conjunto inicialmente consultado se seleccionaran a continuación aquellos que se considere de mayor idoneidad de cara la realización del inventario de buenas prácticas ambientales. Los manuales finalmente elegidos para este estudio son los siguientes:

- Instrucciones Técnicas sobre Buenas Prácticas Ambientales del Gobierno de Cantabria (2005).
- Manual de Buenas Prácticas Ambientales en la Conservación de Carreteras – Asociación española de la carretera (2007).
- Manual de Buenas Prácticas para Proyectos de Carreteras – CONAP (Guatemala) (2008).
- Manual de Buenas Prácticas Ambientales para Carreteras de Aragón (2010).
- Handbook of Environmental Practice for Road Construction and Maintenance Works – Roadside Conservation Committee Western Australia (2010).
- Environmental Best Practices for Highway Maintenance Activities – British Columbia (2010).

Estos manuales consultados tienen como mínimo unos cinco años de antigüedad, por lo que en algún que otro aspecto presentan información que requiere ser actualizada para cumplir con las demandas actuales. Este es el caso de las buenas prácticas encaminadas a realizar un uso eficiente y renovable de la energía y los materiales de construcción.

En el momento que se redactaron estos manuales se comenzaban a dar los primeros pasos encaminados a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y optimizar el consumo en distintas actividades para así hacer frente a la problemática del cambio climático. No obstante, a medida que ha ido pasando el tiempo se han ido probando y descubriendo nuevas técnicas que pueden ayudar a reducir en mayor medida estas emisiones al ser aplicadas complementariamente con las ya conocidas.

Es por ello que se ha decido consultar bibliografía adicional para añadir más prácticas relacionadas con el ahorro energético. Las fuentes elegidas han sido, por un lado, dos Informes de Sostenibilidad Ambiental: el del IV Plan de Carreteras Autonómicas de Cantabria (Gobierno de Cantabria, 2010) y el del Plan de Gestión Integral de Infraestructuras de Cantabria (Gobierno de Cantabria, 2013), y por otro lado dos guías técnicas del País Vasco relativas a edificación sostenible de edificios industriales (IHOBE, 2012) y materiales de construcción (IHOBE, 2010).

También se consultó un manual para la redacción de planeamiento urbanístico con criterios de sostenibilidad (IHOBE, 2008), aunque no se encontró en él la información requerida.

Criterios de selección

Para la selección de las fuentes consultadas se ha tenido especialmente en cuenta que estas se tratasen de manuales de buenas prácticas o guías ambientales para carreteras, evitando tomar aquellas dedicadas al sector de la construcción en general. Si bien, estas últimas se han empleado como refuerzo o apoyo de las primeramente seleccionadas en ciertos temas como el de ahorro energético u optimización en el consumo de agua.

Una vez encontrados varios manuales, se ha dado más importancia a aquellos que trataban los impactos asociados a la construcción de carreteras y algo menos a los que estaban más centrados en las labores de mantenimiento de las mismas. Por otro lado, se han buscado documentos procedentes de distintas zonas climáticas de modo que el conjunto de prácticas recogidas sea válido para una amplia variedad de territorios.

Como referencias principales se han empleado aquellos manuales que estructuraban los impactos de una manera más acorde a la concebida para este trabajo, y el resto de referencias han servido para complementar toda la información inicial, además de añadir varios puntos importantes que no aparecían debidamente reflejados.

Serán de especial interés aquellas prácticas que permitan obtener unos beneficios ambientales más allá de la fase meramente constructiva, siendo también útiles en la etapa de explotación de la carretera. En la inmensa mayoría de los casos, estás prácticas serán aquellas que lleven asociada la implantación de especies vegetales que colaboren en la reducción de la huella de carbono de la obra con el paso de los años.

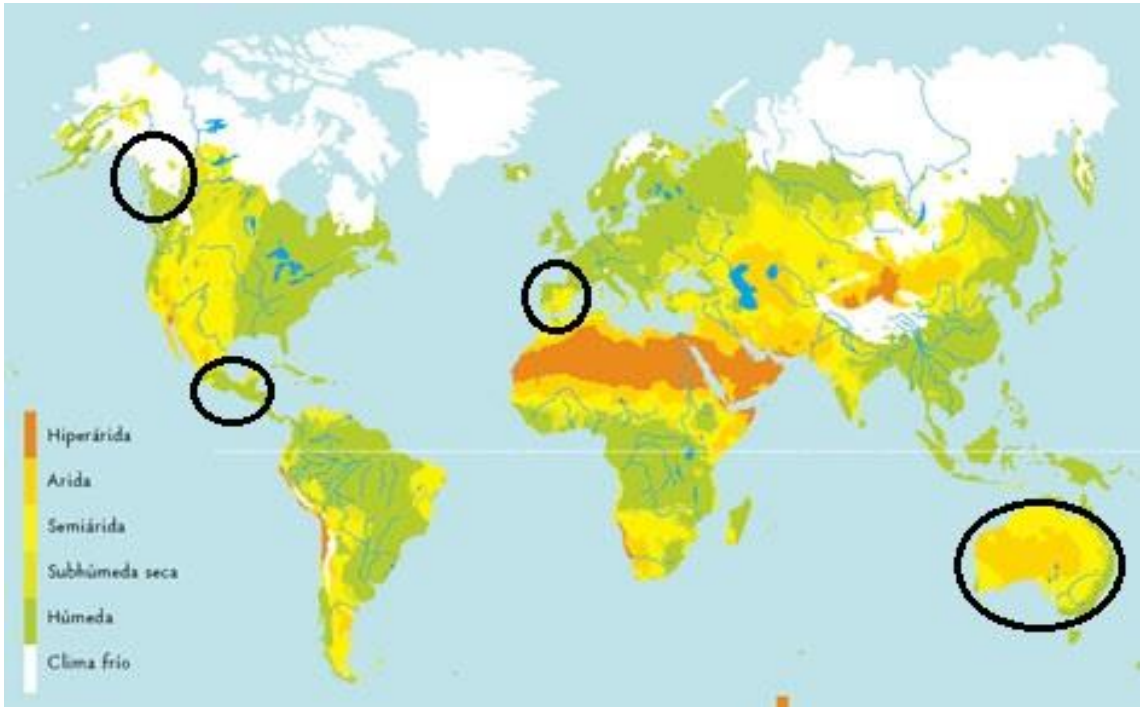


Figura 7 Mapamundi de Zonas Climáticas (Web de la UNESCO, 2015)

Criterios de clasificación

Para una organización clara que permita localizar rápidamente las prácticas que nos puedan interesar, se dispondrán las diferentes prácticas en cinco tablas (cada una enfocada a un elemento: aire, tierra, agua, fuego y vida) que contarán con ocho columnas, siendo estas las siguientes:

- Código: En esta columna se recogerá la clasificación directa de la práctica en uno de los siguientes cinco elementos: Aire, Tierra, Agua, Fuego o Vida, teniendo en cuenta sobre cuál de ellos tiene un mayor efecto la misma. Se emplearán una letra, correspondiente a el elemento en cuestión A=Aire (Air), E=Tierra (Earth), W=Agua (Water), F=Fuego (Fire), L=Vida (Life); y un número que simplemente servirá para distinguir entre sí las prácticas pertenecientes a un mismo elemento. De este modo podremos disponer de tablas separadas orientadas a minimizar los impactos sobre un elemento en concreto.
- Descripción: se realiza una descripción breve, sin entrar en detalles, de cada una de las prácticas.
- 5 Columnas correspondientes cada una a uno de los elementos ya citados: Estas columnas podrán contener un círculo grande o pequeño (dependiendo del efecto de la práctica sobre el elemento en cuestión) o ir en blanco (si esa práctica no tiene efecto alguno sobre dicho elemento). Para una detección más rápida del efecto que tiene la práctica, los círculos contarán con colores específicos para cada elemento: gris claro para el Aire, marrón para la Tierra, azul para el Agua, rojo para el Fuego y verde para la Vida.
- Aplicabilidad: En esta última columna se valora con un número entre el 1 y el 5 (siendo 1 aplicabilidad nula y 5 la mayor) la aplicabilidad de cada práctica en la construcción de carreteras en la Comunidad Autónoma de Cantabria. Con ello se facilita enormemente la selección de aquellas que van a ser aplicadas en una obra en la segunda parte de este trabajo.

Adicionalmente se recoge un índice gráfico con algunas de las medidas de las tablas anteriores. Aquellas buenas prácticas que presenten un hipervínculo en su código serán las que cuenten con una o varias figuras explicativas.

Inventario de medidas

Aire

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	AIRE	TIERRA	AGUA	FUEGO	VIDA	APLICABILIDAD
A1	Ajustar la capacidad de la máquina al trabajo a desarrollar.	○			●		3
A2	Entoldar los camiones siempre que transporten material pulverulento.	○					3
A3	Cubrir los acopios de tierras, morteros, cemento y otros materiales similares con toldos o plásticos protectores.	○	●				4
A4	Tener vigente la ITV y realizar un buen mantenimiento periódico de vehículos y maquinaria de acuerdo con las instrucciones del fabricante para garantizar su correcto funcionamiento.	○	●	●	●		3
A5	Disponer de un listado de todos los vehículos, equipos y maquinaria y llevar un registro de cada uno de ellos, con características, conductor, rutas, etc.	○					2
A6	Planificar las rutas de los vehículos y establecer diversas zonas a lo largo de la obra para el acopio de los materiales con el objetivo de ahorrar en kilómetros recorridos y consumo de combustible.	○			●		3
A7	Seguir criterios de conducción eficiente y apagar las máquinas cuando no se vayan a utilizar, no dejando el motor en marcha (incluso al ralentí).	○			●		3
A8	Fabricar mezclas bituminosas en frío, templadas o semicalientes permite reducir los consumos energéticos y las emisiones de gases de efecto invernadero con respecto a las mezclas bituminosas en caliente convencionales.	○			●		3
A9	Incluir criterios ambientales además de funcionales y de rentabilidad si se va a adquirir un vehículo nuevo.	○					2
A10	Regar frecuentemente las superficies de trabajo susceptibles de generar polvo, especialmente en aquellos tramos próximos a núcleos de población o a flora y fauna sensible.	○				●	2

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	AIRE	TIERRA	AGUA	FUEGO	VIDA	APLICABILIDAD
A11	Planificar los trabajos de regado de las superficies de trabajo después de que se hayan producido precipitaciones (de no mucha intensidad) para disponer de un suelo ya humedecido.						5
A12	Reducir la velocidad de tránsito de los vehículos, sobre todo en las pistas de tierra, y colocar letreros de aviso con señales preventivas que indiquen el cruce de animales.						3
A13	Realizar la descarga de materiales desde poca altura y evitar el manejo brusco de los mismos.						3
A14	Notificar la realización de aquellas actividades que puedan ocasionar molestias debido al ruido, polvo, etc.						3
A15	Lavar las ruedas de los vehículos antes de que estos abandonen la zona de obras en las zonas habilitadas a tal fin, y mantener los equipos y maquinaria limpios en la medida de lo posible.						3
A16	Usar cementos de tecnologías anti-polvo.						2
A17	Reducir el uso de pinturas (sustituir, sí es posible, por pinturas en base a agua), barnices, aerosoles, selladores, masillas, adhesivos del asfalto, solventes orgánicos y otros al estrictamente necesario.						3
A18	Aplicar los productos generadores de emisiones de COVs en las condiciones meteorológicas más adecuadas, por ejemplo en ausencia de viento.						3
A19	Instalar mecanismos de absorción de vapores en los surtidores de combustible consistentes en capuchas de plástico que cubren la boquilla de los mismos.						3
A20	Sustituir las voladuras por el uso de cementos expansivos.						3
A21	Reducir la propia carga detonante mediante microvoladuras controladas.						4
A22	Cubrir la zona con diversos materiales que actúen como amortiguadores sónicos durante las actividades en las que se empleen explosivos.						3

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	AIRE	TIERRA	AGUA	FUEGO	VIDA	APLICABILIDAD
A23	Utilizar compresores y perforadoras de bajo nivel sónico.						3
A24	Planificar cuidadosamente las actividades llevadas a cabo durante el horario nocturno, evitando las más ruidosas.						3
A25	Llevar un control de los sistemas neumáticos e hidráulicos: revisión de los conductos, bridas, válvulas, juntas…						3
A26	Emplear equipos de trabajo que hayan tenido en cuenta el control de las emisiones de ruido en su diseño (maquinaria con la marca CE).						3
A27	Modificar y sustituir componentes de los equipos, siempre que sea posible, para reducir el ruido generado. Por ejemplo, se pueden emplear revestimientos elásticos en tolvas y cajas de volquetes.						3
A28	Evitar usar de forma simultánea varias máquinas muy ruidosas.						3
A29	Realizar un carenado o cerramiento de equipos, para limitar la propagación al exterior del ruido producido, pudiendo ser completos o parciales. Para un óptimo funcionamiento, el carenado debe encontrarse aislado de la maquinaria para evitar vibraciones.						3
A30	Buscar recorridos alternativos, evitando los núcleos de población siempre que sea posible.						3
A31	Emplear apantallamientos entorno a compresores u otra maquinaria y repararlos cuando estén dañados. Pueden estar constituidos por pacas de paja, árboles, arbustos, cordones de tierra, madera de encofrado, puntales, perfiles metálicos y otros materiales aislantes.						4
A32	Llevar a cabo mediciones periódicas del nivel de ruido y también cuando se crea que se está superando el umbral admisible.						3
A33	Emplear combustibles con contenido bajo en azufre.						3

Tabla 1 Medidas para reducir los impactos en el elemento Aire

Tierra

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	AIRE	TIERRA	AGUA	FUEGO	VIDA	APLICABILIDAD
E1	Eliminar vegetación solo cuando sea estrictamente necesario y evitar retirar las raíces siempre que sea posible.		●			●	5
E2	Colocar cortavientos para reducir la velocidad del viento en la zona de sombra de la pantalla, pudiendo ser de distintos materiales, cada uno de ellos con diferentes grados de porosidad.		●				3
E3	Evitar superficies de suelo lisas mediante la escarificación de las mismas para reducir la erosión del viento, mejorar la infiltración del agua, evitar el deslizamiento de la tierra extendida y facilitar la siembra y la implantación vegetal.		●			●	5
E4	Llevar a cabo las labores de estabilización de suelos lo antes posible mediante la pulverización de agua con aditivos estabilizantes (no emplear compuestos que puedan tener efectos negativos sobre depósitos de agua próximos) o proyecciones de paja, compost o mulch.	●	●	●			4
E5	Jalonar o indicar de manera clara las instalaciones y los caminos por donde pueden circular los vehículos y la maquinaria cuando se trabaje en zonas ambientalmente sensibles.		●			●	4
E6	Colocar cubiertas vegetales como arbustos, por ejemplo, que ayudan a reducir las emisiones de polvo considerablemente además de mejorar las condiciones físico-químicas del suelo. Deben de ser instaladas cuanto antes, en la época del año más favorable para su crecimiento.	●	●				5
E7	Realizar un mantenimiento periódico de las superficies de rodadura.	●	●				3
E8	Gestionar adecuadamente los restos de hormigón, cemento o asfalto para evitar ocupaciones permanentes del suelo.		●				3
E9	Realizar los acopios siempre que sea posible en zonas en las que se haya eliminado la vegetación o que estén ya alteradas y lejos de las líneas de drenaje, evitar terrenos inestables o de importancia ambiental como humedales o de alta productividad agrícola.		●	●		●	4
E10	Marcar la extensión de los acopios y evitar alturas superiores a 1,5 metros en los mismos.		●	●		●	3
E11	Restringir la zona de circulación, estableciendo las zonas de trabajo, y minimizar el número de instalaciones auxiliares para evitar el movimiento innecesario de maquinaria y personal y la ocupación del terreno.	●	●		●	●	4
E12	Utilizar la mínima cantidad necesaria de productos absorbentes, como la sepiolita, (evitando el empleo de agua) para la recogida de derrames y gestionar estas recogidas como residuos peligrosos.		●	●			3

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	AIRE	TIERRA	AGUA	FUEGO	VIDA	APLICABILIDAD
E13	Restaurar las zonas dañadas por contaminación del suelo, movimiento de tierras, acopio de materiales, variación del nivel freático, compactación o construcción de instalaciones temporales.		●			●	4
E14	Proteger las zonas destinadas al estacionamiento, mantenimiento y repostaje de la maquinaria mediante superficies construidas con materiales impermeabilizantes que impidan filtración de líquidos o sustancias en el suelo y que garanticen el rápido drenaje de los mismos hacia las unidades de control.		●				4
E15	Llevar a cabo las labores de retirada del suelo vegetal, si procede, simultáneamente con el desbroce de vegetación, de manera que la tierra retirada incorpore los restos de la vegetación existente, herbáceas y semillas.		●			●	5
E16	Separar cada una de las capas de tierra identificadas para que no se diluyan las cualidades de las más fértiles.		●				5
E17	Almacenar la capa de tierra vegetal con especial cuidado, se depositará en capas delgadas evitando la formación de grandes montones y se evitará el paso reiterado de maquinaria sobre ella para evitar su deterioro por compactación y de esta manera preservar la estructura del suelo.		●				5
E18	Elaborar un Plan de Gestión de Residuos. El seguimiento del mismo se deberá incluir en un Programa de Seguimiento y Control.		●				3
E19	Disponer de un Protocolo de Emergencias por contratista, referente a cada sustancia peligrosa almacenada, y también los materiales necesarios para actuar en caso de Emergencia Ambiental. Dicho Protocolo deberá ser entregado a la Dirección Ambiental de la Obra con carácter previo al inicio de los trabajos		●				3
E20	Mantener un control preciso y un inventario día a día de la recepción y almacenamiento de materiales en la obra. En la medida de lo posible según la programación de la obra, se minimizará el material almacenado.		●				3
E21	Garantizar que todos los trabajadores y subcontratistas reciben una formación mínima sobre las prácticas correctas de uso y manipulación de materiales. Además se atribuirán responsabilidades para la gestión de los residuos en la obra.		●				3
E22	Informar de cualquier derrame que se produzca.		●				3
E23	Cesar la actividad en el lugar y obtener consejo profesional sobre cómo actuar en caso de descubrir una contaminación preexistente del suelo.		●				3
E24	Tomar precauciones especiales para evitar derrames de materiales peligrosos cuando se trabaje cerca de cursos de agua o humedales.		●	●			4

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	AIRE	TIERRA	AGUA	FUEGO	VIDA	APLICABILIDAD
E25	Estimar el volumen de cada tipo de residuo que se va a generar en cada operación, para su correcta gestión.		●				3
E26	No realizar tratamientos como la hidrosiembra ni tratamientos fitosanitarios con fuertes vientos para evitar problemas de deriva.		●				3
E27	Disponer de una zona temporal de almacenamiento de residuos en las zonas de trabajo.		●				3
E28	Almacenar los residuos en condiciones adecuadas de higiene y seguridad: suelo impermeable (hormigón o cemento), protegidos del sol y la lluvia, en una zona ventilada, alejados de la red de saneamiento, dispuesto sobre un elemento o dispositivo que garantice una retención del residuo y cubeto o bordillo para evitar derrames.		●	●			4
E29	Disponer de una gestión del almacén que permita la identificación y localización de materiales y productos para facilitar la implicación de los trabajadores.		●				3
E30	Identificar los contenedores con una etiqueta que por legislación debe contener: Código de residuo, símbolo correspondiente según sea un producto nocivo, tóxico, inflamable, etc., nombre, dirección y teléfono del titular de los residuos y fecha de envasado.		●				3
E31	Almacenar en zonas de acopio separadas los productos peligrosos que puedan ser inflamables o reactivos cuando entren en contacto.		●				3
E32	Almacenar los materiales empaquetados o embolsados sobre palets y no permitir su acumulación sobre el suelo. Para protegerlos del viento y la precipitación durante la época de lluvias, estos materiales se deben de cubrir durante los días en los cuales la obra permanezca parada y sobre todo durante los días de lluvias intensas.		●				3
E33	Evitar el almacenamiento de productos químicos peligrosos y bidones directamente sobre el suelo. Colocarlos sobre palets y cuando fuese posible, dentro de otro contenedor y a cubierto.		●				3
E34	Evitar mezclar residuos y realizar su separación en función de su código LER.		●				3
E35	Gestionar como residuos los restos de siega y poda. Cuando el volumen lo justifique se trituran, ya sea para su transporte a vertedero o para la elaboración de compost por gestor autorizado.		●				4
E36	Usar primero los productos más cercanos a fecha caducidad y no mantener abiertos varios recipientes de un mismo producto, para evitar que se deterioren o caduquen.		●				3

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	AIRE	TIERRA	AGUA	FUEGO	VIDA	APLICABILIDAD
E37	Llevar a vertedero aquellos materiales procedentes de la excavación que no vayan a reutilizarse en rellenos.		●				3
E38	Establecer una zona específica para limpieza de encofrados.		●				3
E39	No dejar acumulados los residuos en los drenajes, estructuras u otras zonas próximas a la carretera.		●	●			3
E40	Establecer una zona para la limpieza de la maquinaria específica de pintado y para plantillas.		●				3
E41	Mantener los envases de pinturas y disolventes cerrados tras su uso para evitar derrames accidentales y prohibir la aplicación con fines publicitarios de las primeras sobre elementos naturales.		●	●			3
E42	Identificar las zonas de carretera y materiales de construcción a emplear que estén afectadas por el hongo Phytophthora, planificar las actividades para los meses más secos de modo que se minimice su propagación y formar a los trabajadores con funciones importantes en gestión de material infectado por el hongo.		●				1
E43	Evitar segar la hierba y la vegetación que no supere los 15cm sobre la superficie del suelo para evitar problemas de erosión, especialmente en zonas de fuertes pendientes.		●			●	3
E44	Notificar al organismo correspondiente para obtener el permiso necesario en caso de ser necesaria la eliminación de una presa construida por castores. Abrir un hueco en la parte central y dejar que se iguale poco a poco el nivel de agua a ambos lados de la presa. (Debe considerarse la implementación de controles de erosión).		●	●		●	4
E45	Evitar el uso de materiales sucios, con partículas de finos que contribuyan al proceso de sedimentación en los cursos de agua próximos.		●	●			3
E46	Realizar en el Parque de Maquinaria las actuaciones susceptibles de producir vertidos accidentales de productos tóxicos o peligrosos.		●				3
E47	Instalar preferentemente las zonas de acopio, el parque de maquinaria y los accesos temporales en las zonas donde no causen la compactación de las raíces de la vegetación existente.		●			●	4
E48	Aplicar productos medioambientalmente inocuos sobre la superficie del suelo para aumentar su tensión superficial, evitando temporalmente la erosión producida por el agua y reduciendo así la generación de polvo y la erosión eólica del suelo.	○	●				4

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	AIRE	TIERRA	AGUA	FUEGO	VIDA	APLICABILIDAD
E49	Construir albarradas: estructuras temporales que pueden ser de ramas, troncos o más generalmente piedra, construidas transversalmente a una cuneta o corriente de agua para reducir la velocidad de ésta y, por tanto reducir su fuerza de erosión y retener, a modo de filtro, los sedimentos que arrastra antes de que afecten al entorno de la obra.		●				4
E50	Instalar drenajes en los taludes para interceptar y dirigir el agua de escorrentía superficial o subterránea que discurre por los ellos hacia un curso de agua estabilizado, un dispositivo de retención o un área de suelo estabilizado. Mediante cunetas o tuberías se dirige el flujo superficial lejos de áreas con pendiente, evitando la erosión de los taludes.		●				5
E51	Colocar dispositivos en el desagüe de las tuberías, obras de drenaje y áreas de vertido a modo de zampeados de rocas y troncos combinados en ocasiones con geotextil para reducir la velocidad y/o energía de los flujos de agua de escorrentía y prevenir la erosión.		●				5
E52	Generar pequeños caballones en sentido perpendicular a la dirección del viento para reducir las pérdidas de suelo hasta en un 80%. Los caballones deben tener una altura aproximada de 15mm.		●				3
E53	Realizar aportaciones de zahorra para reducir la capacidad de emisión respecto a un suelo pulverulento sin control. En zonas con vientos fuertes el material pétreo debe ser mayor. La cubrición de un 30% de la superficie de un suelo con materiales no erosionables puede reducir las pérdidas de suelo hasta en un 80%.		●				3
E54	Emplear material vegetal intercalado en los huecos de la escollera (escollera viva), con el fin de mejorar la integración paisajística del muro de escollera. De esta manera se favorece el crecimiento vegetal preexistente sobre el muro así como la retención del material suelto y un enmascaramiento de la instalación.		●			●	5
E55	Construir lechos de ramajes, implantando ramas vivas o plantas enraizadas en taludes de pendiente pronunciada. El material vegetal se orienta perpendicularmente al contorno del talud, principal diferencia con técnicas de fundamentos similares como la técnica de fajinas vivas.		●			●	5
E56	Colocar fajinas vivas, manojos atados de ramas vivas cortadas de plantas leñosas, formando estructuras cilíndricas. Generalmente la introducción se hace en lechos preparados al efecto o en un abancalamiento o berma.		●			●	5
E57	Implantar estacas en el suelo, con el fin de que enraícen y se desarrollen como planta completa produciendo así un duradero efecto de estabilización del talud además del consiguiente efecto integrador en el paisaje. Las estacas generan un sistema esférico de raíces que estabiliza el talud y elimina el exceso de agua.		●			●	5
E58	Bioestabilizar regueros mediante capas alternativas de ramas vivas y material terroso de relleno compactado en pequeñas cárcavas o regueros producidos por la erosión.		●			●	5
E59	Emplear barreras temporales de material geosintético, geotextil, paja, sacos de áridos, sacos filtrantes, restos vegetales o rollos de fibra para interceptar y reducir el flujo de la escorrentía laminar cargada de sedimentos. Estas barreras permiten depositar los sedimentos presentes en la escorrentía antes de que el agua salga del lugar de la obra.		●				4
E60	Ejecutar diques transversales con distintos materiales que se localizan en sentido perpendicular al flujo del agua para reducir su velocidad y favorecer la retención de sedimentos y materiales arrastrados.		●				4

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	AIRE	TIERRA	AGUA	FUEGO	VIDA	APLICABILIDAD
E61	Utilizar las cantidades estrictamente necesarias y productos de baja toxicidad en la aplicación de herbicidas.		●			●	3
E62	Proteger los acopios de mortero a utilizar en cada jornada de trabajo, de forma que no se contamine el entorno por los lixiviados generados en caso de lluvia.		●	●			4
E63	Realizar los trabajos con gravas y otros áridos preferiblemente en estaciones secas para facilitar el control de sedimentos.		●				4
E64	Recoger de forma regular todo el material y sedimentos acumulados en la zona de trabajo.		●				3
E65	Minimizar el área, volumen y duración de la exposición del suelo apilado para reutilización.		●				3
E66	Colocar el material de depósitos rocosos desde adentro hacia afuera de la superficie para permitir que el material se segregue, quedando los fragmentos más grandes hacia la parte externa del depósito de forma que sirvan protección definitiva del talud y el material más fino hacia la parte interior.		●				3
E67	Realizar las labores de reparación y mantenimiento de la maquinaria en talleres autorizados siempre que sea posible para evitar posibles vertidos accidentales.		●	●			3
E68	No tener un residuo almacenado durante más de 6 meses para evitar la acumulación en el almacén de residuos.		●				3
E69	Elegir aquellas zonas de menor valor ambiental y preparar una plataforma de zahorras para posteriormente eliminarlas y restaurar el suelo original si las labores de mantenimiento de maquinaria deben de realizarse en el medio natural.		●				4
E70	Transportar los residuos a un vertedero autorizado.		●				3
E71	Separar de manera selectiva aquellos residuos susceptibles de ser reciclados o reutilizados. Por ejemplo los residuos generados durante la demolición o fresado de firmes de hormigón o la demolición de firmes flexibles.		●				3
E72	Prohibir el vertido incontrolado de cualquier residuo al medio natural y disponer carteles indicando dicha prohibición.		●	●			4

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	AIRE	TIERRA	AGUA	FUEGO	VIDA	APLICABILIDAD
E73	Evitar movimientos de tierras innecesarios planificando los mismos con anterioridad, reutilizando y compensando las tierras excavadas, minimizando así el impacto sobre la capa superior de tierra vegetal y su transporte a vertedero exterior.						3

Tabla 2 Medidas para reducir los impactos en el elemento Tierra

Agua

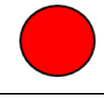
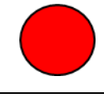
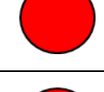
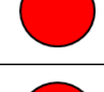
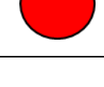
CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	AIRE	TIERRA	AGUA	FUEGO	VIDA	APLICABILIDAD
W1	Realizar controles de sedimentos en acopios con riesgos de erosión hacia cursos de agua.						4
W2	Minimizar los excesos de aguas producidos en ciertas actividades como el corte de pavimentos o bloques y evitar la escorrentía hacia áreas sensibles.						3
W3	Emplear barreras hinchables temporales de material geosintético impermeable para su uso en el interior de masas o cauces de agua para facilitar la creación de un espacio seco evitando que el agua se contamine con tierras y sedimentos.						3
W4	Construir balsas o trampas de sedimentos para retener el agua de escorrentía en condiciones estáticas y así permitir la decantación de los mismos antes de devolverla a la red de saneamiento o cauce natural.						4
W5	Añadir reactivos químicos al agua para acelerar su clarificación mediante procesos de floculación o coagulación de las partículas finas existentes (sedimentación química).						3
W6	Emplear productos biodegradables y no peligrosos en las labores de limpieza a la vez que se minimiza el consumo de agua para reducir el volumen de aguas contaminadas generado.						3
W7	Mantener en buen estado los depósitos de agua y cisternas para evitar fugas.						3
W8	Identificar en cada actividad cuál el consumo de agua que se está realizando para así detectar posibles desviaciones.						3
W9	Corregir cualquier problema o avería que suponga pérdida de agua.						3
W10	Tratar de ajustar el consumo de agua a las necesidades reales de la obra.						3
W11	Instalar sistemas ahorradores de agua como cabezales de ducha de bajo consumo, aireadores en los grifos, reguladores de temperatura con termostato y baños con cisterna de doble descarga.						3
W12	Fijar objetivos de ahorro de agua para las distintas actividades.						3

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	AIRE	TIERRA	AGUA	FUEGO	VIDA	APLICABILIDAD
W13	No ubicar los parques de maquinaria, acopios de materiales o instalaciones auxiliares en las inmediaciones de los cursos de agua, tanto superficiales como subterráneos, y asegurar que en ningún momento el nivel del agua, durante la ocurrencia de crecidas extraordinarias, los alcance.			●			5
W14	Diseñar y ejecutar las medidas necesarias para garantizar la continuidad de los cursos de agua con estructuras y sistemas de drenaje			●			4
W15	Reutilizar las aguas de lavado de vehículos y maquinaria siempre que sea posible.			●			3
W16	No verter productos químicos, aceites y otros materiales contaminantes en los lavabos y sanitarios.			●			3
W17	Instalar un separador de hidrocarburos en los talleres y zonas de lavado de vehículos.			●			3
W18	Emplear preferiblemente sistemas de lavado a presión.			●			3
W19	Depurar las aguas procedentes de las operaciones de limpieza y/o contaminadas antes del vertido a red de saneamiento o cauce público.			●			3
W20	No mantener grifos abiertos innecesariamente.			●			3
W21	Emplear soluciones constructivas que permitan el tránsito de vehículos y maquinaria de obra sobre los cursos de agua, temporales o permanentes, durante la ejecución de los trabajos para evitar en la medida de lo posible interferir sobre la dinámica fluvial.		●	●			4
W22	Tomar medidas para garantizar la conservación del funcionamiento hidrológico de las dolinas, evitando tanto su colmatación y colapso como el arrastre de finos. Para ello se retira la capa de tierra vegetal y se sanea la zona alterada para después rellenar la cavidad kárstica con un material que sirva de filtro y un geotextil anticontaminante.		●	●			5
W23	Emplear fajas y balsas de bioinfiltración para el control de aguas de escorrentía, de modo que se pueda conservar o replicar el régimen hidrológico preexistente en cada zona antes de que ésta sea objeto de alteración.		●	●			4
W24	No permitir en operaciones de retirada de escombros de cursos de agua que la maquinaria a emplear cruce sobre ella, deben de operar desde las orillas.			●			3

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	AIRE	TIERRA	AGUA	FUEGO	VIDA	APLICABILIDAD
W25	Aislar la zona de trabajo de cualquier curso de agua presente y asegurarse de que cualquier flujo de agua es temporalmente desviado de la zona en la que se está trabajando.			●			3
W26	Realizar las mezclas de hormigón, selladores u otros compuestos químicos empleados en un área confinada y lejos de los cursos de agua.		●	●			3
W27	Realizarlas las operaciones de riegos para el mantenimiento de las plantaciones en las horas menos cálidas del día, a primera hora de la mañana y última de la tarde.			●			2
W28	Instalar sistemas de riego automático por goteo que requieren menor cantidad de agua y permiten planificar los riegos según convenga.			●			2
W29	No hacer tomas de agua de los cauces sin los respectivos permisos de las confederaciones hidrográficas.			●			3
W30	Utilizar agua no potable siempre que las actividades y operaciones llevadas a cabo lo permitan.			●			3
W31	Formar a los empleados en el ahorro de agua.			●			3
W32	Evaluar los posibles riesgos de inundación en la zona durante la ejecución de las obras.		●	●			4
W33	No colocar la vegetación retirada en cursos de agua y evitar que los restos de vegetación generados en estas operaciones caigan al agua.			●			3
W34	Disponer zanjas de desviación a lo largo de los caminos de acceso para recoger las aguas contaminadas y llevarlas las zonas de tratamiento.			●			4
W35	Proteger las bocas de las alcantarillas e imbornales.			●			4

Tabla 3 Medidas para reducir los impactos en el elemento Agua

Fuego

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	AIRE	TIERRA	AGUA	FUEGO	VIDA	APLICABILIDAD
F1	Evitar utilizar el aire acondicionado de los vehículos cuando no sea necesario.						3
F2	No conducir con las ventanillas del vehículo bajadas.						3
F3	Fijar una serie de objetivos de ahorro energético.						3
F4	Disponer de aislamientos adecuados en las paredes y ventanas de oficinas, vestuarios y talleres de obra.						3
F5	Colocar los sensores y termostatos en lugares adecuados, lejos de zonas frías o corrientes de aire y de fuentes de calor. Regular el termostato de la calefacción para que la temperatura se mantenga en torno a los 20ºC y el del aire acondicionado a 25ºC.						3
F6	Apagar la ventilación y la calefacción cuando las instalaciones no van a ocuparse durante un tiempo prolongado como en vacaciones o fines de semana.						3
F7	Empelar la luz natural como fuente de iluminación siempre que sea posible.						3
F8	Emplear lámparas de bajo consumo y apagar las luces en aquellos lugares donde se vayan a dejar de utilizar.						3
F9	Emplear equipos de ofimática que cumplan con la normativa ahorradora de energía.						3
F10	Desconectar los equipos del modo de espera o standby si van a estar más de 30 minutos sin utilizar.						3
F11	Fomentar la utilización de materiales fabricados con menor gasto energético (materiales de baja energía embebida).						4
F12	Instalar detectores en las zonas de paso poco frecuentadas.						3

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	AIRE	TIERRA	AGUA	FUEGO	VIDA	APLICABILIDAD
F13	Emplear energías renovables: biomasa, eólica, hidráulica, solar, biomasa etc.						4
F14	Instalar interruptores con temporizador en las zonas de servicios, vestuarios etc.						3
F15	Sustituir los sistemas de alumbrado incandescente por sistemas basados en tubos fluorescentes o lámparas de sodio.						3
F16	Realizar estudios del consumo eléctrico por zonas con el fin de establecer objetivos de reducción.						3
F17	Dejar transcurrir el tiempo necesario de secado de los materiales y superficies tratados sin utilizar medios artificiales de secado.						2
F18	Procurar elegir la maquinaria y vehículos de mayor rendimiento energético que disponen ya de una etiqueta que hace referencia al mayor o menor consumo de energía de estos.						4
F19	Sustituir si es posible el diésel/gasolina por biodiesel/bioetanol.						3
F20	Emplear soluciones como semáforos con tecnología LED o farolas solares que permitan reducir el consumo.						3
F21	Fomentar el uso de materiales reciclados y de subproductos de origen industrial, como ejemplos destacan la incorporación de partículas procedentes de neumáticos fuera de uso para los aglomerados asfálticos, la sustitución de áridos naturales por escorias negras de acería y residuos de construcción y demolición o la sustitución del filler de origen natural por arenas de fundición y cenizas volantes.						4
F22	Calcular con rigor las cimentaciones y estructuras para evitar sobredimensionamientos innecesarios y con el fin de no utilizar más material del necesario.						3
F23	Los sistemas auxiliares de obra (encofrados, por ejemplo) deben poderse reutilizar para evitar desperdicio innecesario de material, siendo importante observar un adecuado mantenimiento y limpieza de los mismos.						3
F22	Emplear sistemas inteligentes de gestión del alumbrado que permiten optimizar los tiempos de funcionamiento mediante sensores que activan el sistema en función de la cantidad de luz exterior y de los horarios.						3

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	AIRE	TIERRA	AGUA	FUEGO	VIDA	APLICABILIDAD
F23	Reducir el uso de embalaje durante la construcción y fomentar el uso de embalaje no desechable.						3
F24	Usar materiales y sistemas constructivos con bajo mantenimiento y alta durabilidad.						3
F25	Elegir materiales locales, fomentando el uso de recursos autóctonos que contribuyen a minimizar el impacto medioambiental asociado al transporte.						4
F26	Buscar alternativas a los materiales tradicionales que cumplan las mismas funciones, pero presenten algún tipo de mejora medioambiental (reciclabilidad, por ejemplo) o energética (alta eficiencia, por ejemplo).						3

Tabla 4 Medidas para reducir los impactos en el elemento Fuego

Vida

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	AIRE	TIERRA	AGUA	FUEGO	VIDA	APLICABILIDAD
L1	Proteger la vegetación existente mediante la instalación de sistemas delimitadores específicos que, frecuentemente, además de identificar la vegetación protegida lleven implícita cierta protección física. En este sentido, supone un jalonamiento preventivo de mayor intensidad.		●			●	4
L2	Identificar los hábitats sensibles próximos a las obras antes de iniciar cualquier actividad y evaluar los posibles impactos sobre estas zonas para así determinar la necesidad de implantación de medidas protectoras.		●	●		●	4
L3	Programar los trabajos para el momento adecuado si la erosión y los controles de sedimentos afectan al paso de los peces en su época de desove.					●	4
L4	Revegetar los suelos expuestos lo antes posible con especies autóctonas o adaptadas a la zona. La hidrosiembra es una técnica efectiva para establecer rápidamente una capa protectora de hierba.		●			●	5
L5	Realizar la eliminación de escombros y sedimentos a mano cuando el volumen sea pequeño y pueda realizarse de este modo.		●	●		●	3
L6	Llevar a cabo inspecciones de campo para determinar la presencia de afloramientos de agua o nacimientos que puedan estar siendo utilizados por las comunidades cercanas. En los casos en donde existan nacimientos, el contratista deberá desistir del aprovechamiento de materiales a una distancia mínima de 100 metros.			●		●	3
L7	Evitar eliminar vegetación en las épocas más sensibles del año como por ejemplo la temporada de anidación de las aves, que suele darse en primavera y principios de verano.					●	4
L8	Adoptar medidas correctoras para la fauna y flora en aquellas zonas que vayan a verse afectadas por las obras de forma inevitable.					●	3
L9	Minimizar el tiempo de afección a las zonas más sensibles para reducir los impactos producidos.					●	4
L10	Identificar la vegetación existente antes de proceder a su eliminación.					●	3
L11	Proteger las formaciones vegetales más valiosas y evitar la afección innecesaria de árboles utilizando protectores arbóreos como por ejemplo tablones de madera.					●	4
L12	Situar los elementos o infraestructuras auxiliares permanentes o temporales en zonas de escaso valor natural, evitando su asentamiento en zonas de paso de fauna o en zonas con vegetación.					●	3

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	AIRE	TIERRA	AGUA	FUEGO	VIDA	APLICABILIDAD
L13	Disponer de un directorio de centros de recuperación de especies para los casos de animales heridos por atropello.					●	3
L14	Utilizar obras de drenaje o crear pasos de fauna específicos para favorecer el cruce de los animales a ambos lados de la vía.					●	4
L15	Instalar cerramientos de protección del tipo cinegético o señales disuasorias como reflectores para evitar el paso de animales y así también el posible atropello.					●	3
L16	Evitar la afección a nidos en las labores de talas, podas y aplicación de fitosanitarios y realizar su traslado si fuera necesario.					●	3
L17	Tener especial cuidado en escoger el tipo de soporte reticular o geomalla en los taludes para evitar la afección a aves rupícolas que pueden anidar en ellos.					●	4
L18	Integrar visualmente las instalaciones: silos de fundentes, almacenes de suministros, etc., elementos de drenaje y de señalización con el entorno, siempre que sea posible.					●	4
L19	Introducir unidades de vegetación cuando la carretera se encuentre inmersa en un paisaje dominado por esta misma vegetación, para contrarrestar el impacto visual.					●	5
L20	Pintar las estructuras de colores que sirvan para integrarlas en el paisaje.					●	3
L21	Crear pantallas arbustivas o de tierra vegetal de forma perimetral para hacer frente a efectos como el ruido o el polvo además de actuar como pantalla visual.	○				●	4
L22	Sustituir las barreras de seguridad para conseguir un menor impacto visual en carreteras de interés paisajístico.					●	3
L23	Recuperar el uso original del suelo en la medida de lo posible.					●	3
L24	Ajustar la altura y ángulo de la lanza manual durante la aplicación de riegos del firme para evitar salpicaduras fuera de la zona de tratamiento en las zonas próximas a cunetas.					●	3

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	AIRE	TIERRA	AGUA	FUEGO	VIDA	APLICABILIDAD
L25	Impedir la expansión de las especies vegetales invasoras, tanto en el espacio de la propia obra como en su entorno mediante estudios previos, inspecciones de campo, cartografías temáticas y eliminación de los ejemplares presentes aplicando los tratamientos adecuados.						4
L26	No realizar desbroces ni movimientos de tierra durante la época de reproducción o hibernación en las zonas de presencia probable de especies animales muy relevantes.						5
L27	Realizar una prospección por un Técnico ambiental antes de arrancar cada tajo para comprobar si existen ejemplares o evidencias de su presencia.						4
L28	Recoger los ejemplares de animales y plantas en las zonas directamente afectadas por las obras si se detecta su presencia durante la inspección de la zona, para su depósito en zonas de hábitat adecuado del entorno inmediato, o su entrega a la Administración ambiental competente.						4
L29	Dejar abiertos los tramos de zanjas por periodos cortos de tiempo y procurar que sean de pequeña longitud, para evitar que algún animal pueda quedar atrapado en su interior.						3
L30	Realizar una inspección a pie de obra durante la fase de desbroce para que cualquier ejemplar que no se haya identificado en las fases anteriores sea recogido.						3
L31	Inspeccionar las zonas de acumulación de agua, incluidas las balsas y trampas de sedimentos de forma singular, especialmente en la época de actividad de los anfibios.						3
L32	Reducir las afecciones a las servidumbres asociadas a la presencia de ganado o personas en el entorno de las obras mediante actuaciones encaminadas a organizar el tránsito hacia las zonas adecuadas de paso, empleando estacas y postes de madera, alambres y mallas cinegéticas, perfiles metálicos, tensores y abrazaderas, etc.						5
L33	Evitar las actuaciones en las zonas ambientales especiales siempre que sea posible.						5
L34	Extender el material triturado en áreas expuestas para reducir los problemas con la erosión y las malas hierbas, no hacerlo en zonas donde exista vegetación natural de buena calidad.						4
L35	Disponer los restos de material vegetal en un lugar apropiado, especialmente en el caso de tratarse de especies invasoras, y no quemarlos.						3
L36	Considerar la implementación de métodos alternativos a los herbicidas como la eliminación manual o mecánica y el uso herbicidas naturales no contaminantes cuando sea posible.						3

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	AIRE	TIERRA	AGUA	FUEGO	VIDA	APLICABILIDAD
L37	Identificar cualquier zona de patrimonio antes de comenzar las obras y evaluar su estado para determinar si son necesarias labores de rehabilitación.						4
L38	Asegurar que los trabajadores son conscientes de la localización de zonas de patrimonio próximas a las obras y de su deber de protegerlas.						4
L39	Señalizar las zonas del patrimonio que deben de ser protegidas y modificar las actuaciones que vayan a realizarse, en caso de ser necesario, para proteger estos lugares importantes.						4
L40	Transportar las especies invasoras o plantas nocivas en contenedores cubiertos.						4
L41	Asegurar que los equipos y maquinaria usados en la retirada de especies invasoras están limpios antes de que abandonen la zona de trabajo, lavándolos y embolsando los restos de vegetación retirados.						4
L42	Mantener en condiciones adecuadas los cercos de exclusión de la vida salvaje, retirando árboles caídos sobre el vallado, eliminando arbustos y árboles a 3m en cada lado del cercado y realizando las reparaciones necesarias antes del comienzo del invierno ya que las nevadas podrían restringir el acceso u ocasionar daños mayores.						3
L43	Evitar aparcar los vehículos y dejar material en zonas infestadas por especies invasoras.						3
L44	Realizar el transporte de las plantas empleadas en las labores de revegetación de la forma más rápida posible, disponiendo de las medidas oportunas contra los agentes atmosféricos y en una cantidad tal que puedan ser plantadas en un mismo día.						3
L45	Disponer las plantas sobrantes en una zanja y cubrirlas convenientemente para que queden protegidas si no es posible plantarlas todas en el mismo día. Puede ser también necesario efectuar un riego para alcanzar la humedad necesaria.						3
L46	Proteger los árboles que se planten del pastoreo de animales, como el ganado y además cuando sea necesario tendrán cañas o estacas clavadas junto a ellos para que crezcan rectos.						4
L47	Trabajar con especial cuidado en aquellos lugares en los que se detecte la presencia del mejillón cebra para evitar que se propague aguas arriba e invada otros hábitats, en caso de emplear maquinaria que se haya estado previamente utilizando en zonas afectadas por el mejillón habrá que asegurarse de que ha sido correctamente desinfectada.						5
L48	Minimizar lo máximo posible la intensidad lumínica utilizada.						3

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	AIRE	TIERRA	AGUA	FUEGO	VIDA	APLICABILIDAD
L49	Dirigir las luces hacia los sitios específicos de trabajo, evitando la iluminación de los hábitats de la fauna.					●	3
L50	Seguir exhaustivamente el Plan de Vigilancia Ambiental.					●	4
L51	Mantener las instalaciones o lugares de trabajo limpias y ordenadas.					●	3
L52	Cumplir con las jornadas de trabajo establecidas por la legislación.					●	3
L53	Dotar de servicios básicos en las áreas de trabajo, agua potable para consumo, servicios sanitarios, áreas de comedor y de estar.					●	3
L54	Programar charlas diarias, al inicio de cada día, para los trabajadores y así motivarlos y convencerlos de los beneficios que representa para ellos prevenir accidentes además de proporcionar a los trabajadores conocimientos básicos mínimos acerca de la seguridad en el trabajo.					●	3
L55	Disponer de equipos de protección personal para todos los trabajadores.					●	3
L56	Disponer de equipos para primeros auxilios y para la extinción y control de incendios en las instalaciones.					●	3
L57	Procurar utilizar materiales similares a los que se encuentran en la zona para evitar el contraste de colores.					●	3
L58	Dar formas redondeadas a préstamos y vertederos, evitando las aristas, para reducir el impacto visual.					●	4
L59	Tener especial precaución cuando se apliquen fitosanitarios en zonas próximas a enjambres en producción de cultivada de abejas.					●	2
L60	Limitar las vibraciones y las emisiones de ruido y polvo durante los periodos de reproducción y nidificación de las especies que se encuentran en las proximidades de la obra.	○				●	4

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	AIRE	TIERRA	AGUA	FUEGO	VIDA	APLICABILIDAD
L61	Vigilar si la ejecución de los trabajos afecta a los hábitats de fauna colindante, y en caso afirmativo, actuar en consecuencia.					●	3
L62	Controlar posibles enfermedades presentes en las plantas.					●	3
L63	Tomar precauciones especiales cuando se empleen herbicidas cerca de parcelas en producción o cultivos hortícolas.					●	4
L64	Efectuar riegos periódicos sobre la vegetación arbórea que se encuentre afectada por polvo, en especial en épocas de estío, para evitar la obturación de los estomas por la acumulación de polvo.					●	2
L65	Usar el equipo de protección auditiva correspondiente allí donde se detecte un nivel de ruido alto que pudiera resultar dañino para el personal.					●	3
L66	Acondicionar las obras de drenaje para convertirlas en hábitats de anfibios si es posible.					●	4

Tabla 5 Medidas para reducir los impactos en el elemento Vida

Huella de carbono

Introducción a la huella de carbono

Podría considerarse que el evento a raíz del cual comenzó a gestarse el concepto de la huella de carbono fue la Conferencia de las Cumbres de la Tierra celebrada en Río de Janeiro en el año 1992. En ella se aprobó la Convención sobre el Cambio Climático, que afirma la necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero para lograr alcanzar la meta del desarrollo sostenible.

Poco años más tarde, en 1997, se firmaba el Protocolo de Kioto; un acuerdo internacional que tiene por objetivo reducir las emisiones de seis gases de efecto invernadero que causan el calentamiento global: Dióxido de Carbono (CO_2), Metano (CH_4), Óxido Nitroso (N_2O), Hidrofluorocarburos (HFC), Perfluorocarburos (PFC) y Hexafluoruro de Azufre (SF_6) (Wikipedia, 2015).

Para facilitar a los Países del Anexo I de la Convención (países desarrollados y con economías en transición de mercado) la consecución de los objetivos de reducción y limitación de emisiones de gases de efecto invernadero del Protocolo de Kioto se establecieron tres Mecanismos de Flexibilidad. Se trata de instrumentos de carácter complementario a las medidas y políticas internas que constituyen la base fundamental del cumplimiento de los compromisos bajo el Protocolo de Kioto, y son tres: el Comercio de Emisiones, el Mecanismo de Desarrollo Limpio y el Mecanismo de Aplicación Conjunta.

El Comercio de Emisiones dio lugar a la creación del mercado de carbono, un mercado de comercio a través del cual los gobiernos, empresas o individuos pueden vender o adquirir reducciones de gases efecto invernadero. Si el emisor genera menos emisiones de lo permitido, dejando un margen de permisos de emisión (o derechos de emisión), puede venderlos a entidades, que por razones diversas, no consiguieron emitir menos del límite establecido. El objetivo es obtener las reducciones de emisión necesarias al menor coste; por ello, quien pueda realizar las actuaciones de reducción a un coste no muy alto, las realiza. A quién le cueste más las compra, y ayuda a financiar, de esta manera, los proyectos de los primeros. De este modo se consigue la eficiencia del sistema (SINIA, 2015).

Con la actual crisis, el mercado de carbono europeo se ha encontrado con un problema al ver reducidas las emisiones reales iniciales, debido sobre todo a una bajada de producción. La consecuencia ha sido un desajuste entre oferta y demanda, y una caída de precios tan espectacular que deja a este mecanismo sin poder para empujar el esfuerzo de mejora tecnológica con que se contaba.

El Mecanismo de Desarrollo Limpio permite la inversión de un País Anexo I en un País no incluido en el Anexo I, en proyectos de reducción de emisiones o de fijación de carbono. De este modo el país Anexo I recibe los créditos de reducción del proyecto, que utiliza para alcanzar sus compromisos dimanantes del Protocolo; al mismo tiempo, el país receptor de la inversión consigue un desarrollo sostenible a través de la transferencia de tecnologías limpias y contribuye a alcanzar el objetivo último de la Convención de Cambio Climático.

El Mecanismo de Aplicación Conjunta permite la inversión de un País Anexo I en otro País Anexo I en proyectos de reducción de emisiones o de fijación de carbono. Los potenciales Países receptores serán aquellos con economías en transición de mercado, tanto por sus escenarios de emisiones como por su estructura económica, que convierte en atractivas y eficientes las inversiones realizadas en ellos. Mediante este Mecanismo el País receptor se descuenta las

unidades de reducción de emisiones (UREs) del proyecto y el País inversor se beneficia de la adquisición de UREs a un precio menor del que le hubiese costado en el ámbito nacional la misma reducción de emisiones, utilizando las unidades obtenidas con el proyecto para cumplir con su compromiso de Kioto (Web del MAGRAMA, 2015).

Por otra parte en el año 2000 inició su actividad el Carbon Disclosure Project (CDP), una organización internacional cuyo objetivo es alentar a las empresas y ciudades a medir y divulgar su impacto en el medio ambiente y en los recursos naturales, así como buscar maneras de reducirlos. Actualmente cuenta con la mayor base de datos corporativos sobre cambio climático, agua y bosques (Carbon Disclosure Project, 2015).

Recientemente, en marzo de 2014, se publicó en España un nuevo decreto con el fin de conseguir cumplir con los compromisos adquiridos con la Comunidad Europea respecto a la reducción de las emisiones de GEI para el año 2020 (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2014). Para ello se plantea reducir estas emisiones, en los sectores denominados difusos, en un 10% respecto a las cantidades del 2005, estableciendo una serie de medidas destinadas a facilitar y fomentar el cálculo de la huella de carbono, su reducción y compensación mediante absorciones de CO_2 por sumideros biológicos. Para ello se crea un registro de huella de carbono, compensación y proyectos de absorción de dióxido de carbono; siendo este de carácter voluntario. De este modo se espera sensibilizar e incentivar a la sociedad en su conjunto en la lucha contra el cambio climático, con el fin de lograr una economía baja en carbono, para así dar respuesta al compromiso creciente que tanto entidades públicas como privadas han venido mostrando en los últimos años en relación con la reducción de emisiones de GEI.

Figura 8 Funcionamiento del registro de huella de carbono, compensación y proyectos de absorción de dióxido de carbono (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2015)

Como resultado, ha cobrado especial relevancia en el sector de la construcción la búsqueda de soluciones que permitan reducir de forma considerable la huella de carbono, planteándose la posibilidad de lograr no solo reducirla, sino sobre compensarla a lo largo del periodo de explotación de la obra. De este modo se crea un "pulmón verde" que ayuda a disminuir las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera, promoviendo una construcción sostenible que cumpla con dos funciones: la propia de la obra ejecutada y además ayudar a equilibrar los excesos de emisiones procedentes de otras actividades.

En 2015 va a tener lugar en París la XXI Conferencia de las Partes (COP21) de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC). Su objetivo principal es lograr que todos los países, y entre ellos los mayores emisores de gases de efecto, estén vinculados por un acuerdo universal sobre el clima que permita limitar a dos grados el calentamiento global del planeta previsto para después de 2020 (Ambafrance, 2015).

Definición y normativa

La huella de carbono (HC) es un parámetro utilizado para describir la cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a una empresa, evento, actividad o al ciclo de vida de un producto/servicio con el objetivo de determinar su contribución al cambio climático. Se expresa en toneladas de CO_2 equivalente, y recoge los gases de efecto invernadero siguientes: Dióxido de Carbono (CO_2), Metano (CH_4), Óxido Nitroso (N_2O), Hidrofluorocarburos (HFC), Perfluorocarburos (PFC) y Hexafluoruro de Azufre (SF_6).

Con ella se pretende que las empresas puedan reducir los niveles de contaminación mediante un cálculo estandarizado de las emisiones que tienen lugar durante los procesos productivos, desde la obtención de materias primas hasta el tratamiento de desperdicios, pasando por la manufacturación y el transporte (Huella de Carbono, 2015).

Para el cálculo de la HC de una organización podemos apoyarnos en las normas las siguientes:

- **GHG Protocol**. El "Protocolo de Gases de Efecto Invernadero" es la herramienta de cálculo y comunicación del Inventario de emisiones más utilizada. Fue elaborada por el *World Resources Institute* y el *World Business Council for Sustainable Development*, junto con empresas, gobiernos y organizaciones ambientalistas de todo el mundo. Tiene una metodología extensa y complicada pero eficaz para la obtención de las emisiones de los GEI directos e indirectos. Contabiliza las emisiones de cualquier sector, permitiendo incluso el tratamiento de todas las emisiones indirectas que se producen a partir de fuentes que no son propiedad de la empresa.
- **PAS 2060:2010**. "Especificación para la neutralidad de carbono". Fue publicado por *British Standards Institution (BSI)* y permite a las organizaciones asegurar que sus declaraciones sobre neutralización de las emisiones de CO_2 son correctas y aumentar así la confianza de los clientes. Proporciona orientación sobre la manera de cuantificar, reducir y compensar las emisiones de GEI sobre una materia específica. Se aplica a todas las entidades que son capaces de demostrar que no producen un aumento neto en la emisión de GEI durante el desarrollo de determinadas actividades. Persigue tanto la compensación como la reducción de emisiones, por lo que no es de carácter instantáneo.
- **ISO 14064:2012**. Este conjunto de normas internacionales surgió como respuesta al aumento de la preocupación por el cambio climático y a la búsqueda de soluciones para

limitar las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) a la atmósfera terrestre. Tienen como principal objetivo el ofrecer veracidad y credibilidad a los reportes de emisión de GEI. Se compone de tres partes:

- ISO 1464-1. "Gases de efecto invernadero. Parte 1: Especificación con orientación, a nivel de las organizaciones, para la cuantificación y el informe de las emisiones y remociones de gases de efecto invernadero". Centra su objeto de actuación en aportar a las organizaciones las bases para el diseño, desarrollo y gestión de los inventarios de Gases de Efecto Invernadero (GEI) y su posterior presentación por medio de informes.
- ISO 1464-2. "Gases de efecto invernadero. Parte 2: Especificación con orientación, a nivel de proyecto, para la cuantificación, el seguimiento y el informe de la reducción de emisiones o el aumento en las remociones de gases de efecto invernadero". Especifica los principios y requisitos y proporciona orientaciones a nivel de proyecto para la cuantificación, el seguimiento y el informe de actividades destinadas a producir reducción de emisiones o incremento de remociones de GEI.
- ISO 1464-3. "Gases de efecto invernadero. Parte 3: Especificación con orientación para la validación y verificación de declaraciones sobre gases de efecto invernadero". Recoge los principios y requisitos para llevar a cabo la verificación de los inventarios y los proyectos de GEI.

- **ISO/TR 14069:2013.** "Gases de efecto invernadero. Cuantificación y comunicación de las emisiones de GEI para las organizaciones. Guía para la aplicación de la norma ISO 14064-1". Esta norma describe los principios, conceptos y métodos relacionados con la cuantificación y comunicación de las emisiones de GEI directas e indirectas. Proporciona una guía para la aplicación de la norma ISO 14064-1 para los inventarios de GEI, la cuantificación y comunicación de emisiones.

La normativa referente al cálculo de la HC de un producto es:

- **PAS 2050:2011**. "Verificación de la Huella de Carbono". Fue elaborada por la organización *Carbon Trust* junto con la *British Standards Institution (BSI).* Se trata de un documento de aplicación voluntaria y aunque en este caso pueda utilizarse para gestionar requisitos reglamentarios, hay que tener en cuenta que su cumplimiento no confiere inmunidad a las organizaciones frente al cumplimiento de sus obligaciones legales. Incluye mucha información práctica para la evaluación de los análisis de ciclos de vida, considerando periodos de 100 años.
- **ISO 14067:2013**. "Huella de Carbono de productos. Requisitos y directrices para la cuantificación y comunicación". Esta norma establece la metodología para el cálculo de los GEI emitidos durante todo el ciclo de vida de un producto o servicio en base a las normas internacionales de evaluación del ciclo de vida (ISO 14040 e ISO 14044) para la cuantificación, etiquetas ambientales y declaraciones (ISO 14020, ISO 14024 e ISO 14025) para la comunicación. La norma está basada en la PAS 2050 y tiene como principal diferencia la inclusión de requisitos para la comunicación, garantizando así transparencia y credibilidad. También permite la cuantificación y comunicación de la huella de carbono parcial de un producto.

Las fuentes consultadas han sido: (AEC, 2015) (AENOR, 2012) (AdaptaSG, 2015) (SBQConsultores, 2015) (www.huescamedioambiental.es, 2015) (Ecenarro y Díaz-Tejeiro, 2014).

Certificaciones medioambientales

La búsqueda de soluciones más eficientes y sostenibles en el sector de la edificación ha supuesto la aparición de distintos certificados medioambientales que permiten clasificar los edificios según la puntuación que estos obtienen, en función de una serie de requisitos fundamentales de construcción sostenible que deben de cumplir.

En España estas certificaciones están comenzando a cobrar especial relevancia, ya que actualmente cuenta con un parque residencial compuesto por aproximadamente 25 millones de viviendas, las cuales consumen el 17% de la energía final del país y son responsables de la cuarta parte de las emisiones de CO_2 a nivel nacional.

Las herramientas más importantes para la evaluación y certificación de edificios en España son LEED, BREEAM y VERDE. Estas son de carácter voluntario y promueven la sostenibilidad y las buenas prácticas medioambientales para el diseño, construcción, funcionamiento y explotación de edificios.

Uno de los aspectos que se evalúan con estos sistemas de certificación son los materiales de construcción. Para ello se emplean análisis de ciclos de vida, bases de datos de materiales como el banco BEDEC o sellos ambientales aplicados a productos; con el objetivo de calcular la energía incorporada a los materiales del edificio.

La metodología seguida para la realización de dicho cálculo puede resultar de interés en este trabajo, ya que el dato de la cantidad de energía asociada a materiales empleados en el sector de la construcción es muy relevante a la hora de determinar la huella de carbono de una obra.

Es por ello que se ha buscado información acerca de las bases de datos empleadas por los sistemas de certificación ya citados, pensando en utilizarlas posteriormente en este trabajo. Se ha observado que en los tres tipos de certificación se mencionan los análisis de ciclos de vida o declaraciones ambientales de producto, pero no se proporciona en ninguno de los casos una fuente concreta que pueda ser consultada. La única base de datos accesible, mencionada por VERDE, que se ha podido encontrar ha sido el banco BEDEC del ITeC, en el cual se recogen numerosos materiales empleados en obra civil y en edificación.

Dado que el caso práctico que va a desarrollarse en este trabajo se trata de una obra de carretera, no tiene mayor interés continuar profundizando en la metodología de evaluación de estos sistemas de certificación para edificaciones. Se considera suficiente con haber obtenido una base de datos de materiales de construcción que incluye información ambiental acerca de los mismos y que va a resultar de utilidad más adelante.

(Lajara Gómez, 2012)

Programas para cálculo de la Huella de Carbono

En este apartado se recoge información acerca de diferentes programas que permiten realizar el cálculo de la huella de carbono. A través de la tabla siguiente se muestran sus principales características y rangos de aplicación, facilitando así la comparación entre ellos.

PROGRAMA	CARACTERÍSTICAS Y RANGO DE APLICACIÓN
PRESTO	Se trata de un programa integrado de gestión y control de costes para edificación y obra civil, que puede ser empleado en diferentes entornos legales y culturales, y permite entre otras cosas: ○ Estimar costes y crear presupuestos. ○ Optimizar, editar, filtrar, fechar, importar y comparar mediciones. ○ Asociar el desglose de mediciones, archivos y datos que definen cualquier proyecto de edificación y obra civil. ○ Generar automáticamente todo el paquete de información necesario para ofertar un proyecto realizado con Revit, incluyendo las especificaciones, las unidades de obra con sus mediciones estructuradas en la EDT del proyecto, los planos e incluso un modelo IFC. ○ Realizar la planificación económica y financiera de ingresos y costes o la planificación temporal. ○ Realizar tareas durante la ejecución de las obras como la contratación, la certificación y el seguimiento, la facturación y el control de costes. ○ Calcular la huella de carbono a partir de las mediciones de un proyecto mediante el uso de una Base de Datos de Factores de Emisión de la maquinaria y los principales materiales.
E2CO2CERO	Es una herramienta informática que permite calcular en edificios, de forma sencilla y en distintos momentos del proyecto, los siguientes parámetros: ○ La Energía Embebida, o energía total consumida en la construcción de un edificio. Contempla la energía empleada en los procesos de fabricación y transporte de materiales de construcción a obra y la energía consumida por la maquinaria. ○ La Huella de Carbono, calculando las emisiones de CO2 asociadas a la extracción, fabricación, transporte y puesta en obra de los materiales, así como a la ejecución de la obra. Permite, por un lado, realizar una pre-evaluación o cálculo simplificado para obtener un valor aproximado a partir de los principales parámetros del proyecto. Por otro lado permite realizar un cálculo completo al importar el presupuesto de proyecto, en formato .bc3 y sin necesidad de introducir datos adicionales. La base de datos del software es compatible con los proyectos cuyo presupuesto haya sido realizado con la base de precios Precio Centro de Guadalajara 2013 y 2014.

PROGRAMA	CARACTERÍSTICAS Y RANGO DE APLICACIÓN
FOOTPRINT EXPERT	Es un software desarrollado por Carbon Trust que permite calcular las emisiones de GEI de productos y servicios en cada una de las fases de su ciclo de vida, generando una huella de carbono total. En él se incluye lo siguiente: o Una interfaz de trabajo que permite introducir de forma rápida y sencilla los datos primarios. o Una gran base de datos secundaria, regularmente actualizada, que cumple con la PAS2050 y el GHG Protocol. o Una serie de calculadoras diseñadas para minimizar la complejidad y asegurar la consistencia del cálculo. o Una guía sobre cómo deben de llevarse a cabo las evaluaciones de la HC. o Una calculadora que permite realizar un primer cálculo aproximado de la HC de una forma muy rápida, sin necesidad de un proceso de recogida integral de datos.
AIR.E LCA	Se trata de un software desarrollado por Solid Forest cuya finalidad es ofrecer todas las funcionalidades de cualquier herramienta profesional de Análisis de Ciclo de Vida, a un precio competitivo y con una rápida curva de aprendizaje, que permita el cálculo de huella de carbono de productos, servicios y organizaciones. Sus características más relevantes son: o Potente Interfaz gráfico para el diseño de ciclos de vida y mapas de procesos. o Generación automática de Informes de verificación y gráficos según las principales normativas internacionales. o Versión online en “la nube” para trabajos colaborativos. o Conversión automática de unidades y cálculo de consumos de combustibles, materiales o energéticos. o Importación y Exportación de ciclos de vida a ficheros XML para trabajo colaborativo. o Análisis coste/beneficio y compensación de emisiones. o Herramientas para la creación de simulación, versiones y ciclos de vida anidados. o Incorporación de las metodologías ILCD, CML 2001, ReCiPe, ISO 1464, ISO 1467, PAS 2050, ISO 14046 y Water Footprint Standard. o Base de datos ECOINVENT además de factores de ILCD. o Ponderación y normalización de resultados.

PROGRAMA	CARACTERÍSTICAS Y RANGO DE APLICACIÓN
TCQ 2000	Es un software del ITeC para la construcción, formado por un conjunto de aplicaciones informáticas para dar soporte a las actividades de redacción, contratación, planificación y control de proyectos y obras. Es una metodología para la definición y seguimiento de los valores de los parámetros siguientes: o Tiempo. o Coste. o Calidad. o Formulación de la seguridad. o Generación de residuos. o Coste energético de los materiales. Gestiona conjuntamente y de forma integrada los datos técnicos, económicos y temporales que intervienen en el ciclo de la obra por medio de diferentes módulos de aplicación, que también pueden usarse de forma independiente, siendo estos: o Módulo banco - Creación y mantenimiento de bancos. o Módulo 1 - Presupuestos y condiciones técnicas. o Módulo 2 - Planificación temporal. o Módulo 3 - Seguimiento económico. o Módulo 4 - Licitación y comparación de ofertas. o Módulo 5 - Gestión de control de calidad. o Módulo 6 - Estudios y planes de seguridad y salud. o Módulo 7 - Gestión medioambiental. o Módulo 8 - Gestión de control de costes.

Tabla 6 Programas para el cálculo de la Huella de Carbono (PRESTO, 2015) (E2CO2CERO, 2015) (Carbon Trust, 2015) (SolidForest, 2015) (ITeC, 2015).

Con el objetivo de poder realizar una comparación más detallada, se han obtenido licencias para los programas PRESTO y TCQ2000, seleccionados por contar con datos de carácter abierto. Para que esta comparación sea posible es necesario que los materiales y maquinaria de la obra de ejemplo elegida estén incluidos en las bases de datos utilizadas por los programas.

Por este motivo se han tomado varias unidades de obra muy simples que incluyen materiales típicos del sector de la construcción como son el hormigón armado, en masa y los tubos de PVC, así como maquinaria habitual: cargadoras, retroexcavadoras y grúas.

PRESTO

En la web de PRESTO se afirma que es posible realizar un cálculo de la huella de carbono utilizando su programa. Tras investigar, probar las distintas funciones de PRESTO y pedir información sobre la metodología de cálculo a través de correo electrónico se llegó a la conclusión de que PRESTO no tiene integrada ninguna herramienta que permita el cálculo de la huella de carbono de forma directa.

Este cálculo se lleva a cabo apoyándose en las mediciones de la obra, que sí se obtienen utilizando el programa, y consultando una base abierta y gratuita de factores de emisión de materiales y maquinaria, conocida como HueCO2. Multiplicando la medición de cada uno de los materiales y maquinaria por su factor de emisión correspondiente se obtiene directamente su emisión en Kg de CO_2 y sumando todos ellos se consigue la huella de carbono total de la obra, que será un rango de valores dada la incertidumbre asociada a los factores de emisión .

En la web de HueCO2 puede descargarse una plantilla para redactar el informe del cálculo de la huella de carbono de una obra, describiéndose en ella la metodología de cálculo y mostrando los elementos considerados, los no considerados y los resultados.

En las tablas que se muestran a continuación se recogen los materiales y maquinaria presentes en la obra que se va a tomar como ejemplo, con su factor de emisión y grado de incertidumbre asociado. En el caso de la maquinaria ha sido necesaria una aproximación al modelo que más se parecía al establecido en el presupuesto; la arena por su parte se considera a efectos de emisiones de CO_2 como zahorra artificial.

MATERIAL	FACTOR DE EMISIÓN	INCERTIDUMBRE
Tubo PVC (D=110mm)	6,75 kg CO_2 eq / m	1,25
Tubo PVC (D=160mm)	10,33 kg CO_2 eq / m	1,25
Hormigón de limpieza (HM-20)	235 kg CO_2 eq / m^3	2
Hormigón armado (HA-25)	296,687 kg CO_2 eq / m^3	2
Zahorra artificial	11,2 kg CO_2 eq / m^3	1,25

Tabla 7 Factores de emisión de los materiales obtenidos de HueCO2

MAQUINARIA	FACTOR DE EMISIÓN	INCERTIDUMBRE
Pala cargadora sobre ruedas (69 – 95 CV)	22,460 kg CO_2 eq / h	2
Excavadora neumática (<129 cv)	25,946 kg CO_2 eq / h	2
Grúa móvil (15-25 t)	45,730 kg CO_2 eq / h	1,75

Tabla 8 Factores de emisión de la maquinaria obtenidos de HueCO2

En las imágenes siguientes puede verse el presupuesto realizado con el programa PRESTO, en la primera se da una visión general de las unidades de obra que lo componen y en las siguientes una ampliación de los distintos elementos constituyentes de algunas de las unidades de obra:

		Código	NatC	Ir	It	Resumen	CanPres	Ud	Pres	ImpPres
1/0	–	0			T	*Presupuesto de 1 vivienda unifamiliar*	1		8.398,66	8.398,66
2/1	– 1	E02			T	**ACONDICIONAMIENTO DEL TERRENO**	1		915,00	915,00
3/2	+ 1.1	E02AMC			T	Desbroce y limpieza superficial del terreno a máquina	420,00	m2	0,50	210,00
4/2	+ 1.2	E02CMC			T	Excavación en terrenos compactos a máquina	300,00	m3	2,35	705,00
5/1	– 2	E03			T	**RED DE SANEAMIENTO**	1		570,07	570,07
6/2	+ 2.1	E03OEP			T	Colector de PVC liso multicapa, encolado, D= 110 mm	13,00	m	14,51	188,63
7/2	+ 2.2	E03OEP			T	Colector de PVC compacto, teja, 4 kN/m2, D=160 mm	16,00	m	23,84	381,44
8/1	– 3	E04			T	**CIMENTACIONES**	1		6.913,59	6.913,59
9/2	+ 3.1	E04CMC			T	Hormigón de limpieza HM-20/P/20/I, vertido manual	7,00	m3	78,53	549,71
10/2	+ 3.2	E04CA0			T	Hormigón armado HA-25/P/40/IIa, en zapatas, vertido con grúa	29,00	m3	154,58	4.482,82
11/2	+ 3.3	E04SA0			T	Solera de hormigón HA-25 armado con mallazo, e=15 cm	107,00	m2	17,58	1.881,06

Figura 9 Principales unidades de obra del presupuesto (PRESTO)

− 1.1	E02AMC	T	Desbroce y limpieza superficial del terreno a máquina	420,00 m2
1.	O01OAC		Peón ordinario	0,006 h
1.	M05PNC		Pala cargadora neumáticos 85 CV/1,2m3	0,010 h
− 1.2	E02CMC	T	Excavación en terrenos compactos a máquina	300,00 m3
1.	O01OAC		Peón ordinario	0,025 h
1.	M05RNC		Retrocargadora neumáticos 100 CV	0,050 h

Figura 10 Desglose de unidades de obra 1 (PRESTO)

− 2.1	E03OEP	T	Colector de PVC liso multicapa, encolado, D= 110 mm	13,00 m
2.	O01OAC		Oficial primera	0,180 h
2.	O01OAC		Peón especializado	0,180 h
2.	P01AA0		Arena de río 0/6 mm.	0,235 m3
2.	P02TVO		Tub.PVC liso multicapa encolado D=110	1,000 m

Figura 11 Desglose de unidades de obra 2 (PRESTO)

− 3.1	E04CMC	T	Hormigón de limpieza HM-20/P/20/I, vertido manual	7,00 m3
3.	O01OAC		Peón ordinario	0,600 h
3.	P01HMC		Hormigón HM-20/P/20/I central	1,000 m3

Figura 12 Desglose de unidades de obra 3 (PRESTO)

− 3.2	E04CA0	T	Hormigón armado HA-25/P/40/IIa, en zapatas, vertido con grúa	29,00 m3
− 3.	E04CA0	T	Hormigón armado HA-25/P/40/IIa, en zapatas, vertido manual	1,000 m3
−	E04CMC	T	Hormigón HA-25/P/20/I, en zapatas, vertido manual	1,000 m3
	O01OAC		Oficial primera	0,360 h
	O01OAC		Peón ordinario	0,360 h
	P01HA0		Hormigón HA-25/P/20/I central	1,150 m3
−	E04AB0	T	Acero corrugado B 500 S	40,000 kg
	O01OBC		Oficial 1ª ferralla	0,014 h
	O01OBC		Ayudante ferralla	0,014 h
	P03ACC		Acero corrugado B 500 S/SD	1,050 kg
	P03AAA		Alambre atar 1,30 mm.	0,006 kg
3.	M02GT1		Grúa torre automontante 20 t/m.	0,200 h

Figura 13 Desglose de unidades de obra 4 (PRESTO)

En la tabla siguiente se muestran las mediciones correspondientes a los materiales y la maquinaria:

ELEMENTO	CANTIDAD	UNIDAD
Arena de río 0/6 mm	6,96	m^3
Tubo de PVC liso multicapa encolado (D=110mm)	13	m
Tubo de PVC liso con junta elástica (D=160mm)	16	m
Hormigón HM-20/P/20/I central	7	m^3
Hormigón HA-25/P/20/I central	45,05	m^3
Pala cargadora de neumáticos (85 CV/1,2 m^3)	4,2	h
Retroexcavadora de neumáticos (100 CV)	15	h
Grúa torre automontante (20 t/m)	5,8	h

Tabla 9 Mediciones de los materiales y la maquinaria

Una vez obtenidos los factores de emisión y las mediciones sólo falta realizar su producto para obtener los kg de CO_2 emitidos por cada material y máquina. Dichos resultados se recogen en

una tabla de la plantilla del informe de la huella de carbono, tal y como se muestra a continuación:

Elemento				
MAQUINARIA	CANTIDAD	Ud	Cantidad acumulada	Acumulado %
Excavadora neumática (<129 cv)	389,19	Kg CO_2	389,19	51,98
Grúa móvil (15-25 t)	265,23	Kg CO_2	654,42	87,40
Pala cargadora sobre ruedas (69 – 95 CV)	94,33	Kg CO_2	748,75	100

Figura 14 Tabla con emisiones de maquinaria de la plantilla de HueCO2

Elemento				
MATERIALES	CANTIDAD	Ud	Cantidad acumulada	Acumulado %
Hormigón HA-25/P/20/I central	13.365,75	Kg CO_2	13.365,75	87,11
Hormigón HM-20/P/20/I central	1.645	Kg CO_2	15.010,75	97,83
Tubo PVC liso con junta elástica D=160mm	165,28	Kg CO_2	15.176,03	98,91
Tubo PVC liso multicapa enc. D=110mm	87,75	Kg CO_2	15.263,78	99,48
Arena de río 0/6 mm	79,95	Kg CO_2	15.343,73	100

Figura 15 Tabla con emisiones de materiales de la plantilla de HueCO2

Los números que representan la incertidumbre en los valores de los factores de emisión están asociados a un determinado porcentaje, tal y como puede apreciarse en la siguiente imagen:

Mayor o igual a 1 y menor de 1,5	5%
Mayor o igual a 1,5 y menor de 2	10%
Mayor o igual a 2 y menor o igual a 3	20%

Figura 16 Incertidumbres de los factores de emisión

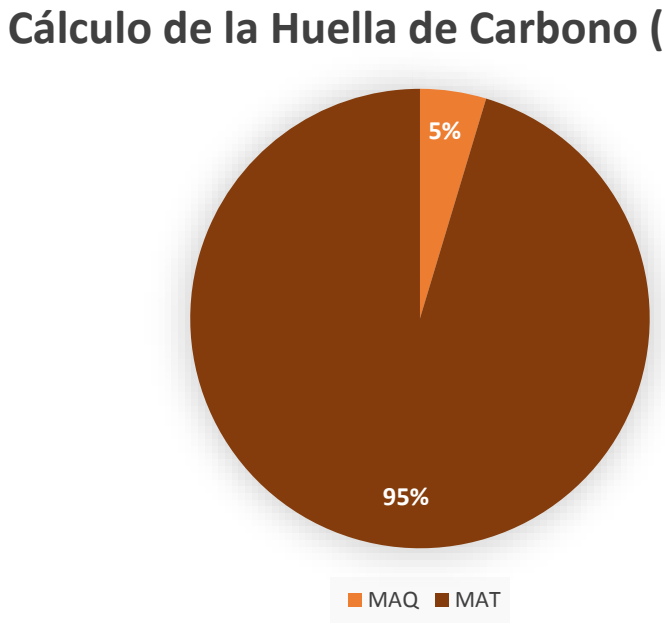
Se realiza una media ponderada de las incertidumbres de los materiales y de la maquinaria según las emisiones de carbono correspondientes, y una vez obtenida la incertidumbre global de la obra se le aplica el porcentaje correspondiente a los kg de CO_2 totales ya obtenidos para conocer la huella de carbono de nuestra obra. En las dos imágenes que pueden verse a continuación se muestran los resultados obtenidos:

a. Huella de carbono

La huella de carbono (en kg CO_2 eq) de las diferentes alternativas del cálculo de la huella de carbono del Proyecto "**Vivienda unifamiliar**" es:

Resultados: Huella de carbono		
MAQUINARIA	MATERIALES	Huella de carbono TOTAL
748,75	15.343,73	16.092,48

Figura 17 Resultados del cálculo de la huella de carbono en la plantilla de HueCO2 (I)



El grado de incertidumbre del cálculo de la huella de carbono del Proyecto es:

Resultados: Grado de incertidumbre ponderado		
MAQUINARIA	MATERIALES	Grado de Incertidumbre ponderado TOTAL
1,91	1,98	1,98

Siguiendo la matriz de porcentajes, al proyecto se le asigna un **10 %** de incertidumbre.

Por lo tanto, el **rango** resultante de la huella de carbono del proyecto "Vivienda unifamiliar" es:

Resultados: Rango resultante de la huella de carbono
Huella de carbono TOTAL (Kg CO_2)
14.486,23 - 17.701,73

Figura 18 Resultados del cálculo de la huella de carbono en la plantilla de HueCO2 (II)

TCQ2000

El programa desarrollado por el ITeC emplea como base de datos el Banco BEDEC, una fuente con gran cantidad de elementos simples y complejos de edificación y de obra civil. Cada uno de estos elementos aparece perfectamente detallado, mostrando todos sus componentes e incluyendo información medioambiental referida a su coste energético y emisiones de CO_2. Utilizando uno de los módulos complementarios del programa, el de Gestión Medioambiental, es posible realizar un cálculo rápido y directo de la huella de carbono de una obra cuyo presupuesto haya sido realizado a partir de elementos incluidos en el Banco BEDEC.

Se toma como obra modelo la misma realizada previamente con PRESTO, para así poder comparar los resultados obtenidos con ambos programas, siendo necesario crear un nuevo presupuesto con TCQ2000. Este programa permite importar directamente los elementos constructivos recogidos en el Banco BEDEC al presupuesto de la obra, de modo que resulta sencillo trasladar toda la información medioambiental necesaria para el cálculo posterior de la huella de carbono.

En las imágenes siguientes se muestran la interfaz de TCQ2000 y del Banco BEDEC, así como algunas de las unidades de obra del presupuesto que se ha realizado con el programa:

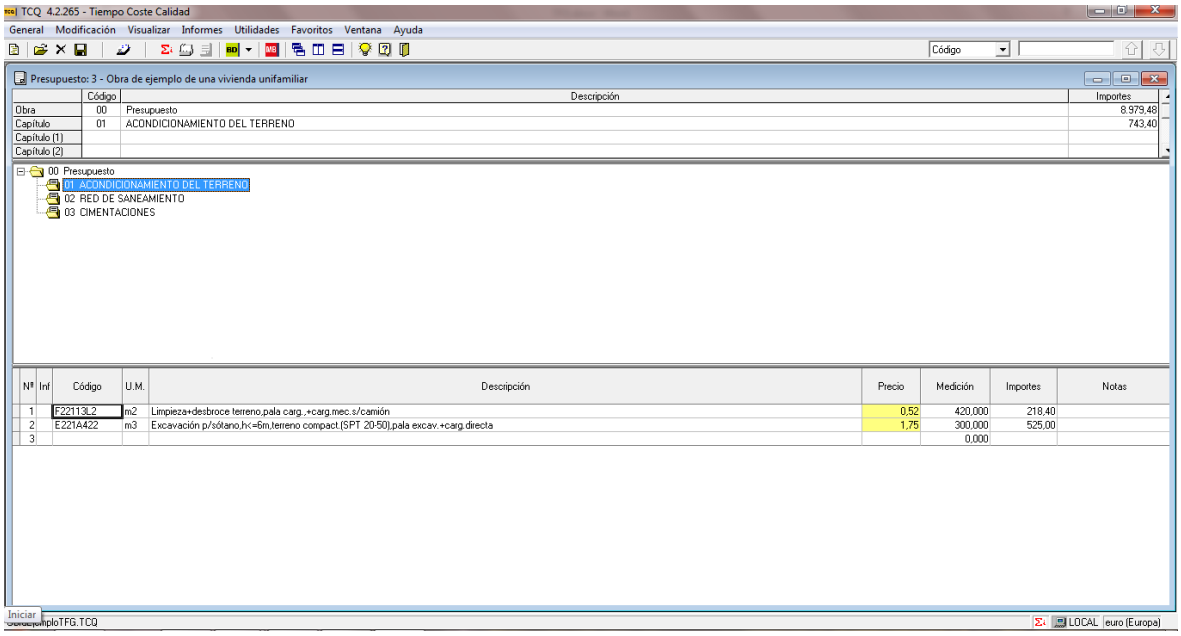


Figura 19 Interfaz de TCQ2000

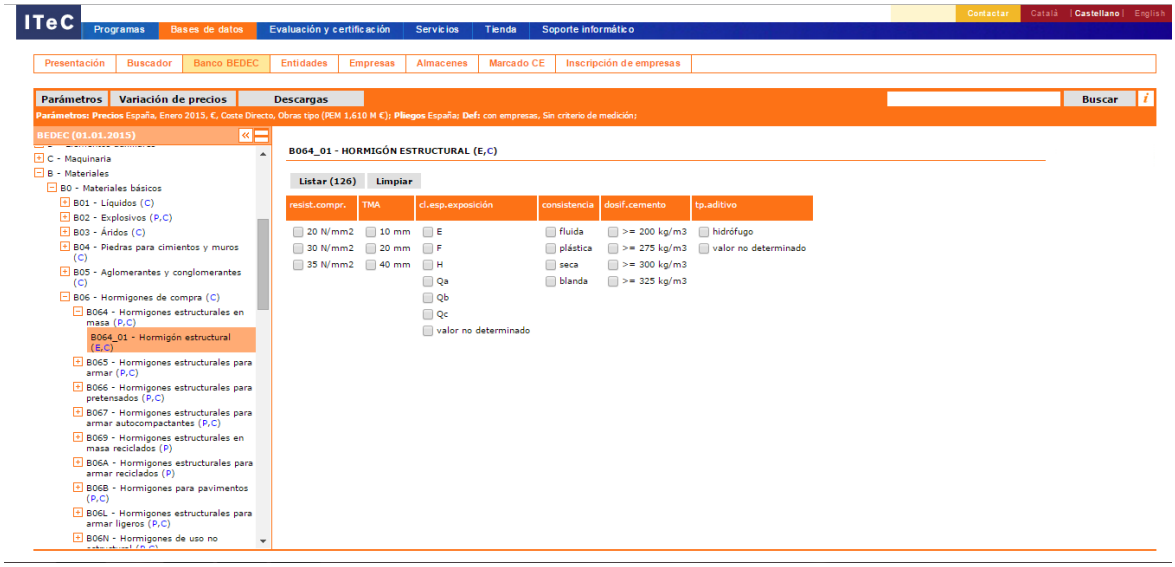


Figura 20 Interfaz del Banco BEDEC (I)

B064_01 - HORMIGÓN ESTRUCTURAL (E,C)

B064L43A m3 Hormigón HM-35/F/20/I+Qc de consistencia fluida, tamaño máximo del árido 20 mm, con >= 325 kg/m3 de cemento, apto para clase de exposición I+Qc **85,97 € (ON, MA)**

Consumo Energético		Materia prima (%)	Contenido reciclado (%)		Coste energético		Emisión CO2
			pre consumo	post consumo	(MJ)	(kWh)	(Kg)
B064L43A	Hormigón HM-35/F/20/I+Qc,>=325kg/m3 cemento	100	0	0	1.526,42	424,01	286,64

Figura 21 Interfaz del Banco BEDEC (II)

C131_09 - PALA EXCAVADORA (E)

C1312330 h Pala excavadora giratoria sobre neumáticos de 9 a 14 t **58,42 € (ON, MA)**

Consumo Energético		Materia prima (%)	Contenido reciclado (%)		Coste energético		Emisión CO2
			pre consumo	post consumo	(MJ)	(kWh)	(Kg)
C1312330	Pala excavadora giratoria s/neumáticos 9-14t	0	0	0	578,19	160,61	151,02

Figura 22 Interfaz del Banco BEDEC (III)

3921_01 - FIRME RÍGIDO PARA TRÁFICO PESADO (E)

39214221 m2 Firme rígido para tráfico pesado T2, de hormigón vibrado HF-4,5 MPa de resistencia a flexotracción y base de hormigón magro vibrado, sobre explanada E2, sección del firme 224 según la Instrucción de Carreteras 6,1-IC **30,83 € (J, MA)**

Consumo Energético			Materia prima (%)	Contenido reciclado (%)		Coste energético		Emisión CO2
				pre consumo	post consumo	(MJ)	(kWh)	(Kg)
Constitutivos			100,00	0	0	638,78	177,44	115,10
G9372210	Base de hormigón magro vibrado con 140 kg/m3 de cemento CEM IV/B 32,5 N, aditivo inclusor de aire y árido de piedra calcárea de tamaño máximo 40 mm, colocado y vibrado con extendedora	0,15 m3	100,00	0	0	152,86	42,46	24,98
G9GACK43	Pavimento de hormigón vibrado de hormigón para pavimentos HF-4,5 MPa de resistencia a flexotracción y consistencia plástica, extendido desde camión, tendido y vibrado con extendedora, estriado longitudinal y juntas cortadas en fresco	0,23 m3	100,00	0	0	392,73	109,09	76,35
G9J23P00	Riego de cura con producto filmógeno	0,0010 t	100,00	0	0	93,19	25,89	13,78

Figura 23 Interfaz del Banco BEDEC (IV)

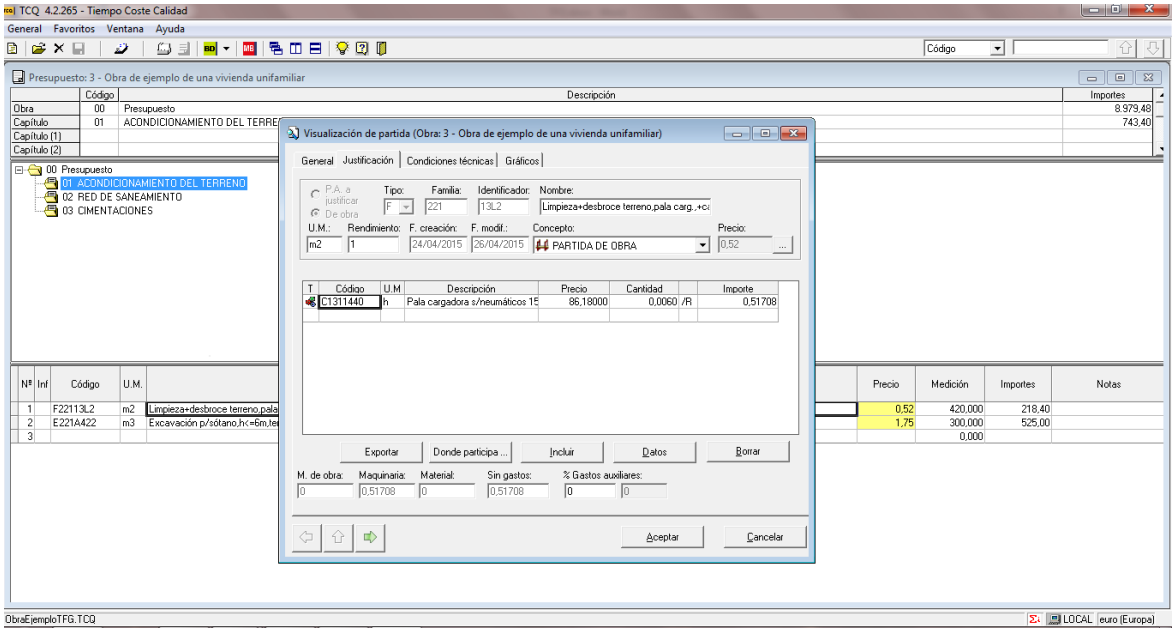


Figura 24 Visualización de partida de obra (I) TCQ2000

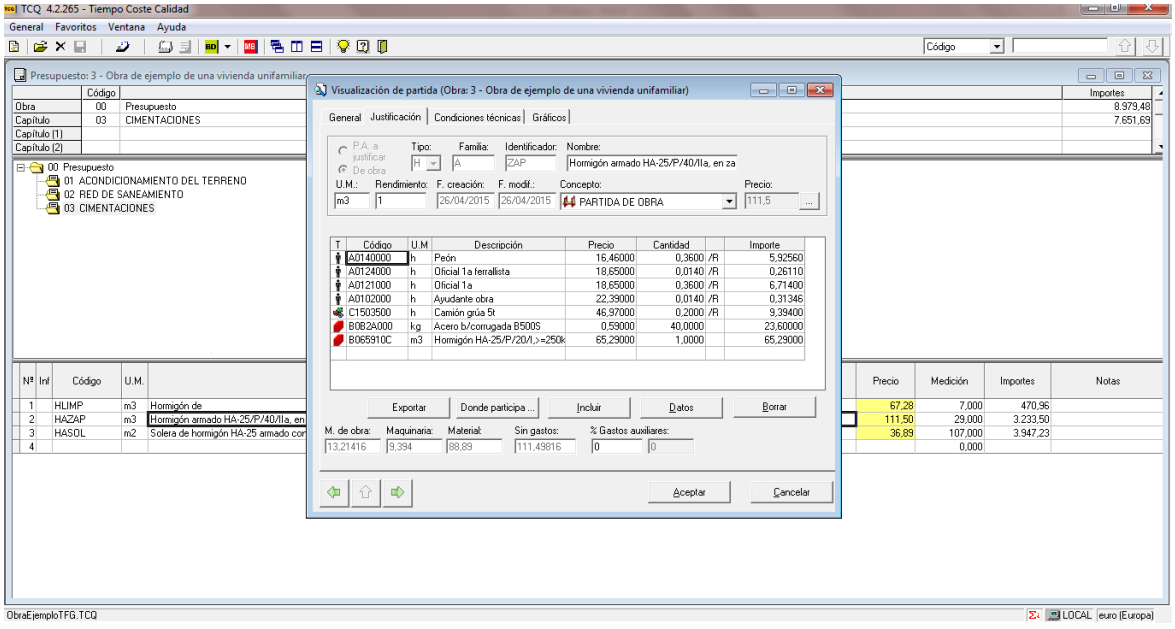


Figura 25 Visualización de partida de obra (II) TCQ2000

Una vez que se ha realizado el presupuesto de la obra, basta con abrir el módulo de Gestión Medioambiental, cargar nuestro presupuesto y adaptar la información medioambiental del mismo para poder obtener el informe de emisiones de CO_2 de los materiales y de la maquinaria.

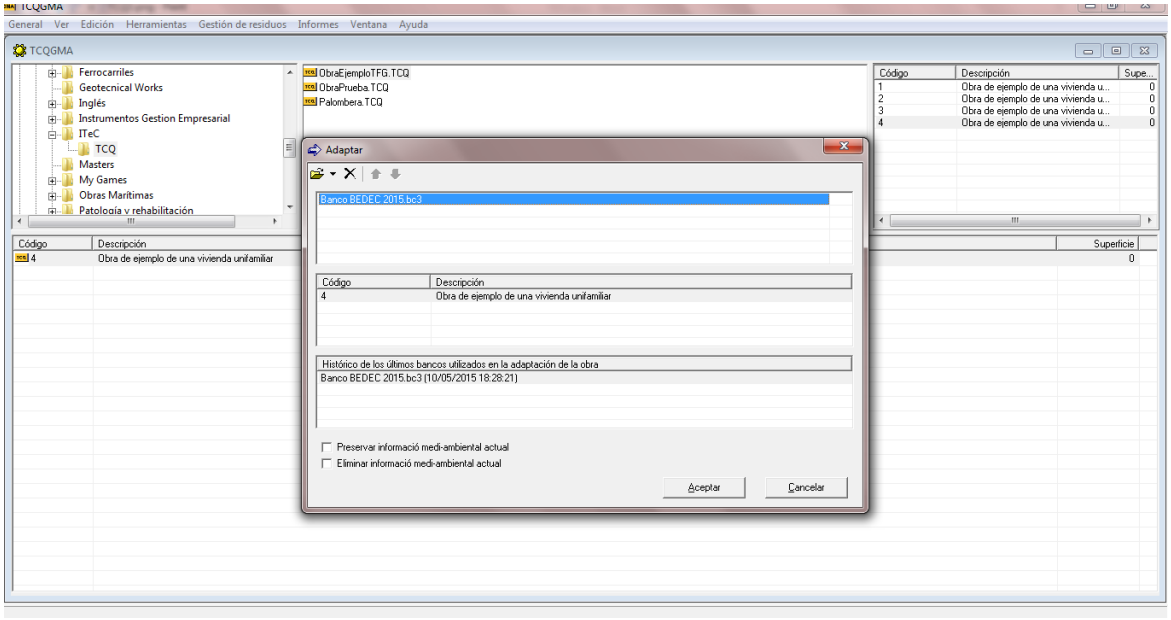


Figura 26 Adaptación de información medioambiental en el módulo de GMA

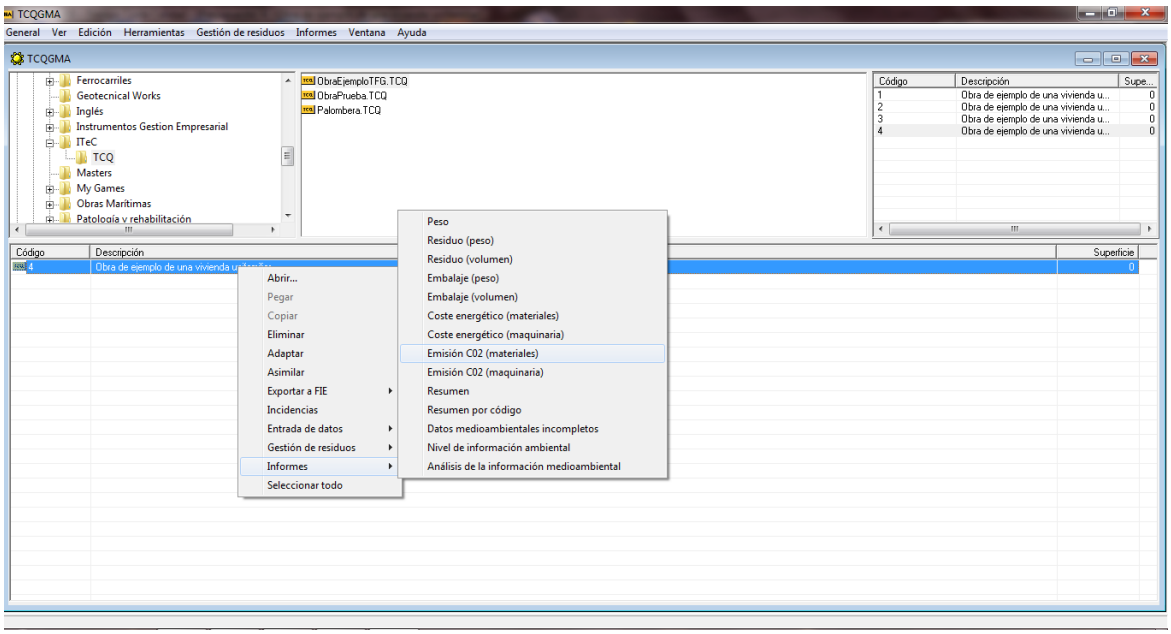
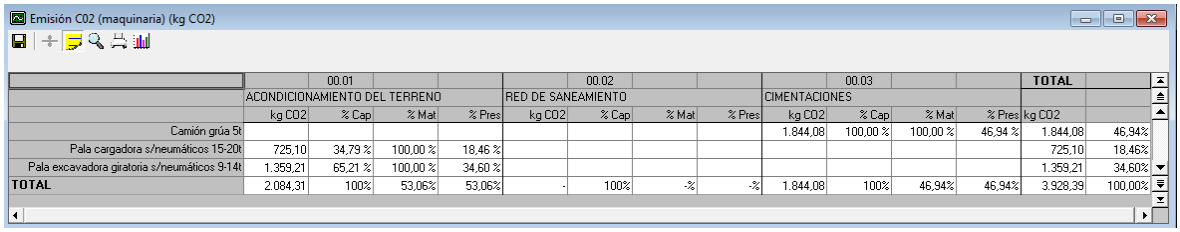


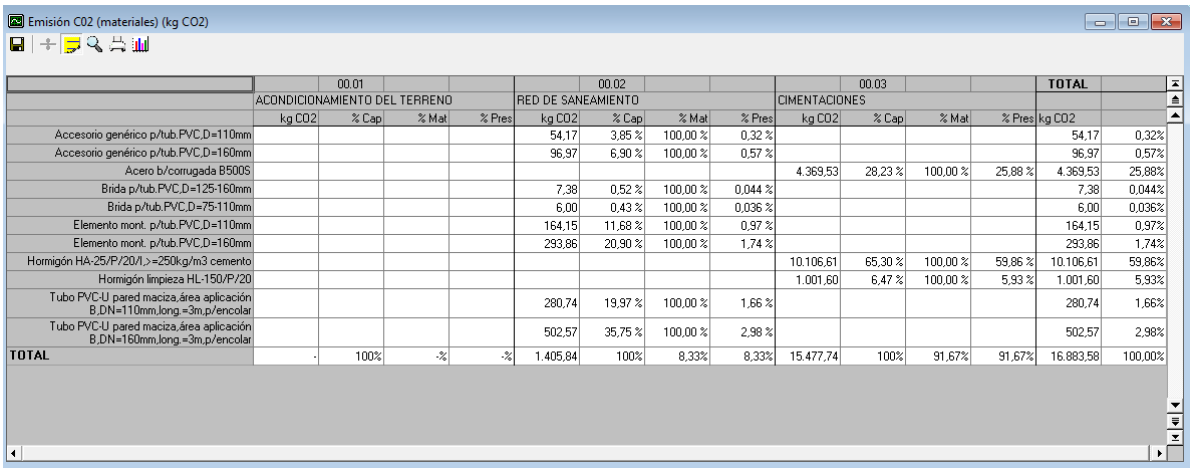
Figura 27 Obtención de informes de emisiones de CO_2 con módulo de GMA

Se muestran a continuación los resultados obtenidos con esta herramienta, con maquinaria y materiales por separado:



	00.01 ACONDICIONAMIENTO DEL TERRENO				00.02 RED DE SANEAMIENTO				00.03 CIMENTACIONES				TOTAL	
	kg CO2	% Cap	% Mat	% Pres	kg CO2	% Cap	% Mat	% Pres	kg CO2	% Cap	% Mat	% Pres	kg CO2	
Camión grúa 5t									1.844,08	100,00 %	100,00 %	46,94 %	1.844,08	46,94%
Pala cargadora s/neumáticos 15-20t	725,10	34,79 %	100,00 %	18,46 %									725,10	18,46%
Pala excavadora giratoria s/neumáticos 9-14t	1.359,21	65,21 %	100,00 %	34,60 %									1.359,21	34,60%
TOTAL	2.084,31	100%	53,06%	53,06%	-	100%	-%	-%	1.844,08	100%	46,94%	46,94%	3.928,39	100,00%

Figura 28 Huella de carbono de la maquinaria (TCQ2000)



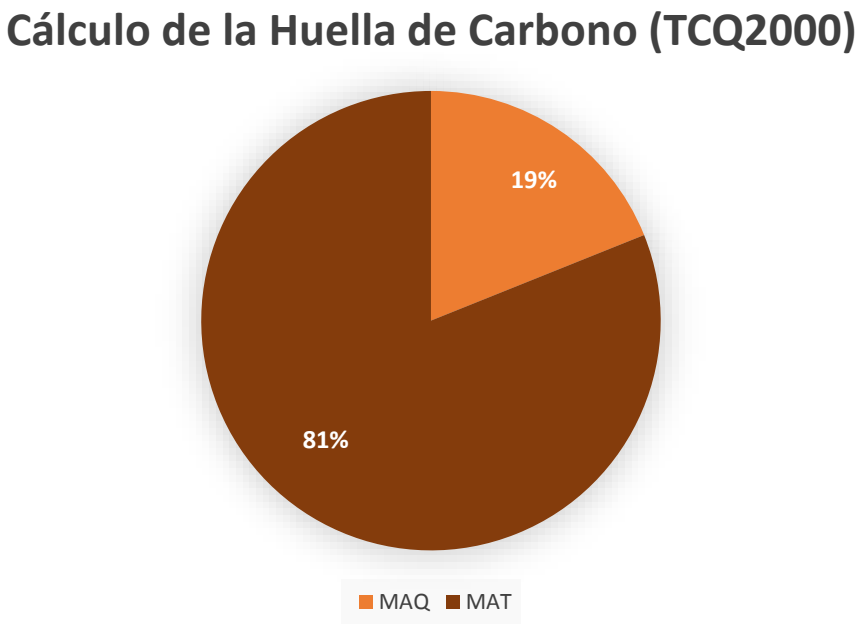
Emisión C02 (materiales) (kg CO2)

	00.01				00.02				00.03				TOTAL	
	ACONDICIONAMIENTO DEL TERRENO				RED DE SANEAMIENTO				CIMENTACIONES					
	kg CO2	% Cap	% Mat	% Pres	kg CO2	% Cap	% Mat	% Pres	kg CO2	% Cap	% Mat	% Pres	kg CO2	
Accesorio genérico p/tub.PVC,D=110mm					54,17	3,85 %	100,00 %	0,32 %					54,17	0,32%
Accesorio genérico p/tub.PVC,D=160mm					96,97	6,90 %	100,00 %	0,57 %					96,97	0,57%
Acero b/corrugada B500S									4.369,53	28,23 %	100,00 %	25,88 %	4.369,53	25,88%
Brida p/tub.PVC,D=125-160mm					7,38	0,52 %	100,00 %	0,044 %					7,38	0,044%
Brida p/tub.PVC,D=75-110mm					6,00	0,43 %	100,00 %	0,036 %					6,00	0,036%
Elemento mont. p/tub.PVC,D=110mm					164,15	11,68 %	100,00 %	0,97 %					164,15	0,97%
Elemento mont. p/tub.PVC,D=160mm					293,86	20,90 %	100,00 %	1,74 %					293,86	1,74%
Hormigón HA-25/P/20/I,>=250kg/m3 cemento									10.106,61	65,30 %	100,00 %	59,86 %	10.106,61	59,86%
Hormigón limpieza HL-150/P/20									1.001,60	6,47 %	100,00 %	5,93 %	1.001,60	5,93%
Tubo PVC-U pared maciza,área aplicación B,DN=110mm,long.=3m,p/encolar					280,74	19,97 %	100,00 %	1,66 %					280,74	1,66%
Tubo PVC-U pared maciza,área aplicación B,DN=160mm,long.=3m,p/encolar					502,57	35,75 %	100,00 %	2,98 %					502,57	2,98%
TOTAL	.	100%	-%	-%	1.405,84	100%	8,33%	8,33%	15.477,74	100%	91,67%	91,67%	16.883,58	100,00%

Figura 29 Huella de carbono de los materiales (TCQ2000)

Como puede apreciarse, TCQ2000 proporciona un único valor para las emisiones de CO_2, no asocia un porcentaje de incertidumbre al resultado obtenido que permita establecer un rango de valores posibles como ocurría en el caso anterior.

Las emisiones de carbono debidas a la maquinaria se cifran en 3.928,39 kg CO_2 y las de los materiales en 16.833,58 kg CO_2. Por lo tanto la huella de carbono total de esta obra, según el programa TCQ2000, será de 20.761,97 kg CO_2.



Comparativa

En ambos casos la huella de carbono total obtenida para esta obra es muy similar, siendo algo superior la calculada con TCQ2000 (20.761,97 kg de CO_2 frente al rango de 14.486,23 – 17.701,73 kg de CO_2). Esto se debe fundamentalmente a que el hormigón es el material más abundante y con mayor peso en las emisiones de CO_2 para la obra seleccionada, y dado que los factores de emisión del hormigón empleados por ambos programas son muy similares se llega a valores de kg de CO_2 parecidos.

Existe a pesar de ello una diferencia considerable en la huella de carbono asociada a la maquinaria, ya que según los datos proporcionados por HueCO2 se obtienen 748,75 kg de CO_2 frente a los 3.928,39 resultantes del cálculo con TCQ2000. Esta diferencia no supone un impacto excesivo en la huella de carbono total ya que el mayor peso de emisiones de CO_2 lo presentan los materiales.

En base a los resultados obtenidos, puede afirmarse que según HueCO2 la influencia de la maquinaria en las emisiones de CO_2 totales resulta insignificante comparada con la de los materiales; en cambio tomando los valores del Banco BEDEC se obtienen valores mayores que hacen que la maquinaria tenga un peso más significativo dentro de la huella de carbono total de la obra.

Por lo tanto, de este pequeño cálculo realizado se puede sacar la conclusión de que en aquellas obras donde el hormigón sea el principal material empelado será posible realizar un cálculo de la huella de carbono más fiable al obtenerse valores muy parecidos utilizando distintas fuentes. Sin embargo, en obras donde el hormigón no esté tan presente y especialmente en aquellas en las que la maquinaria sea un elemento abundante, la huella de carbono obtenida puede variar considerablemente en función de la base de datos escogida.

Uno de los principales materiales empleados en la construcción es el acero, sin embargo, no tenía un peso importante en la obra que se ha tomado como ejemplo. Por ello se ha decidido comprobar también los factores de emisión referidos a este material, comparando los valores en las dos bases antes consultadas para determinar si se obtendrían resultados similares en la huella de carbono de una obra donde primasen las estructuras metálicas.

Se han consultado por lo tanto los factores de emisión de un perfil laminado y de las barras de acero corrugado. Nuevamente el Banco BEDEC proporciona valores superiores; para los perfiles laminados establece unos 3,63 - 4 kg CO_2 eq / kg frente a los 1,735 kg CO_2 eq / kg de HueCO2. Para las barras corrugadas el Banco BEDEC da un único valor de 2,82 kg CO_2 eq / kg mientras que HueCO2 sugiere tres valores distintos en función del porcentaje de reciclado: 1,86 kg CO_2 eq / kg (39%), 1,4 kg CO_2 eq / kg (59%) y 0,722 kg CO_2 eq / kg (99%).

Se puede afirmar entonces que en una obra donde abunden las estructuras metálicas existirá también una diferencia importante en la huella de carbono calculada, según la base de datos que se decida utilizar. Dicha diferencia no será tan acusada como sucedía con la maquinaria, pero sí puede llevar a obtener valores suficientemente dispares como para no considerar del todo fiable el resultado obtenido con cualquiera de estas dos fuentes.

Marco de referencia en Cantabria

Espacios naturales protegidos de Cantabria

Como ya se ha comentado en apartados anteriores del trabajo, las obras de carretera pueden llegar a causar impactos muy severos en el medioambiente. En zonas naturales que sean especialmente sensibles el daño producido podría llegar a ser irreparable, con la consiguiente pérdida de especies animales y vegetales que se produciría al generar un cambio en el ecosistema. La destrucción de la flora tiene además un efecto negativo en relación con la emisión de CO_2 a la atmósfera, ya que las plantas actúan como sumideros de carbono que permiten compensar parte del dióxido de carbono que se produce en otras actividades. Teniendo en cuenta que Cantabria es una región fértil en la cual la vegetación es muy abundante, es previsible que existan zonas ambientalmente sensibles que haya que tener en cuenta a la hora de construir una carretera.

Según la Ley de Cantabria 4/2006, de 19 de mayo, de conservación de la naturaleza de Cantabria, los Espacios naturales protegidos de Cantabria, en función de los bienes y valores a proteger y de los objetivos de su declaración, pueden ser clasificados en alguna de las siguientes categorías jurídicas de protección:

a) 1 Parque Nacional.

b) 6 Parques Naturales.

c) Reservas Naturales. (0)

d) 1 Monumento Natural.

e) Paisajes Protegidos. (0)

f) 29 Zonas de la Red Ecológica Europea Natura 2000, que incluyen 8 Zonas de Especial Protección para la Aves (ZEPAs) y 21 Lugares de Interés Comunitario (LICs).

g) Áreas Naturales de Especial Interés. (0)

(Wikipedia, 2014) (Rodríguez, 2014)

Parques Nacionales, Parques Naturales y Monumentos Naturales

Número	Parque	Área
1	Parque Nacional de los Picos de Europa (la parte que afecta a la región)	15.381 ha
2	Parque Natural de los Collados del Asón	4.020 ha
3	Parque Natural de las Dunas de Liencres	544,21 ha
4	Parque Natural del Macizo de Peña Cabarga	2.588 ha
5	Parque Natural de Oyambre	5.758 ha
6	Parque Natural de Saja-Besaya	24.500 ha
7	Parque Natural de las Marismas de Santoña, Victoria y Joyel	6.678 ha
8	Monumento Natural Secuoyas del Monte Cabezón	2,5 ha

Tabla 10 Áreas de Parques Nacionales y Naturales (Web del Gobierno de Cantabria, Consejería de ganadería, pesca y desarrollo rural, 2014)

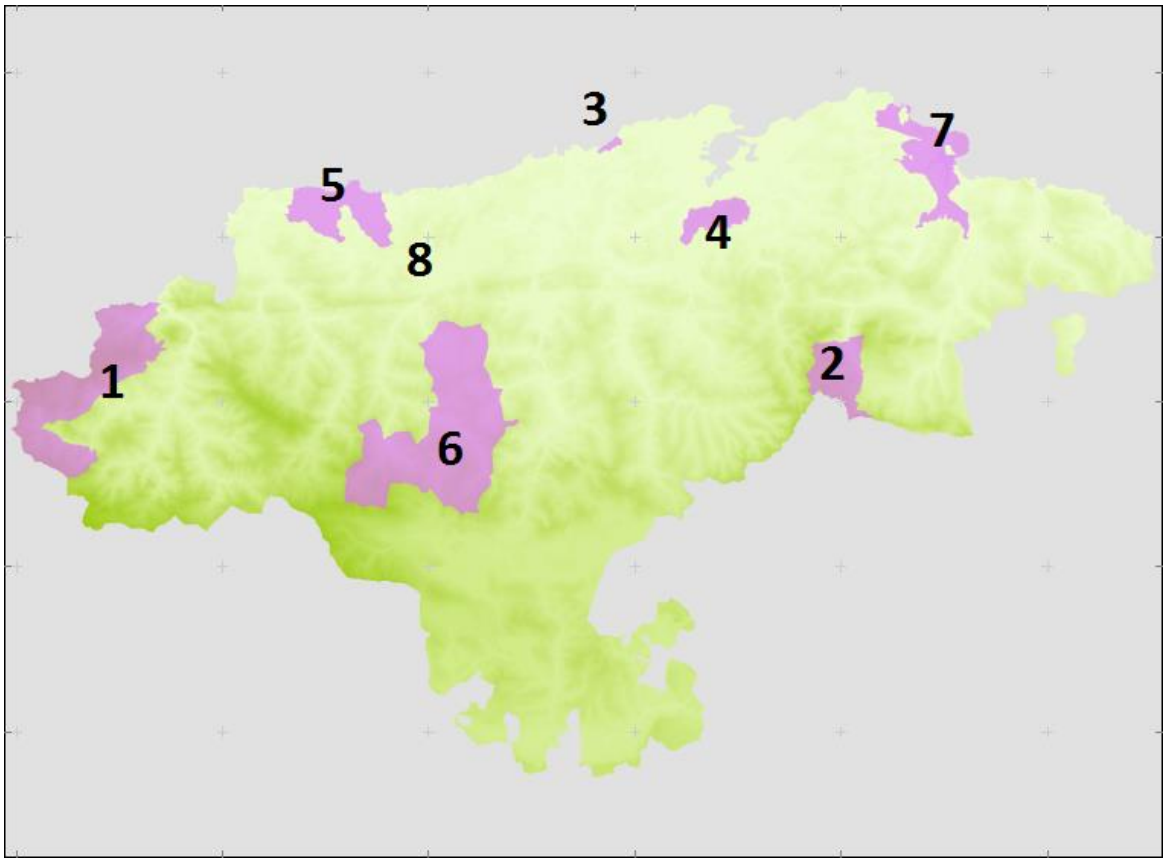


Figura 30 Mapa de parques naturales y nacionales existentes en Cantabria (Gobierno de Cantabria, 2010)

Lugares de Importancia Comunitaria (LIC)

Número	LIC	Área
1	Liébana	42.546 ha
2	Valles Altos del Nansa, Saja y Alto Campoo	51.098 ha
3	Sierra del Escudo de Cabuérniga	787,02 ha
4	Sierra del Escudo	3.198,17 ha
5	Montaña Oriental	21.679 ha
6	Río Deva	397,91 ha
7	Río Nansa	569,867 ha
8	Río Saja	321,28 ha
9	Río Pas	957,29 ha
10	Río Miera	395,53 ha
11	Río Asón	530,49 ha
12	Río Agüera	214,47 ha
13	Río y embalse del Ebro	4.342,90 ha
14	Río Camesa	245,65 ha
15	Rías Occidentales y Duna de Oyambre	1.272,62 ha
16	Dunas de Liencres y Estuario del Pas	544,21 ha
17	Dunas del Puntal y Estuario del Miera	657,04 ha
18	Costa Central y Ría de Ajo	444,48 ha
19	Marismas de Santoña, Victoria y Joyel	3.701,47 ha
20	Cueva La Rogería	112,27 ha
21	Cueva El Rejo	180 ha

Tabla 11 Áreas de Lugares de Importancia Comunitaria (Web del Gobierno de Cantabria, Consejería de ganadería, pesca y desarrollo rural, 2014)

Zonas de especial protección para las aves (ZEPA)

Número	ZEPA	Área
1	Liébana	29.071 ha
2	Sierra del Cordel y cabeceras del Nansa y Saja	16.244 ha
3	Marismas de Santoña, Victoria y Joyel y Ría de Ajo	6.604 ha
4	Embalse del Ebro	6.711 ha
5	Desfiladero de la Hermida	6.350 ha
6	Sierra de Peña Sagra	5.020 ha
7	Sierra de Híjar	4.730 ha
8	Hoces del Ebro	4.080 ha

Tabla 12 Áreas de Zonas de Especial Protección para Aves (Web del Gobierno de Cantabria, Consejería de ganadería, pesca y desarrollo rural, 2014) (ICANE)

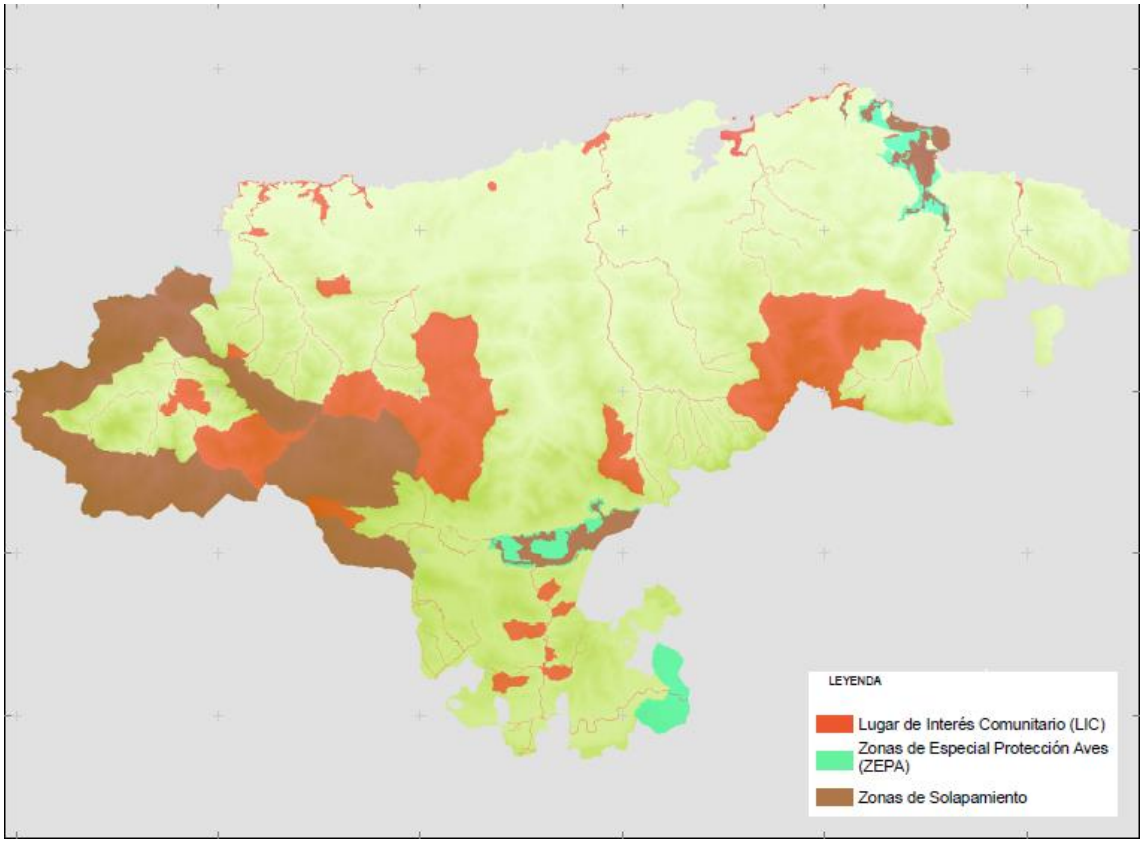


Figura 31 Mapa de ZEPAs y LICs en Cantabria (Gobierno de Cantabria, 2010)

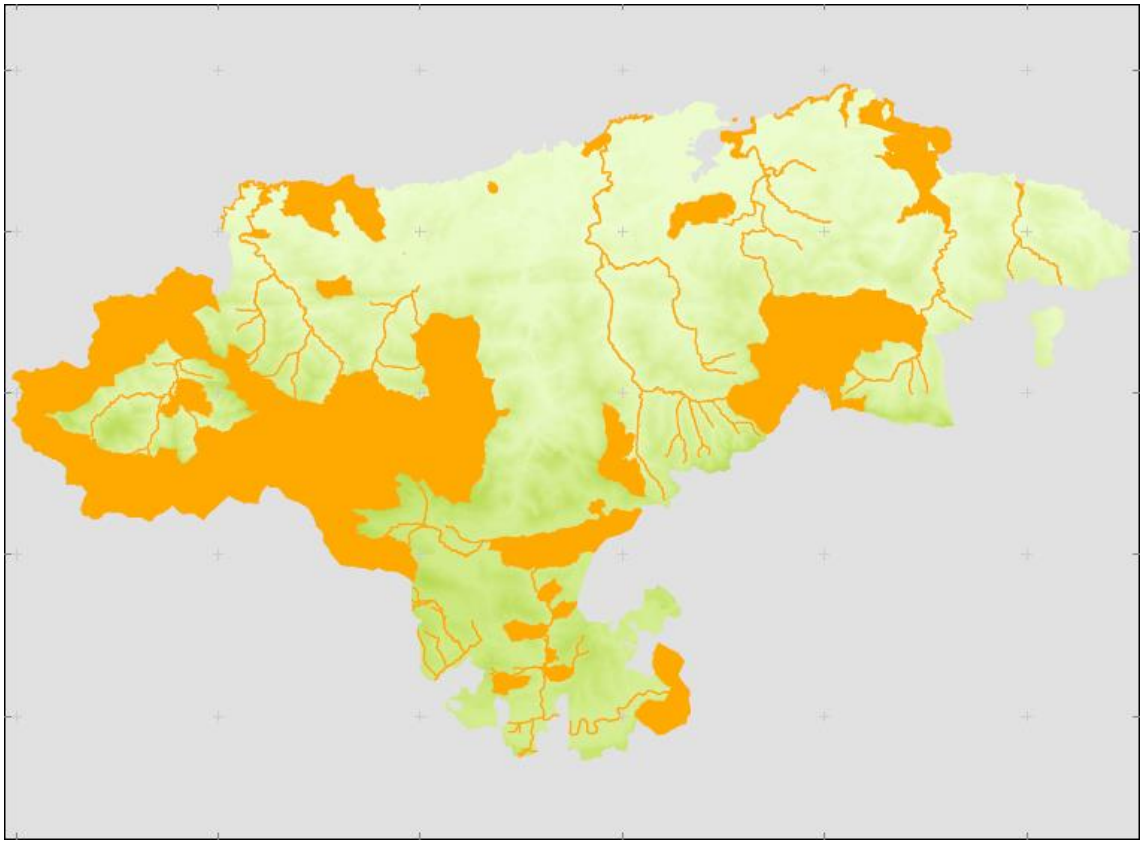


Figura 32 Espacios Naturales Protegidos en Cantabria (Gobierno de Cantabria, 2010)

Carreteras de especial protección en Cantabria

Marco legal

Mediante el Decreto 61/2004, de 17 de junio, sobre carreteras de especial protección por atravesar Espacios Naturales Protegidos de Cantabria, el Consejo de Gobierno de Cantabria, previo informe de las Corporaciones municipales afectadas y al amparo del artículo 26 de la Ley de Cantabria 5/1996 de 17 de diciembre, regula el régimen de las carreteras «singulares de especial protección ecológica y paisajística por atravesar Espacios Naturales Protegidos» y declara las carreteras o tramos de carreteras de la Red Autonómica de Carreteras de Cantabria que tienen tal condición.

(Decreto 61/2004 de 17 de junio sobre carrteras de especial protección por atravesar Espacios Naturales Protegidos de Cantabria)

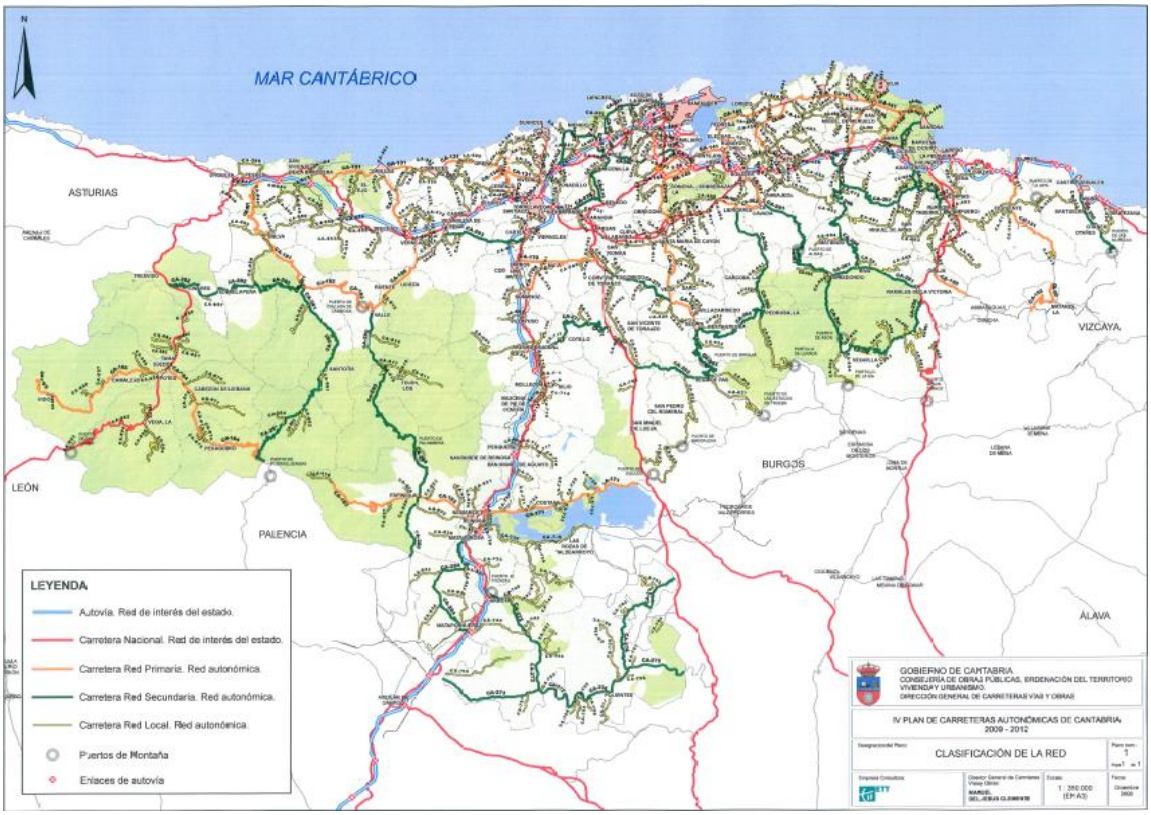


Figura 33 Mapa de carreteras de Cantabria (Gobierno de Cantabria, 2010)

Inventario

Los tramos de carretera de la Red Autonómica considerados de especial protección son:

- La carretera CA-185 y CA-889 en los tramos incluidos en la delimitación del Parque Nacional de los Picos de Europa.
- Las carreteras CA-231 y CA-305 en los tramos incluidos en la delimitación del Parque Natural de las Dunas de Liencres.
- Las carreteras CA-280, CA-817 y CA-804 en los tramos incluidos en la delimitación del Parque Natural Saja- Besaya.
- Las carreteras CA-131, CA-363, CA-364, CA-843, CA-844 y CA-847 en los tramos incluidos en la delimitación del Parque Natural de Oyambre.
- La carretera CA-412 en los tramos incluidos en la delimitación del Parque del Macizo de Peñacabarga.

- Las carreteras CA-241, CA-268, CA-148 y CA-908 en los tramos incluidos en la delimitación de la Reserva Natural de las Marismas de Santoña y Noja.
- Las carreteras CA-265 y CA-643 en los tramos incluidos en la delimitación del Parque Natural de Collados del Asón, y la CA-665 en su totalidad.

(Decreto 61/2004 de 17 de junio sobre carrteras de especial protección por atravesar Espacios Naturales Protegidos de Cantabria)

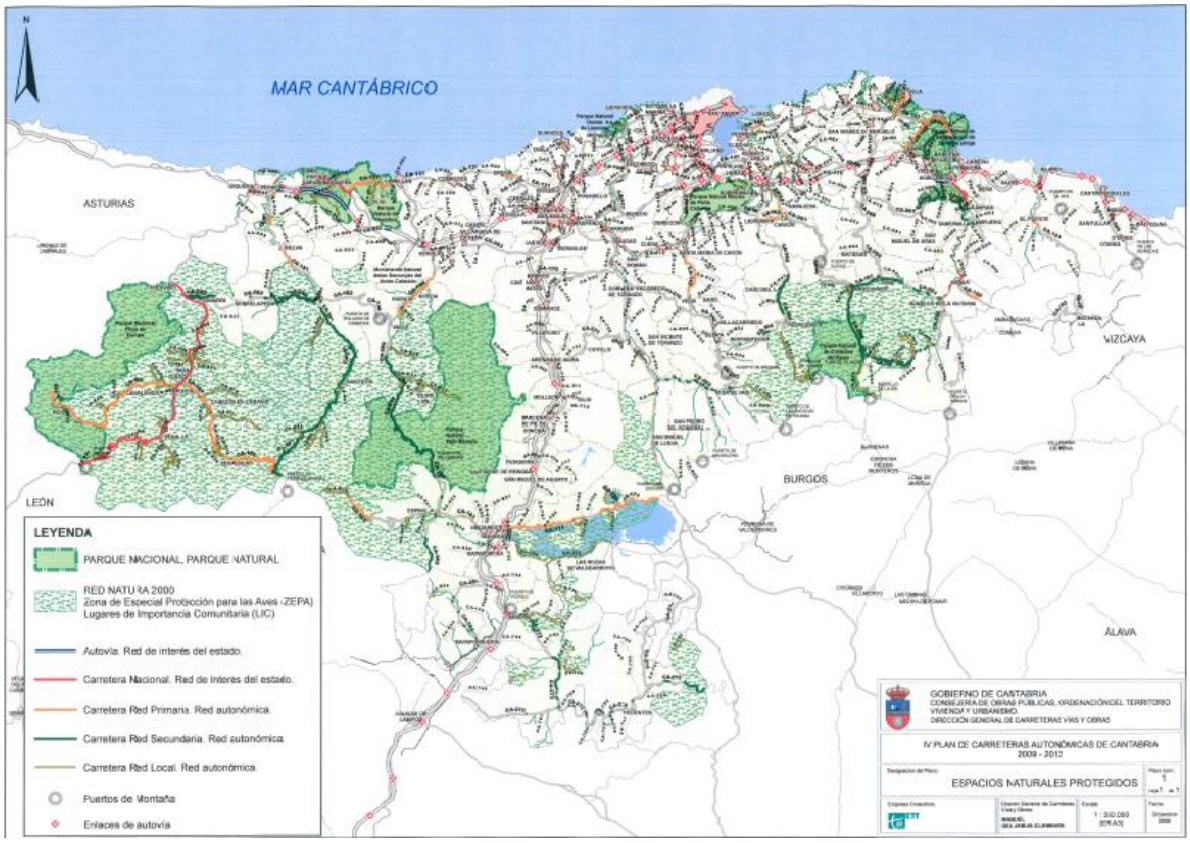


Figura 34 Espacios Naturales Protegidos y Carreteras en Cantabria (Gobierno de Cantabria, 2010)

Por medio del Visualizador de Información Gráfica del Gobierno de Cantabria (Gobierno de Cantabria, 2015) se ha realizado una estimación del número de kilómetros de carreteras de la región que atraviesan espacios naturales protegidos, valiéndose de la herramienta para medir y de la posibilidad de habilitar capas que muestren las áreas del territorio consideradas de especial protección.

La Comunidad Autónoma de Cantabria cuenta, según el Ministerio de Fomento, con un total de 2600 kilómetros entre autovías, autopistas y carreteras convencionales. Se ha obtenido un valor aproximado de unos 450 km de carreteras que atraviesan espacios naturales, lo que supone que un 17% de los kilómetros de carreteras de Cantabria atraviesan zonas especialmente sensibles.

Como consecuencia, disponer de un plan adecuado que recoja las buenas prácticas ambientales recomendadas para obras de carretera será vital para poder así preservar estos espacios naturales, minimizando los impactos que se puedan producir. Dichas prácticas deberán de ser llevadas a cabo tanto en la ejecución de nuevos tramos como en las obras de mantenimiento y reparación de los ya existentes.

Caso práctico de aplicación de buenas prácticas ambientales

El proyecto del Puerto de Palombera

El proyecto que se ha elegido para realizar un cálculo de la huella de carbono y proponer un conjunto variado de buenas prácticas ambientales ha sido la obra de Mejora de firme y seguridad vial de la Carretera CA-280, Reinosa a Cabezón de la Sal, P.K. 7,900 al P.K. 34,400. Tramo: El Tojo-Espinilla (Puerto de Palombera).

Se trata de una carretera Autonómica de Cantabria que forma parte de la red secundaria. Este vial comienza en el valle de Cabuérniga donde enlaza con la CA-180 a Cabezón de la Sal y la CA-182 a Carmona y Puentenanasa, ambas de la red primaria regional. En medio de su recorrido enlaza con la CA-817 a Los Tojos y Bárcena Mayor, de la red local. En particular, las obras se localizan entre el P.K. 34,90 y el P.K. 7,90, asociados respectivamente a las localidades de Espinilla, en la vertiente meridional, y El Tojo, en pleno valle del Saja y atravesando el Parque Natural Saja Besaya, que es el Espacio Protegido de mayor extensión de Cantabria (24.500 ha) y uno de los más emblemáticos por su historia, sus valores naturales y sus importantes usos tradicionales.

El proyecto se plantea como una mejora de firme y plataforma, e incluye 12 actuaciones puntuales:

- Ampliación del puente situado en la travesía de Soto (P.K. 9,3).
- 4 actuaciones de prolongación de obras de fábrica con bóvedas de hormigón (P.K. 9,8, P.K. 22,6, P.K. 23,2 y P.K. 23,9).
- Sustitución del tablero de vigas metálicas, muy deteriorado, de un pontón por una losa de hormigón (P.K. 14,6).
- 2 actuaciones de acondicionamiento de apartaderos y del mirador de La Cardosa (P.K. 18,3 y P.K. 25,1).
- 3 actuaciones de mejora de curvas de fábrica de entidad, mediante losas de hormigón en voladizo (P.K. 19,8, P.K. 21,2 y P.K. 23,5).
- 1 actuación de mejora de curva con ampliación de desmonte (P.K. 22,5)

Debido a sus especiales características territoriales, el proyecto de mejora fue sometido al procedimiento reglado de evaluación de impacto ambiental, en virtud de la normativa autonómica en esta materia, asociada al decreto 50/19912. Fruto del citado procedimiento, la Dirección General de Medio Ambiente y ordenación del Territorio del Gobierno de Cantabria emitió una Estimación de Impacto Ambiental aprobatoria con condiciones, emitida el 21 de noviembre de 2001. Entre los condicionantes ambientales, se exigió la redacción de un Proyecto de Restauración Ambiental y el desarrollo de un Programa de Vigilancia Ambiental específicos para la obra que, a iniciativa de la Dirección General de Carreteras, Vías y Obras del Gobierno de Cantabria, se completó con el diseño de un Sistema Integrado de Buenas Prácticas Ambientales.

El 4 de junio de 2004, el Presidente de Cantabria, Miguel Ángel Revilla, inauguró la carretera CA-280, Valle de Cabuérniga-Espinilla, en su tramo El Tojo-Espinilla, pionera en España en el respeto al medio ambiente. Las obras de mejora en los 26,420 kilómetros de longitud de la carretera del puerto de Palombera, que se encuentra a 1.257 metros de altura sobre el nivel del mar, han supuesto una inversión del Gobierno de Cantabria de más de 5,30 millones de euros y han sido ejecutadas por la empresa Emilio Bolado. La obra ha supuesto, entre otras cosas, la excavación de más de 21.280,8 m^3 de tierras, 4.116,458 m^3 de rocas y el empleo de 7.139,04 m^3 de material para rellenos.

Desde un punto de vista ambiental la obra constituye, sin lugar a dudas, una gran aportación por parte de la Consejería de Obras Públicas y Vivienda en la consecución real de la política de Excelencia ambiental de las obras, cuya finalidad es obtener una actuación integral, tanto constructiva como ambiental, en la obra y en el entorno que la rodea.

Cabe destacar, en el trazado, la instalación de 11 kilómetros de barreras de seguridad fabricadas con madera de pino, tratada en autoclave y reforzada con perfiles metálicos, colocadas de manera estratégica para facilitar la trashumancia del ganado suelto. Con éste objetivo, también se ha construido un paso de ganado en el Alto de Palombera (P.K. 14,02). Complementariamente, se ha construido un paseo peatonal de 1,6 kilómetros de longitud y una anchura de 1,50 metros para unir las localidades de Espinilla y Soto.

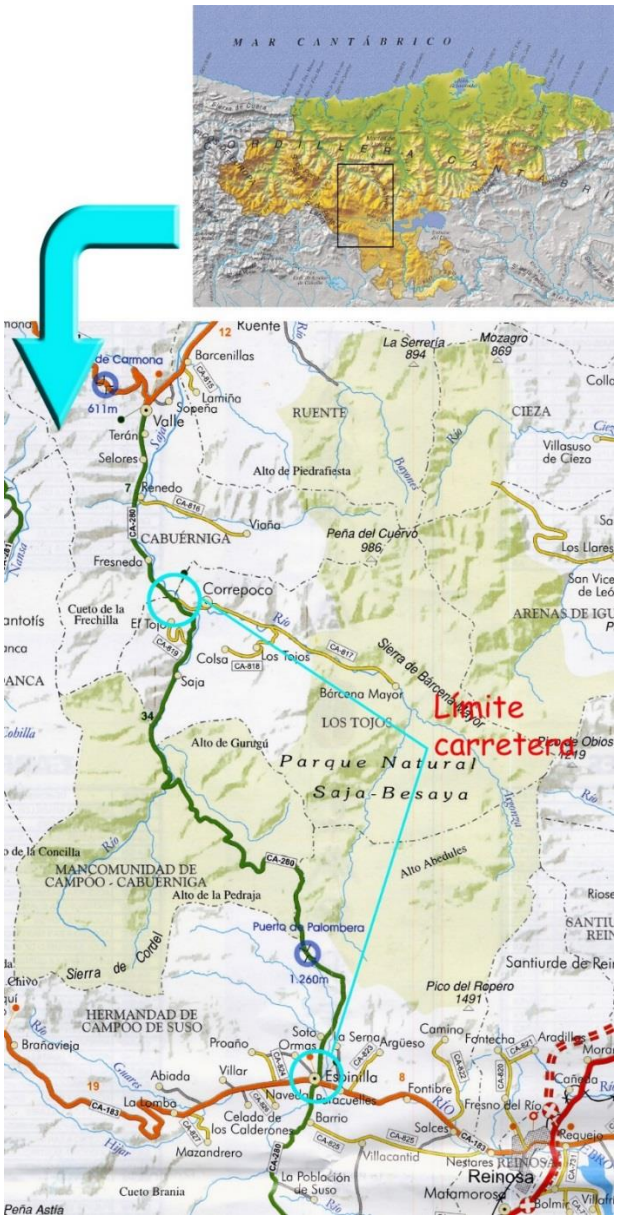


Figura 35 Ubicación de la obra del puerto de Palombera (Valle Álvarez, García Fernández, del Jesus Clemente, & de la Puente, 2005)

(Valle Álvarez, García Fernández, del Jesus Clemente, & de la Puente, 2005) (Gobierno de Cantabria, 2005) (Gobierno de Cantabria, 2015)

BPAs del proyecto

En la obra ya descrita se aplicaron una serie de medidas para garantizar una buena calidad ambiental de la obra, siendo estas las siguientes:

BUENA PRÁCTICA AMBIENTAL	CORRESPONDENCIA
Usar de toldos en los camiones durante el transporte de tierras.	A2
Usar toldos en los acopios de tierras u otros sistemas que eviten la erosión eólica.	A3
Regar las áreas de tránsito de vehículos y maquinaria en aquellas épocas en que la climatología y sequedad ambiental lo requieran.	A10
Incluir cartelería que advierta a los conductores de la presencia de pasos de fauna.	A12
Instalar sistemas de limpieza de las ruedas.	A15
Controlar los niveles sonoros diurnos y nocturnos.	A32
Minimizar el efecto sobre la vegetación, restringiendo la superficie de ocupación a través de un replanteo previo que delimite claramente las zonas a desbrozar.	E1
Delimitar, vallar y cerrar correctamente las instalaciones provisionales.	E5
Evitar, en la medida de lo posible, los acopios con una altura superior a 150 cm.	E10
Planificar las obras y la distribución del personal de forma que no se precise la colocación de instalaciones auxiliares durante la ejecución de las obras, evitando así la ocupación del suelo. La única caseta de obra se localiza en Soto, en plena zona urbana.	E11
Retirar el suelo de forma selectiva, como labor previa a la apertura de zanjas o ejecución de explotaciones, acopiando los primeros centímetros.	E17
Contar con una provisión de material para la actuación y respuesta frente a posibles emergencias ambientales.	E19
Prohibir la publicidad pintada sobre elementos naturales.	E41
Colocar barreras de sedimentos, como pacas de paja, y filtros de contaminantes entorno a los cursos o masas de agua.	E59
Acopiar únicamente el mortero que se va a utilizar en el mismo día, usando un plástico para que no entre en contacto con el suelo.	E62
Retirar los pretiles y acopiarlos en una zona segura para su posterior reutilización.	E71
Reutilizar de inmediato la tierra vegetal retirada (aunque se trate de escasos volúmenes) en la recuperación de zonas degradadas (ya existentes antes del inicio de las obras) o en la recuperación de los propios sobrantes de la antigua carretera.	E13, E65
Proceder a la retirada y gestión de los materiales sobrantes de la obra, residuos o escombros almacenados en la zona de acopio del entorno del P.K. 17+800.	E27, E70
Colocar contenedores para la recogida selectiva y gestión de residuos y evitar su vertido a toda costa.	E28, E30, E72
Depurar las aguas residuales que se generen en las instalaciones provisionales antes de su vertido, mediante fosa séptica.	W19
Reutilizar la piedra y los elementos viales, como los “poyos”, siempre que sea posible.	F21

BUENA PRÁCTICA AMBIENTAL	CORRESPONDENCIA
Plantar frondosas y trepadoras autóctonas en los taludes que lo permitan.	L4
Retirar de forma manual o ligeramente mecanizada (nunca con maquinaria sobre el camino antiguo) los derrames de piedras sobre el camino antiguo a Bárcena Mayor.	L5
Reducir la duración de las obras en el Parque Natural Saja-Besaya.	L9
Evitar afectar a las zonas de pasos de fauna.	L12
Asegurar la terminación de las rampas para anfibios y pequeños vertebrados en todas aquellas obras de drenaje que no dispongan de estos dispositivos.	L14
Controlar el riego de imprimación durante el aglomerado para no contaminar el gua de las cunetas.	L24
Emplear materiales de préstamos que no procedan del Parque Natural Saja-Besaya, y asegurarse de que se obtengan en instalaciones legalmente autorizadas.	L33
Rehabilitar el camino histórico de Bárcena Mayor a Campoo y la caseta de peones camineros en la Costanilla.	L37
Contar con un Plan de Vigilancia Ambiental que sea seguido estrictamente.	L50
Sustituir el pavimento de celosía de hormigón en el aparcamiento de la antigua cantera por un pavimento de grava compacta semejante al que ya existe y sobre el que puede llegar a crecer hierba.	L57
Practicar un ligero riego en los casos puntuales en los que la vegetación del entorno inmediato de las obras haya quedado afectada por salpicaduras de material o por polvo hasta que quede limpia.	L64
Programar las obras de las cunetas de modo que puedan ser utilizadas como nuevas zonas de puestas de anfibios.	L66
Realizar un jalonamiento preventivo de todos los elementos ambientales de la obra que requieran protección.	L1, L2
Identificar, previamente al inicio de las obras y tajos, los ejemplares arbóreos más importantes e informar a operarios y conductores de maquinaria de la presencia de los mismos.	L1, L10
Limitar las obras para que no se ocupe, rellene o pisotee el micro humedal generado por los propios drenajes de la carretera, demorando las mismas hasta el momento en que el nivel freático sea el menor.	L2, L33
Evitar la realización de las obras dentro de los límites del Parque Natural durante la primavera, dado que se trata de la época más sensible para la mayoría de las comunidades biológicas.	L7, L26
Retirar los anfibios y sus puestas, con carácter previo a la ejecución de las obras, en las proximidades de las cunetas de tierra.	L8, L28
Llevar a cabo la extracción y aviveramiento de los ejemplares arbóreos destacados que puedan verse afectadas por las obras.	L8, L28
Proteger el arbolado mediante pequeñas barreras de materiales naturales que permitan defender los troncos de posibles daños.	L11, L57
Adaptar las arquetas para facilitar el escape de micro fauna y construirlas con piedra reutilizada de la zona.	L14, L57

BUENA PRÁCTICA AMBIENTAL	CORRESPONDENCIA
Rematar adecuadamente las bases de señales y otras infraestructuras viarias de forma que no quede el hormigón a la vista, sino una cubierta vegetal o roca propia del entorno.	L18, L57
Integrar visualmente los caños de la obra mediante el uso de piedra de la zona.	L18, L57
Señalizar sendas y caminos, con materiales y diseños acorde al entorno natural.	L18, L57
Usar una bionda "ecológica" de madera tratada, con su trasdós pintado con colores verdosos o marrones mates para contribuir a la integración visual de este elemento.	L20, L22
Proteger el ganado y controlar la erosión que este produce.	L32, L46
Evitar el acopio de materiales en zonas ambientales singulares o en zonas que se puedan encharcar y reutilizarlos de forma rápida.	E9, W13
Retirar materiales con riesgo de ser arrastrados y con posibilidad de afectar a la calidad de las aguas (cintas de obra, carteles de limitaciones por obra, restos de sacos de cemento, restos de morteros, aglomerado, tubos, plásticos, restos de maderas de los encofrados, etc.) de la red de drenaje.	E39, L51
Controlar las zonas de tránsito de maquinaria alejándolas en lo posible de los arroyos y vaguadas.	E5, W24, W25
Preparar el sistema de limpieza general de todo el conjunto de la obra para garantizar una adecuada finalización de la misma.	E18, E64, L51
Recoger los aceites usados para su posterior traslado a puntos de recogida autorizados.	E34, E70, W16
Emplazar el parque de maquinaria y el almacén de combustible en zonas adecuadas.	E47, W13, L12
Construir muretes de mampostería, con piedra reutilizada del lugar, en el pie del talud de los desmontes más apreciables, a fin de retener la tierra vegetal y permitir la plantación de árboles y arbustos.	E54, F21, L57
Revegetar todos los taludes de desmonte o relleno que resulten de las obras. Se procederá para ello a la hidrosiembra de los taludes de mayor pendiente o de roca, y en los de menor pendiente se realizará el extendido de tierra vegetal y la siembra de especies herbáceas autóctonas.	E55, E57, L4

Tabla 13 Buenas Prácticas Ambientales presentes en el Proyecto

(Valle Álvarez, Plan de Vigilancia Ambiental del Puerto de Palombera, Junio 2003) (Valle Álvarez, Informe Extraordinario del humedal del puerto, Julio 2003) (Valle Álvarez, Plan de Vigilancia Ambiental del puerto de Palombera, Abril 2004) (Valle Álvarez, García Fernández, del Jesus Clemente, & de la Puente, 2005)

Inspección de campo

Con el objetivo de comprobar el estado actual de la carretera y poder así valorar algunas de las buenas prácticas aplicadas en la misma se ha realizado una visita al lugar a principios del mes de mayo, tomándose varias fotografías de aquellos elementos que se han considerado más relevantes.

A continuación se van a mostrar algunas de la fotografías, comentando brevemente cada una de ellas. El resto de imágenes correspondientes a esta inspección de campo pueden encontrarse en el Anexo Fotografías de Palombera, al final de este documento.

Figura 36 Cuneta de sección rectangular de piedra cubierta de hojas secas

En la carretera de Palombera se construyeron unas cunetas especiales de piedra que supusieron un coste elevado. Se eligió esta tipología de cuneta dado que además de servir como elemento de drenaje de la carretera hacía también las veces de hábitat para anfibios. En la visita se pudo comprobar que en toda la carretera estas cunetas se hallaban colmatadas de hojas secas, seguramente debido a una falta de mantenimiento, por lo que no pudieron encontrarse hábitats de anfibios allí.

Figura 37 Cartel advirtiendo de la existencia de un paso de anfibios

En algunos puntos de la carretera había carteles señalizadores de pasos de anfibios, con sus bases correctamente integradas en el entorno. Puede también apreciarse en la imagen la presencia de la barrera de seguridad de madera utilizada y también los taludes con vegetación que facilitan la integración visual de la carretera.

Figura 38 Paso de fauna con cartel indicador

Figura 39 Zona de humedal temporal del alto de Palombera

El paso de fauna del alto de Palombera estaba también debidamente señalizado con un cartel y se construyó sin afectar al humedal temporal adyacente que se había formado como consecuencia del drenaje de la carretera antigua.

Figura 40 Puente de piedra de Los Tejíos con poyos

Es muy frecuente el empleo de piedra de la zona en elementos como muros y puentes. También pudo observarse la reutilización de elementos de la carretera antigua como los “poyos”, piezas tronco cónicas de piedra en puentes, como puede apreciarse en la imagen superior.

Esta reutilización de piedra está también muy presente en las rehabilitaciones del mirador de La Cardosa y de La Fuente del Bebedero. Se puede ver en la imagen siguiente una pequeña zona de estacionamiento construida en piedra junto al mirador de La Cardosa, con un tramo de la barrera de seguridad de madera en un primer plano.

Figura 41 Mirador de La Cardosa

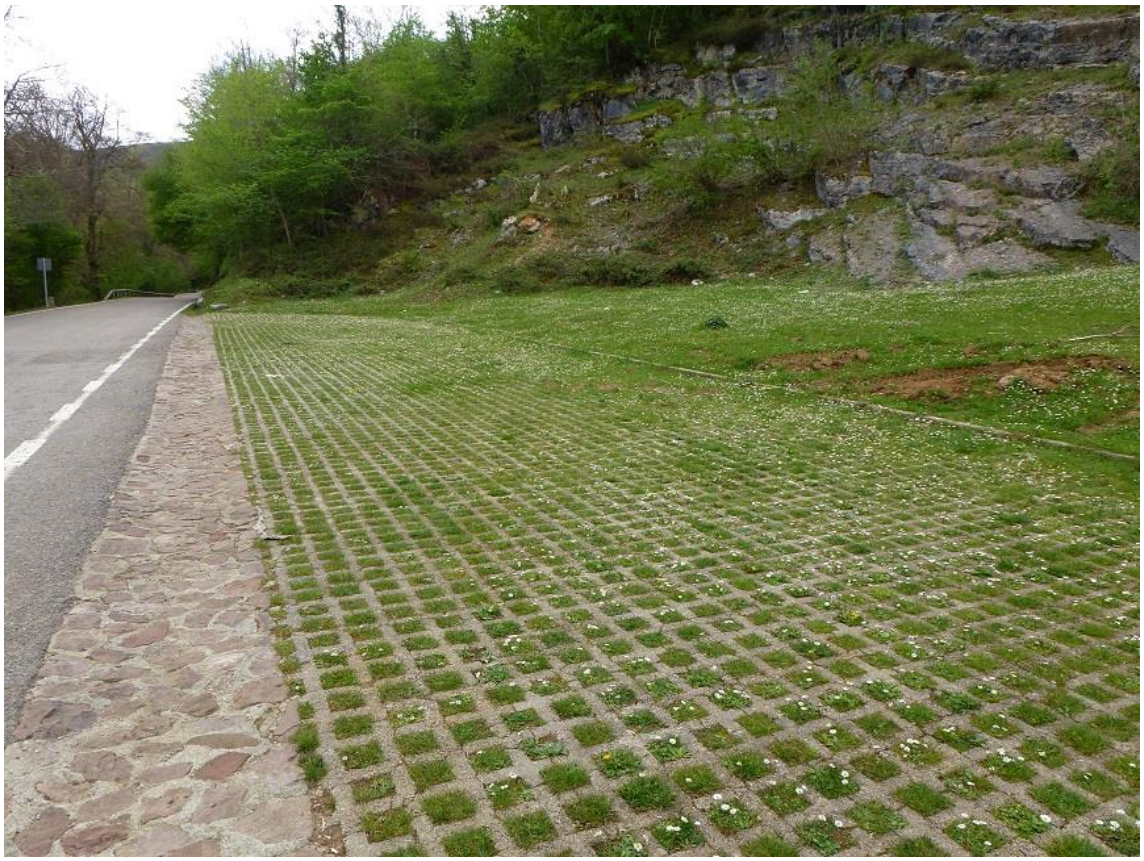


Figura 42 Zona de aparcamiento de hormigón con césped junto a la carretera

Otro claro ejemplo de integración paisajística es el aparcamiento de coches que hay junto a la carretera. Se trata de un pavimento de hormigón y césped que permite un paso gradual entre el asfalto y la zona verde más allá del parking, reduciendo el impacto visual producido por la presencia del hormigón.

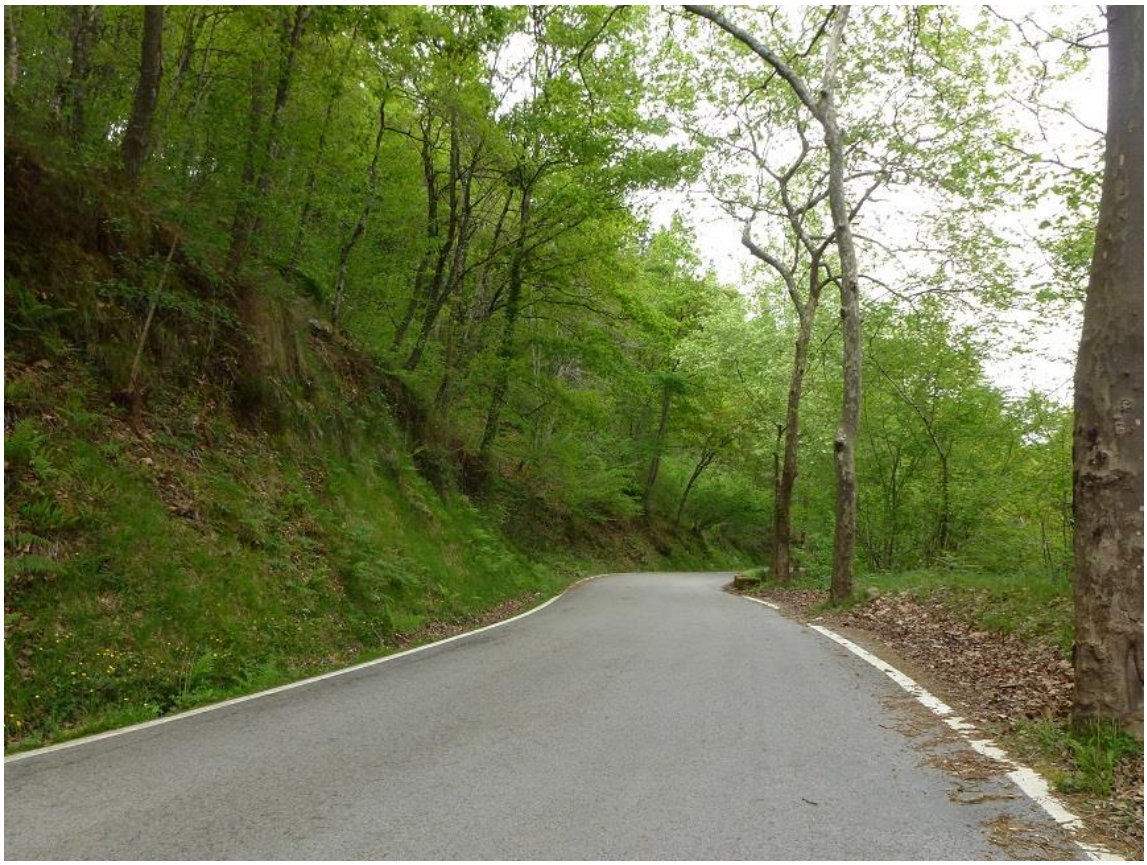


Figura 43 Tramo de la carretera con árboles muy próximos

En algunos casos lo esfuerzos por integrar visualmente la carretera y por reducir los impactos en el medio natural han podido suponer una pérdida en términos de seguridad vial. La última imagen mostrada es un magnífico ejemplo de integración paisajística de la carretera: taludes completamente cubiertos de vegetación, ausencia de elementos artificiales como señales o barreras de seguridad y presencia de árboles en los márgenes.

Por otro lado, esta imagen también nos muestra un claro ejemplo de falta de seguridad vial. La presencia de árboles tan cerca del margen derecho supone en primer lugar un riesgo de colisión importante al no existir una barrera de seguridad en la carretera y los mismos. Además, para conservar esos árboles es necesario prescindir de la cuneta en ese lado, lo cual puede derivar en una acumulación de agua en esa zona que incrementaría el riesgo de accidente.

Al igual que sucedía con las cunetas puede observarse cierta falta de mantenimiento en los márgenes de la carretera, donde se acumulan hojas secas que en algunos tramos llegan a introducirse dentro de la propia calzada. Esto sumado a la presencia de agua puede suponer un peligro para la circulación de vehículos.

Tras la realización de la visita puede afirmase que se trata de una obra muy bien integrada en el paisaje, en gran parte gracias a las buenas prácticas que se decidió aplicar. Se ha podido apreciar, sin embargo, cierta falta de mantenimiento que hace que se pierdan algunas de sus características (creación de hábitats de anfibios en cunetas y seguridad vial).

BPAs propuestas

Adicionalmente a las prácticas ya incluidas en el proyecto, se propondrán a continuación otra serie de medidas para cubrir aquellos aspectos en los que se considere que puede existir alguna carencia.

La mayoría de las BPAs recogidas en el proyecto van encaminadas a evitar problemas derivados de la acumulación y mala gestión de residuos en las inmediaciones de las obras y de la contaminación de las aguas, debida al arrastre de sedimentos y otros materiales; también se presta especial atención a la integración paisajística de la carretera y a la preservación de especies vegetales y de los hábitats de anfibios existentes en los márgenes de la infraestructura viaria.

Respecto al empleo de materiales, se trata de fomentar la reutilización de la piedra del lugar allí donde sea posible, pero no se propone ninguna otra medida relacionada con el reciclaje o la reutilización. Podemos encontrar también algunas medidas orientadas a rehabilitar y respetar el patrimonio existente en la zona, controlar los niveles de ruido o minimizar la ocupación del suelo.

En general, las prácticas presentes en el proyecto cubren la mayoría de los elementos señalados en el apartado de Clasificación de Impactos de este documento, pero se estima oportuno añadir alguna medida más, especialmente algunas referidas al elemento Fuego (Energía). Las Buenas Prácticas Ambientales que se proponen se muestran en la siguiente tabla:

BUENA PRÁCTICA AMBIENTAL	CÓDIGO
Tener vigente la ITV y realizar un buen mantenimiento periódico de vehículos y maquinaria de acuerdo con las instrucciones del fabricante para garantizar su correcto funcionamiento.	A4
Seguir criterios de conducción eficiente y apagar las máquinas cuando no se vayan a utilizar, no dejando el motor en marcha (incluso al ralentí).	A7
Fabricar mezclas bituminosas en frío, templadas o semicalientes permite reducir los consumos energéticos y las emisiones de gases de efecto invernadero con respecto a las mezclas bituminosas en caliente convencionales.	A8
Planificar los trabajos de regado de las superficies de trabajo después de que se hayan producido precipitaciones (de no mucha intensidad) para disponer de un suelo ya humedecido.	A11
Reducir la propia carga detonante mediante microvoladuras controladas.	A21
Evitar superficies de suelo lisas mediante la escarificación de las mismas para reducir la erosión del viento, mejorar la infiltración del agua, evitar el deslizamiento de la tierra extendida y facilitar la siembra y la implantación vegetal.	E3
Aplicar productos medioambientalmente inocuos sobre la superficie del suelo para aumentar su tensión superficial, evitando temporalmente la erosión producida por el agua y reduciendo así la generación de polvo y la erosión eólica del suelo.	E48
Instalar drenajes en los taludes para interceptar y dirigir el agua de escorrentía superficial o subterránea que discurre por los ellos hacia un curso de agua estabilizado, un dispositivo de retención o un área de suelo estabilizado. Mediante cunetas o tuberías se dirige el flujo superficial lejos de áreas con pendiente, evitando la erosión de los taludes.	E50

BUENA PRÁCTICA AMBIENTAL	CÓDIGO
Colocar dispositivos en el desagüe de las tuberías, obras de drenaje y áreas de vertido a modo de zampeados de rocas y troncos combinados en ocasiones con geotextil para reducir la velocidad y/o energía de los flujos de agua de escorrentía y prevenir la erosión.	E51
Evitar movimientos de tierras innecesarios planificando los mismos con anterioridad, reutilizando y compensando las tierras excavadas, minimizando así el impacto sobre la capa superior de tierra vegetal y su transporte a vertedero exterior.	E73
Emplear productos biodegradables y no peligrosos en las labores de limpieza a la vez que se minimiza el consumo de agua para reducir el volumen de aguas contaminadas generado.	W6
Emplear preferiblemente sistemas de lavado a presión.	W18
Disponer zanjas de desviación a lo largo de los caminos de acceso para recoger las aguas contaminadas y llevarlas las zonas de tratamiento.	W34
Fomentar la utilización de materiales fabricados con menor gasto energético.	F11
Procurar elegir la maquinaria y vehículos de mayor rendimiento energético que disponen ya de una etiqueta que hace referencia al mayor o menor consumo de energía de estos.	F18
Sustituir si es posible el diésel/gasolina por biodiesel/bioetanol.	F19
Fomentar el uso de materiales reciclados y de subproductos de origen industrial, como ejemplos destacan la incorporación de partículas procedentes de neumáticos fuera de uso para los aglomerados asfálticos, la sustitución de áridos naturales por escorias negras de acería y residuos de construcción y demolición o la sustitución del filler de origen natural por arenas de fundición y cenizas volantes.	F21
Impedir la expansión de las especies vegetales invasoras, tanto en el espacio de la propia obra como en su entorno mediante estudios previos, inspecciones de campo, cartografías temáticas y eliminación de los ejemplares presentes aplicando los tratamientos adecuados.	L25
Inspeccionar las zonas de acumulación de agua, incluidas las balsas y trampas de sedimentos de forma singular, especialmente en la época de actividad de los anfibios.	L31
Considerar la implementación de métodos alternativos a los herbicidas como la eliminación manual o mecánica y el uso herbicidas naturales no contaminantes cuando sea posible.	L36
Realizar el transporte de las plantas empleadas en las labores de revegetación de la forma más rápida posible, disponiendo de las medidas oportunas contra los agentes atmosféricos y en una cantidad tal que puedan ser plantadas en un mismo día.	L44
Disponer las plantas sobrantes en una zanja y cubrirlas convenientemente para que queden protegidas si no es posible plantarlas todas en el mismo día. Puede ser también necesario efectuar un riego para alcanzar la humedad necesaria.	L45
Cumplir con las jornadas de trabajo establecidas por la legislación.	L52
Disponer de equipos de protección personal para todos los trabajadores.	L55
Disponer de equipos para primeros auxilios y para la extinción y control de incendios en las instalaciones.	L56

Tabla 14 Buenas Prácticas Ambientales adicionales propuestas

Caso práctico de cálculo de la Huella de Carbono

Estimación de la Huella de Carbono

Para la estimación de la huella de carbono (HC) de la obra escogida se siguen las pautas marcadas por la norma ISO 14064-2 "Especificación con orientación, a nivel de proyecto, para la cuantificación, el seguimiento y el informe de la reducción de emisiones o el aumento en las remociones de gases de efecto invernadero". (AEN/CTN 216, Abril 2012)

Es necesario, en primer lugar, detectar aquellas fuentes de gases de efecto invernadero (GEI) presentes durante la ejecución del proyecto y los sumideros o reservorios de GEI existentes en la obra. Se tomará como escenario de la línea base la actual carretera de Palombera, contando con las mediciones del proyecto real para llevar a cabo el cálculo aproximado de su HC.

Se consideran como fuentes de emisión de GEI:

- Los materiales principales empleados en la obra. Todos aquellos que sean reutilizados o reciclados conllevarán una reducción en la HC, frente al empleo de materiales completamente nuevos.
- Toda la maquinaria y otros equipos de trabajo, así como los vehículos empleados por los trabajadores para su transporte hasta el lugar de las obras. La adquisición de maquinaria de mayor eficiencia energética, el uso eficiente de la misma y su correcto mantenimiento colaborarán en la reducción de la HC.
- La energía consumida en la obra, atendiendo a los GEI generados en el proceso de producción de la misma. El empleo de fuentes de energía limpias supondrá una reducción importante en la emisión de GEI.

Como sumideros de GEI se considerarán las zonas cubiertas por vegetación en los márgenes de la carretera, ya que ayudan a remover el CO_2 de la atmósfera. Por ello todas las medidas encaminadas a minimizar los desbroces y retirada de árboles, así como todas las labores de restauración que impliquen la revegetación de los márgenes o taludes a través de técnicas como la hidrosiembra tendrán un impacto positivo en la reducción de la HC.

Dado que no se dispone del 100% de los datos necesarios para un cálculo preciso, habrá que realizar una serie de estimaciones que permitan llegar a un resultado aproximado de la HC asociada a la obra de Palombera. Se va a dividir el cálculo en tres apartados diferentes: maquinaria, materiales y energía. En cada uno de ellos se describirán las fuentes consultadas, explicando el procedimiento seguido para la obtención de los resultados.

Maquinaria

Para la HC de carbono asociada a la maquinaria se considerarán las horas de trabajo de cada máquina, recogidas en las mediciones del proyecto. Dado que no se cuenta con el modelo exacto de cada tipo de máquina empleado, se tomarán modelos medianos en consideración a las dimensiones de las obras.

Se van consultar dos bases de datos de HC asociadas a la maquinaria, y adicionalmente se va a realizar un cálculo de la HC valiéndose de otros medios, para comparar así los resultados obtenidos:

- La primera fuente consultada es la web HueCO2, ya utilizada previamente en este trabajo, en la que se muestran los factores de emisión de la maquinaria, materiales, energía y transporte. El procedimiento seguido para la obtención de este valor está descrito en la web, y es el siguiente: se tiene en cuenta un perfil de trabajo medio para poder calcular el consumo de combustible de la máquina en cuestión, multiplicándolo a continuación por el factor de emisión del gasóleo y obteniéndose de este modo los kg de CO_2 equivalente por hora de trabajo.
- La otra base de datos consultada es el banco BEDEC, del Instituto de Tecnología de la Construcción (ITeC), a la que también se recurrió anteriormente en el trabajo. En ella pueden consultarse las huellas de carbono de multitud de elementos constructivos y maquinaria. En la página del banco BEDEC no aparecía descrito el procedimiento de cálculo seguido para la obtención de los valores; por ello se pidió información a través del correo electrónico, recibiendo una respuesta rápida en la cual se detallaba la metodología de cálculo. Las emisiones de CO_2 de la maquinaria se calculan a partir de la potencia de la máquina, a la que se le aplica un factor en kgCO2/MJ en función del tipo de motor (combustión o eléctrico). La energía de la máquina en un elemento de obra, se calcula a partir de la potencia y del tiempo de funcionamiento en la elaboración del elemento.
- El cálculo adicional de los factores de emisión de la maquinaria se lleva a cabo siguiendo el mismo procedimiento que la web HueCO2. En primer lugar, empleando un manual de maquinaria de Caterpillar, se obtienen los consumos de combustible para cada modelo de máquina (suponiendo la media del perfil de trabajo medio). En segundo lugar, se toma el valor del factor de emisión del gasóleo A: 2,471 kg de CO_2/litro, obtenido de (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2015). El producto de ambos nos permite obtener un factor de emisión para cada máquina, en Kg CO_2 eq/h.

Tras realizar varias comparaciones con los valores obtenidos de los tres modos antes descritos, se ha observado lo siguiente:

Los valores de la web HueCO2 y del cálculo adicional son bastante similares, siendo algo inferior el mostrado en la web. Es lógico que esto sea así puesto que el procedimiento seguido en ambos casos es el mismo, produciéndose las variaciones debido a las diferencias a la hora de establecer los consumos de combustible y el factor de emisión del gasóleo. Los valores obtenidos del banco BEDEC, en cambio, son enormemente superiores a los otros dos.

En las tablas mostradas a continuación pueden apreciarse las diferencias entre los factores de emisión obtenidos, de tres formas distintas, para la maquinaria recogida en las mediciones del proyecto del puerto de Palombera.

HueCO2	
MAQUINARIA	FACTOR EMISIÓN (Kg CO_2 eq / h)
Pala cargadora sobre ruedas 0,9 m³ de capacidad 52kW	17, 08 – 20,87
Camión basculante 225kW 8-12 m³ 20t	37,56 – 41,51
Motoniveladora 144-193kW	39,71 – 48,53
Rodillo de neumáticos 75kW 12-17t	26,69 – 32,62
Pala cargadora sobre ruedas 2-5 m³ de capacidad 105-126kW	18,01 – 22,02

Tabla 15 Factores de emisión de maquinaria (HueCO2)

Banco BEDEC	
MAQUINARIA	FACTOR EMISIÓN (Kg CO_2 eq / h)
Pala cargadora sobre neumáticos de 8 a 14 t	176,46
Camión para transporte de 20 t	325,89
Motoniveladora mediana	236,87
Rodillo vibratorio autopropulsado de 12 a 14 t	171,69
Pala cargadora sobre neumáticos de 15 a 20 t	287,74

Tabla 16 Factores de emisión de maquinaria (banco BEDEC)

Cálculo adicional		
MAQUINARIA	CONSUMO COMBUSTIBLE (L / h)	FACTOR DE EMISIÓN (Kg CO_2 eq / h)
Cargador de ruedas modelo 914G/IT14G de 72Kw	9,25	22,86
Camión articulado modelo 725 de 225kW	17,8	43,98
Motoniveladora modelo 160M de 159kW	20,45	50,53
Compactador vibratorio modelo CS433E[1,2,3] de 75kW	14	34,59
Cargador de ruedas modelo 950H de 146kW	9,05	22,36

Tabla 17 Factores de emisión de maquinaria (cálculo adicional)

MAQUINARIA	FACTOR DE EMISIÓN (Kg CO_2 eq / h)		
	HueCO2	Banco BEDEC	Cálculo adicional
Pala cargadora s/neumáticos	17, 08 – 20,87	176,46	22,86
Camión basculante	37,56 – 41,51	325,89	43,98
Motoniveladora	39,71 – 48,53	236,87	50,53
Compactador de neumáticos	26,69 – 32,62	171,69	34,59
Pala cargadora s/neumáticos 147 Kv	18,01 – 22,02	287,74	22,36

Tabla 18 Factores de emisión de la maquinaria del proyecto

Para calcular la huella de carbono de la maquinaria empleada en Palombera se van a tomar rangos para los factores de emisión, utilizando los valores mínimos y máximos obtenidos de la forma antes descrita. El producto de las horas de trabajo de cada máquina por estos rangos de factores nos proporcionará un rango de emisiones de CO_2.

MAQUINARIA	TRABAJO (h)	FACTOR DE EMISIÓN (Kg CO_2 eq / h)	EMISIÓN DE CO_2 (t)
Pala cargadora s/neumáticos	48	17,08 – 176,46	0,82 – 8,47
Camión basculante	37	37,56 – 325,89	1,39 – 12,06
Motoniveladora	19	39,71 – 236,87	0,75 – 4,5
Compactador de neumáticos	28	26,69 – 171,69	0,75 – 4,81
Pala cargadora s/neumáticos 147 Kv	18	18,01 – 287,74	0,32 – 5,18
TOTAL	-	-	4,03 – 35,02

(Caterpillar, 2009) (Generalitat de Catalunya, 2011) (Grupo VIAS, 2012) (ITeC, 2015) (TECNIBERIA, 2015)

Materiales

Se va a realizar una recopilación de los factores de emisión de los materiales principales utilizados en obra civil y en edificación. Se decide optar por un rango de valores para cada uno de estos factores ya que en función de la metodología seguida para el cálculo, las características particulares de cada material (por ejemplo en el caso del hormigón, cuyo factor de emisión depende del tipo de cemento con el que se elabore) y los procesos considerados en su ciclo de vida existe una incertidumbre que puede llevar a obtener valores distintos.

MATERIAL	FACTOR DE EMISIÓN
Zahorra artificial	10,64 – 11,76 Kg CO_2 eq / m^3
Hormigón en masa (25 – 30 Mpa)	212,44 – 318,66 Kg CO_2 eq / m^3
Hormigón armado (25 – 30 Mpa)	248,63 – 372,94 Kg CO_2 eq / m^3
Cemento (general)	732,45 – 833 Kg CO_2 eq / t
Barras de acero corrugado (no reciclado)	2.631,5 – 2.908,5 Kg CO_2 eq / t
Agua	0,29 – 0,33 Kg CO_2 eq / m^3
Mezcla bituminosa caliente*(1)	34,97 – 299,16 Kg CO_2 eq / t
Betún*(2)	165,53 – 6.478,29 Kg CO_2 eq / t
Emulsión bituminosa*(3)	193,56 – 3.890 Kg CO_2 eq / t
Perfil laminado de acero*(4)	1.650 – 4.000 Kg CO_2 eq / t
Tubo de PVC*(5)	9,61 – 106,73 Kg CO_2 eq / m

Tabla 19 Factores de emisión de CO_2 de los principales materiales de construcción

*(1) En el caso de las mezclas bituminosas los datos del banco BEDEC son bastante superiores a los de las otras fuentes consultadas, cuyos valores oscilan entre 35 – 80 Kg CO_2 eq / t.

*(2) El betún tiene un rango enormemente amplio, los valores obtenidos varían mucho en función de la fuente consultada: (TECNIBERIA, 2015) propone valores entorno a los 175 Kg CO_2 eq / t, (Jones, 2011) calcula unos 500 Kg CO_2 eq / t (aunque añade una nota explicando que para este material las emisiones de CO_2 resultan difíciles de estimar) y el banco BEDEC sugiere valores muy por encima de los anteriores, entorno a los 6480 Kg CO_2 eq / t. No se han podido encontrar más referencias sobre emisiones de CO_2 del betún.

*(3) Las emulsiones bituminosas presentan un rango muy amplio, existiendo grandes diferencias entre el valor de (TECNIBERIA, 2015), que estima 200 Kg CO_2 eq / t y el del banco BEDEC, que está entorno a los 3890 Kg CO_2 eq / t. No ha sido posible encontrar otras fuentes que ofrezcan más información acerca de las emisiones de emulsiones bituminosas.

*(4) Para los perfiles laminados de acero también se obtiene un rango amplio de valores, ya que en caso de emplearse acero reciclado se reducen considerablemente las emisiones frente al empleo de material virgen.

*(5) En los tubos de PVC se da un rango amplio ya que su factor de emisión dependerá enormemente del diámetro utilizado, se ha tomado como límite inferior 110 mm de diámetro y como como límite superior 600 mm de diámetro.

(Ortiz Ripoll & Moncunill Farré, 2006) (Jones, 2011) (Mercader, Ramírez de Arellano, & Olivares, 2012) (ITeC, 2015) (TECNIBERIA, 2015)

Emisión de CO_2 en función del tipo de obra

Para obtener un valor preciso de la huella de carbono de una determinada obra es necesario conocer a fondo todas sus características, lo cual además de no ser siempre posible conlleva una importante inversión de tiempo. Por ello resulta interesante conocer un orden de magnitud aproximado de la huella de carbono asociada a una tipología de obra concreta, en función de su superficie o longitud para poder obtener una primera cifra orientativa de forma rápida.

Los valores que se dan a continuación tienen en cuenta únicamente las emisiones de carbono asociadas al empleo de materiales durante la fase de construcción, no se tienen en cuenta las emisiones producidas durante la fase explotación de la obra:

- Para la construcción de una vivienda estándar se estima un valor de entre 0,5 y 0,75 Toneladas de CO_2 equivalente / m^2. (Ministerio de Vivienda del Gobierno de España, 2007) (Casanovas, 2009)
- La construcción de un túnel en un entorno urbano tiene unas emisiones aproximadas de entre 140 y 280 Toneladas de CO_2 / metro lineal. (Transfer Enginyeria S.A., 2014)
- En la construcción de carreteras el rango es aún mayor, variando las emisiones producidas entre 103 y 3.234 Toneladas de CO_2 equivalente / Kilómetro, en función del tipo de vía: autopista, carretera nacional, provincial o rural. (Egis, 2010)

Materiales de la obra de Palombera

Partiendo de los valores de factores de emisión del apartado anterior se va a calcular la huella de carbono aproximada de los materiales de construcción principales de la obra de Palombera. Para ello, se utilizarán las mediciones de dicha obra, seleccionando únicamente aquellos materiales recogidos en el apartado anterior; después se multiplicará cada medición por su factor de emisión correspondiente, de modo que se obtendrán unos rangos de emisiones de CO_2 para cada material empleado.

Para poder simplificar el cálculo, se considerará que todo el hormigón que aparece recogido en las mediciones es de un mismo tipo, para poder utilizar el factor de emisión obtenido antes. Dado que no se cuenta con los planos del proyecto, no es posible determinar los metros cúbicos de hormigón empleados en unidades de obra como arquetas, drenes, bordillos o prelosas.

En las mediciones tampoco se especifica si el acero utilizado es reciclado o no, por ello se toma el caso más desfavorable posible, considerando que se trata de material no reciclado.

Como factor de emisión de la grava de cantera se toma el mismo valor que para la zahorra, ya que son muy similares (el de la grava de cantera se cifra en unos 8 Kg CO_2 eq / m^3, según (ITeC, 2015)).

Para los tubos de PVC empleados se distinguirá entre los distintos diámetros recogidos en las mediciones del proyecto, y se utilizarán los factores de emisión para cada diámetro proporcionados por (ITeC, 2015). Será el único de los materiales que no utilizará un rango de valores en su factor de emisión, ya que sólo se obtienen de una fuente que no indica un porcentaje de incertidumbre.

Al tratarse de una obra de carretera, algunos de los materiales más abundantes serán aquellos empleados en el pavimento, como el betún, las mezclas bituminosas y las emulsiones. Dado que estos materiales eran aquellos que presentaban un mayor rango de valores, debido a las discrepancias entre distintas fuentes, es previsible la obtención de un rango muy amplio de valores de la huella de carbono asociada a los materiales de esta obra.

MATERIAL	FACTOR DE EMISIÓN	MEDICIÓN	EMISIÓN DE CO_2 (t)
Hormigón	212,44 – 318,66 Kg CO_2 eq / m^3	1.148,247 m^3	243,93 – 365,90
Barras de acero corrugado	2.631,5 – 2.908,5 Kg CO_2 eq / t	37,809 t	99,49 – 109,97
Cemento	732,45 – 833 Kg CO_2 eq / t	223,936 t	164,02 – 186,54
Zahorra artificial y grava	10,64 – 11,76 Kg CO_2 eq / m^3	32.409,678 m^3	344,84 – 381,14
Mezcla bituminosa caliente	34,97 – 299,16 Kg CO_2 eq / t	58.940,454 t	2.061,15 – 17.632,63
Emulsión bituminosa	193,56 – 3.890 Kg CO_2 eq / t	481,226 t	93,15 – 1.871,97
Betún	165,53 – 6.478,29 Kg CO_2 eq / t	2.590,153 t	428,75 – 16.779,76
Tubo de PVC (D=110 mm)	6,75 Kg CO_2 eq / m	15 m	0,1
Tubo de PVC (D=125 mm)	6,10 Kg CO_2 eq / m	141 m	0,86
Tubo de PVC (D=300 mm)	31,84 Kg CO_2 eq / m	312 m	9,93
Tubo de PVC (D=400 mm)	43,04 Kg CO_2 eq / m	1.044 m	44,93
Tubo de PVC (D=600 mm)	106,73 Kg CO_2 eq / m	216 m	23,05
TOTAL	-	-	3.514,20 – 37.406,77

Tabla 20 Emisiones de CO_2 de materiales de la obra de Palombera

Energía

Utilizando los coeficientes de paso a energía primaria y factores de emisión de CO_2 proporcionados por el MAGRAMA podrían llegar a calcularse las emisiones de CO_2 asociadas al consumo de electricidad en las instalaciones de la obra. Dado que no se dispone del dato de la energía consumida en este proyecto, no es posible llevar a cabo dicho cálculo.

A la vista de los resultados obtenidos en los apartados de maquinaria y materiales resulta evidente que en una obra de carretera las emisiones de CO_2 generadas por la maquinaria y la electricidad consumida serán prácticamente insignificantes si las comparamos con las de los materiales utilizados.

Además en la obra de Palombera se tomaron una serie de medidas para reducir los impactos medioambientales que pueden también traducirse en una reducción de los consumos energéticos. Por un lado, se minimizó la cantidad de casetas de obra para reducir la ocupación de terreno en un entorno natural, existiendo únicamente una caseta en un pueblo próximo al lugar de trabajo. Por otro lado, al tratarse de una zona especialmente sensible es muy probable que para reducir la afección a la fauna se evitase trabajar en horario nocturno, evitando el consiguiente empleo de iluminación artificial.

Por ello puede estimarse que el consumo de energía fue menor al de otras obras de carretera, y como consecuencia se podrían llegar a despreciar las emisiones de CO_2 de la energía frente a las de los materiales.

Cotización de las emisiones de CO_2

A la vista de los resultados obtenidos, resulta interesante comprobar las diferencias a nivel económico que existen en función de la base de datos de factores de emisión que se utilice. Para ello se ha consultado el precio actual del carbono, en €/Tonelada, para convertir las emisiones de CO_2 obtenidas en los apartados anteriores de maquinaria y materiales en euros.

El precio del carbono se obtiene de (SendeCO2, 2015), se trata de un sistema electrónico de derechos de emisión de dióxido de carbono en el que se muestran los precios históricos del carbono desde el año 2008 hasta la actualidad, con los valores máximos, mínimos y la media de los últimos 30 días. Para el cálculo que se ha comentado se va a tomar el último valor disponible, correspondiente al día 30 de Marzo de 2015, que es 6,88 €/Ton.

ÁMBITO	EMISIONES DE CO_2 (t)	PRECIO DEL CARBONO (€/t)	COTIZACIÓN (€)
Maquinaria	4,03 – 35,02	6,88	27,73 – 240,94
Materiales	3.514,2 – 37.406,77	6,88	24.177,70 – 257.358,58
Total	3.518,23 – 37.441,79	6,88	24.205,43 – 257.599,52

Tabla 21 Cotización de las emisiones de CO_2 (SendeCO2, 2015).

Como puede observarse en la tabla, las emisiones de la maquinaria son insignificantes en comparación con las obtenidas para los materiales. Por otro lado, la gran diferencia ya presente entre los valores máximos y mínimos de toneladas de CO_2 en los materiales se ve aún más incrementada al aplicarle el precio del carbono. Teniendo en cuenta los rangos tan amplios obtenidos en la cotización por emisiones de CO_2 cabe esperar un impacto considerable en el coste total de las obras, dependiendo de la fuente utilizada para el cálculo de la huella de carbono. Las diferencias que pueden llegar a obtenerse son superiores a los 200.000€, una cantidad que a priori no parece ser nada despreciable.

Si tenemos en cuenta que el coste de este proyecto fue aproximadamente de unos 5,30 millones de euros, la cantidad correspondiente a la cotización por emisiones de CO_2 supondría entre un 0,46% y un 4,86% del coste total. Esto supone que las diferencias entre las fuentes pueden cifrarse, para este caso, en un 4,4 % del coste total del proyecto.

Como ha podido verse a lo largo de todo este trabajo, la emisión de gases contaminantes es sólo uno de los muchos impactos ambientales adversos que pueden producirse en la construcción de obras civiles. Los ecosistemas se ven enormemente afectados por este tipo de actuaciones, y al igual que existe un mercado de emisiones de carbono que logra incentivar económicamente la reducción las mismas, también existen bancos de biodiversidad, herramientas de conservación que permiten que la iniciativa privada se involucre en la gestión y creación de espacios naturales, pudiendo obtener beneficio económico por ello.

La idea nació vinculada al mantenimiento de zonas húmedas en los EE.UU. en la década de los 80 y se está extendiendo progresivamente en otros países. El propósito de los bancos de biodiversidad es compensar los daños causados a los ecosistemas y a las especies que los habitan con el mantenimiento de entornos naturales similares en otras zonas.

Cualquier actuación de conservación, mejora o creación de un ecosistema o de un recurso natural, se valora en créditos ambientales. Con las mismas unidades de medida, se valora un impacto y los créditos obtenidos de la mejora del ecosistema en cuestión son utilizados para compensar el impacto evaluado. No es posible valerse de la compra de créditos para dañar libremente el medio, ya que antes de poder acceder a su compra es necesario que el promotor del impacto haya puesto todos los medios necesarios a su alcance para evitar el daño, y en caso

de no poder evitarlo, minimizarlo (Eroski Consumer, 2015) (Mercados del medioambiente, 2015).

Propuesta de valoración de las BPAs en emisiones de CO_2

Con el objetivo de hacer una valoración cuantitativa del efecto que tienen las buenas prácticas ambientales aplicadas en la obra del puerto de Palombera se van a proponer una serie de valores de reducción de las emisiones de CO_2 para las distintas BPAs empleadas, primero en el caso del proyecto real y después considerando las medidas adicionales propuestas, para poder establecer una comparación al final.

Se van a diferenciar dos grandes grupos dentro de las BPAs recopiladas en este trabajo:

- BPAs de reducción directa. En este grupo se incluyen aquellas medidas que permiten una reducción real en las emisiones de CO_2, y a su vez se divide en otros tres grupos:
  - Maquinaria: las BPAs encaminadas a reducir los consumos de combustible de la maquinaria colaborarán en la reducción de emisiones de dióxido de carbono.
  - Materiales: aquellas BPAs que permitan algún tipo de ahorro energético en la fabricación, puesta en obra y transporte de los materiales utilizados supondrán también una reducción en la cantidad de CO_2 emitida.
  - Sumideros: las zonas cubiertas de vegetación permiten la absorción de cierta cantidad de CO_2, por lo tanto, se tendrán en cuenta aquellas BPAs que favorezcan el crecimiento de vegetación en el entorno de la obra a la hora de estimar una posible reducción en la HC total.
- BPAs de reducción indirecta. Con el fin de incentivar la aplicación de BPAs que no logran una reducción real en la huella de carbono, se propone aplicar un porcentaje de reducción ficticio para el resto de medidas dirigidas a reducir los impactos sobre la fauna, el suelo, el agua, el paisaje, etc. Se trataría de una posible alternativa a los bancos de biodiversidad, ya que se podrían traducir las reducciones de CO_2 conseguidas de este modo en unidades monetarias, promoviendo así la aplicación de BPAs de todo tipo, no exclusivamente aquellas enfocadas a reducir de forma directa las emisiones de CO_2.

Valores de reducción

En este apartado se van a proponer las posibles reducciones para cada uno de los grupos de BPAs considerados. Dado que la reducción en la HC dependerá de las BPAs aplicadas y de las características particulares de cada obra, se van a dar algunos valores que podrían llegar a ser obtenidos para que sirvan como referencia. Más adelante se establecerán las reducciones obtenidas en el caso particular de Palombera, considerando las BPAs allí aplicadas.

Para la obtención del valor máximo relativo a la maquinaria se han tenido en cuenta por un lado las reducciones de consumo por conducción eficiente y correcto mantenimiento, que pueden llegar a ser del 15%. A estas se les podría añadir otras por empleo de maquinaria de mayor eficiencia energética, que se estima que pueden llegar a ser de hasta un 60% adicional. En caso de utilizar biocombustible se podrían llegar a reducciones en las emisiones de CO_2 de la maquinaria de hasta un 90% (PEUGEOT, 2015) (Ambientum, 2015).

Tal y como ha podido comprobarse anteriormente, en las obras de carretera los materiales con mayor peso en las emisiones de CO_2 son aquellos que forman parte de los firmes, debido tanto a su elevado factor de emisión como a su uso predominante en este tipo de construcciones. Por ello, cualquier medida que permita un ahorro energético en el empleo de mezclas bituminosas, emulsiones, betunes, etc. supondrá una reducción muy importante en la HC de los materiales.

Utilizando mezclas bituminosas templadas se puede llegar a reducir en un 70% las emisiones obtenidas respecto al empleo de mezclas en caliente. Por otro lado, también se podrán lograr reducciones utilizando materiales reciclados o materiales que se lleven asociado un menor consumo energético a su proceso de fabricación. Sin embargo, estas últimas no serán muy significativas debido a que el hormigón, el acero o la zahorra no tienen un gran peso en la huella de carbono de los materiales, de modo que se va a estimar esta posible reducción en un 5% (Woerdenbach, 2015).

Respecto a la cantidad de dióxido de carbono que puede llegar a ser removido de la atmósfera por los sumideros, no es posible establecer un porcentaje de referencia sobre la huella de carbono de la obra debido a que la cantidad de CO_2 absorbida dependerá de la cubierta vegetal de la zona. Para poder calcular esta reducción se va a considerar una capacidad de absorción de 10 kg CO_2 / (árbol · año); habrá que estimar la superficie que se considere cubierta por vegetación, la cantidad de árboles existentes en la misma, fijando los árboles / m², y el periodo de absorción de CO_2 (Scribd., 2015).

Dado que las BPAs de reducción indirecta que se recogen en el inventario son numerosas y muy variadas, pudiendo tener distintos efectos e importancia según cada obra, se va a proponer directamente un porcentaje en los siguientes apartados, considerando las BPAs aplicadas en los casos particulares que se van a estudiar.

Las huellas de carbono obtenidas anteriormente en el trabajo que van a ser utilizadas para la cuantificación de las reducciones, con su cotización correspondiente, son las siguientes:

ÁMBITO	EMISIONES DE CO_2 (t)	VALORACIÓN ECONÓMICA (€)	% VALORACIÓN
Maquinaria	4,03 – 35,02	27,73 – 240,94	0,11 – 0,09
Materiales	3.514,2 – 37.406,77	24.177,70 – 257.358,58	99,89 – 99,91
Total	3.518,23 – 37.441,79	24.205,43 – 257.599,52	100,00

Tabla 22 Valoración de la huella de carbono de la obra de Palombera

Consideración de las BPAs del proyecto

Teniendo en cuenta las prácticas que se aplicaron en el proyecto de Palombera se va a estimar la reducción correspondiente de su huella de carbono:

- No es posible reducir la HC de la maquinaria dado que no se tomó ninguna medida al respecto.
- La reutilización de la piedra del lugar en varios elementos de la carretera se considera que puede suponer una reducción del 2% en la HC de los materiales.
- Para el cálculo de la superficie cubierta por vegetación se van a considerar 2 m a cada lado de la carretera, a lo largo de una distancia igual al 70% de la longitud total del tramo estudiado (26,5 Km). Como concentración de árboles por unidad de superficie se toman 0,3 árboles/m² por tratarse de una zona con abundante vegetación y se considera un periodo de absorción de 10 años. Con esta estimación se obtiene una superficie de 74.200 m^2, con 22.260 árboles que logran reducir 2.226 toneladas de CO_2.
- La mayoría de BPAs aplicadas guardan relación con la integración visual de la carretera, la protección de la vegetación y la fauna, la creación de nuevos espacios verdes y la conservación de las características del entorno natural en definitiva. Por tratarse de una zona especialmente sensible se considera de vital importancia la aplicación de este tipo de medidas, de modo que se va a cuantificar en un 20% la reducción de la HC total por la aplicación de este conjunto de BPAs.

En la tabla siguiente se muestran las reducciones obtenidas para este caso:

BPAs	REDUCCIÓN (%)	REDUCCIÓN (t CO_2)	REDUCCIÓN (€)
Maquinaria	0,00	0,00	0,00
Materiales	2,00	70,28 – 748,14	483,53 – 5.147,20
Sumideros	63,27 – 5,94	2.226,00	15.314,88
Indirectas	20,00	703,65 – 7.488,36	4.841,11 – 51.519,90
Total	85,27 – 27,94	2.999,93 – 10.462,50	20.639,52 – 71.981,98

Tabla 23 Reducciones de huella de carbono con BPAs del proyecto

Se han tomado los valores máximo y mínimo del rango obtenido para la huella de carbono para poder comprobar las diferencias obtenidas en las reducciones. En el caso de la cantidad reducida por los sumideros será mayor su porcentaje cuanto menor sea el valor que escojamos para la huella de carbono, ya que se trata de una cantidad fija de t CO_2.

Consideración de las BPAs propuestas

Ahora se tendrán en cuenta las medidas recogidas en el proyecto con el añadido del resto de BPAs propuestas, para poder observar la mejora obtenida en la reducción de las emisiones.

- Con las nuevas BPAs referidas a la maquinaria se va a considerar que se obtendría una reducción del 70%.
- Al sustituir las mezclas en caliente por mezclas templadas se consigue una importantísima reducción en las emisiones de las mezclas bituminosas, principal material de carretera, que sumadas a las logradas por empleo de reciclados y reutilización de otros materiales de la zona permiten reducir la HC de los materiales en un 60%.
- La cantidad absorbida por los sumideros será igual que en el caso anterior ya que no se añadieron medidas adicionales relativas a la creación de espacios verdes, por estar estas ya suficientemente desarrolladas en el proyecto.
- Se ha propuesto algunas prácticas adicionales que se incluyen en el grupo de BPAs de reducción indirecta que junto con las ya presentes en el proyecto van a aplicar una reducción del 25%.

En la tabla siguiente se observan los resultados obtenidos en este segundo caso:

BPAs	REDUCCIÓN (%)	REDUCCIÓN (t CO_2)	REDUCCIÓN (€)
Maquinaria	70,00	2,82 – 24,51	19,40 – 168,63
Materiales	60,00	2.108,52 – 22.444,06	14.506,62 – 154.415,13
Sumideros	63,27 – 5,94	2.226,00	15.314,88
Indirectas	25,00	879,56 – 9.360,45	6.051,37 – 64.399,88
Total	148,28 – 90,95	5.216,90 – 34.055,02	35.892,27 – 234.298,52

Tabla 24 Reducciones de huella de carbono con BPAs del proyecto y BPAs propuestas

Porcentajes superiores al 100% indican una sobre compensación de las emisiones, que en términos económicos no solo supone la eliminación este coste, también produce un ingreso adicional gracias al exceso de derechos de emisión que pueden ser vendidos en el mercado de carbono.

Comparativa

Se puede apreciar claramente que para este caso concreto las BPAs de la maquinaria tienen un efecto prácticamente insignificante en la reducción total de emisiones. Esto es debido al poco peso que tiene la maquinaria en la huella de carbono total de la obra (0,11%).

Por el contrario, las BPAs de materiales logran una reducción enorme. En este caso se debe a que los materiales son fuente de prácticamente el 100% del CO_2 producido en la obra. La medida que ha influido más en esta reducción ha sido, sin lugar a dudas, la sustitución de las mezclas bituminosas calientes por otras de menor temperatura que producen contaminaciones muy inferiores, ya que como se ha comentado anteriormente las mezclas bituminosas son el material que produce una mayor cantidad de emisiones en obras de carretera.

El porcentaje absorbido por los sumideros varía enormemente dependiendo de la fuente que se utilice para calcular la huella de carbono. Cuanto menor sea la HC considerada mayor será el porcentaje que permiten reducir los sumideros, ya que como se ha explicado antes este tipo de reducciones son cantidades fijas que no dependen de la HC. En este proyecto se han respetado las zonas verdes a ambos lados de la carretera, lo que ha permitido conservar una amplia superficie de vegetación que actúa como sumidero. Si no se hubiesen adoptado este tipo de medidas las reducciones obtenidas serían inferiores, especialmente en caso de tomar el menor de los valores de la HC.

Viendo el efecto que pueden llegar a tener las reducciones propuestas para las BPAs de reducción indirecta, se puede concluir diciendo que en función de cómo sea la obra se pueden modificar los valores de compensación según los impactos que se busque minimizar y las medidas que se pretenda potenciar.

Se ha llegado a obtener una sobre compensación de las emisiones en caso de tomar el límite inferior del rango de valores de la HC, lo que nos vuelve a recordar la importancia de consultar fuentes de datos con factores de emisión fiables. Tomando el límite superior del rango de la HC no se logra alcanzar la sobre compensación, pero si se llega a reducciones muy elevadas, de hasta un 90%, que en términos económicos suponen un ahorro considerable.

Conclusiones

Discusión

En la primera parte del trabajo se han podido encontrar varios manuales de buenas prácticas ambientales aplicables en el sector de la construcción, incluso algunos específicos de obras de carretera. A partir del estudio de dichos manuales se ha podido elaborar un inventario amplio de buenas prácticas ambientales, aunque las medidas que tienen que ver con el ahorro de materiales y energía o la reducción de emisiones de GEI eran inicialmente muy escasas y se ha tenido que recurrir a otras fuentes. Esto puede ser debido a que el consumo excesivo de materiales y energía aún no es del todo percibido como un impacto medioambiental relevante asociado a las obras que pueda ser mitigado por medio de la aplicación de buenas prácticas ambientales.

Se decidió profundizar en el tema de la huella de carbono con el fin de poder valorar la importancia que tienen las emisiones de GEI durante la fase de construcción de una obra. Para ello se consultó normativa (GHG Protocol, PAS, ISO) y algunas bases de datos (Banco BEDEC y HueCO2), tras lo cual se descubrió que el cálculo de la huella de carbono y de la energía embebida está muy centrado en edificación y no tanto en el resto de obra civil. Esto puede deberse, en parte, a que en España el sector de la edificación tiene un importante peso. A pesar de que actualmente no se construyen gran cantidad de edificios de nueva planta sí que existe una gran cantidad de viviendas con problemas de eficiencia energética, motivo por el cual la rehabilitación de viviendas y las certificaciones energéticas de las mismas están cobrando mayor relevancia en estos últimos años.

Dado que muchos de los materiales que se utilizan en edificación son también empleados en el resto de obra civil, incluidas las carreteras, se procedió a consultar las fuentes encontradas para obtener de ellas los valores que se precisaban para el cálculo de la huella de carbono de la obra escogida. Se hallaron importantes discrepancias entre los factores de emisión de materiales y maquinaria propuestos por las dos bases de datos escogidas para el trabajo: el Banco BEDEC y la base de HueCO2. Estas diferencias eran especialmente llamativas en el caso de las mezclas bituminosas, el betún y las emulsiones bituminosas; los valores consultados eran alarmantemente dispares (hasta cuarenta veces superiores según la fuente consultada), lo que a efectos de cálculo llevaba a obtener resultados de emisiones de CO_2 muy distintos. Como consecuencia de ello, en el cálculo de la huella de carbono de una obra de carretera donde estos materiales son especialmente abundantes y donde la maquinaria puede tener también un peso relevante (por ejemplo en caso de realizarse grandes movimientos de tierras) existe un grado de incertidumbre elevado en el resultado obtenido.

Para tratar de esclarecer el motivo de tan grandes diferencias se decidió contactar por correo electrónico con ITeC y HueCO2. Se preguntó a ITeC acerca de la metodología empleada para la obtención de los factores de emisión de la maquinaria y también la razón de que los valores entre fuentes fuesen tan distintos. En la web de HueCO2 ya viene descrito junto a cada valor el método seguido para su obtención, por lo que tan solo se preguntó acerca de las diferencias con el banco BEDEC. La primera respuesta fue dada por ITeC, en ella se detallaba el método seguido para la obtención del factor de emisión de la maquinaria pero respecto a las diferencias con la otra fuente no se mencionaba nada. El equipo de HueCO2 contestó más tarde explicando que ellos también se habían percatado de las diferencias existentes con los datos del banco BEDEC, añadiendo una descripción de su método para obtener el factor de emisión de la maquinaria y comentando que sus cálculos les acercan más a los valores de otras bases de datos y estudios

como los del Grupo de Trabajo "Bases de datos de Huella de Carbono", siendo los del banco BEDEC en general muy superiores a los del resto de fuentes.

Tras haber realizado el cálculo aproximado de las emisiones de CO_2 de la obra de Palombera se puede afirmar que el peso tan grande que tienen los materiales en el mismo hace que la maquinaria aporte una cantidad prácticamente insignificante en este proyecto en concreto. Al ser los materiales de construcción la mayor fuente de emisiones de CO_2 en una obra de este tipo resultará indispensable contar con una base de factores de emisión actualizada y de garantías para poder calcular su huella de carbono asociada, además de unas mediciones detalladas de todos los materiales empleados (por ejemplo conocer el porcentaje de reciclado del acero o saber si en las mediciones de las mezclas bituminosas se incluyen ya el betún y las emulsiones). En caso de no disponer de ellas el cálculo se vuelve poco preciso al tener que realizar estimaciones y simplificaciones para poder utilizar los factores de emisión que se incluyen en las bases de datos.

Se ha podido comprobar que no es posible disponer de unas mediciones con el suficiente grado de detalle y con la totalidad de sus materiales incluidos en alguna de las bases de datos ya mencionadas, siendo necesario realizar varias simplificaciones y aproximaciones para poder llegar a un resultado. Es por ello que actualmente no es posible realizar un cálculo preciso de la huella de carbono, lo factible es obtener un rango de valores que nos pueda dar una idea aproximada de su orden de magnitud. El inconveniente de utilizar estos rangos es que al traducir las toneladas de CO_2 a euros, por los derechos de emisión, se obtienen unas cantidades muy distintas en función de los datos utilizados y como consecuencia de ello pueden entrar en juego intereses económicos a la hora de calcular la huella de carbono.

Es previsible por lo tanto que este cálculo cobre mayor relevancia en los años siguientes y fruto de ello existe la posibilidad de que la búsqueda de nuevas formas de reducirla puedan centrar las buenas prácticas ambientales en cuestiones puramente energéticas, dejando algo de lado a otros elementos que tienen también importancia como la flora y fauna, la contaminación de suelos y aguas y el impacto visual. Para evitar que esto suceda se podría premiar la implantación de buenas prácticas ambientales no relacionadas con la reducción de la huella de carbono, dotándolas por ejemplo de una reducción ficticia en la cantidad de CO_2 total emitida por el proyecto. De este modo se incentivaría la aplicación de buenas prácticas ambientales al asegurar una reducción en la huella de carbono considerada para el posterior cálculo de los derechos de emisión.

Otra opción posible sería que los bancos de biodiversidad tuviesen en cuenta no sólo las medidas compensatorias de carácter obligatorio, sino también las de carácter voluntario, de forma que se premiasen todas las actuaciones que busquen preservar los ecosistemas que puedan verse afectados por las obras.

Los valores mostrados de toneladas de CO_2 emitidas han sido obtenidos mediante un cálculo simplificado; para poder realizar un cálculo más completo que abarque los distintos elementos de la obra se debe de recurrir a alguno de los programas ya descritos en este trabajo. Se han obtenido licencias para dos de ellos: PRESTO y TCQ 2000, con el objetivo de comparar los resultados obtenidos con ambos. Dado que para poder utilizarlos es necesario contar con un presupuesto del proyecto a estudiar, realizado con cada uno de los programas y que contenga unidades de obra que estén recogidas en las bases de datos de factores de emisión utilizadas por los dos, se ha decidido elaborar un presupuesto muy simplificado de una obra ficticia con

unas pocas unidades de obra representativas que estén incluidas tanto en el Banco BEDEC como en HueCO2.

Tras comparar los resultados obtenidos se puede afirmar que el peso dado a la maquinaria dentro del cálculo de la huella de carbono es muy superior en el caso de TCQ2000, mientras que los valores de emisión de CO_2 referidos a los materiales eran muy similares en ambos casos. Esto es debido a que en el caso de la maquinaria los factores de emisión varían mucho de una fuente a otra, mientras que para el hormigón, que se trata del material más abundante en la obra elegida, se proponen valores similares. Por ello resulta únicamente fiable el valor de huella de carbono que pueda obtenerse en aquellas obras donde predomine el hormigón sobre el resto de elementos, ya que si la maquinaria tuviese una mayor presencia los valores de las emisiones totales de CO_2 variarían enormemente según la fuente considerada. También se ha podido comprobar que los factores de emisión del acero variaban considerablemente, siendo los valores del Banco BEDEC casi dos veces mayores a los proporcionados por HueCO2. Esto refuerza la idea anterior de que la huella de carbono obtenida resulta un valor fiable solo en caso de que el hormigón sea el material predominante. Podemos observar que los factores de emisión del hormigón armado son también similares, lo cual se debe a que el cemento, que es el material constituyente del mismo que mayor peso tiene en su factor de emisión (considerablemente mayor que el del acero), presenta valores prácticamente iguales en HueCO2 y en el banco BEDEC.

A partir de las emisiones obtenidas se ha valorado el impacto económico que estas supondrían en esta obra, resultando ser, en el peor de los casos, inferiores a un 5% de su coste total. Aunque los valores de las cotizaciones por emisiones de CO_2 pueden ser muy distintos según la fuente utilizada para la obtención de los factores de emisión (en esta obra se obtuvo un rango de 24.205,43€ – 257.599,52€), al ser comparados con el coste total de la obra pierde algo de relevancia la elección de una fuente u otra (la diferencia entre tomar un valor u otro supone como máximo un 4% del coste total del proyecto). Teniendo en cuenta que el porcentaje que suponen las emisiones de CO_2 dentro del coste total es muy bajo, podría decirse que la reducción de emisiones desde un punto de vista económico no resulta especialmente atractiva; quizás se le debería de dar más peso como coste para incentivar la toma de medidas que las reduzcan.

Tras realizar la propuesta de valoración de las BPAs se ha comprobado que las medidas relacionadas con la maquinaria apenas tienen efecto en la reducción de la HC total de Palombera, ya que su peso en la HC es tan solo del 0,11%. Por el contrario, las BPAs relativas a los materiales logran una importantísima reducción del 60%, principalmente debido a la sustitución de las mezclas bituminosas calientes por mezclas templadas. El CO_2 absorbido por los sumideros es una cantidad fija que no depende de la HC, por ello el porcentaje de reducción asociado varía enormemente en función del valor que se tome para la HC: con los valores inferiores obtenidos con HueCO2 el porcentaje es del orden del 60%, mientras que con los valores superiores del banco BEDEC el porcentaje ronda el 6%. Es por ello que el efecto de absorción de los sumideros puede ser desde muy importante, permitiendo la sobre compensación de emisiones, a prácticamente insignificante; según la base de datos que se escoja como referencia para el cálculo de la HC. En las BPAs de reducción indirecta se puede jugar con los valores de reducción para incentivar la aplicación de un tipo concreto de medidas y de este modo potenciar aquellas que reduzcan un determinado tipo de impacto.

La reducción total de la HC obtenida con las distintas BPAs del proyecto de Palombera se traduce, en términos económicos, en un ahorro de los costes por derechos de emisión que en el peor de los casos sería del 90%, pudiendo llegar a obtenerse un beneficio en caso de alcanzar

la sobre compensación. Sin embargo, hay que recordar que el impacto económico de las emisiones de CO_2 dentro del presupuesto global de la obra no superaba el 5%, por lo que a pesar de lograr un cierto ahorro o incluso un beneficio, este no sería tan significativo como para poder generar un interés económico e incentivar así la toma de medidas que lograsen una reducción de la HC.

Conclusiones

Los objetivos establecidos al principio se han cumplido en su totalidad.

Se ha logrado elaborar un inventario completo de buenas prácticas ambientales aplicables a obras de carretera ejecutadas en distintos lugares del mundo, con una clasificación novedosa de los impactos ambientales en base a cinco elementos: aire, tierra, agua, fuego y vida, que permite una identificación rápida y clara de los mismos.

Tras investigar acerca del cálculo de la huella de carbono en el sector de la construcción se ha encontrado que es algo relativamente novedoso que se halla aún en desarrollo, estando más centrado actualmente en la edificación que en el resto de obra civil. Por ello ha resultado complicado encontrar varias bases de datos con información medioambiental de la maquinaria y materiales de construcción más empleados en carreteras.

Se ha justificado la importancia que tiene la aplicación de buenas prácticas ambientales en Cantabria recopilando información acerca de los espacios naturales protegidos y las carreteras de especial protección existentes; además se ha obtenido el dato de los kilómetros de carretera que atraviesan estos espacios naturales.

Se ha podido comprobar que todas las buenas prácticas aplicadas en la obra de Palombera estaban dentro del inventario previamente realizado y se han propuesto medidas adicionales, haciendo mayor hincapié en las relativas al elemento fuego (energía), que eran las más escasas.

A la hora de realizar el cálculo de la huella de carbono para la obra de Palombera se ha obtenido un rango muy amplio de valores posibles para las toneladas de CO_2 emitidas, debido a que muchos de los factores de emisión del Banco BEDEC eran muy superiores a los propuestos por HueCO2, especialmente en el caso de los materiales que componen el firme de la carretera. Por ello puede afirmarse que no es posible realizar con los datos actualmente disponibles un cálculo exacto para esta obra, sino más bien uno aproximado que permite darnos un orden de magnitud de la huella de carbono.

En el único caso en el cual resulta posible obtener un valor preciso de la huella de carbono es en aquellas obras en las que el hormigón sea el material claramente predominante. Esto es debido a que los factores de emisión del cemento, que es el componente del hormigón con el mayor peso en sus emisiones de CO_2, son muy similares en HueCO2 y en el banco BEDEC. En el momento en que la maquinaria y otros materiales como el acero o las mezclas bituminosas comiencen a tener mayor presencia en la obra los resultados perderán precisión al obtenerse rangos de valores cada vez más amplios.

El impacto económico que suponen las emisiones de gases de efecto invernadero dentro del coste total de la ejecución de una obra de la tipología estudiada no es especialmente relevante, y es quizás por ello que la reducción en el consumo de materiales y de energía no se considera de vital importancia en obras de carretera actualmente.

Las buenas prácticas ambientales aplicadas que han tenido un mayor efecto en la reducción de la HC de Palombera han sido aquellas referidas a los materiales, y dentro de estas las encaminadas a reducir las emisiones de las mezclas bituminosas. El efecto de absorción de los sumideros es muy superior en caso de utilizar los datos proporcionados por HueCO2 si lo comparamos con el obtenido usando los valores del banco BEDEC.

Anexos

En este apartado se recoge un conjunto de imágenes agrupadas en dos bloques. En el primero se muestran aquellas que guardan relación con el inventario de buenas prácticas ambientales y en el segundo se encuentran todas las fotografías tomadas en la visita a Palombera.

Índice gráfico de medidas

A2

Figura 44 Lona en camión de caja abierta (www.ToldosBotero.com, 2015)

Figura 45 Lona en camión de caja abierta (www.zamarbu.com, 2015)

A3

Figura 46 Toldo de plástico sobre acopio (Gobierno de Cantabria - Dirección General de Carreteras, Vías y obras, 2005)

A10

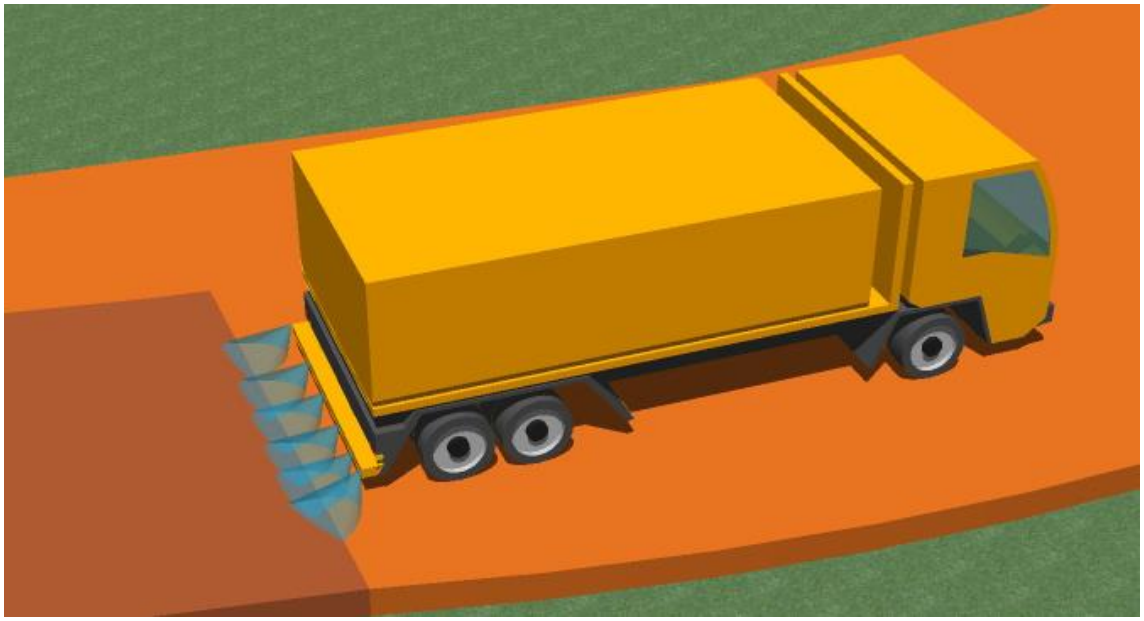


Figura 47 Regado de pista (Gobierno de Cantabria - Dirección General de Carreteras, Vías y obras, 2005)

A15

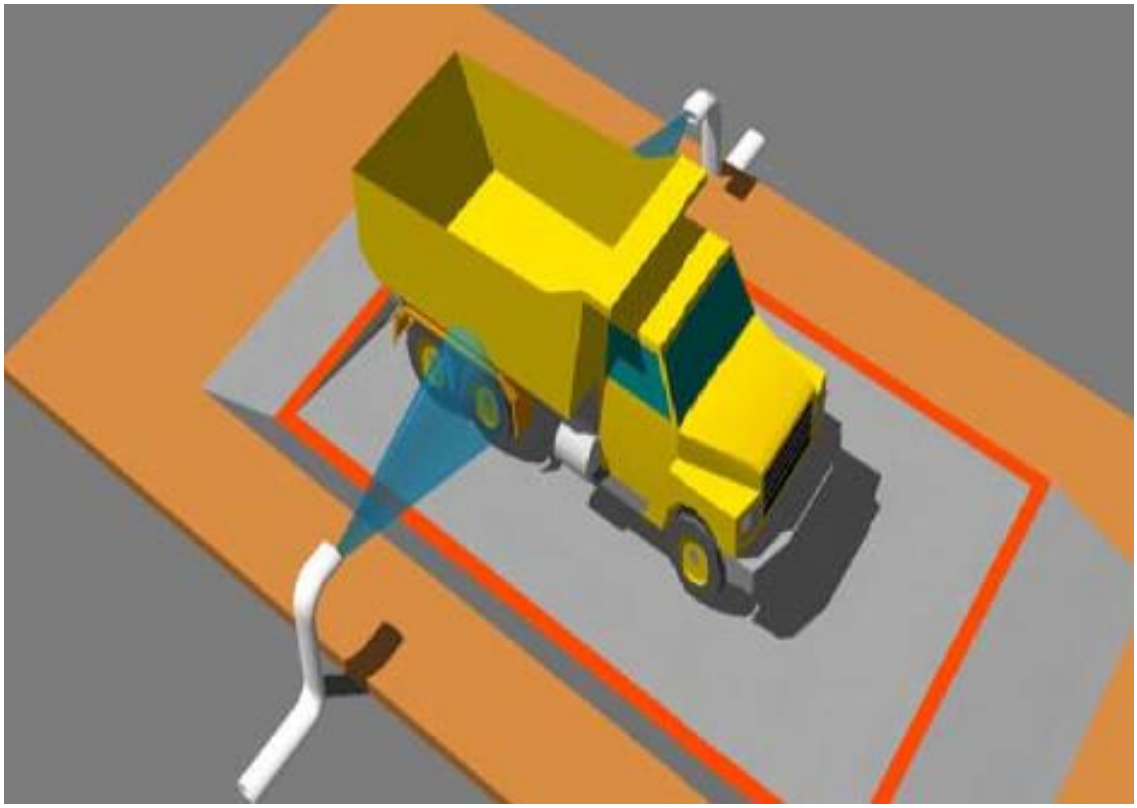


Figura 48 Instalaciones de lavado de vehículos (Gobierno de Cantabria - Dirección General de Carreteras, Vías y obras, 2005)

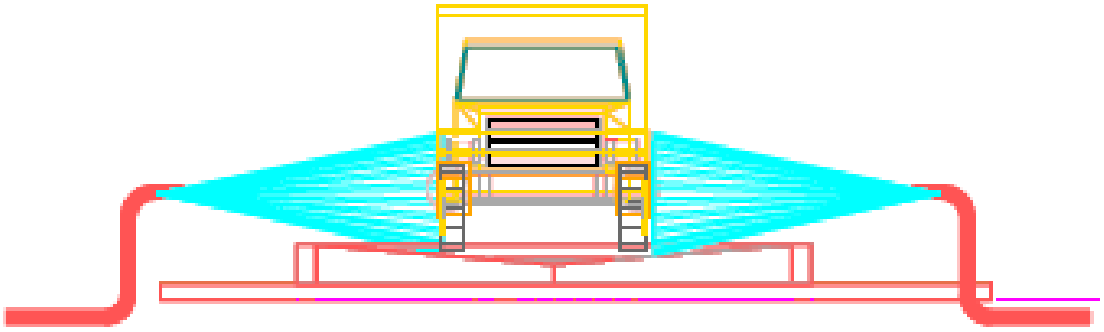


Figura 49 Instalaciones de lavado de vehículos (Gobierno de Cantabria - Dirección General de Carreteras, Vías y obras, 2005)

A26

Figura 50 Marca CE en maquinaria (www.lineaprevencion.com, 2015)

A31

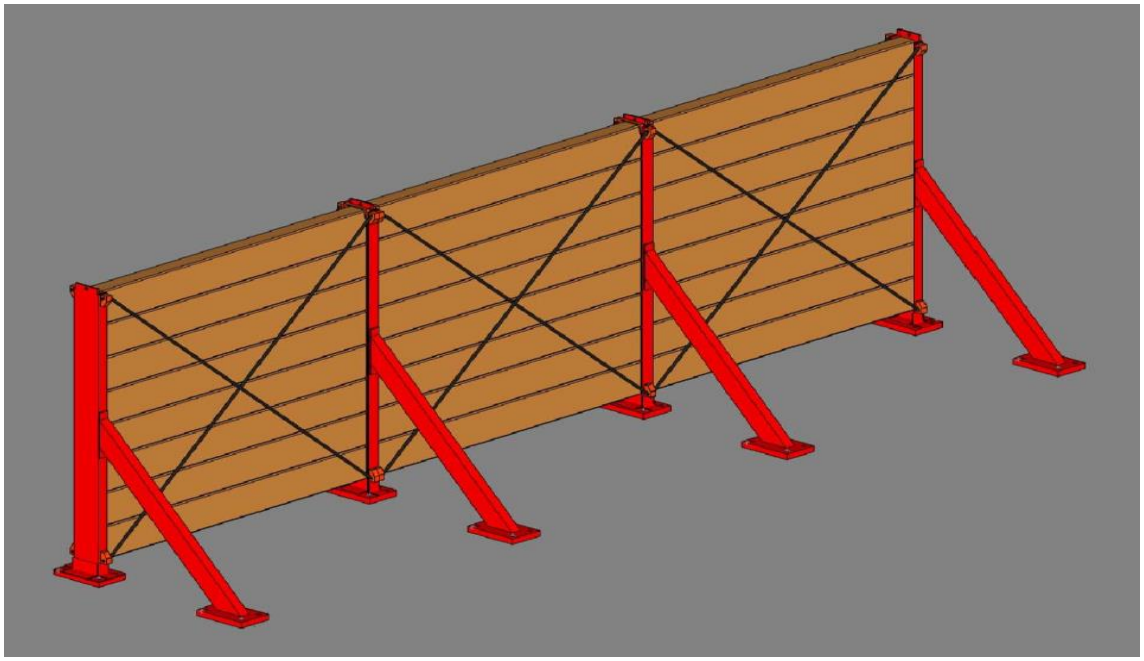


Figura 51 Apantallamiento de madera con perfiles metálicos (Gobierno de Cantabria - Dirección General de Carreteras, Vías y obras, 2005)

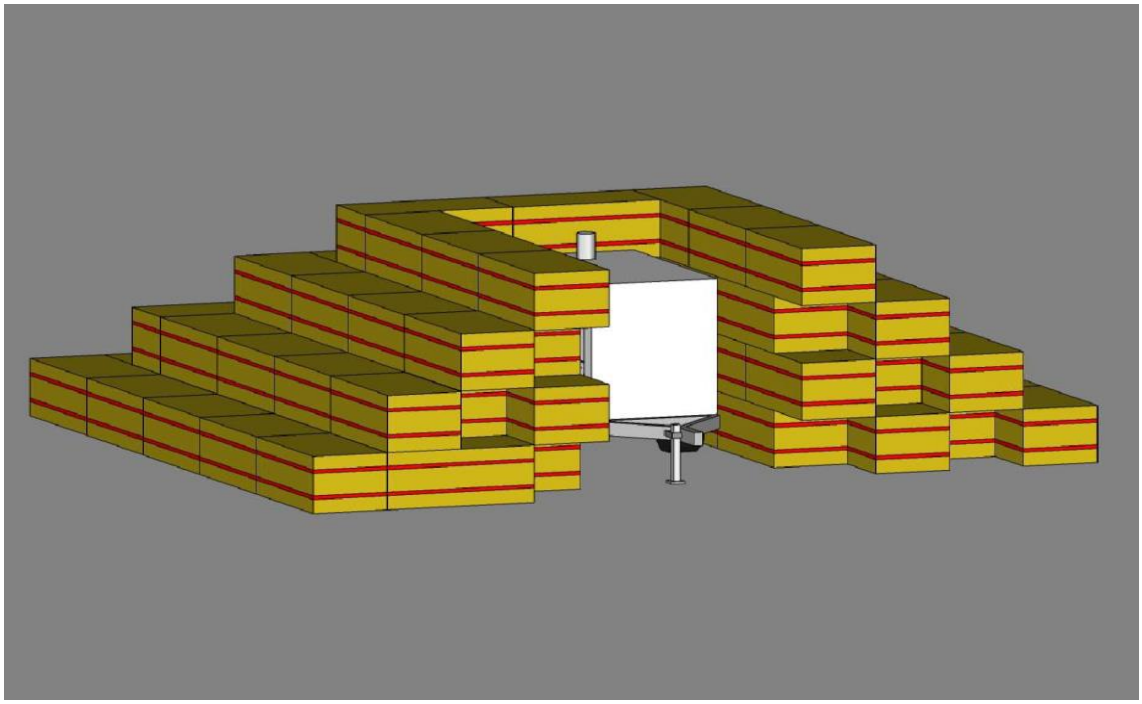


Figura 52 Apantallamiento con pacas de paja (Gobierno de Cantabria - Dirección General de Carreteras, Vías y obras, 2005)

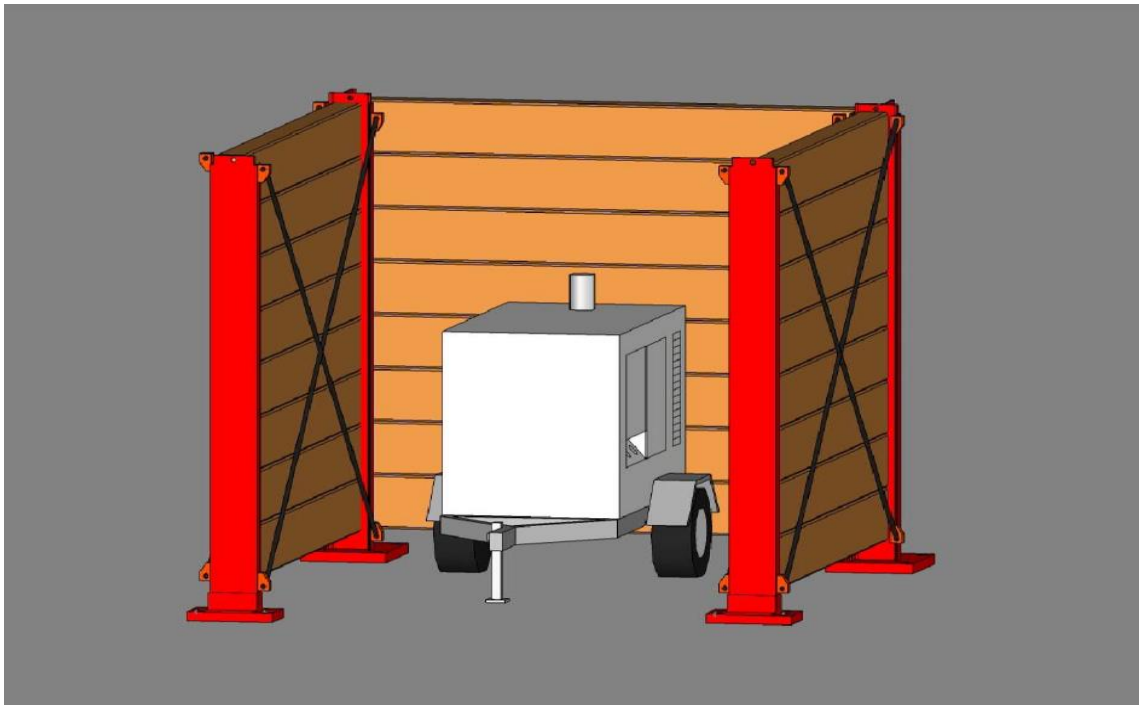


Figura 53 Apantallamiento para elemento individual con madera y perfiles metálicos (Gobierno de Cantabria - Dirección General de Carreteras, Vías y obras, 2005)

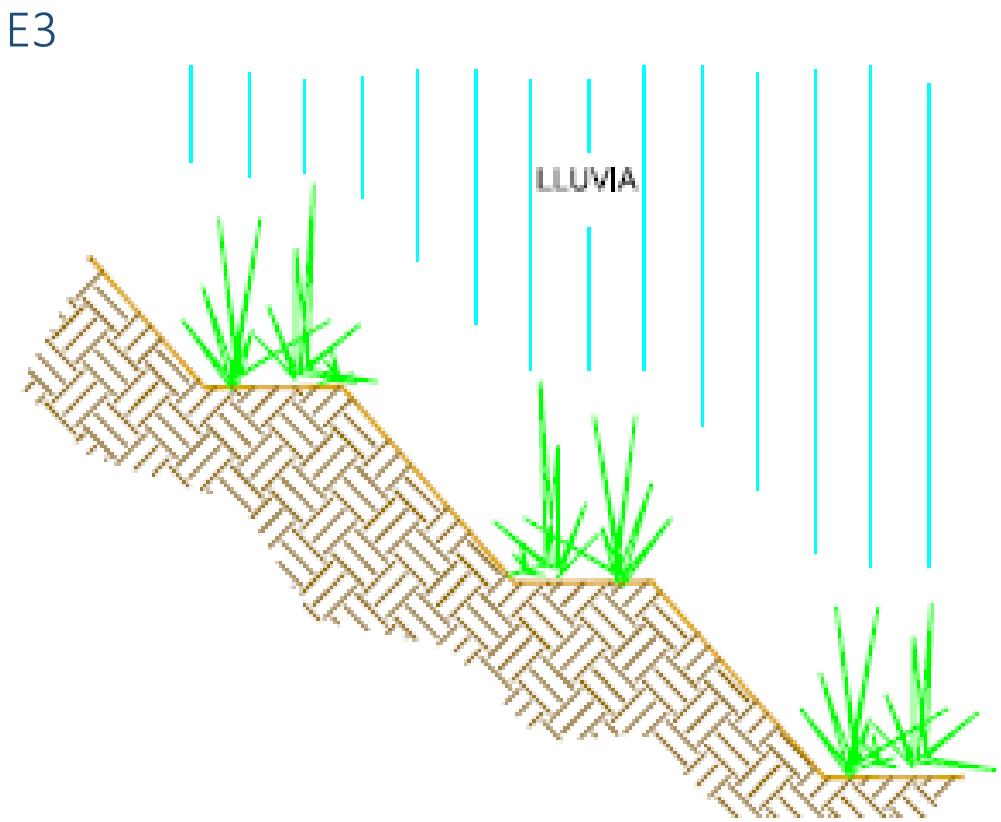


Figura 54 Superficie irregular en talud con vegetación (Gobierno de Cantabria - Dirección General de Carreteras, Vías y obras, 2005)

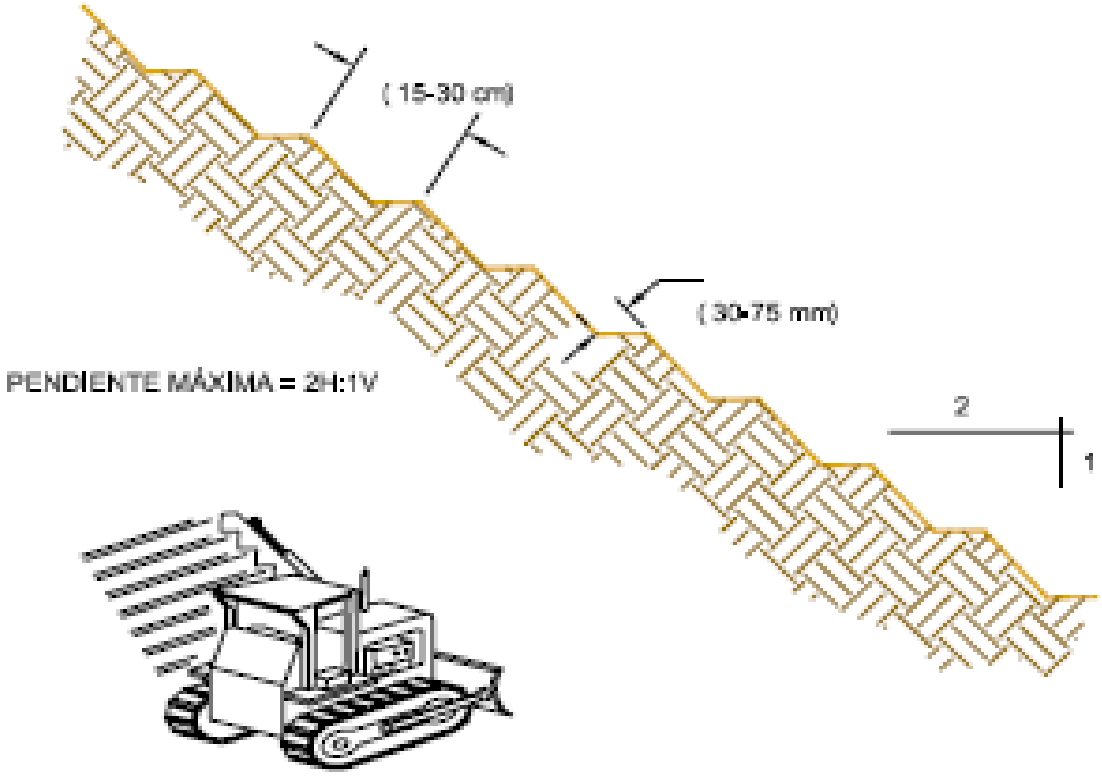


Figura 55 Superficie irregular en talud sin vegetación (Gobierno de Cantabria - Dirección General de Carreteras, Vías y obras, 2005)

E16

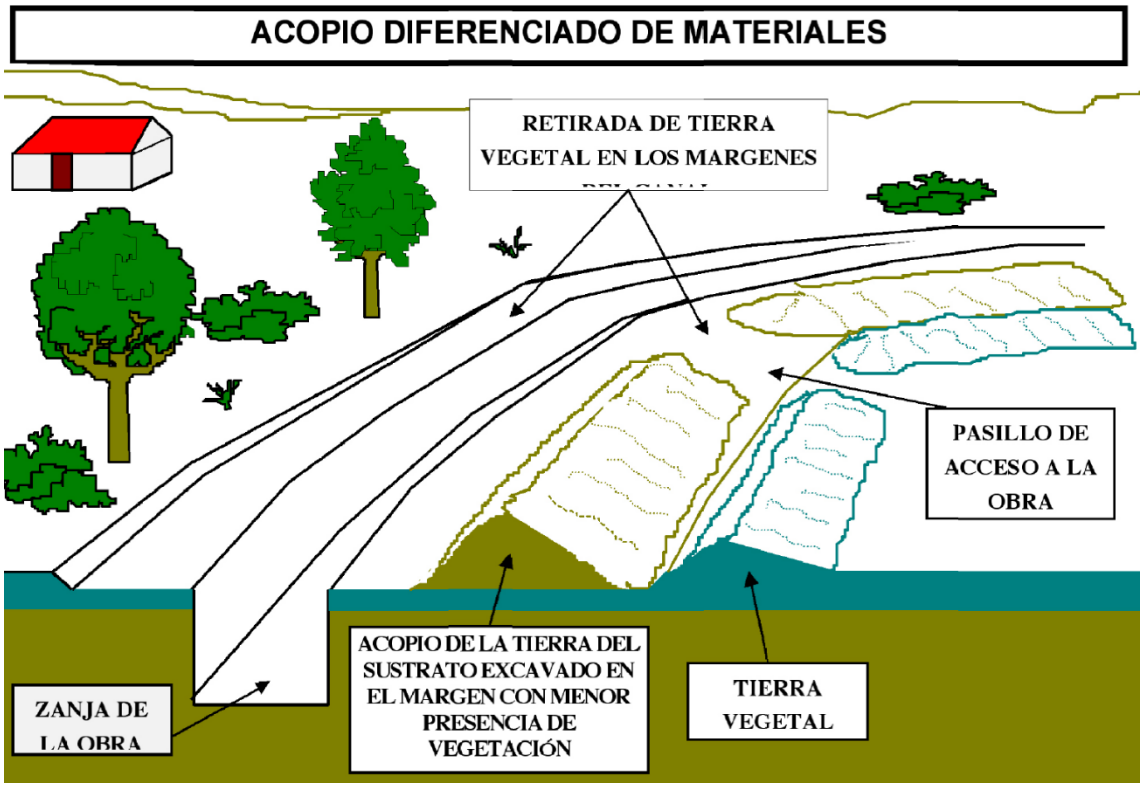


Figura 56 Ejemplo de modo de acopio de diferentes tierras vegetales (Gobierno de Cantabria - Dirección General de Carreteras, Vías y obras, 2005)

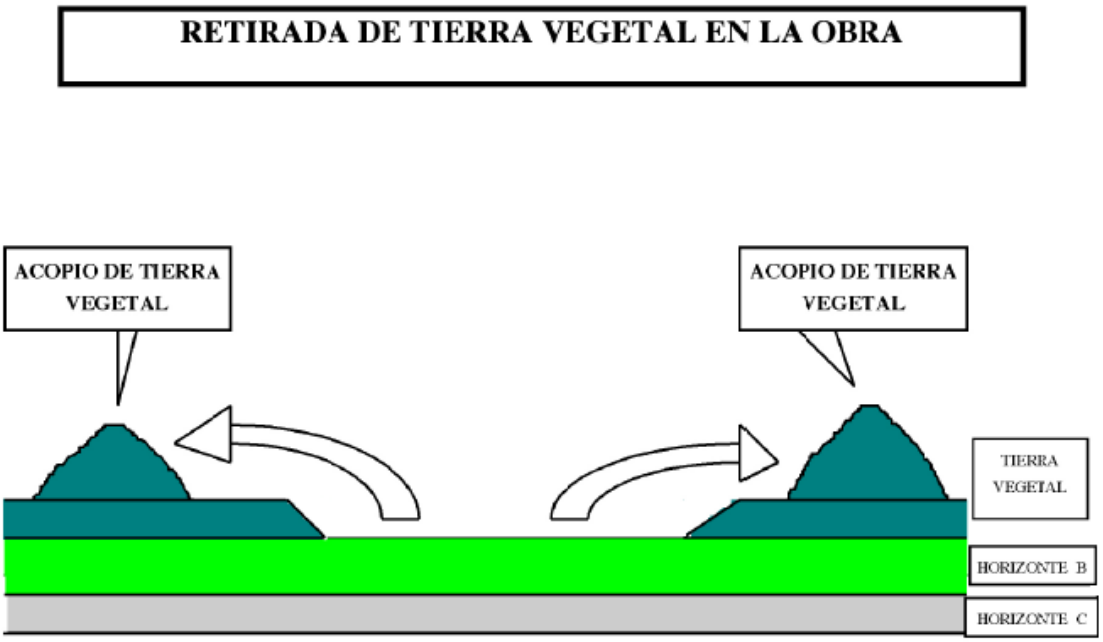


Figura 57 Forma de retirar distintas capas de suelo vegetal (Gobierno de Cantabria - Dirección General de Carreteras, Vías y obras, 2005)

E28

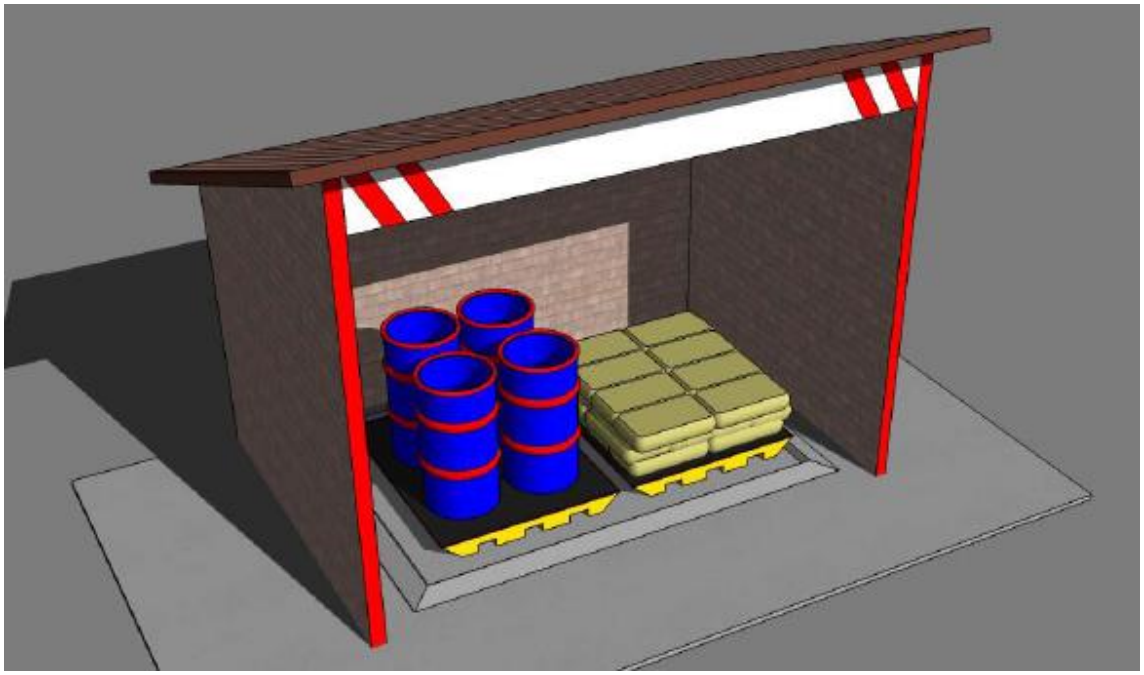


Figura 58 Almacén de residuos (Gobierno de Cantabria - Dirección General de Carreteras, Vías y obras, 2005)

Figura 59 Almacén de residuos (www.lineaprevencion.com, 2015)

Figura 60 Almacén de residuos cerrado (www.balat.com, 2015)

E30

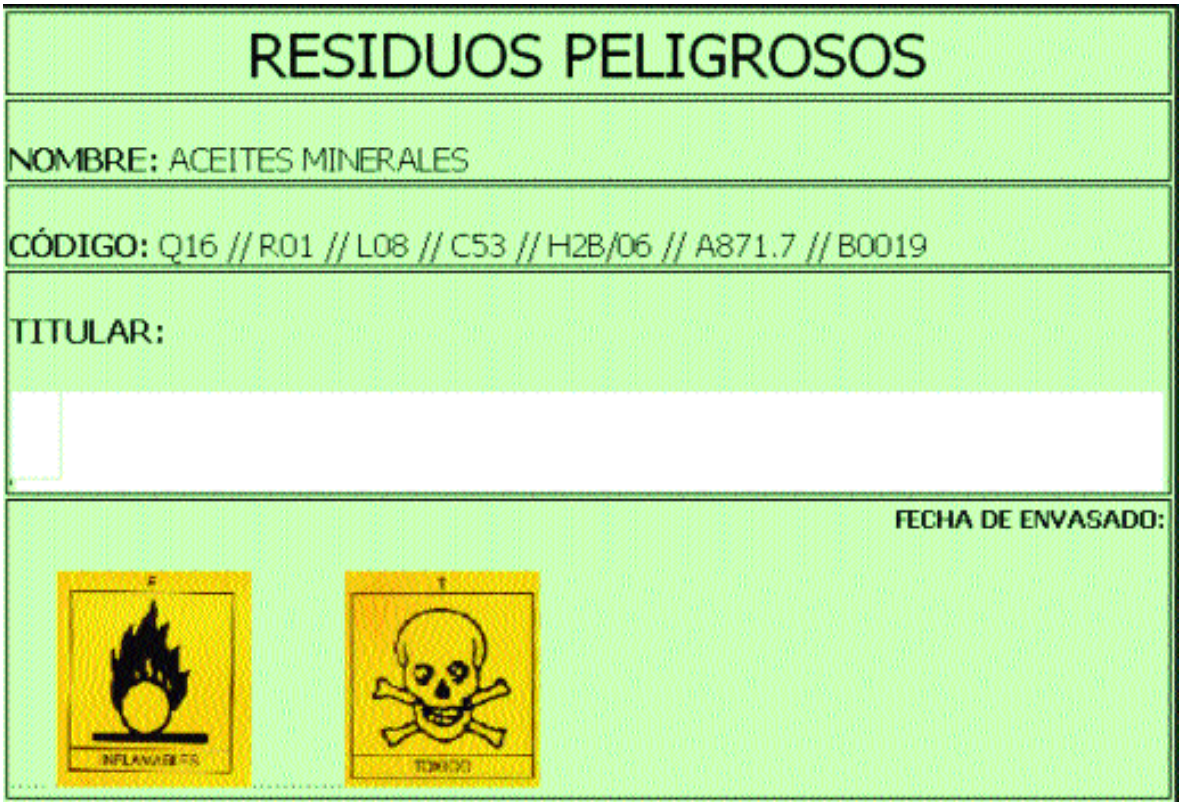


Figura 61 Etiqueta residuo peligroso (Asociación española de la carretera, 2007)

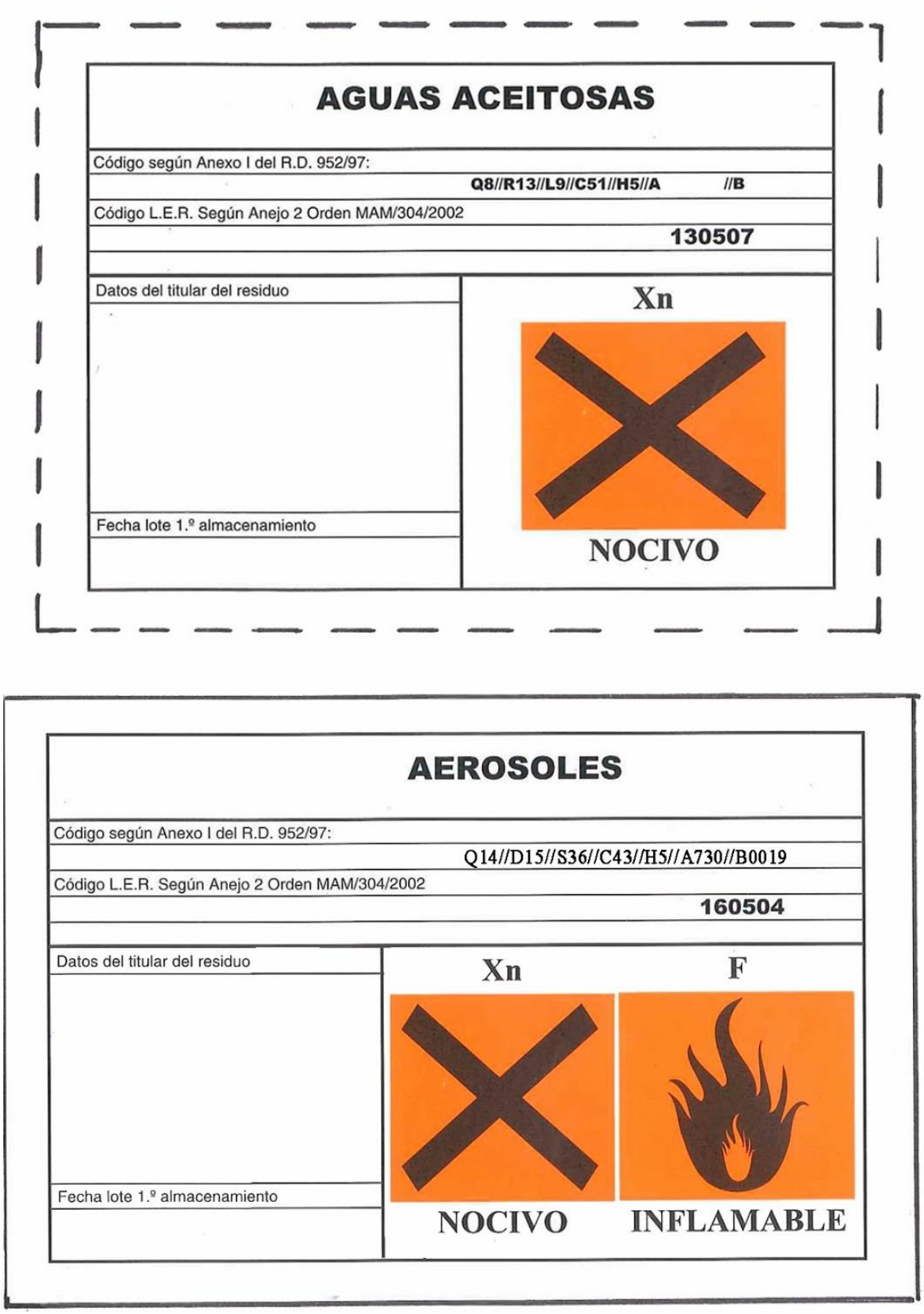


Figura 62 Etiquetas de materiales contaminantes (iai-trabajos, 2015)

E42

Figura 63 Suelo contaminado por el hongo Phytophthora (The Roadside Conservation Committee Western Australia, 2010)

Figura 64 Bosque infectado por el hongo Phytophthora (The Roadside Conservation Committee Western Australia, 2010)

E49

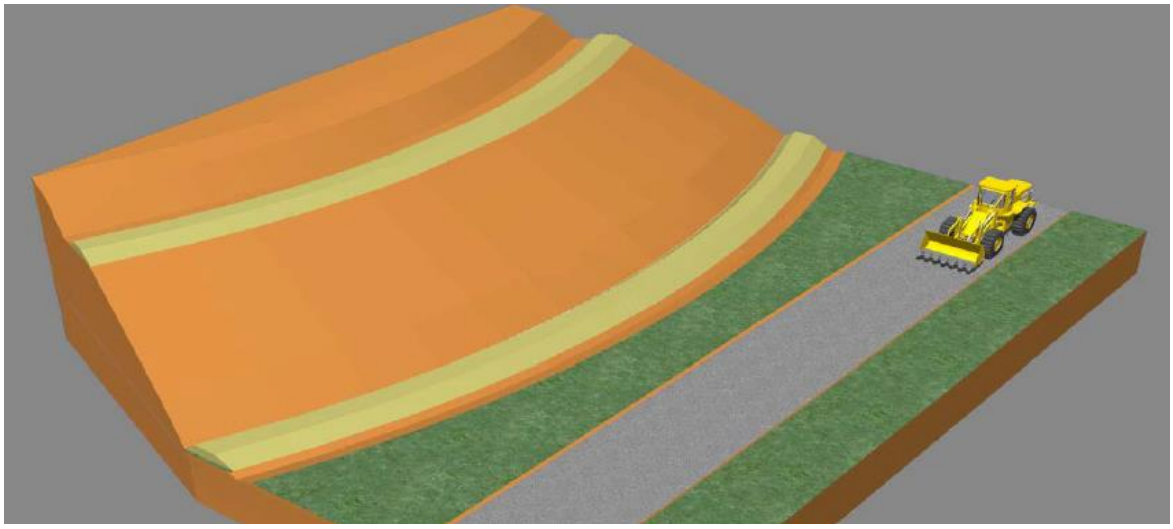


Figura 65 Albarradas en las inmediaciones de carretera (Gobierno de Cantabria - Dirección General de Carreteras, Vías y obras, 2005)

E50

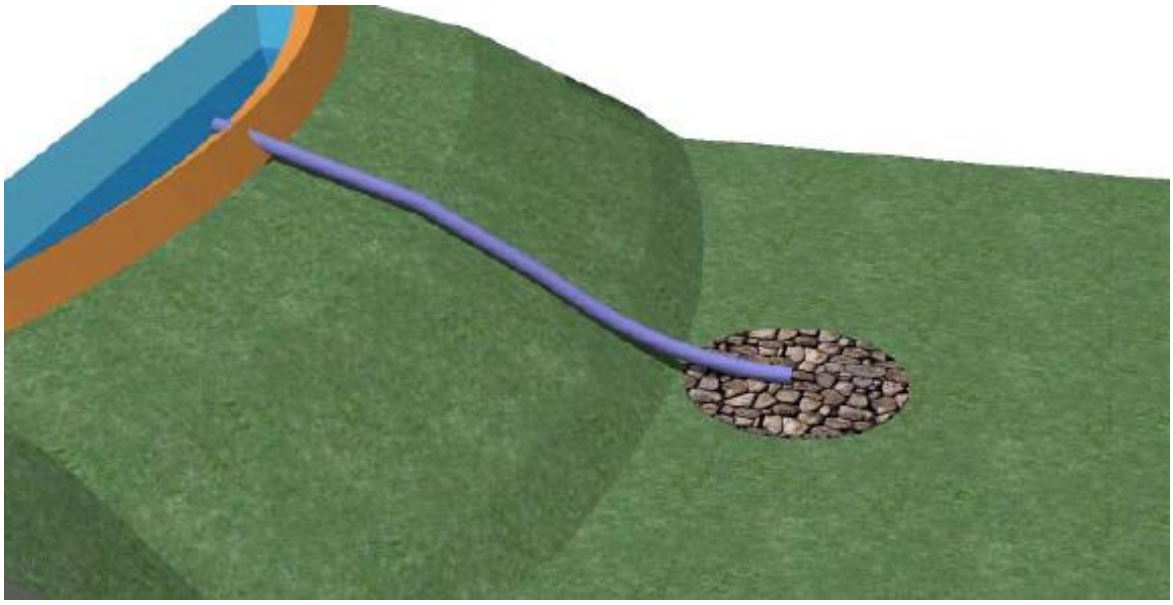


Figura 66 Drenaje en un talud (Gobierno de Cantabria - Dirección General de Carreteras, Vías y obras, 2005)

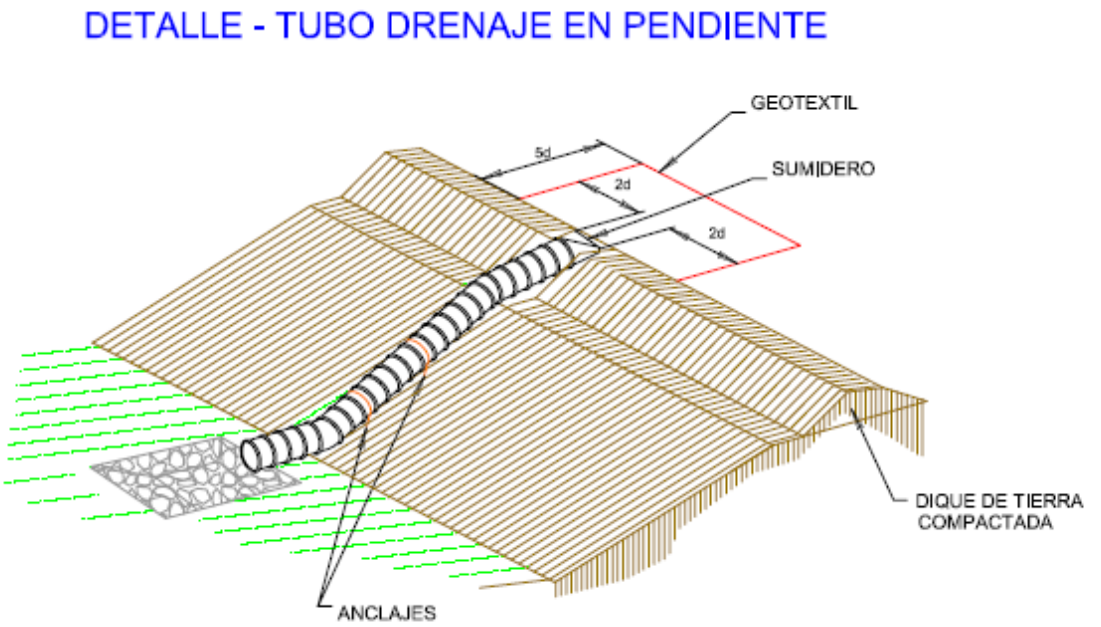


Figura 67 Tubo drenante en talud (Gobierno de Cantabria - Dirección General de Carreteras, Vías y obras, 2005)

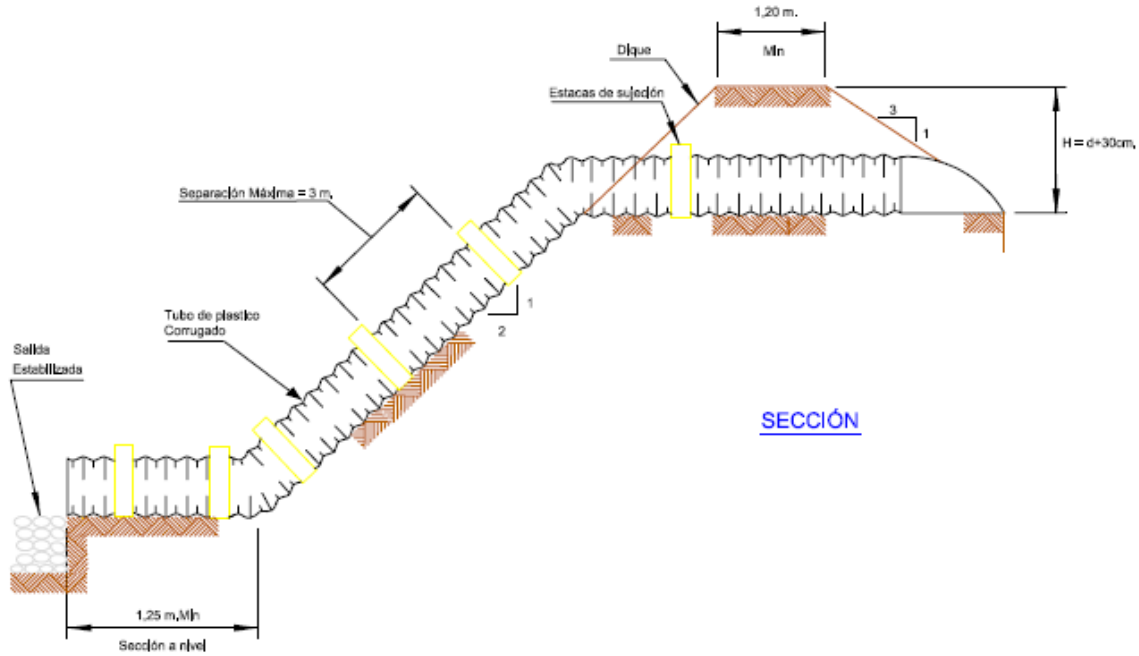


Figura 68 Perfil de tubo drenante en talud (Gobierno de Cantabria - Dirección General de Carreteras, Vías y obras, 2005)

E51

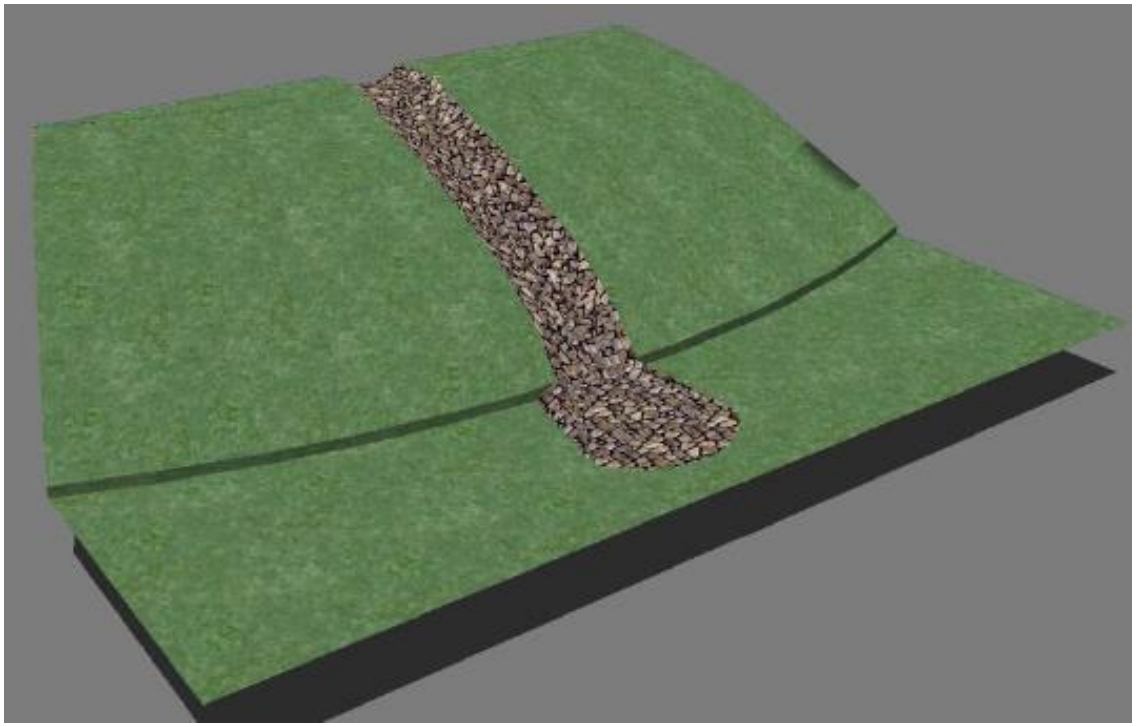


Figura 69 Zampeado de rocas (Gobierno de Cantabria - Dirección General de Carreteras, Vías y obras, 2005)

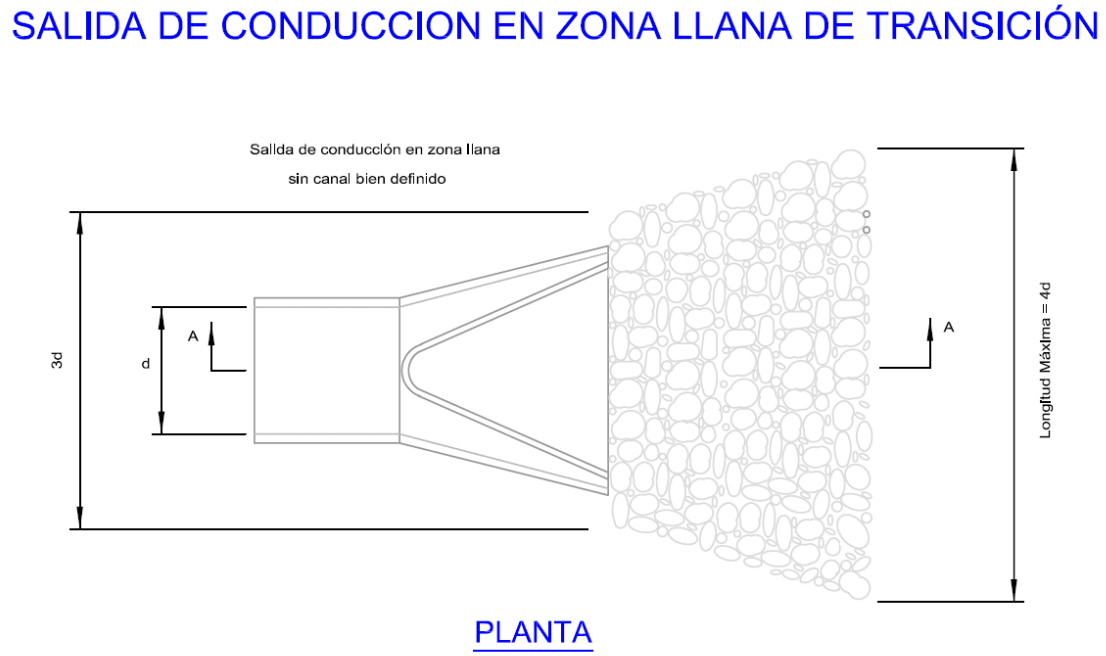


Figura 70 Planta de zampeado de rocas en salida de desagüe (Gobierno de Cantabria - Dirección General de Carreteras, Vías y obras, 2005)

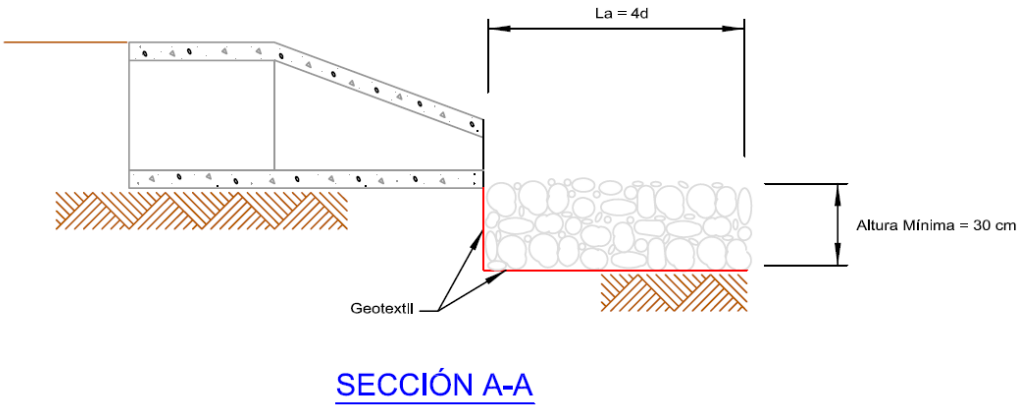


Figura 71 Perfil de Zampeado de rocas en salida de desagüe (Gobierno de Cantabria - Dirección General de Carreteras, Vías y obras, 2005)

E52

Figura 72 Ejecución de caballones en tierra (divagandodivagando, 2015)

E54

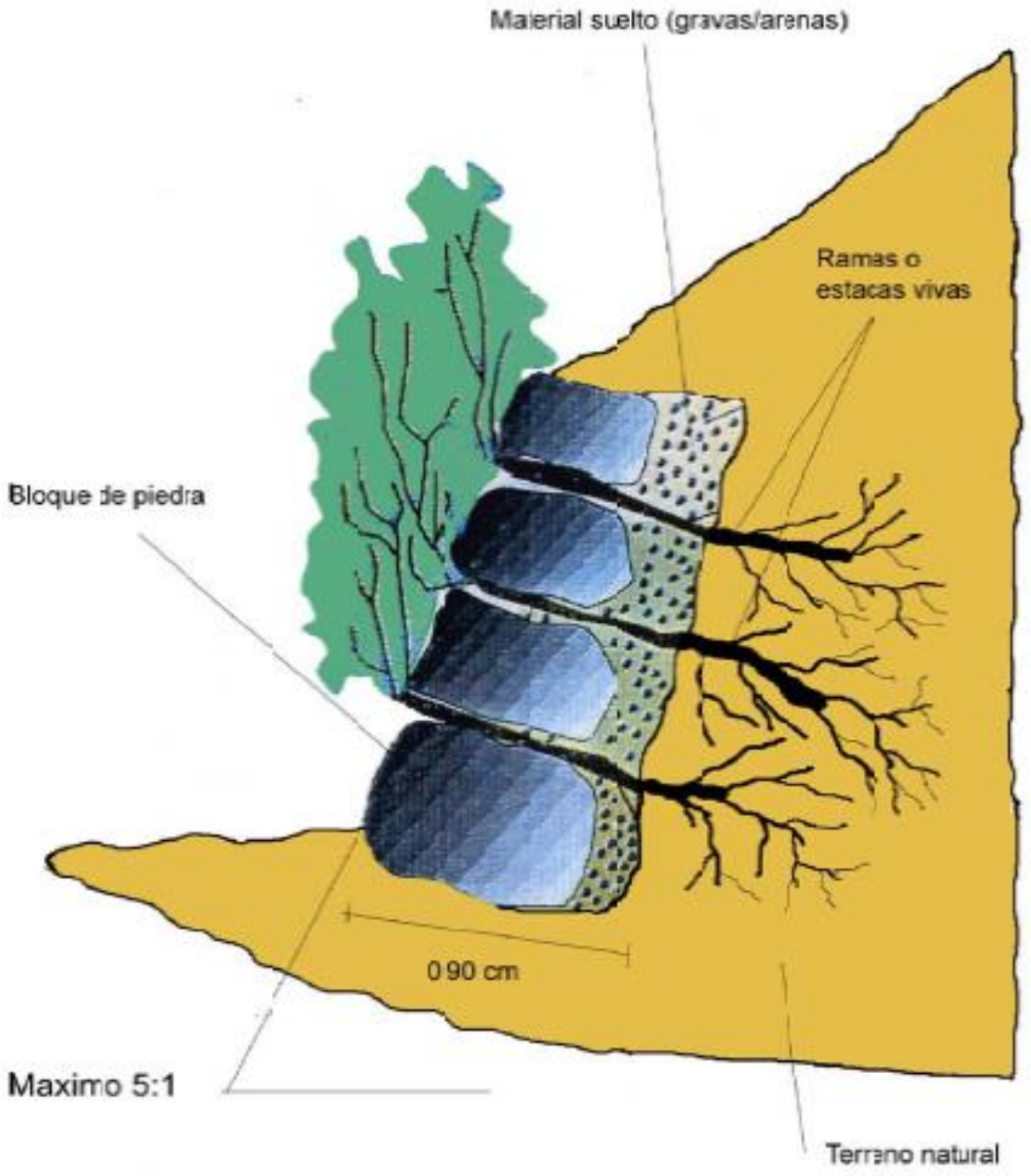


Figura 73 Escollera con ramas vivas (Gobierno de Cantabria - Dirección General de Carreteras, Vías y obras, 2005)

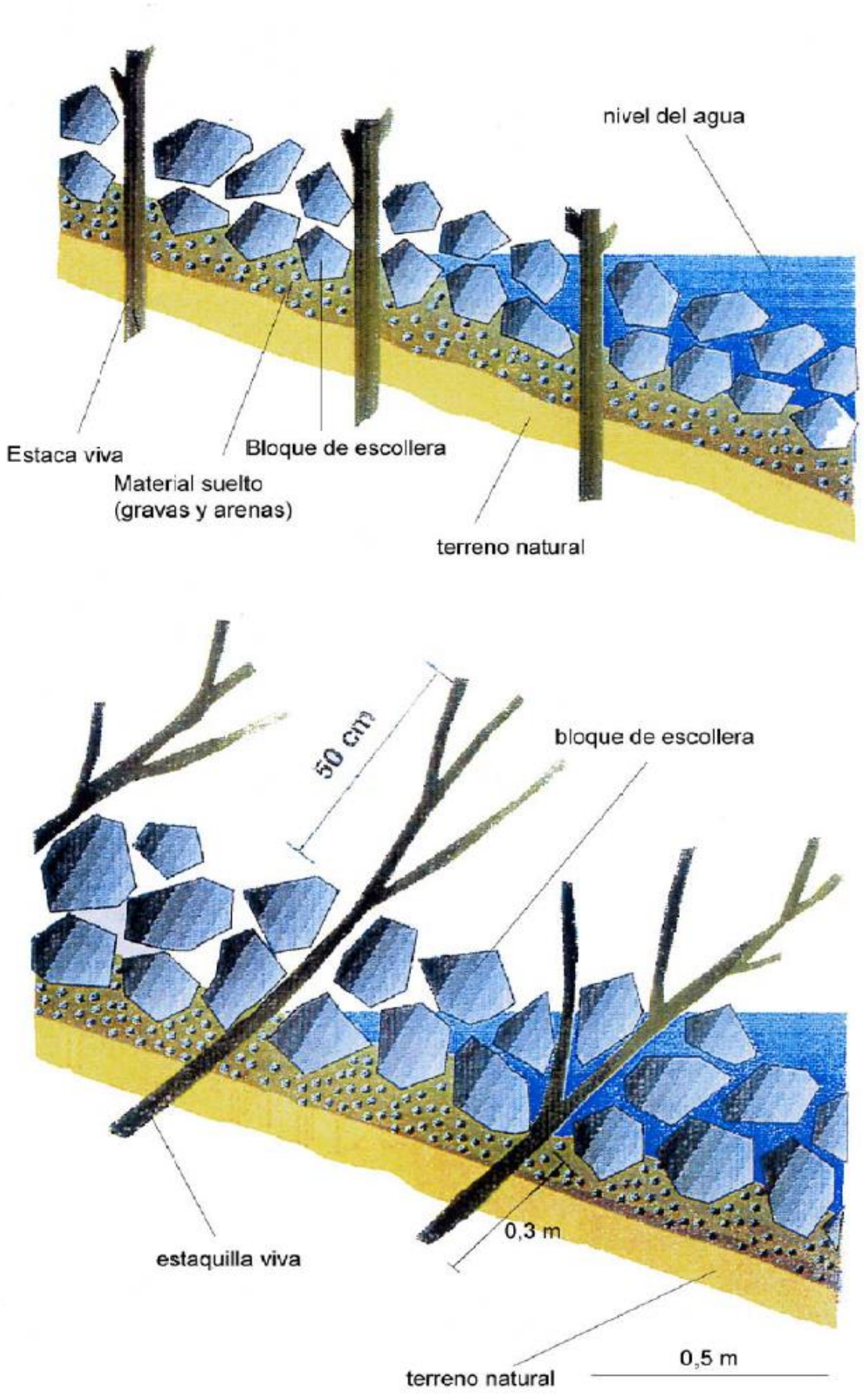


Figura 74 Escollera viva con estaquillas (Gobierno de Cantabria - Dirección General de Carreteras, Vías y obras, 2005)

E55

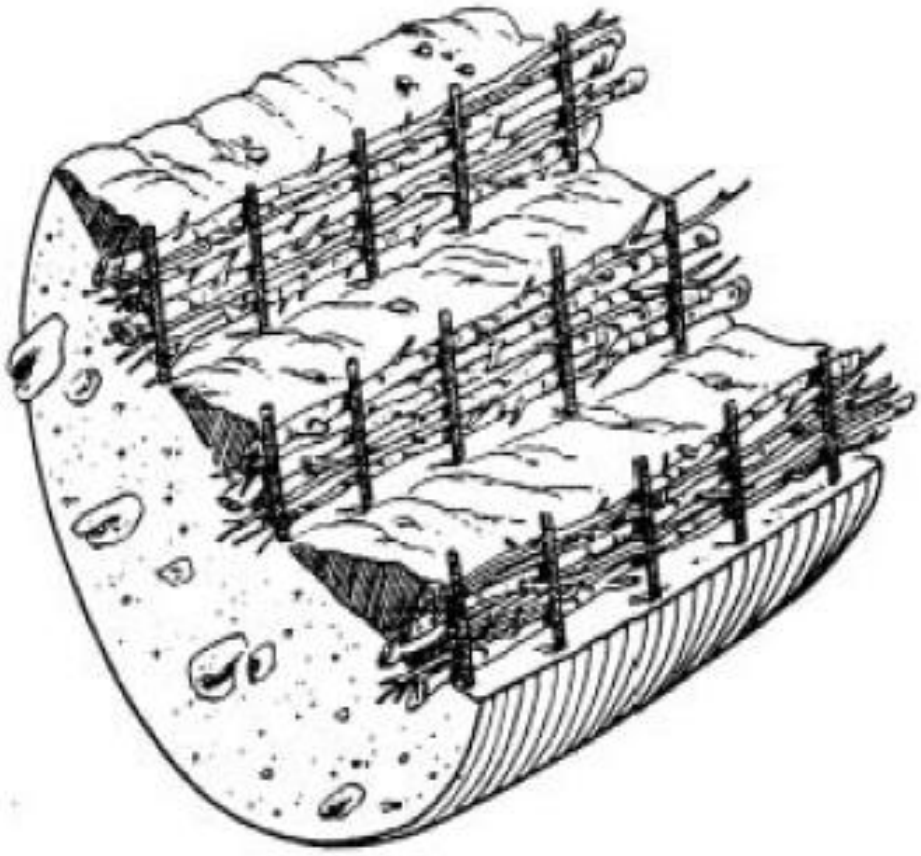


Figura 75 Lechos de ramajes (Gobierno de Cantabria - Dirección General de Carreteras, Vías y obras, 2005)

Figura 76 Detalle de lecho de ramajes (Gobierno de Cantabria - Dirección General de Carreteras, Vías y obras, 2005)

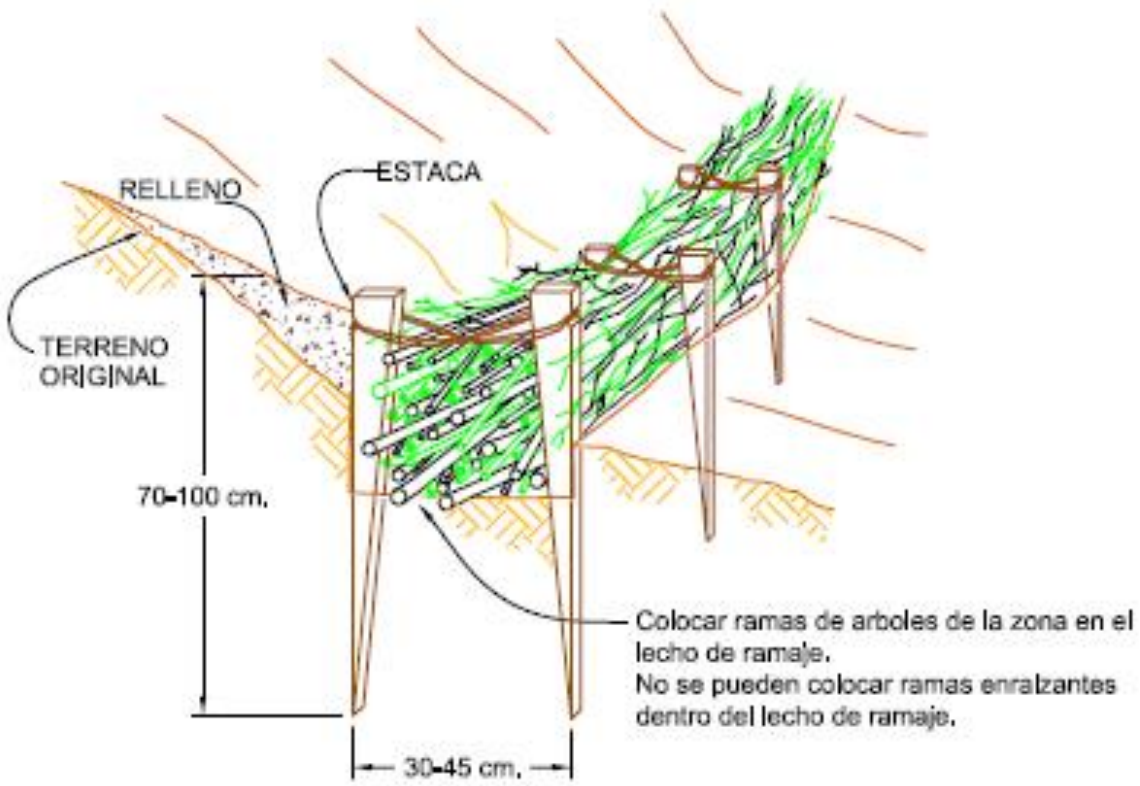


Figura 77 Detalle de lecho de ramajes (Gobierno de Cantabria - Dirección General de Carreteras, Vías y obras, 2005)

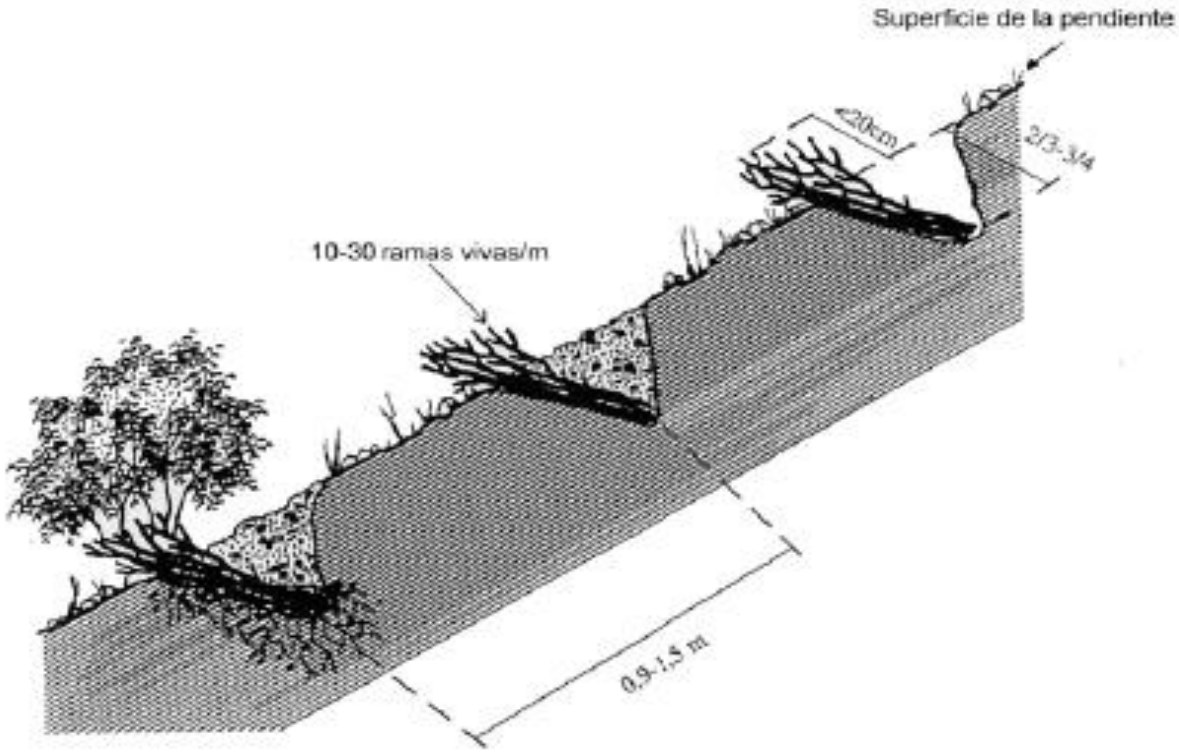


Figura 78 Lecho de ramajes (Gobierno de Cantabria - Dirección General de Carreteras, Vías y obras, 2005)

E56

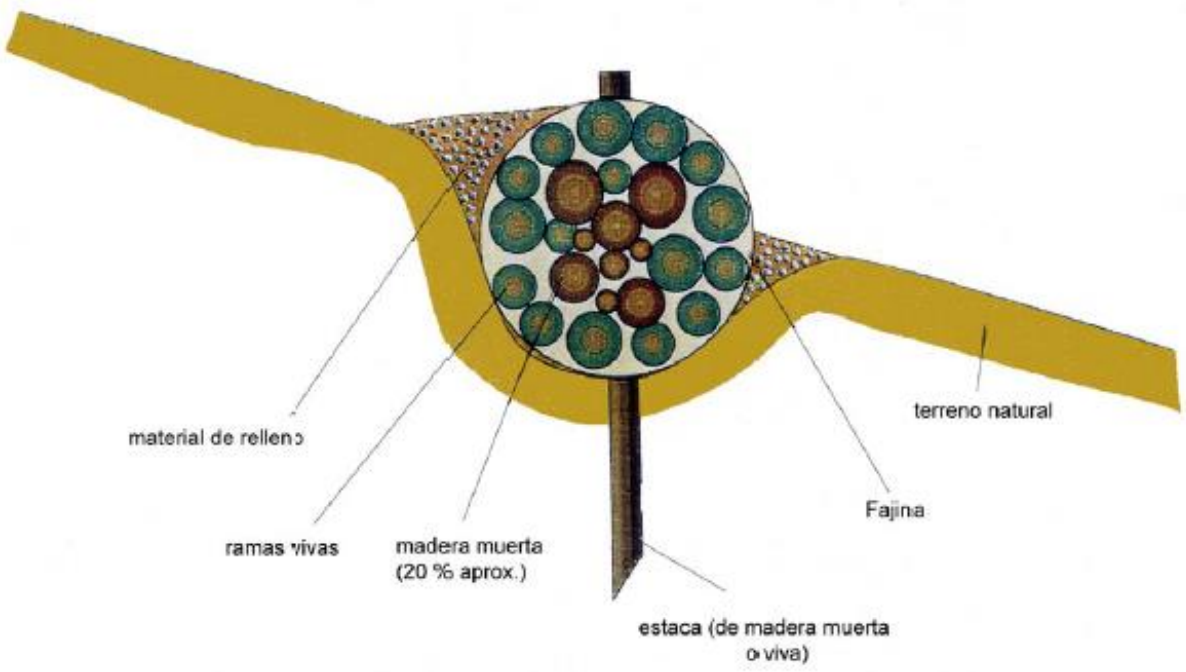


Figura 79 Fajinas vivas (Gobierno de Cantabria - Dirección General de Carreteras, Vías y obras, 2005)

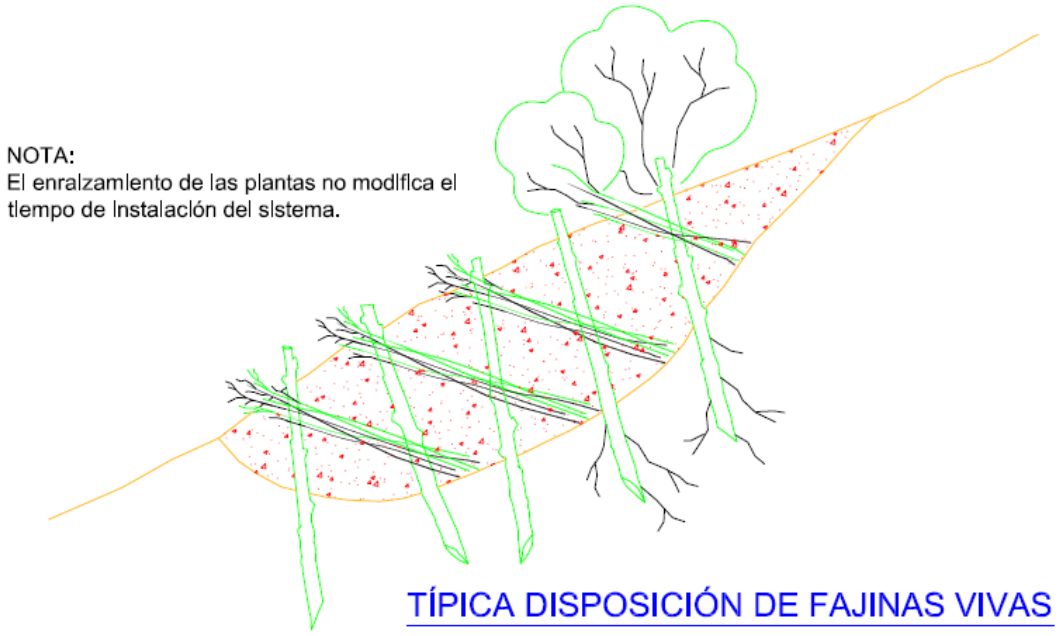


Figura 80 Disposición de fajinas vivas (Gobierno de Cantabria - Dirección General de Carreteras, Vías y obras, 2005)

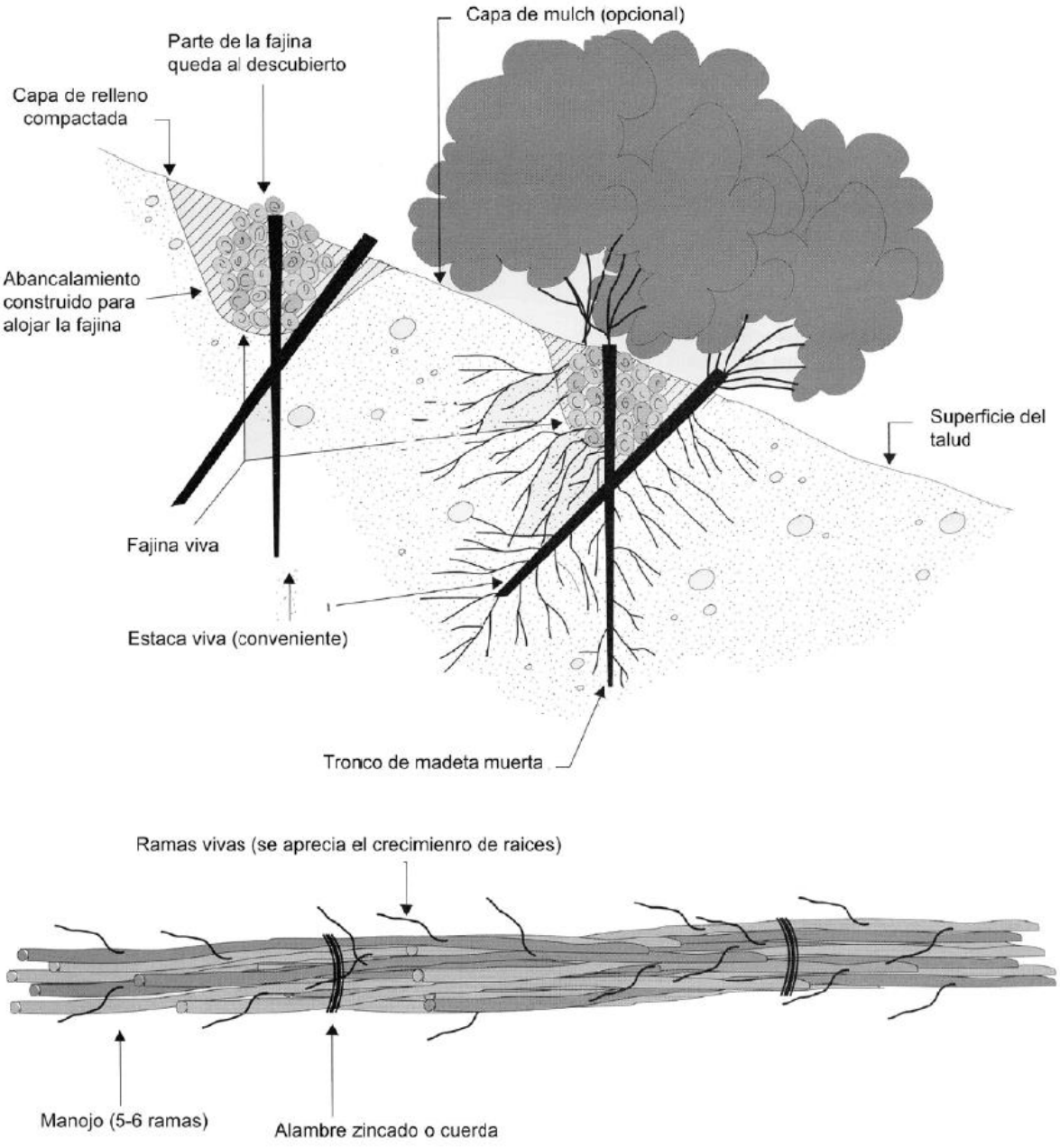


Figura 81 Fajinas vivas (Gobierno de Cantabria - Dirección General de Carreteras, Vías y obras, 2005)

E57

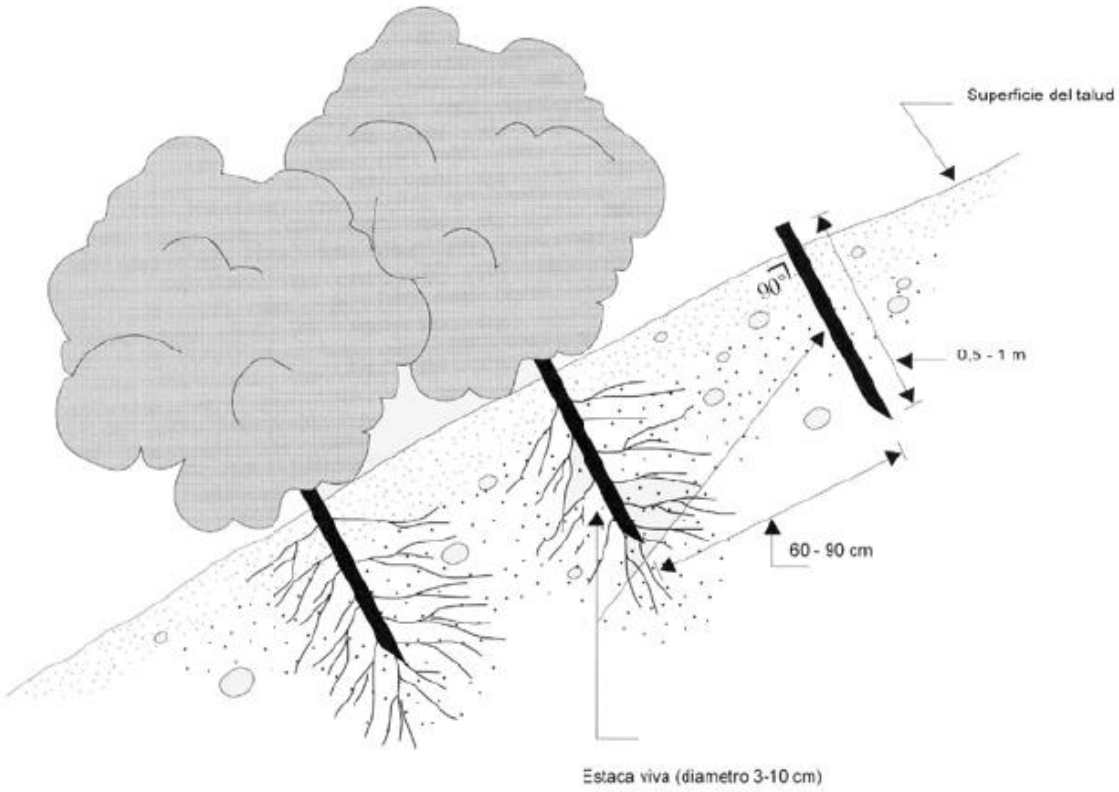


Figura 82 Estacas vivas (Gobierno de Cantabria - Dirección General de Carreteras, Vías y obras, 2005)

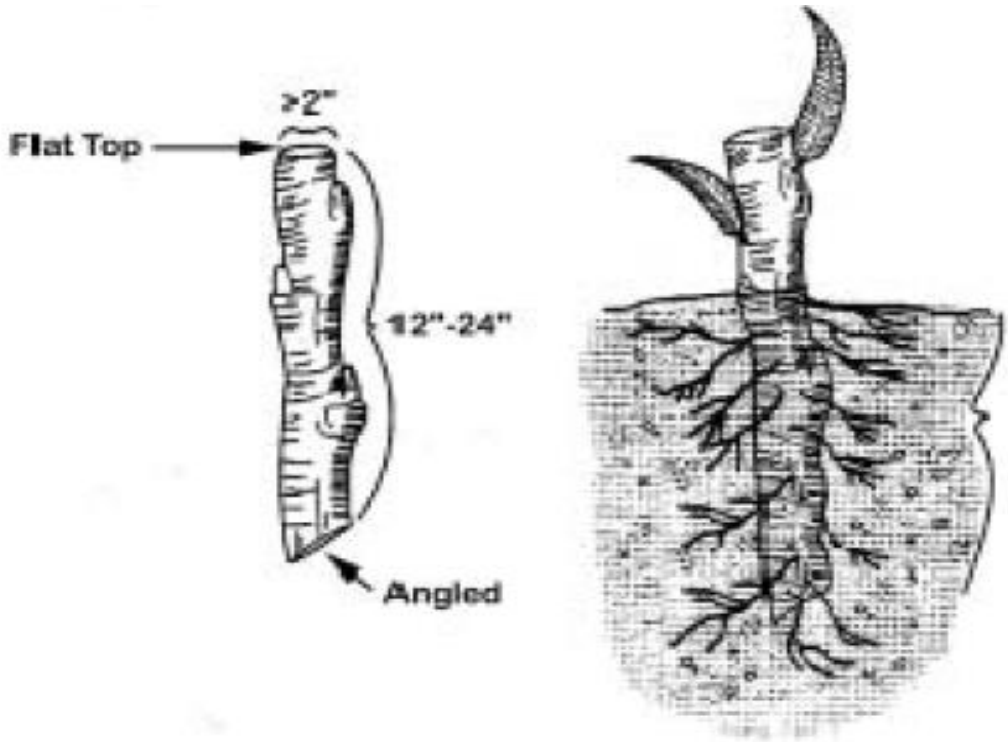


Figura 83 Estacas vivas (Gobierno de Cantabria - Dirección General de Carreteras, Vías y obras, 2005)

E58

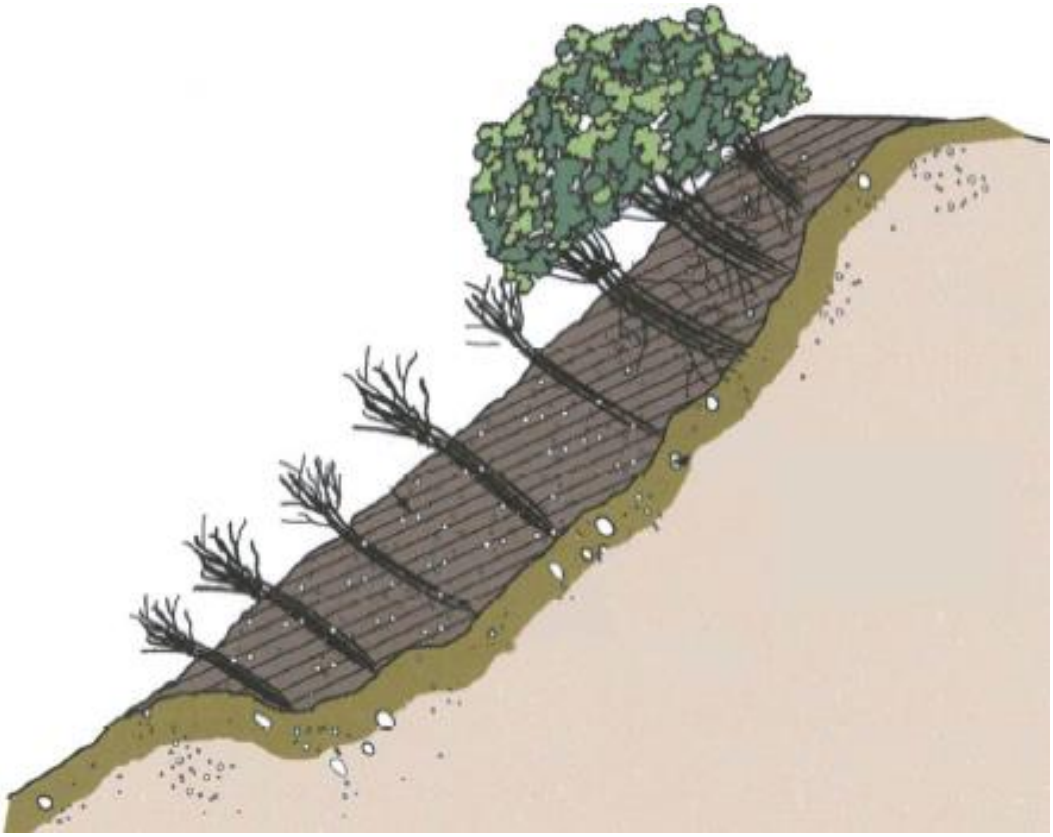


Figura 84 Biosteabilización de regueros (Gobierno de Cantabria - Dirección General de Carreteras, Vías y obras, 2005)

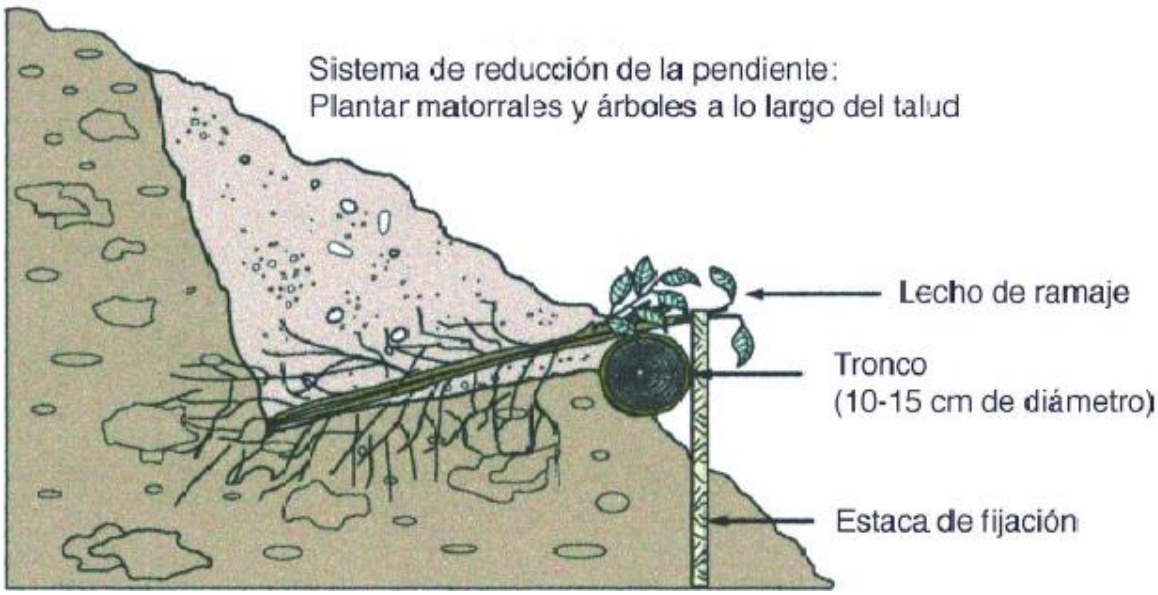


Figura 85 Detalle de biosteabilización de regueros (Gobierno de Cantabria - Dirección General de Carreteras, Vías y obras, 2005)

E59

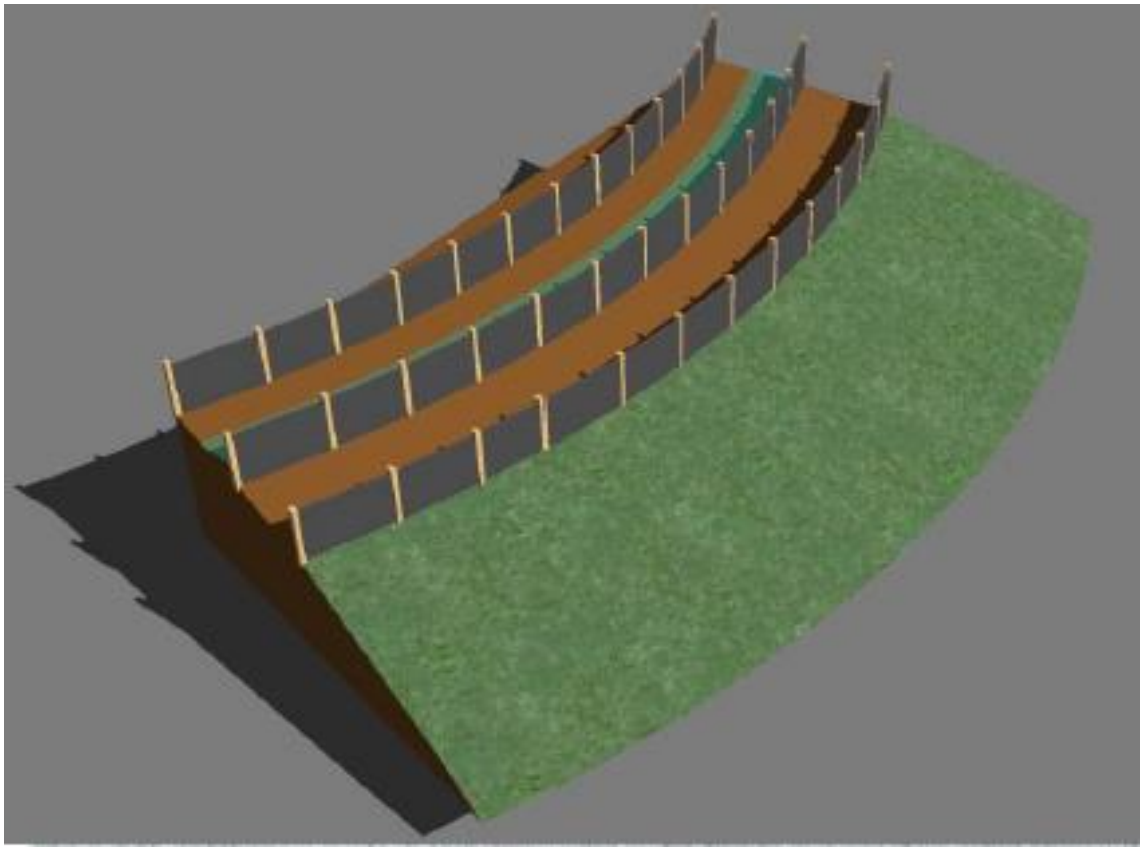


Figura 86 Barrera de geomembrana (Gobierno de Cantabria - Dirección General de Carreteras, Vías y obras, 2005)

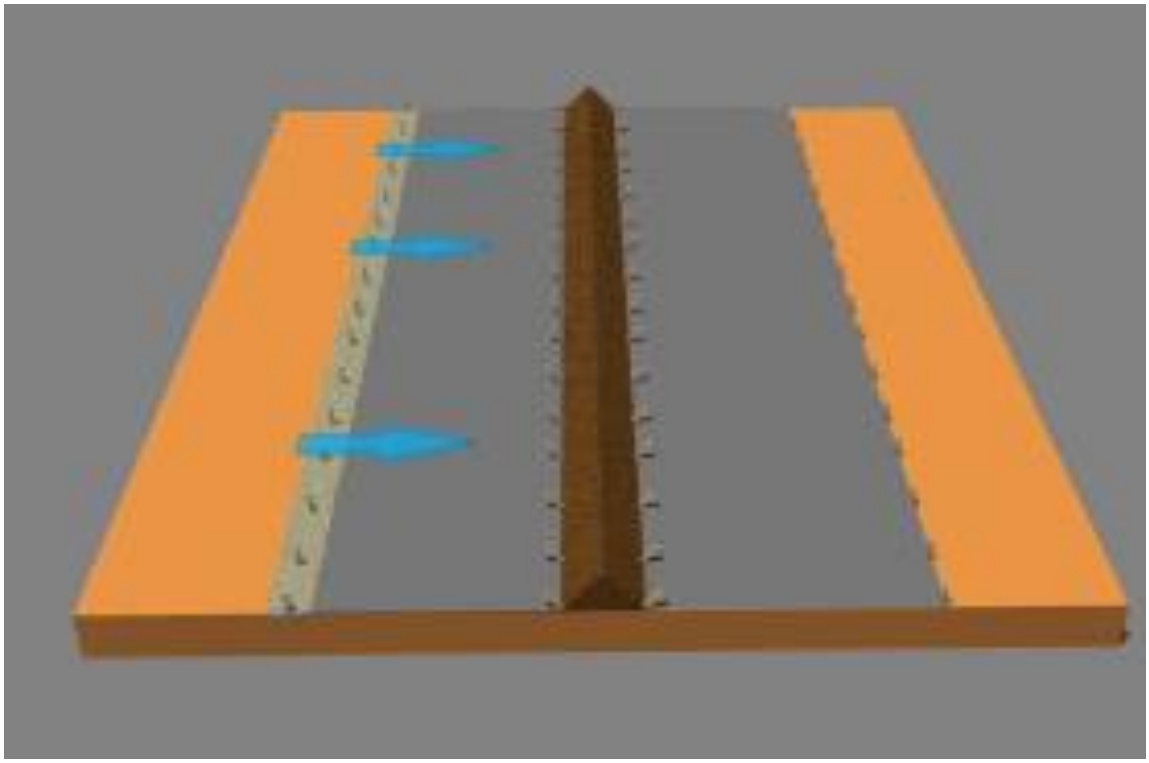


Figura 87 Barrera volumétrica de geotextil (Gobierno de Cantabria - Dirección General de Carreteras, Vías y obras, 2005)

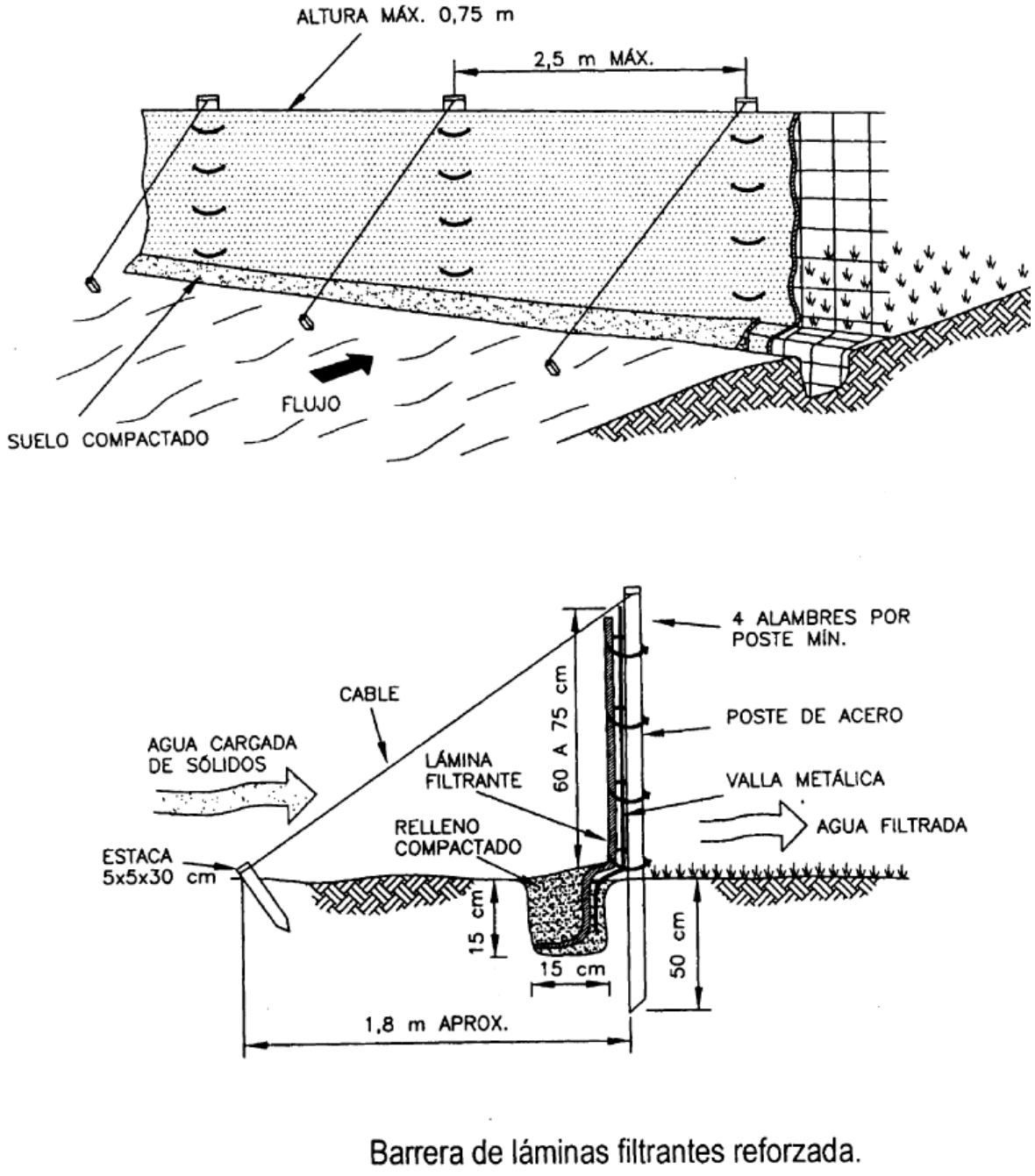


Figura 88 Barrera de láminas filtrantes reforzada (Gobierno de Cantabria - Dirección General de Carreteras, Vías y obras, 2005)

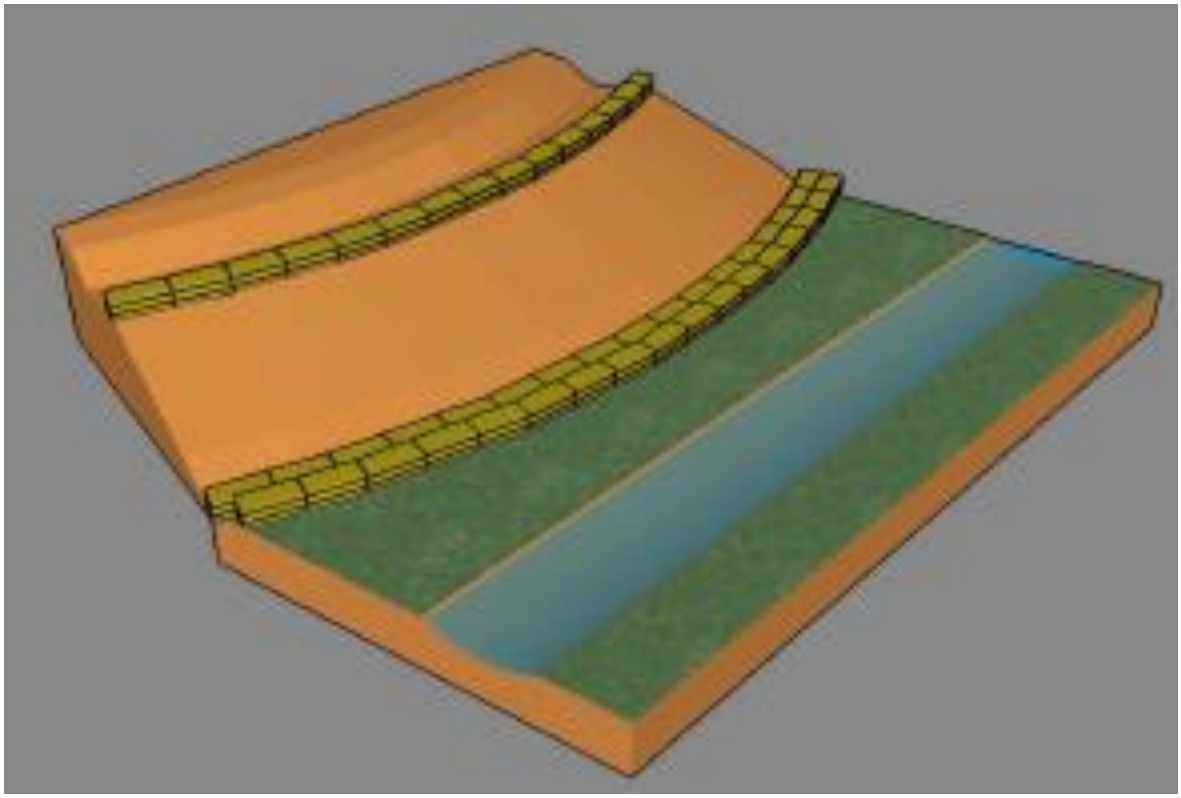


Figura 89 Barrera de pacas de paja (Gobierno de Cantabria - Dirección General de Carreteras, Vías y obras, 2005)

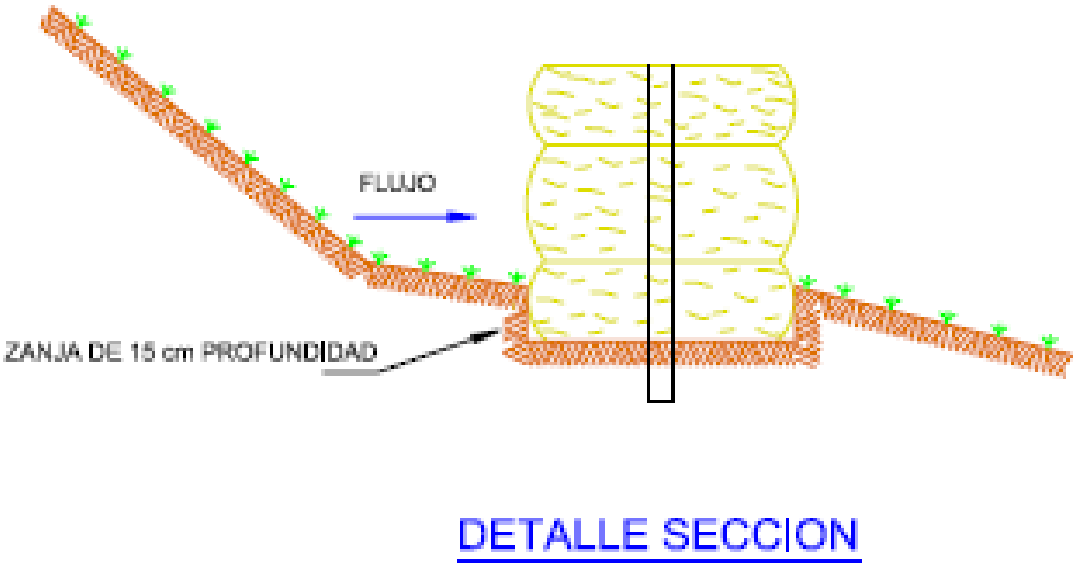


Figura 90 Detalle de barrera de pacas de paja (Gobierno de Cantabria - Dirección General de Carreteras, Vías y obras, 2005)

Figura 91 Detalle de barrera de sacos de árido (Gobierno de Cantabria - Dirección General de Carreteras, Vías y obras, 2005)

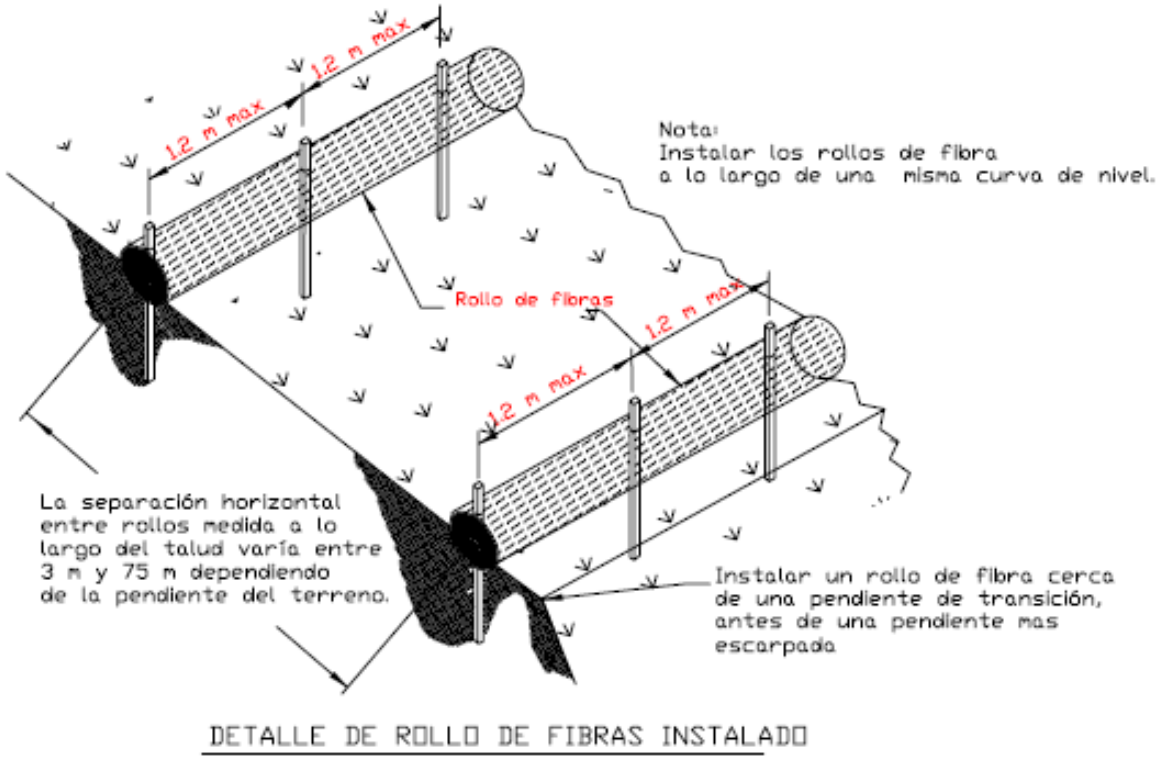


Figura 92 Detalle de rollo de fibras (Gobierno de Cantabria - Dirección General de Carreteras, Vías y obras, 2005)

BARRERA DE RESTOS VEGETALES

(procedentes de podas y desbroces salvo de especies "invasoras")

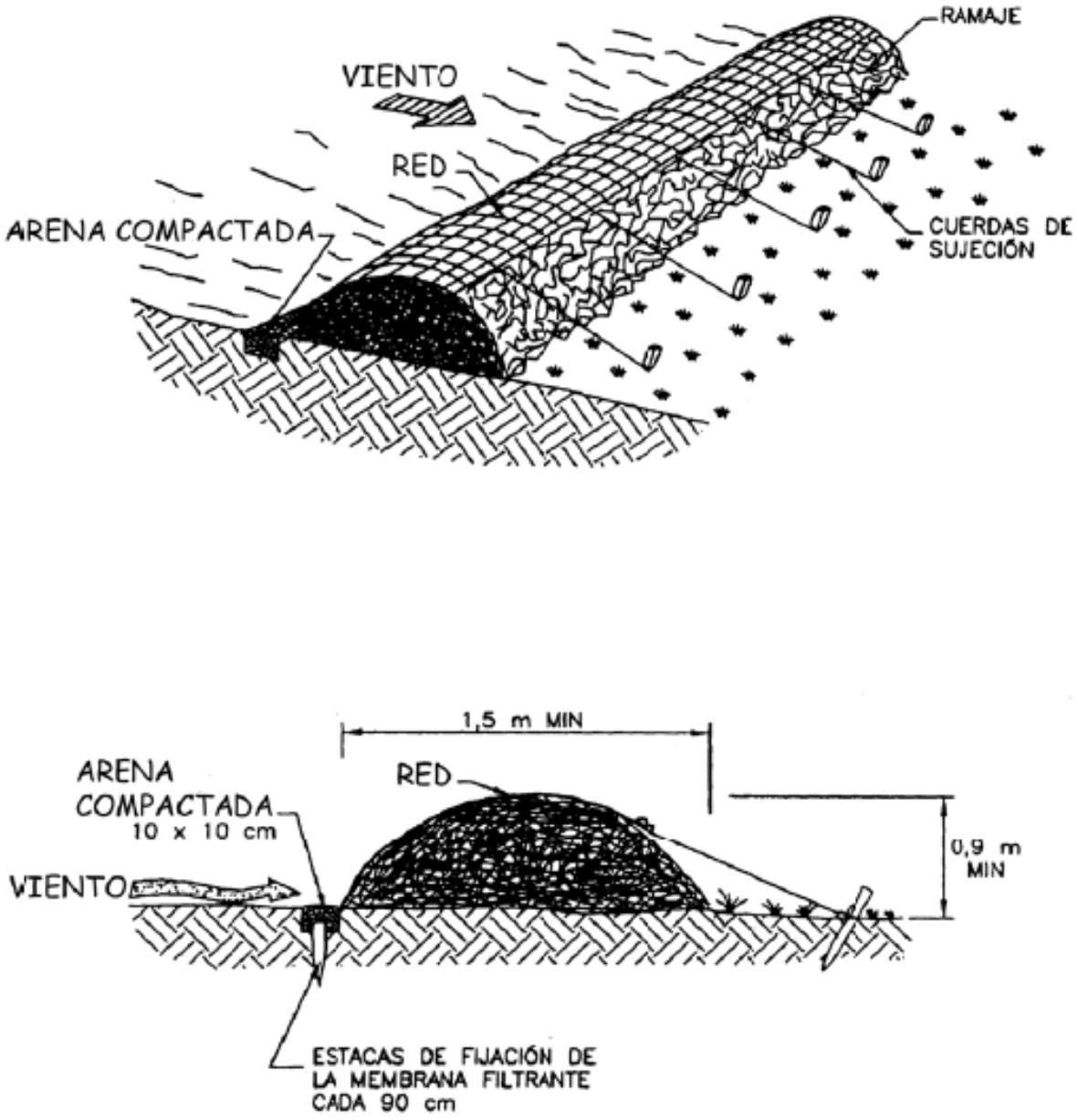


Figura 93 Detalle de barrera de restos vegetales (Gobierno de Cantabria - Dirección General de Carreteras, Vías y obras, 2005)

E62

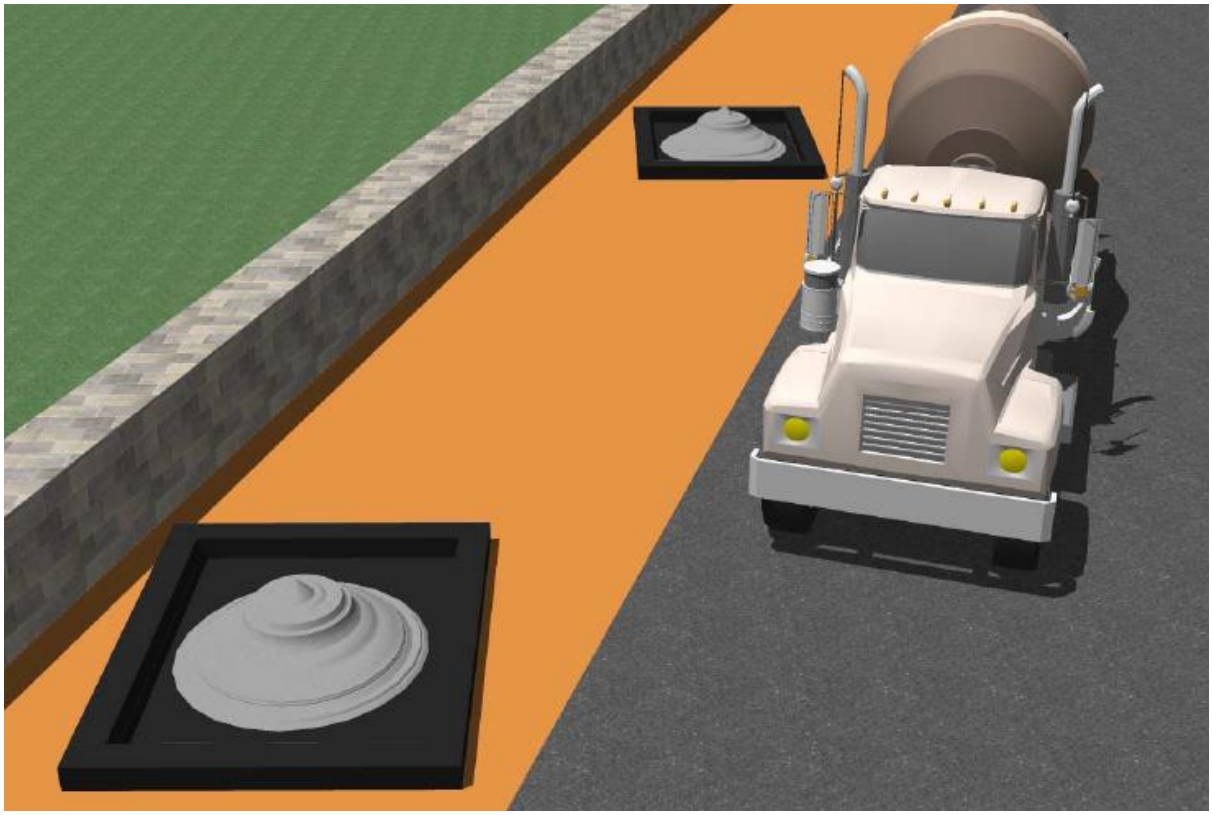


Figura 94 Gestión diaria de morteros (Gobierno de Cantabria - Dirección General de Carreteras, Vías y obras, 2005)

W3

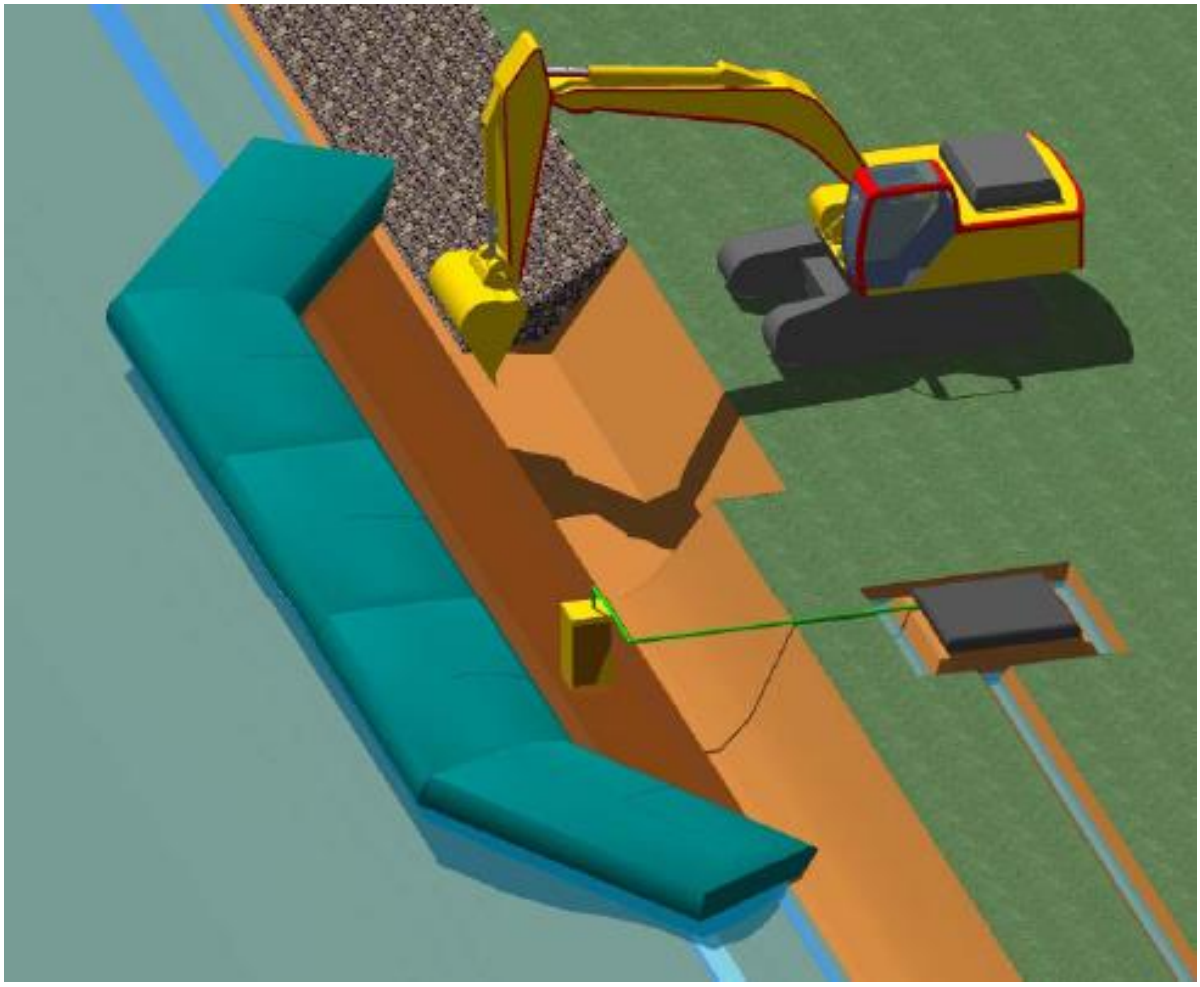


Figura 95 Barrera hinchable (Gobierno de Cantabria - Dirección General de Carreteras, Vías y obras, 2005)

W4

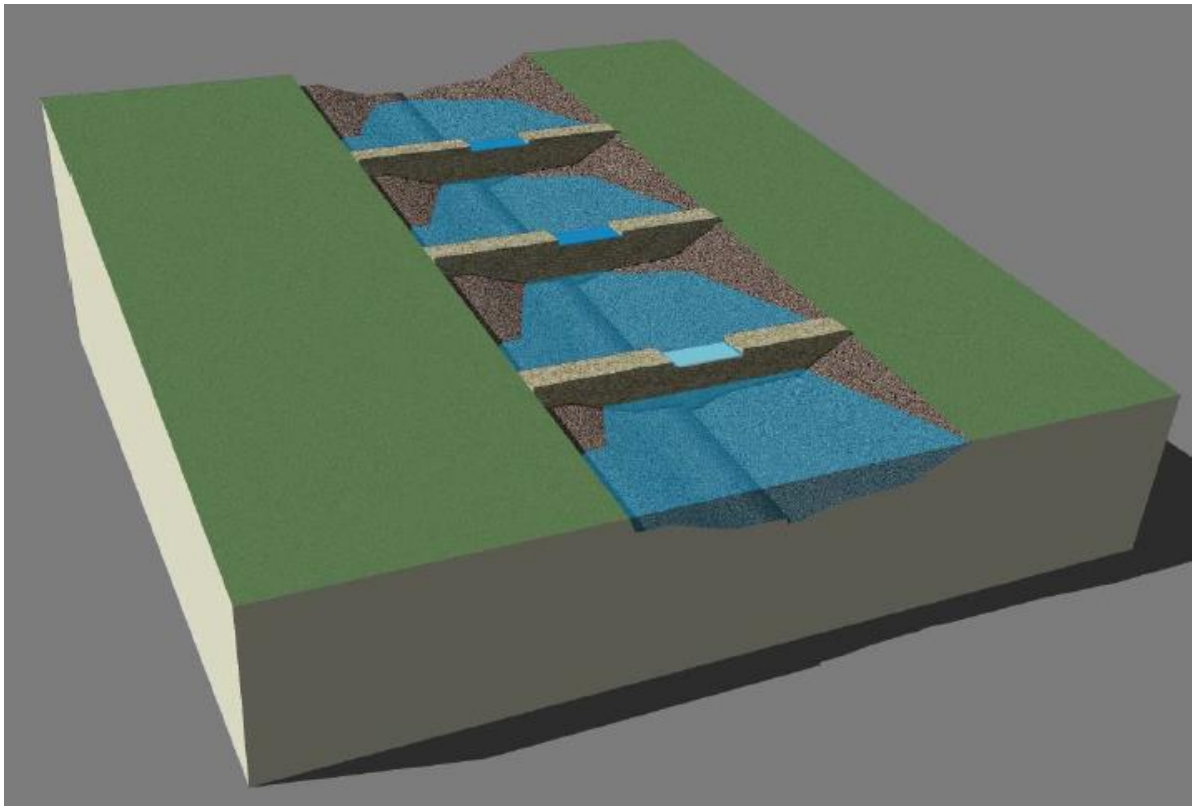


Figura 96 Diques transversales (Gobierno de Cantabria - Dirección General de Carreteras, Vías y obras, 2005)

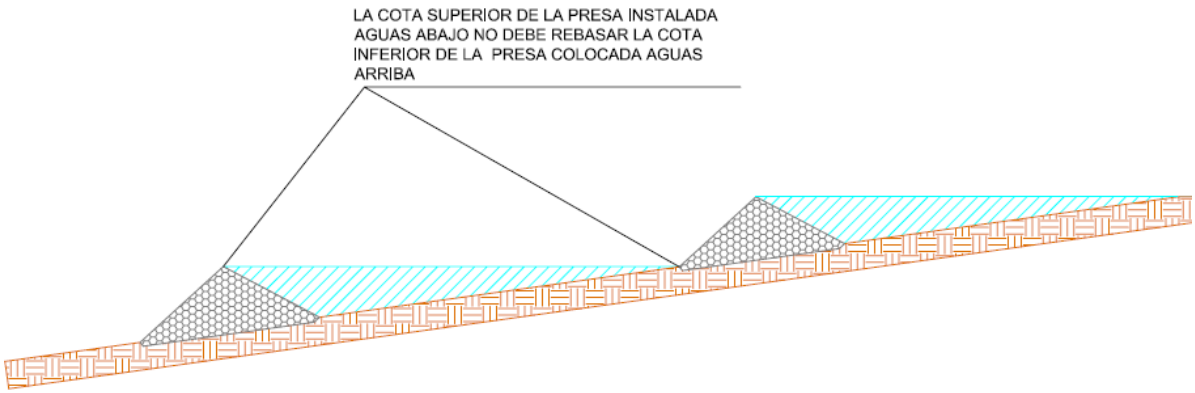


Figura 97 Diques transversales en perfil (Gobierno de Cantabria - Dirección General de Carreteras, Vías y obras, 2005)

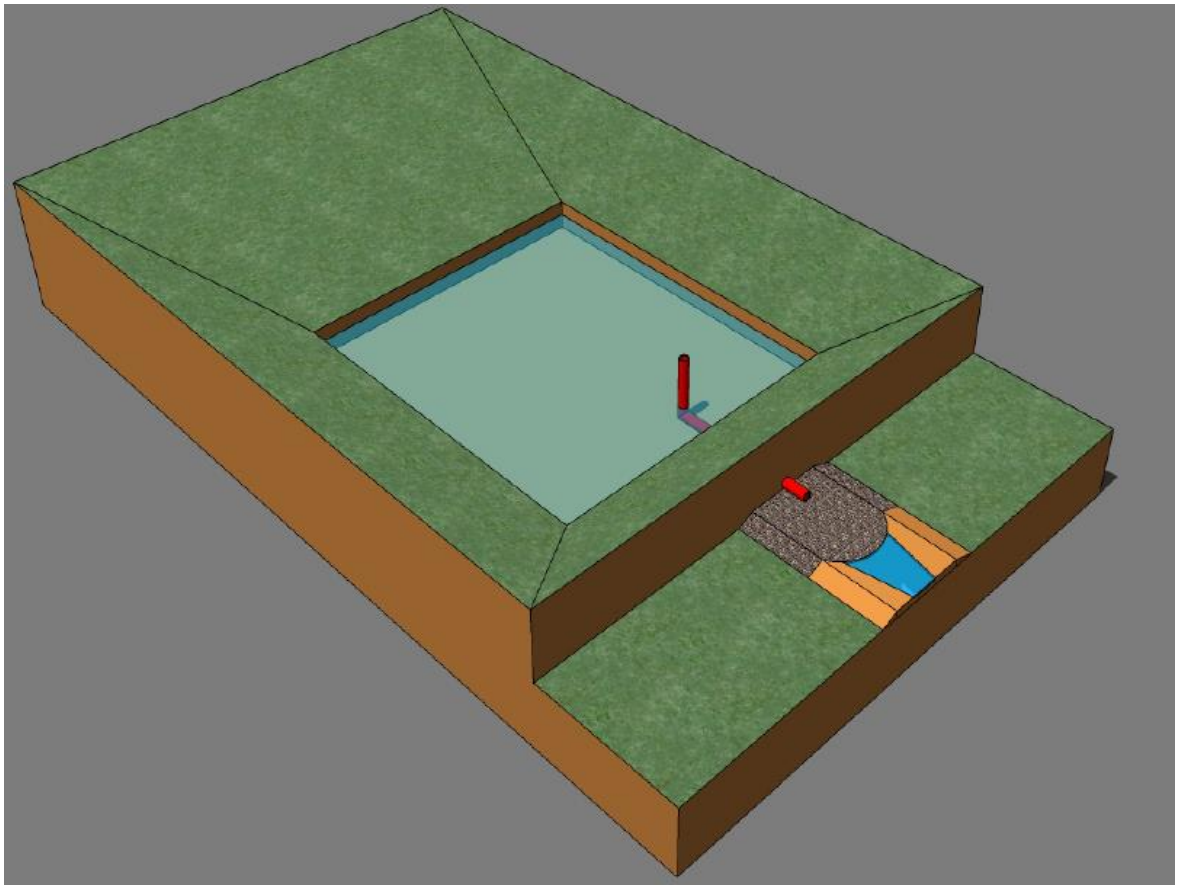


Figura 98 Balsa de sedimentos (Gobierno de Cantabria - Dirección General de Carreteras, Vías y obras, 2005)

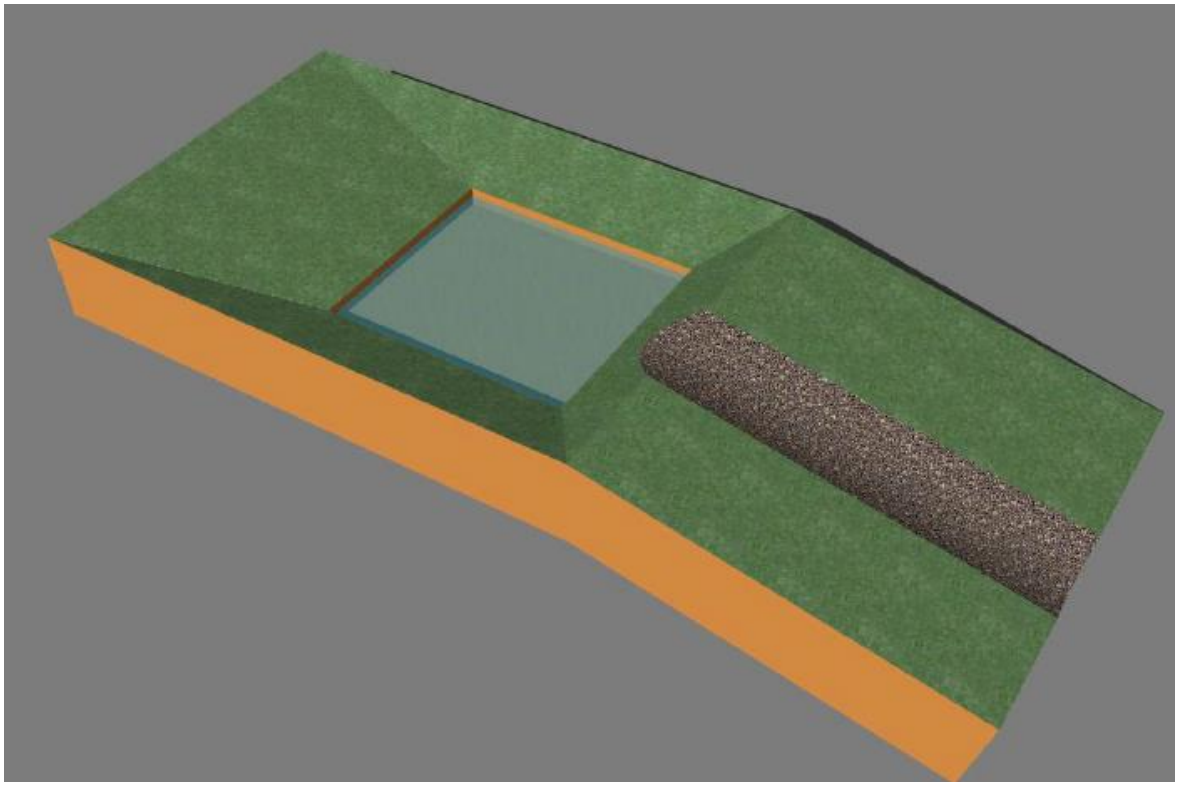


Figura 99 Trampa de sedimentos (Gobierno de Cantabria - Dirección General de Carreteras, Vías y obras, 2005)

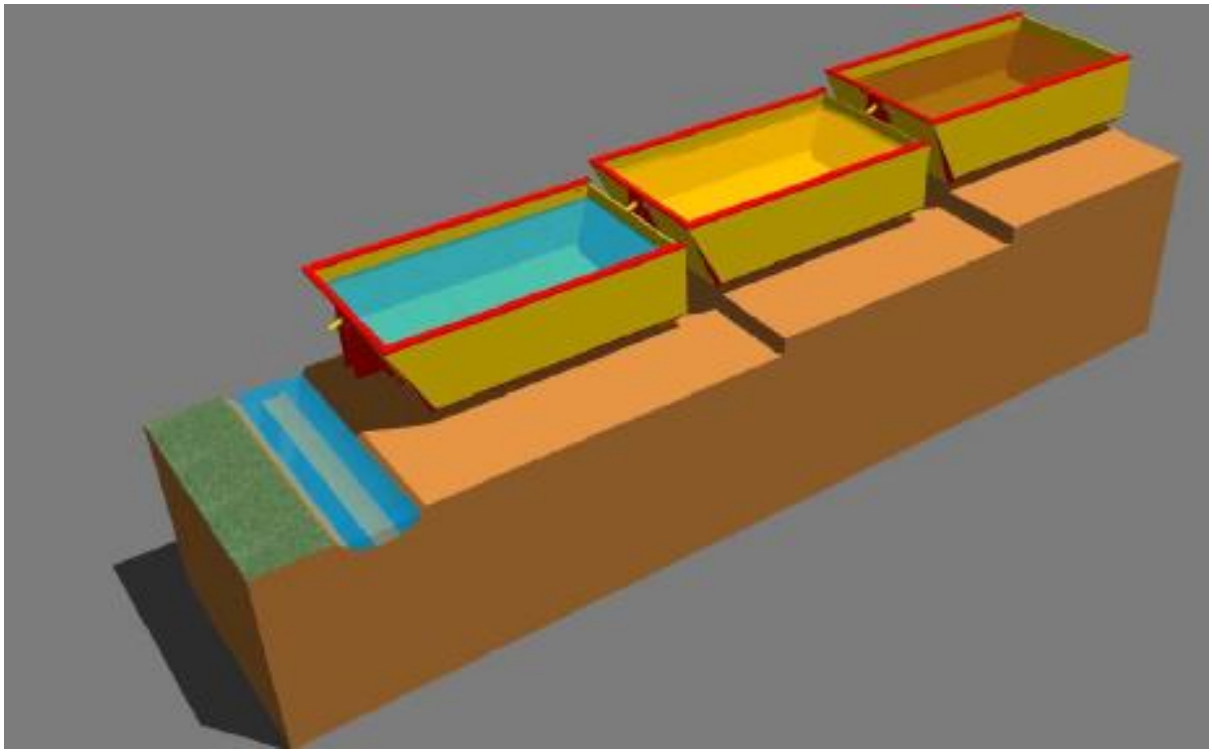


Figura 100 Trampa de sedimentos con contenedores de obra (Gobierno de Cantabria - Dirección General de Carreteras, Vías y obras, 2005)

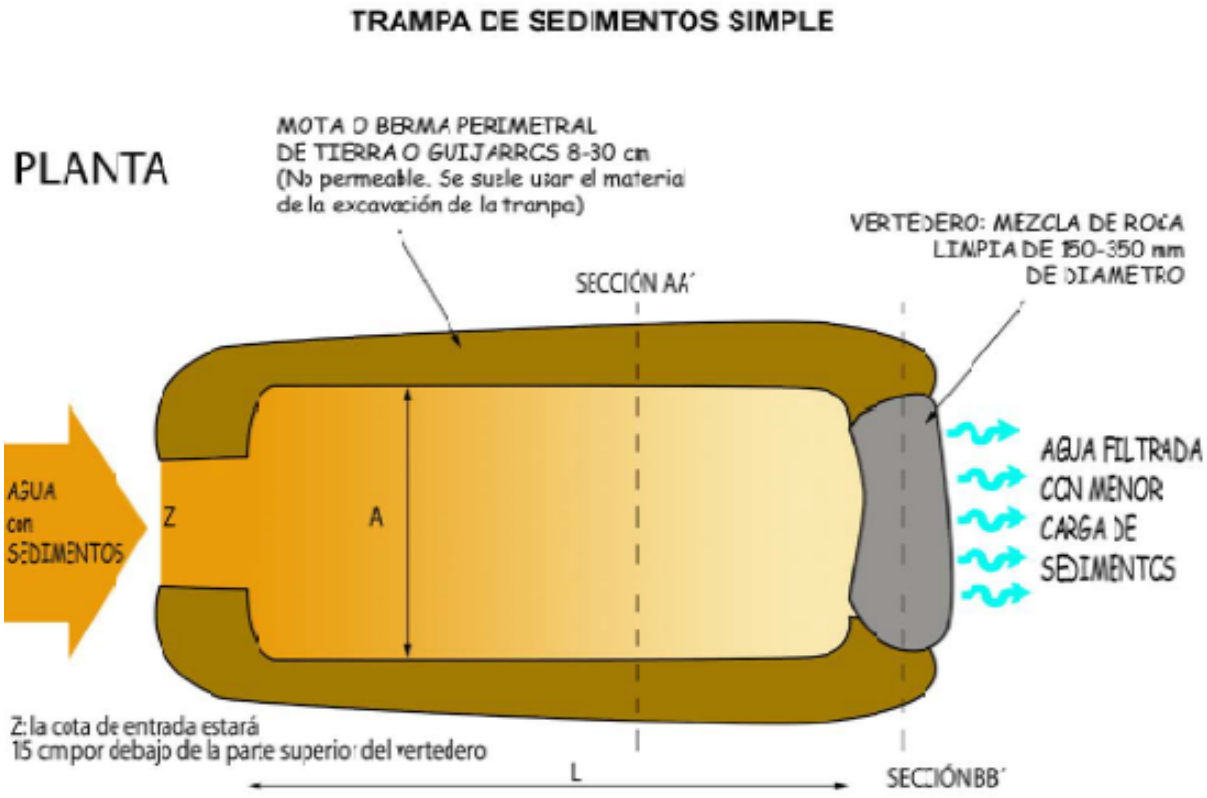


Figura 101 Trampa de sediemntos simple (Gobierno de Cantabria - Dirección General de Carreteras, Vías y obras, 2005)

W11

Figura 102 Aireadores para grifos (www.ecconex.com, 2015)

W21

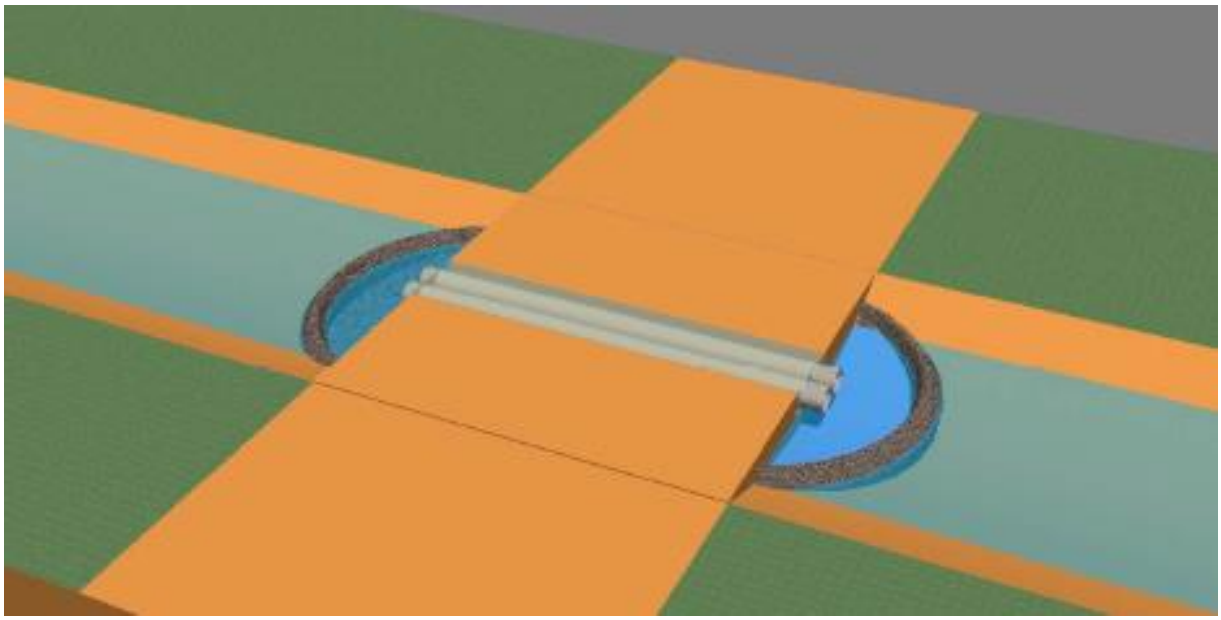


Figura 103 Cruce temporal de un curso de agua (Gobierno de Cantabria - Dirección General de Carreteras, Vías y obras, 2005)

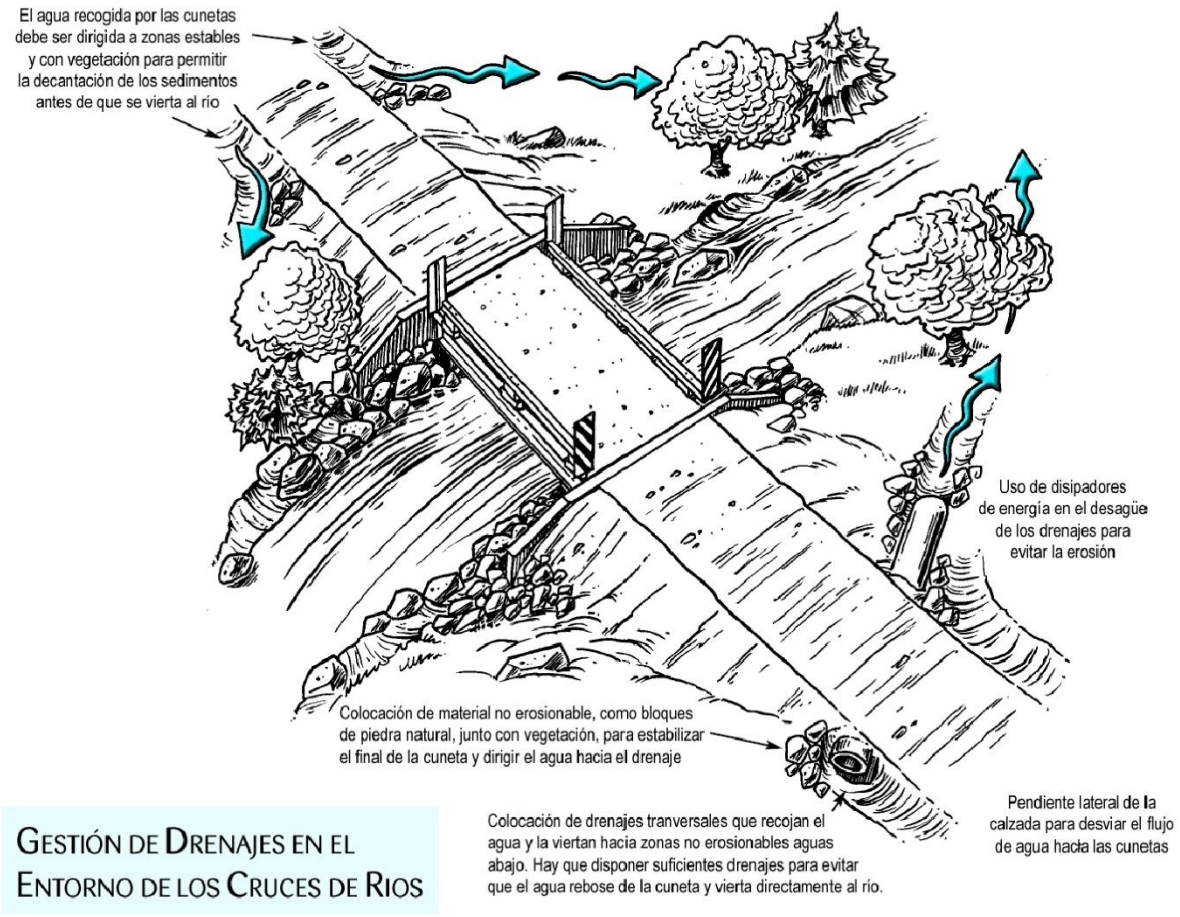


Figura 104 Gestión de drenajes en el entorno de los cruces de ríos (Gobierno de Cantabria - Dirección General de Carreteras, Vías y obras, 2005)

Cruce temporal de ríos con puentes de madera desmontables:

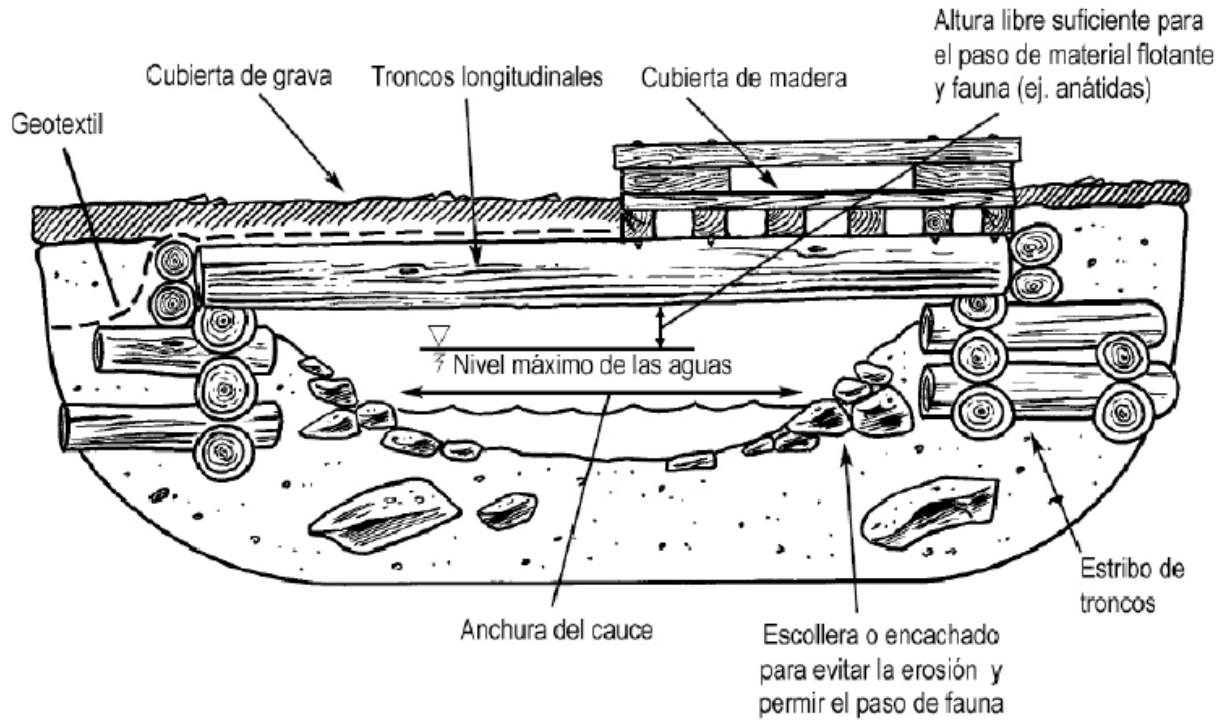


Figura 105 Puente de madera desmontable para cruces temporales de ríos (Gobierno de Cantabria - Dirección General de Carreteras, Vías y obras, 2005)

Cruce temporal de ríos con encachado tipo "Ford"

NOTA: este tipo de cruce es adecuado en cruces temporales de pequeños cursos de agua para evitar la erosión de las orillas. No se recomienda en ríos medios o grandes o si existe paso de peces (salvo que en este último caso la profundidad y anchura del canal central sean adecuadas).

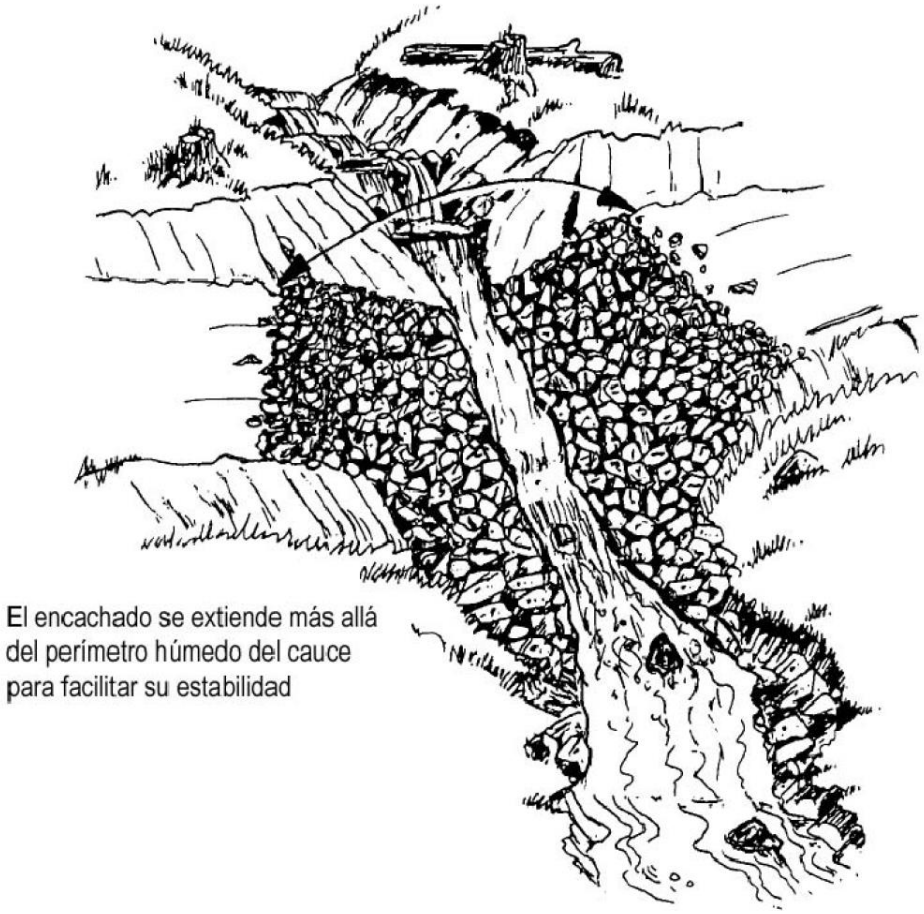


Figura 106 Encachado tipo Ford (Gobierno de Cantabria - Dirección General de Carreteras, Vías y obras, 2005)

W22

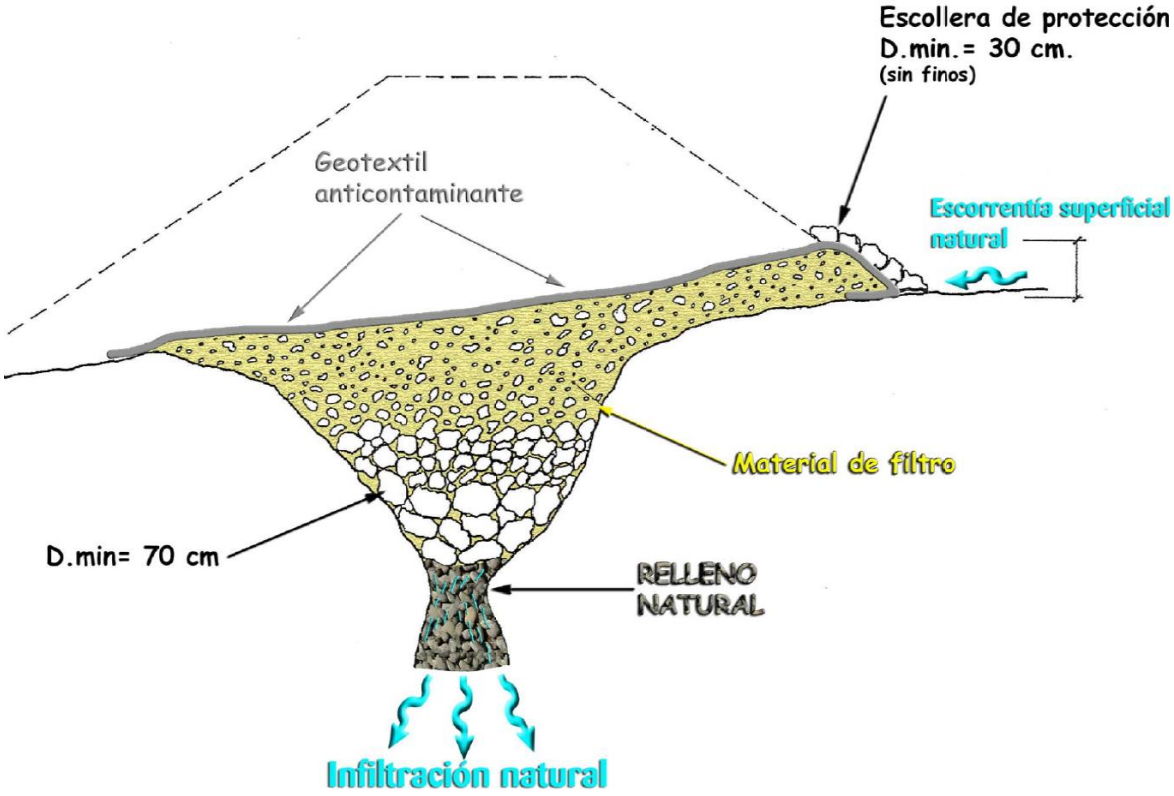
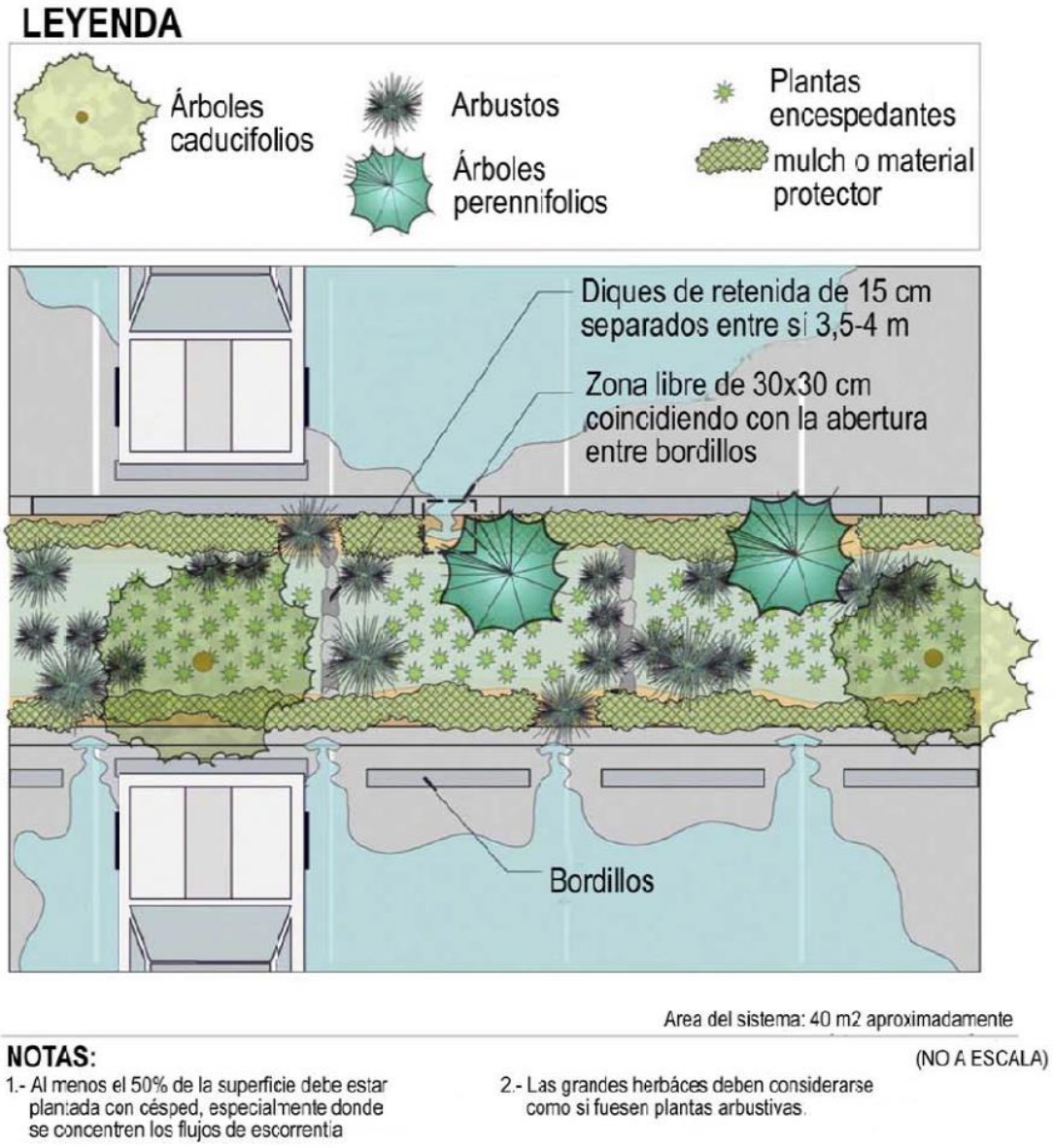


Figura 107 Protección de dolinas (Gobierno de Cantabria - Dirección General de Carreteras, Vías y obras, 2005)

W23

Figura 108 Sistema de bioretención y depuración de aguas de escorrentía (Gobierno de Cantabria - Dirección General de Carreteras, Vías y obras, 2005)



Diseño típico de una cuneta de infiltración para aparcamientos

(adaptado de Portland Clean River Works. 2002. Stormwater management manual)

Figura 109 Cuneta de infiltración en aparcamientos (Gobierno de Cantabria - Dirección General de Carreteras, Vías y obras, 2005)

W35

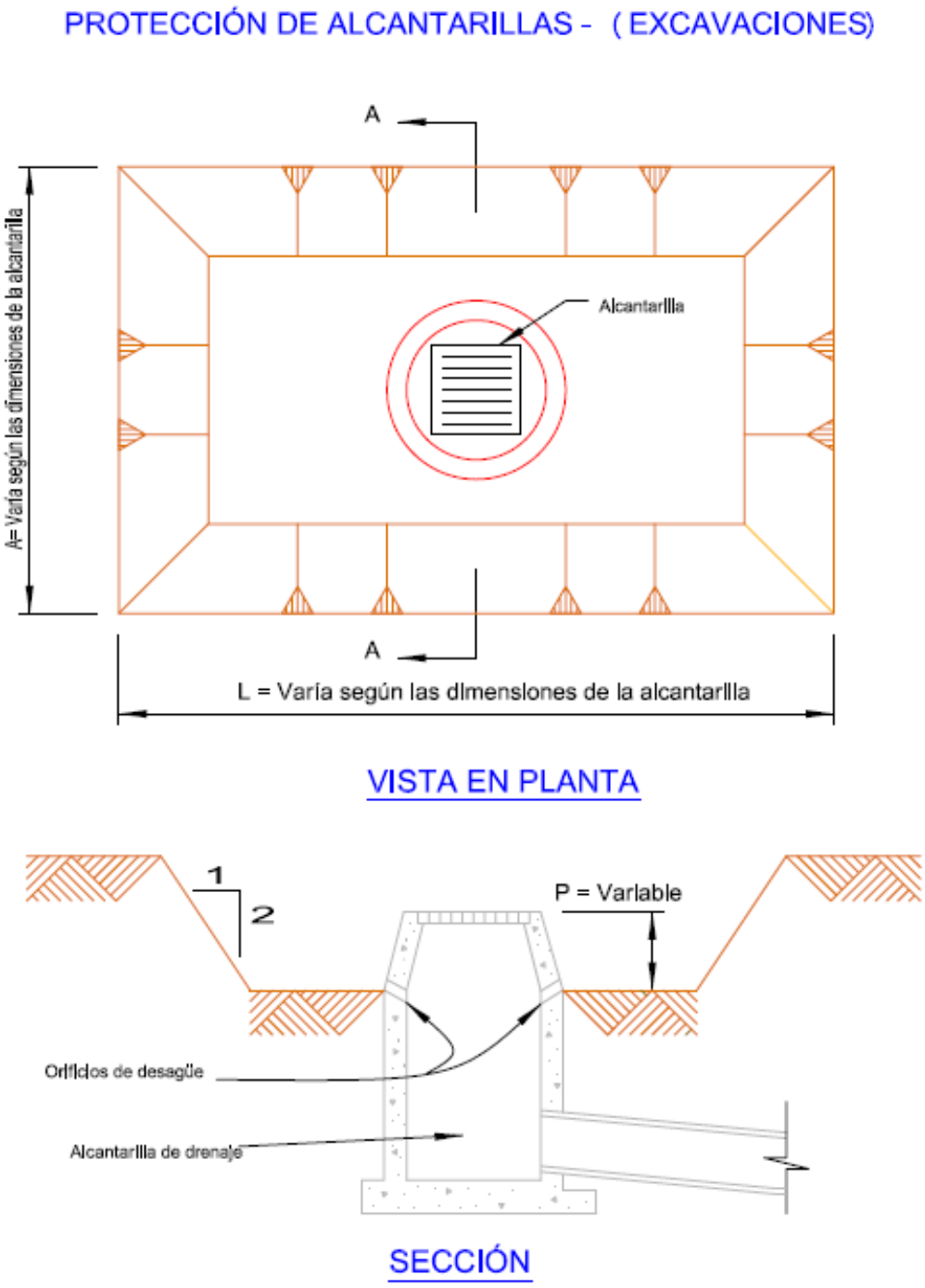


Figura 110 Excavaciones para protección de alcantarillas (Gobierno de Cantabria - Dirección General de Carreteras, Vías y obras, 2005)

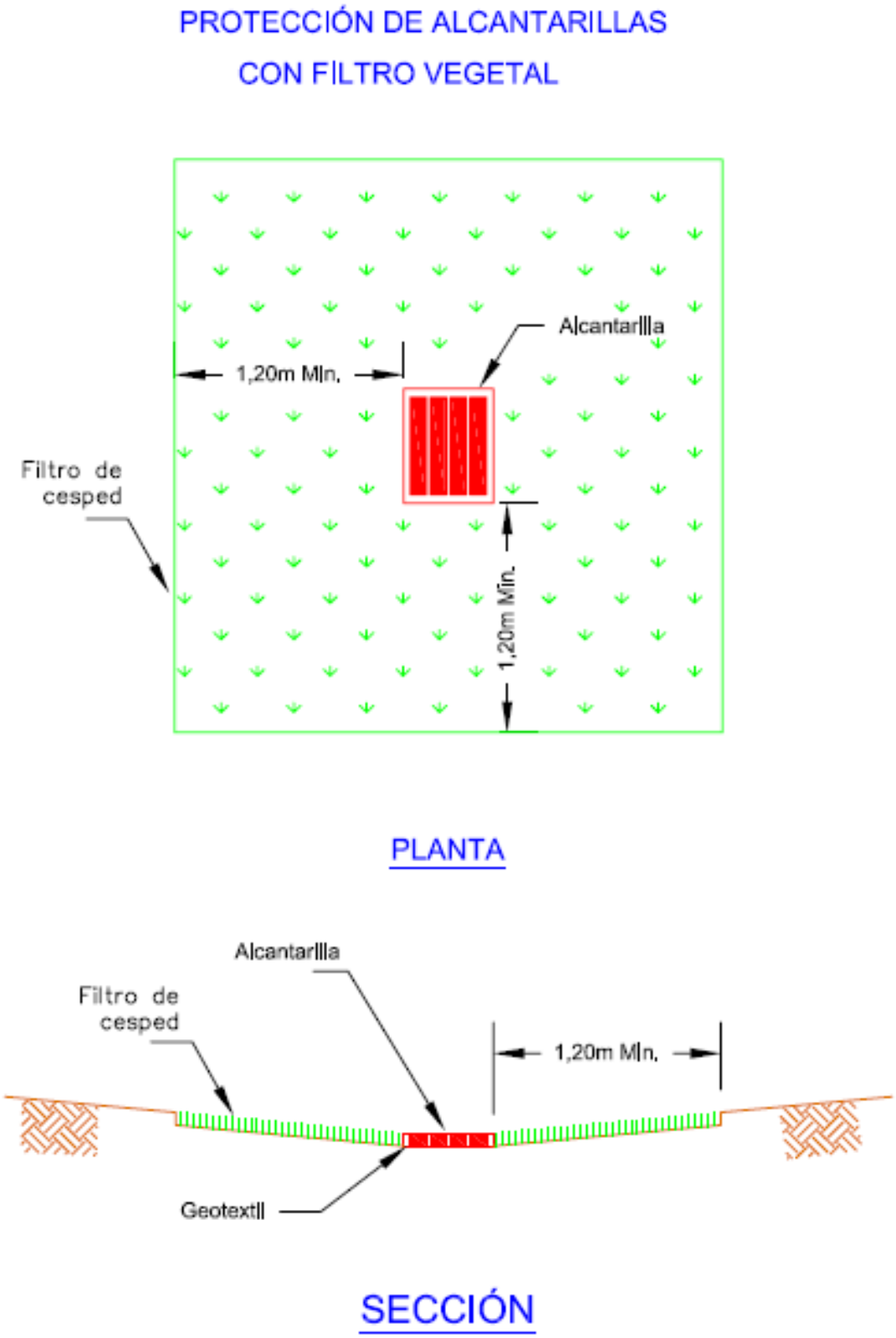


Figura 111 Protección de alcantarillas con filtro vegetal (Gobierno de Cantabria - Dirección General de Carreteras, Vías y obras, 2005)

F18

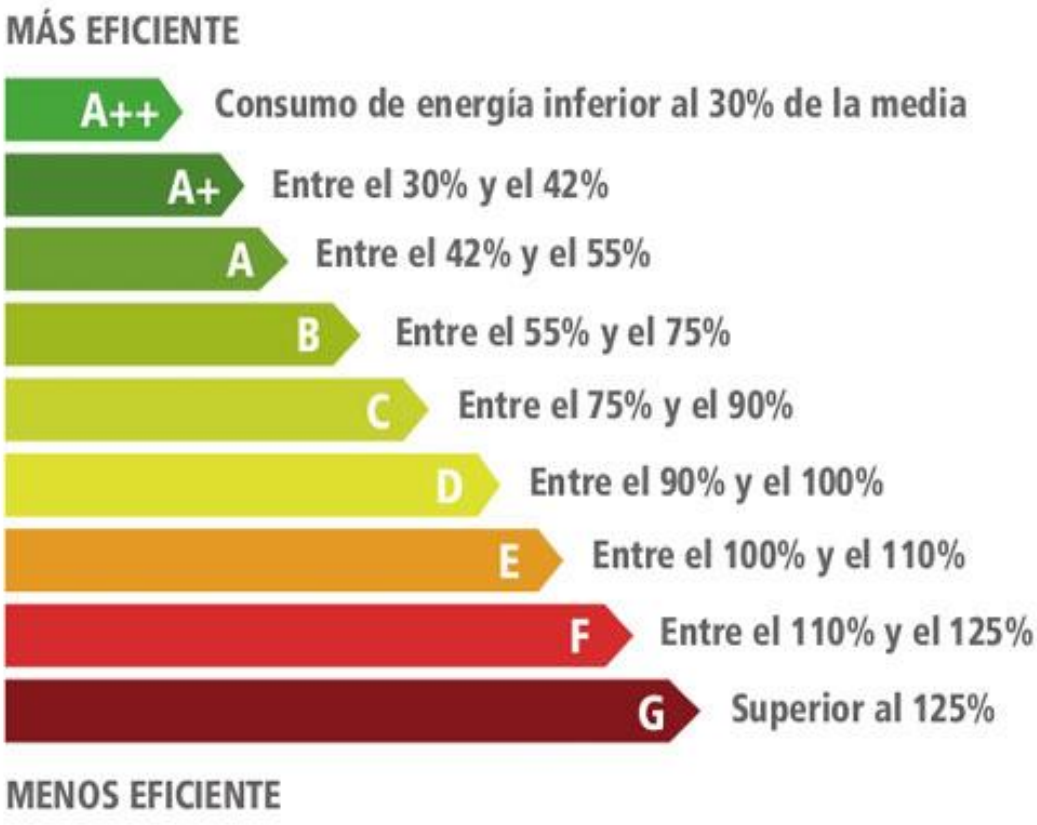


Figura 112 Significado de etiquetas energéticas (ecodomesticate, 2015)

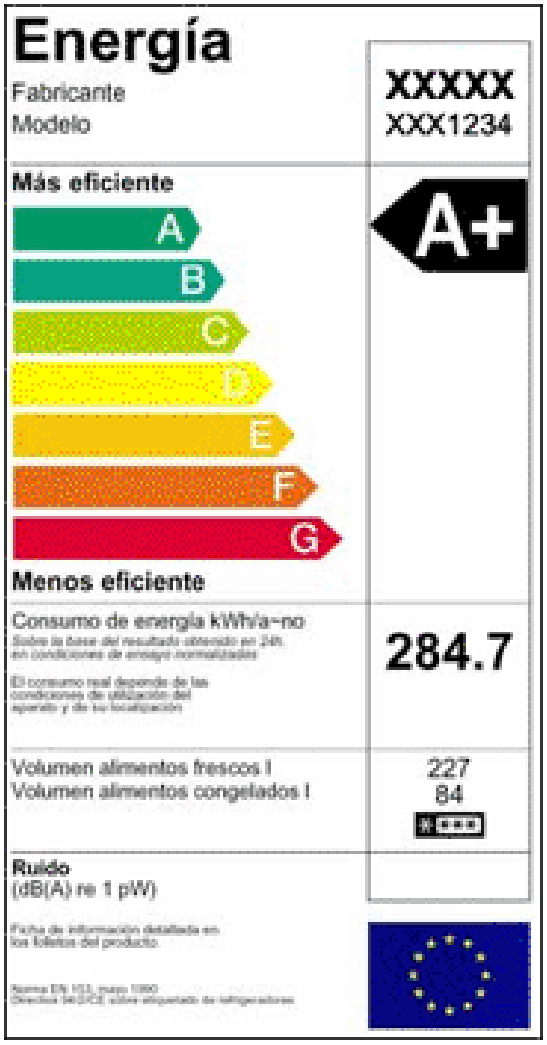


Figura 113 Ejemplo de etiqueta energética (www.consum.cat, 2015)

L1

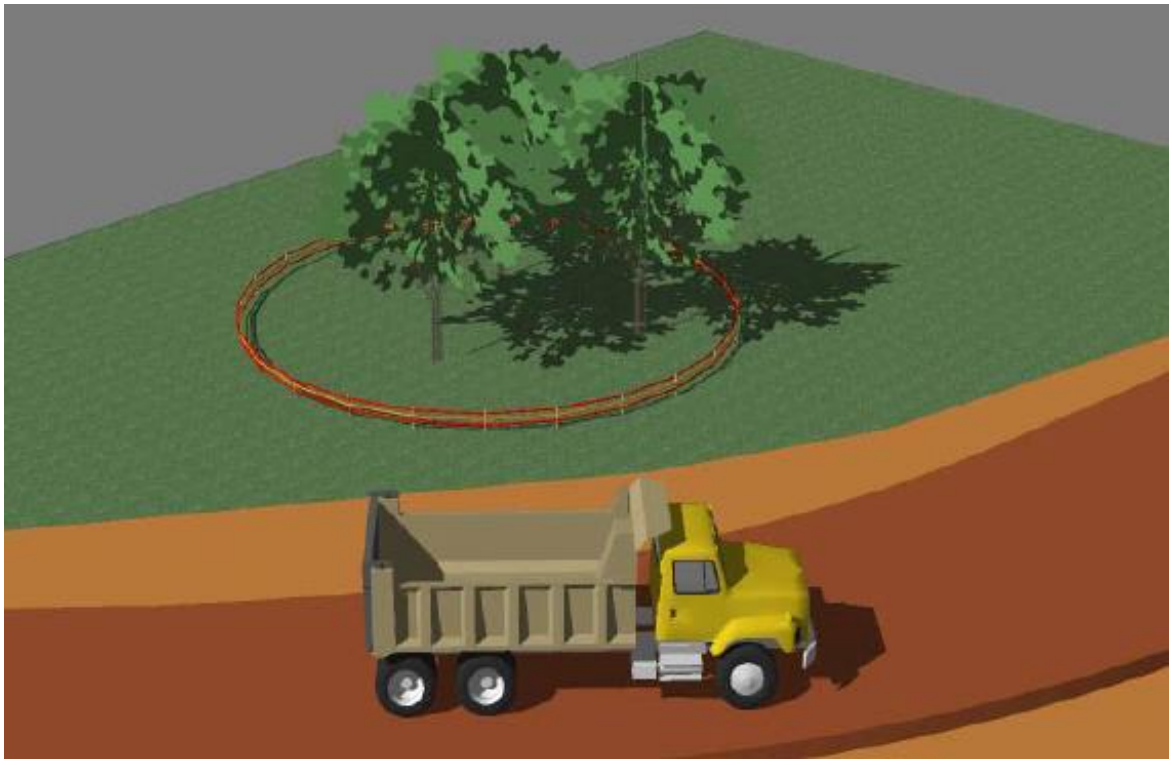


Figura 114 Jalonamiento preventivo (Gobierno de Cantabria - Dirección General de Carreteras, Vías y obras, 2005)

Figura 115 Jalonamiento de plantas que no deben de ser afectadas (Asociación española de la carretera, 2007)

L11

Figura 116 Cartel para evitar el paso de maquinaria por las zonas de ribera que son ambientalmente sensibles (Asociación española de la carretera, 2007)

Figura 117 Tablones de madera para la protección de troncos de árboles de posibles golpes durante las operaciones (Asociación española de la carretera, 2007)

L14

Figura 118 Obra de drenaje que sirve también como paso de fauna (Gobierno de Aragón, 2010)

Figura 119 Paso de fauna sobre autovía (archivo.e-consulta, 2015)

L47

Figura 120 Mejillón cebra (Web de la Confederación Hidrográfica del Tajo, 2015)

Fotografías de Palombera

Humedal del alto de Palombera

Figura 121 Humedal del alto de Palombera (I)

Figura 122 Humedal del alto de Palombera (II)

Figura 123 Humedal del alto de Palombera (III)

Figura 124 Humedal del alto de Palombera (IV)

Paso de ganado

Figura 125 Paso de ganado (I)

Figura 126 Paso de ganado (II)

Obras de fábrica

Figura 127 Puente de piedra (I)

Figura 128 Puente de piedra (II)

Figura 129 Puente con poyos (I)

Figura 130 Puente con poyos (II)

Figura 131 Puente con poyos (III)

Figura 132 Abrevadero de piedra (I)

Figura 133 Abrevadero de piedra (II)

Figura 134 Abrevadero de piedra (III)

Figura 135 Muro de piedra (I)

Figura 136 Muro de piedra (II)

Mirador de La Cardosa

Figura 137 Mirador (I)

Figura 138 Mirador (II)

Figura 139 Mirador (III)

Aparcamiento de hormigón con césped

Figura 140 Aparcamiento (I)

Figura 141 Aparcamiento (II)

Cunetas

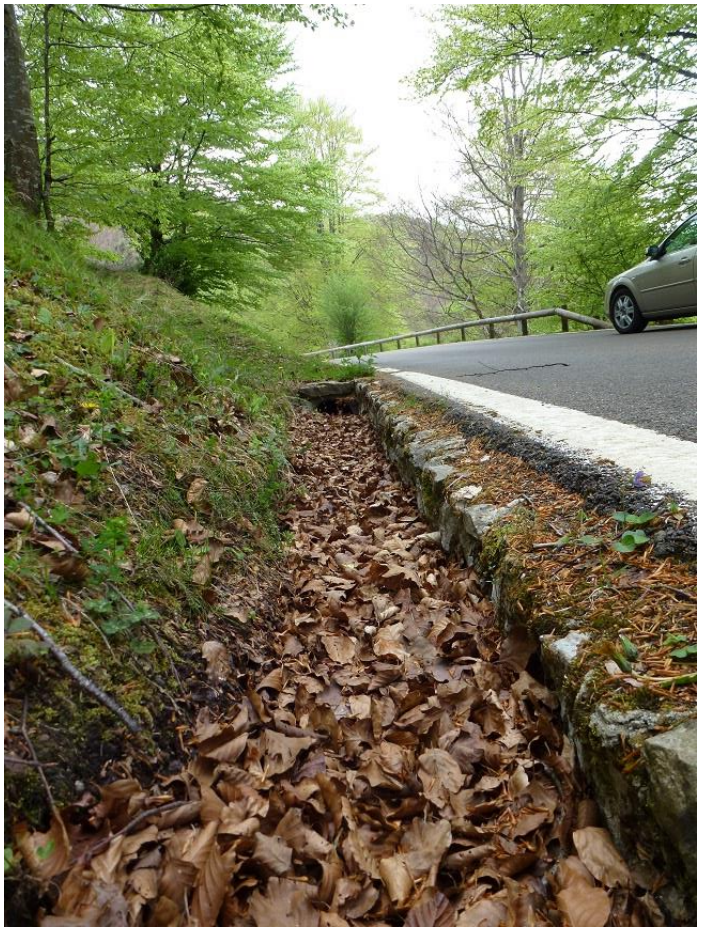


Figura 142 Cuneta (I)

Figura 143 Cuneta (II)

Figura 144 Cuneta (III)

Figura 145 Cuneta (IV)

Figura 146 Cuneta (V)

Señalización y cartelería

Figura 147 Señal vertical (I)

Figura 148 Señal vertical (II)

Figura 149 Cartel de paso de ganado

Figura 150 Cartel de paso de anfibios

Integración de la carretera en el paisaje

Figura 151 Carretera de Palombera (I)

Figura 152 Carretera de Palombera (II)

Figura 153 Carretera de Palombera (III)

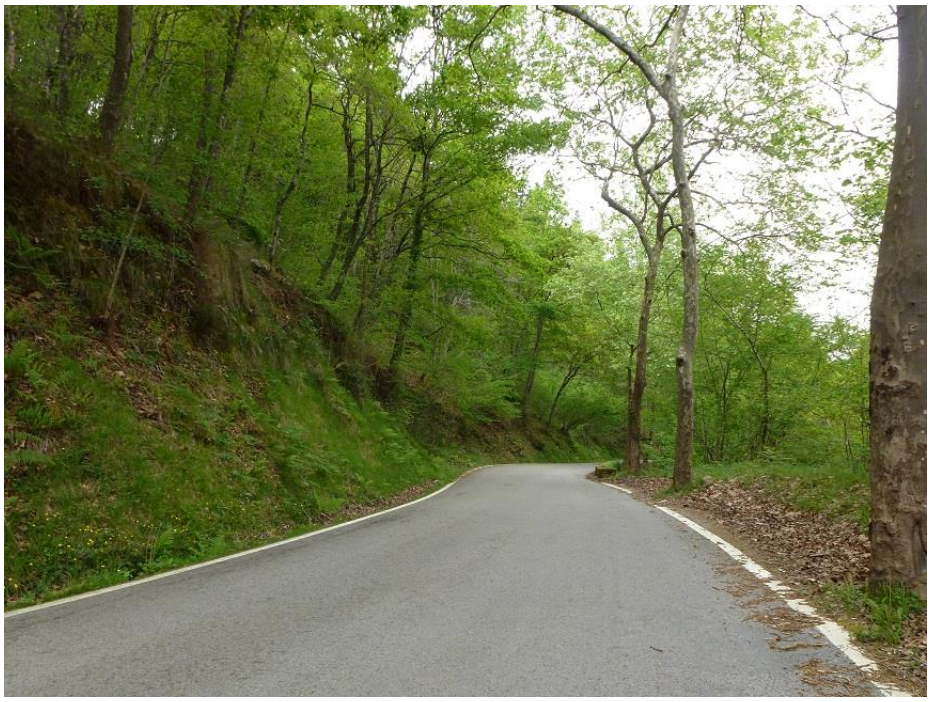


Figura 154 Carretera de Palombera (IV)

Figuras

Figura 1 Operaciones típicas de movimiento de tierras en obras de carretera (The Roadside Conservation Committee Western Australia, 2010) 8
Figura 2 Las actividades de construcción y mantenimiento de carreteras frecuentemente generan cantidades importantes de polvo (The Roadside Conservation Committee Western Australia, 2010) 9
Figura 3 Ejemplo de etiqueta de residuos peligrosos (Asociación española de la carretera, 2007) 10
Figura 4 Agua empleada en trabajos de compactación (Gobierno de Aragón, 2010) 12
Figura 5 Obra de drenaje que funciona también como paso para la fauna (Asociación española de la carretera, 2007) 15
Figura 6 Patrimonio aborigen en Australia (The Roadside Conservation Committee Western Australia, 2010) 16
Figura 7 Mapamundi de Zonas Climáticas (Web de la UNESCO, 2015) 19
Figura 8 Funcionamiento del registro de huella de carbono, compensación y proyectos de absorción de dióxido de carbono (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2015) 44
Figura 9 Principales unidades de obra del presupuesto (PRESTO) 51
Figura 10 Desglose de unidades de obra 1 (PRESTO) 52
Figura 11 Desglose de unidades de obra 2 (PRESTO) 52
Figura 12 Desglose de unidades de obra 3 (PRESTO) 52
Figura 13 Desglose de unidades de obra 4 (PRESTO) 52
Figura 14 Tabla con emisiones de maquinaria de la plantilla de HueCO2 53
Figura 15 Tabla con emisiones de materiales de la plantilla de HueCO2 53
Figura 16 Incertidumbres de los factores de emisión 53
Figura 17 Resultados del cálculo de la huella de carbono en la plantilla de HueCO2 (I) 54
Figura 18 Resultados del cálculo de la huella de carbono en la plantilla de HueCO2 (II) 55
Figura 19 Interfaz de TCQ2000 56
Figura 20 Interfaz del Banco BEDEC (I) 57
Figura 21 Interfaz del Banco BEDEC (II) 57
Figura 22 Interfaz del Banco BEDEC (III) 57
Figura 23 Interfaz del Banco BEDEC (IV) 57
Figura 24 Visualización de partida de obra (I) TCQ2000 58
Figura 25 Visualización de partida de obra (II) TCQ2000 58
Figura 26 Adaptación de información medioambiental en el módulo de GMA 59
Figura 27 Obtención de informes de emisiones de CO_2 con módulo de GMA 59
Figura 28 Huella de carbono de la maquinaria (TCQ2000) 59
Figura 29 Huella de carbono de los materiales (TCQ2000) 60
Figura 30 Mapa de parques naturales y nacionales existentes en Cantabria (Gobierno de Cantabria, 2010) 63
Figura 31 Mapa de ZEPAs y LICs en Cantabria (Gobierno de Cantabria, 2010) 65
Figura 32 Espacios Naturales Protegidos en Cantabria (Gobierno de Cantabria, 2010) 65
Figura 33 Mapa de carreteras de Cantabria (Gobierno de Cantabria, 2010) 66
Figura 34 Espacios Naturales Protegidos y Carreteras en Cantabria (Gobierno de Cantabria, 2010) 67
Figura 35 Ubicación de la obra del puerto de Palombera (Valle Álvarez, García Fernández, del Jesus Clemente, & de la Puente, 2005) 69

Figura 36 Cuneta de sección rectangular de piedra cubierta de hojas secas 73
Figura 37 Cartel advirtiendo de la existencia de un paso de anfibios..... 74
Figura 38 Paso de fauna con cartel indicador 75
Figura 39 Zona de humedal temporal del alto de Palombera 75
Figura 40 Puente de piedra de Los Tejíos con poyos 76
Figura 41 Mirador de La Cardosa 77
Figura 42 Zona de aparcamiento de hormigón con césped junto a la carretera 77
Figura 43 Tramo de la carretera con árboles muy próximos 78
Figura 44 Lona en camión de caja abierta (www.ToldosBotero.com, 2015) 99
Figura 45 Lona en camión de caja abierta (www.zamarbu.com, 2015)..... 99
Figura 46 Toldo de plástico sobre acopio (Gobierno de Cantabria - Dirección General de Carreteras, Vías y obras, 2005) 100
Figura 47 Regado de pista (Gobierno de Cantabria - Dirección General de Carreteras, Vías y obras, 2005) 100
Figura 48 Instalaciones de lavado de vehículos (Gobierno de Cantabria - Dirección General de Carreteras, Vías y obras, 2005) 101
Figura 49 Instalaciones de lavado de vehículos (Gobierno de Cantabria - Dirección General de Carreteras, Vías y obras, 2005) 101
Figura 50 Marca CE en maquinaria (www.lineaprevencion.com, 2015) 102
Figura 51 Apantallamiento de madera con perfiles metálicos (Gobierno de Cantabria - Dirección General de Carreteras, Vías y obras, 2005)..... 103
Figura 52 Apantallamiento con pacas de paja (Gobierno de Cantabria - Dirección General de Carreteras, Vías y obras, 2005) 103
Figura 53 Apantallamiento para elemento individual con madera y perfiles metálicos (Gobierno de Cantabria - Dirección General de Carreteras, Vías y obras, 2005)..... 104
Figura 54 Superficie irregular en talud con vegetación (Gobierno de Cantabria - Dirección General de Carreteras, Vías y obras, 2005)..... 104
Figura 55 Superficie irregular en talud sin vegetación (Gobierno de Cantabria - Dirección General de Carreteras, Vías y obras, 2005) 105
Figura 56 Ejemplo de modo de acopio de diferentes tierras vegetales (Gobierno de Cantabria - Dirección General de Carreteras, Vías y obras, 2005)..... 105
Figura 57 Forma de retirar distintas capas de suelo vegetal (Gobierno de Cantabria - Dirección General de Carreteras, Vías y obras, 2005)..... 106
Figura 58 Almacén de residuos (Gobierno de Cantabria - Dirección General de Carreteras, Vías y obras, 2005) 106
Figura 59 Almacén de residuos (www.lineaprevencion.com, 2015) 107
Figura 60 Almacén de residuos cerrado (www.balat.com, 2015)..... 107
Figura 61 Etiqueta residuo peligroso (Asociación española de la carretera, 2007)..... 108
Figura 62 Etiquetas de materiales contaminantes (iai-trabajos, 2015) 109
Figura 63 Suelo contaminado por el hongo Phytophthora (The Roadside Conservation Committee Western Australia, 2010) 110
Figura 64 Bosque infectado por el hongo Phytophthora (The Roadside Conservation Committee Western Australia, 2010) 110
Figura 65 Albarradas en las inmediaciones de carretera (Gobierno de Cantabria - Dirección General de Carreteras, Vías y obras, 2005)..... 111
Figura 66 Drenaje en un talud (Gobierno de Cantabria - Dirección General de Carreteras, Vías y obras, 2005) 111

Figura 67 Tubo drenante en talud (Gobierno de Cantabria - Dirección General de Carreteras, Vías y obras, 2005)..... 112
Figura 68 Perfil de tubo drenante en talud (Gobierno de Cantabria - Dirección General de Carreteras, Vías y obras, 2005) 112
Figura 69 Zampeado de rocas (Gobierno de Cantabria - Dirección General de Carreteras, Vías y obras, 2005) 113
Figura 70 Planta de zampeado de rocas en salida de desagüe (Gobierno de Cantabria - Dirección General de Carreteras, Vías y obras, 2005)..... 113
Figura 71 Perfil de Zampeado de rocas en salida de desagüe (Gobierno de Cantabria - Dirección General de Carreteras, Vías y obras, 2005)..... 114
Figura 72 Ejecución de caballones en tierra (divagandodivagando, 2015)..... 114
Figura 73 Escollera con ramas vivas (Gobierno de Cantabria - Dirección General de Carreteras, Vías y obras, 2005) 115
Figura 74 Escollera viva con estaquillas (Gobierno de Cantabria - Dirección General de Carreteras, Vías y obras, 2005) 116
Figura 75 Lechos de ramajes (Gobierno de Cantabria - Dirección General de Carreteras, Vías y obras, 2005) 117
Figura 76 Detalle de lecho de ramajes (Gobierno de Cantabria - Dirección General de Carreteras, Vías y obras, 2005) 117
Figura 77 Detalle de lecho de ramajes (Gobierno de Cantabria - Dirección General de Carreteras, Vías y obras, 2005) 118
Figura 78 Lecho de ramajes (Gobierno de Cantabria - Dirección General de Carreteras, Vías y obras, 2005) 118
Figura 79 Fajinas vivas (Gobierno de Cantabria - Dirección General de Carreteras, Vías y obras, 2005) 119
Figura 80 Disposición de fajinas vivas (Gobierno de Cantabria - Dirección General de Carreteras, Vías y obras, 2005) 119
Figura 81 Fajinas vivas (Gobierno de Cantabria - Dirección General de Carreteras, Vías y obras, 2005) 120
Figura 82 Estacas vivas (Gobierno de Cantabria - Dirección General de Carreteras, Vías y obras, 2005) 121
Figura 83 Estacas vivas (Gobierno de Cantabria - Dirección General de Carreteras, Vías y obras, 2005) 121
Figura 84 Biosteabilización de regueros (Gobierno de Cantabria - Dirección General de Carreteras, Vías y obras, 2005) 122
Figura 85 Detalle de biosteabilización de regueros (Gobierno de Cantabria - Dirección General de Carreteras, Vías y obras, 2005) 122
Figura 86 Barrera de geomembrana (Gobierno de Cantabria - Dirección General de Carreteras, Vías y obras, 2005) 123
Figura 87 Barrera volumétrica de geotextil (Gobierno de Cantabria - Dirección General de Carreteras, Vías y obras, 2005) 123
Figura 88 Barrera de láminas filtrantes reforzada (Gobierno de Cantabria - Dirección General de Carreteras, Vías y obras, 2005) 124
Figura 89 Barrera de pacas de paja (Gobierno de Cantabria - Dirección General de Carreteras, Vías y obras, 2005) 125
Figura 90 Detalle de barrera de pacas de paja (Gobierno de Cantabria - Dirección General de Carreteras, Vías y obras, 2005) 125

Figura 91 Detalle de barrera de sacos de árido (Gobierno de Cantabria - Dirección General de Carreteras, Vías y obras, 2005) 126
Figura 92 Detalle de rollo de fibras (Gobierno de Cantabria - Dirección General de Carreteras, Vías y obras, 2005) 126
Figura 93 Detalle de barrera de restos vegetales (Gobierno de Cantabria - Dirección General de Carreteras, Vías y obras, 2005) 127
Figura 94 Gestión diaria de morteros (Gobierno de Cantabria - Dirección General de Carreteras, Vías y obras, 2005) 128
Figura 95 Barrera hinchable (Gobierno de Cantabria - Dirección General de Carreteras, Vías y obras, 2005) 129
Figura 96 Diques transversales (Gobierno de Cantabria - Dirección General de Carreteras, Vías y obras, 2005) 130
Figura 97 Diques transversales en perfil (Gobierno de Cantabria - Dirección General de Carreteras, Vías y obras, 2005) 130
Figura 98 Balsa de sedimentos (Gobierno de Cantabria - Dirección General de Carreteras, Vías y obras, 2005) 131
Figura 99 Trampa de sedimentos (Gobierno de Cantabria - Dirección General de Carreteras, Vías y obras, 2005)..... 131
Figura 100 Trampa de sedimentos con contenedores de obra (Gobierno de Cantabria - Dirección General de Carreteras, Vías y obras, 2005)..... 132
Figura 101 Trampa de sediemntos simple (Gobierno de Cantabria - Dirección General de Carreteras, Vías y obras, 2005) 132
Figura 102 Aireadores para grifos (www.ecconex.com, 2015) 133
Figura 103 Cruce temporal de un curso de agua (Gobierno de Cantabria - Dirección General de Carreteras, Vías y obras, 2005) 133
Figura 104 Gestión de drenajes en el entorno de los cruces de ríos (Gobierno de Cantabria - Dirección General de Carreteras, Vías y obras, 2005)..... 134
Figura 105 Puente de madera desmontable para cruces temporales de ríos (Gobierno de Cantabria - Dirección General de Carreteras, Vías y obras, 2005)..... 135
Figura 106 Encachado tipo Ford (Gobierno de Cantabria - Dirección General de Carreteras, Vías y obras, 2005)..... 136
Figura 107 Protección de dolinas (Gobierno de Cantabria - Dirección General de Carreteras, Vías y obras, 2005)..... 137
Figura 108 Sistema de bioretención y depuración de aguas de escorrentía (Gobierno de Cantabria - Dirección General de Carreteras, Vías y obras, 2005)..... 138
Figura 109 Cuneta de infiltración en aparcamientos (Gobierno de Cantabria - Dirección General de Carreteras, Vías y obras, 2005) 139
Figura 110 Excavaciones para protección de alcantarillas (Gobierno de Cantabria - Dirección General de Carreteras, Vías y obras, 2005)..... 140
Figura 111 Protección de alcantarillas con filtro vegetal (Gobierno de Cantabria - Dirección General de Carreteras, Vías y obras, 2005)..... 141
Figura 112 Significado de etiquetas energéticas (ecodomesticate, 2015) 142
Figura 113 Ejemplo de etiqueta energética (www.consum.cat, 2015)..... 143
Figura 114 Jalonamiento preventivo (Gobierno de Cantabria - Dirección General de Carreteras, Vías y obras, 2005) 144
Figura 115 Jalonamiento de plantas que no deben de ser afectadas (Asociación española de la carretera, 2007)..... 144

Figura 116 Cartel para evitar el paso de maquinaria por las zonas de ribera que son ambientalmente sensibles (Asociación española de la carretera, 2007)..... 145
Figura 117 Tablones de madera para la protección de troncos de árboles de posibles golpes durante las operaciones (Asociación española de la carretera, 2007) 145
Figura 118 Obra de drenaje que sirve también como paso de fauna (Gobierno de Aragón, 2010) 146
Figura 119 Paso de fauna sobre autovía (archivo.e-consulta, 2015) 146
Figura 120 Mejillón cebra (Web de la Confederación Hidrográfica del Tajo, 2015) 147
Figura 121 Humedal del alto de Palombera (I) 148
Figura 122 Humedal del alto de Palombera (II) 148
Figura 123 Humedal del alto de Palombera (III) 149
Figura 124 Humedal del alto de Palombera (IV) 149
Figura 125 Paso de ganado (I) 150
Figura 126 Paso de ganado (II) 150
Figura 127 Puente de piedra (I) 151
Figura 128 Puente de piedra (II) 151
Figura 129 Puente con poyos (I) 152
Figura 130 Puente con poyos (II) 152
Figura 131 Puente con poyos (III) 153
Figura 132 Abrevadero de piedra (I) 153
Figura 133 Abrevadero de piedra (II) 154
Figura 134 Abrevadero de piedra (III) 154
Figura 135 Muro de piedra (I) 155
Figura 136 Muro de piedra (II) 155
Figura 137 Mirador (I) 156
Figura 138 Mirador (II) 156
Figura 139 Mirador (III) 157
Figura 140 Aparcamiento (I) 158
Figura 141 Aparcamiento (II) 158
Figura 142 Cuneta (I) 159
Figura 143 Cuneta (II) 159
Figura 144 Cuneta (III) 160
Figura 145 Cuneta (IV) 160
Figura 146 Cuneta (V) 161
Figura 147 Señal vertical (I) 162
Figura 148 Señal vertical (II) 162
Figura 149 Cartel de paso de ganado 163
Figura 150 Cartel de paso de anfibios 163
Figura 151 Carretera de Palombera (I) 164
Figura 152 Carretera de Palombera (II) 164
Figura 153 Carretera de Palombera (III) 165
Figura 154 Carretera de Palombera (IV) 165

Tablas

Tabla 1 Medidas para reducir los impactos en el elemento Aire 23
Tabla 2 Medidas para reducir los impactos en el elemento Tierra 30
Tabla 3 Medidas para reducir los impactos en el elemento Agua 33
Tabla 4 Medidas para reducir los impactos en el elemento Fuego 36
Tabla 5 Medidas para reducir los impactos en el elemento Vida 42
Tabla 6 Programas para el cálculo de la Huella de Carbono (PRESTO, 2015) (E2CO2CERO, 2015) (Carbon Trust, 2015) (SolidForest, 2015) (ITeC, 2015). 50
Tabla 7 Factores de emisión de los materiales obtenidos de HueCO2 51
Tabla 8 Factores de emisión de la maquinaria obtenidos de HueCO2 51
Tabla 9 Mediciones de los materiales y la maquinaria 52
Tabla 10 Áreas de Parques Nacionales y Naturales (Web del Gobierno de Cantabria, Consejería de ganadería, pesca y desarrollo rural, 2014) 63
Tabla 11 Áreas de Lugares de Importancia Comunitaria (Web del Gobierno de Cantabria, Consejería de ganadería, pesca y desarrollo rural, 2014) 64
Tabla 12 Áreas de Zonas de Especial Protección para Aves (Web del Gobierno de Cantabria, Consejería de ganadería, pesca y desarrollo rural, 2014) (ICANE) 64
Tabla 13 Buenas Prácticas Ambientales presentes en el Proyecto 72
Tabla 14 Buenas Prácticas Ambientales adicionales propuestas 80
Tabla 15 Factores de emisión de maquinaria (HueCO2) 83
Tabla 16 Factores de emisión de maquinaria (banco BEDEC) 83
Tabla 17 Factores de emisión de maquinaria (cálculo adicional) 83
Tabla 18 Factores de emisión de la maquinaria del proyecto 83
Tabla 19 Factores de emisión de CO_2 de los principales materiales de construcción 85
Tabla 20 Emisiones de CO_2 de materiales de la obra de Palombera 87
Tabla 21 Cotización de las emisiones de CO_2 (SendeCO2, 2015). 89
Tabla 22 Valoración de la huella de carbono de la obra de Palombera 91
Tabla 23 Reducciones de huella de carbono con BPAs del proyecto 92
Tabla 24 Reducciones de huella de carbono con BPAs del proyecto y BPAs propuestas 92

Bibliografía

Ministerio de Vivienda del Gobierno de España. (2007). *Sobre una estrategia para dirigir al sector de la edificación hacia la eficiencia en la emisión de gases de efecto invernadero (GEI)*.*

AdaptaSG. (8 de Febrero de 2015). Obtenido de http://www.adaptasg.com/2014/01/nueva-iso-140672013-sobre-huella-de-carbono-de-productos/

AEC. (8 de Febrero de 2015). Obtenido de http://www.aec.es/web/guest/centro-conocimiento/norma-une-en-iso-14064

AEN/CTN 216. (Abril 2012). *UNE-EN ISO 14064-2.*

AENOR. (2012). *UNE-EN ISO 14064-2.*

Agency, S. E. (2009). *Engineering in the Water Environment - Temporary Construction Methods.*

Ambafrance. (30 de Abril de 2015). Obtenido de http://www.ambafrance-es.org/Conferencia-Paris-Climat-2015

Ambientum. (24 de Mayo de 2015). Obtenido de http://www.ambientum.com/revistanueva/2005-05/biodiesel.htm

archivo.e-consulta. (17 de Enero de 2015). Obtenido de http://archivo.e-consulta.com/blogs/quidnovi/?m=201309

Asociación española de la carretera. (2007). *Manual de buenas prácticas ambientales en la conservación de carreteras.*

Carbon Disclosure Project. (18 de Marzo de 2015). *Web del CDP*. Obtenido de http://www.cdpla.net/es/content/cdp-carbon-disclosure-project

Carbon Trust. (22 de Marzo de 2015). Obtenido de https://www.carbontrust.com/software#footprintexpert

Casanovas, X. (2009). *La construcción sostenible. Una mirada estratégica.*

Caterpillar. (2009). *Manual de rendimiento Edición 39.*

Decreto 61/2004 de 17 de junio sobre carrteras de especial protección por atravesar Espacios Naturales Protegidos de Cantabria. (s.f.).

DerechosHumanos.net. (2 de Marzo de 2015). Obtenido de http://www.derechoshumanos.net/constitucion/articulo46CE.htm

divagandodivagando. (17 de Enero de 2015). Obtenido de http://divagandodivagando.blogspot.com.es/2011_09_01_archive.html

E2CO2CERO. (22 de Marzo de 2015). Obtenido de http://tienda.e2co2cero.com/

Ecenarro y Díaz-Tejeiro, L. (2014). *Estudio y Desarrollo Metodológico del Cálculo de la Huella de Carbono: Aplicación práctica a Proyecto de construcción de plataforma de vía de alta velocidad ferroviaria.*

ecodomesticate. (17 de Enero de 2015). Obtenido de http://ecodomesticate.blogspot.com.es/2014/07/electrodomesticos-eficientes-la.html

Egis. (2010). *Introduction to Greenhouse Gas Emissions in Road Construction and Rehabilitation.*

Environment Protection Authority - Victoria, A. (1996). *Environmental Guidelines for Major Construction Sites* .

Eroski Consumer. (1 de Mayo de 2015). Obtenido de http://www.consumer.es/web/es/medio_ambiente/naturaleza/2009/01/21/182856.php

Generalitat de Catalunya. (2011). *Guía práctica para el cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero.*

gestionambientalobracivil. (17 de Enero de 2015). Obtenido de http://gestionambientalobracivil.blogspot.com.es/2010/10/toda-la-legislacion-de-residuos-esta.html

Gobierno de Aragón. (2010). *Manual de Buenas Prácticas Ambientales para Carreteras de Aragón.*

Gobierno de Cantabria - Dirección General de Carreteras, Vías y obras. (2005). *Instrucciones Técnicas sobre Buenas Prácticas Ambientales.*

Gobierno de Cantabria. (2005). *Mediciones finales de la Obra de Palombera.*

Gobierno de Cantabria. (2010). Estudio del Medio del IV Plan de Carreteras Autonómicas de Cantabria.

Gobierno de Cantabria. (2010). *IV Plan de Carreteras de Cantabria 2009-2012.*

Gobierno de Cantabria. (2010). *Objetivos y Medidas de Prevención Ambiental del ISA del IV Plan de Carreteras Autonómicas de Cantabria 2009-2012.*

Gobierno de Cantabria. (2013). *Informe de Sostenibilidad Ambiental del Plan de Gestión Integral de Infraestructuras de Cantabria 2014-2021.*

Gobierno de Cantabria. (3 de Febrero de 2015). *cantabria.es*. Obtenido de http://www.112.cantabria.es/web/comunicados/detalle/-/journal_content/56_INSTANCE_DETALLE/16413/3025977

Gobierno de Cantabria. (16 de Enero de 2015). *mapas.cantabria.es*. Obtenido de http://mapas.cantabria.es/

Grupo VIAS. (2012). Gestión de la Huella de Carbono. Madrid.

Guatemala, C. N. (2008). *Manual de Buenas Prácticas para Proyectos de Carreteras.*

Huella de Carbono. (28 de Enero de 2015). Obtenido de http://www.huellacarbono.es/

iai-trabajos. (17 de Enero de 2015). Obtenido de http://iai-trabajos.blogspot.com.es/2013/05/curso-sobre-la-gestion-de-los-residuos_10.html

ICANE. (s.f.). *Documento de Zonas de Especial Protección para las Aves.*

IHOBE. (2008). *Manual para la redacción de planeamiento urbanístico con criterios de sostenibilidad.*

IHOBE. (2010). *Guías Sectoriales de ecodiseño: Materiales de Construcción.*

IHOBE. (2012). *Guía de edificación ambientalmente sostenible Edificios industriales en la Comunidad Autónoma del País Vasco.*

ITeC. (8 de Marzo de 2015). Obtenido de http://itec.es/nouBedec.e/

ITeC. (4 de Abril de 2015). *Programa TCQ*. Obtenido de http://itec.es/programas/tcq/

Jones, P. G. (2011). *Inventory of Carbon & Energy* . Bath.

Lajara Gómez, Á. (2012). *Estudio comparativo y aplicación de las certificaciones medioambientales BREEAM, LEED y VERDE.*

Mercader, Ramírez de Arellano, & Olivares. (2012). *Modelo de cuantificación de las emisiones de CO2 producidas en edificación derivadas de los recursos materiales consumidos en su ejecución.*

Mercados del medioambiente. (1 de Mayo de 2015). Obtenido de http://www.mercadosdemedioambiente.com/market-tools/bancos-habitat/

Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. (2014). *Real Decreto 163/2014, de 14 de marzo.*

Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. (2015). *Factores de emisión* .

Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. (21 de Marzo de 2015). *MAGRAMA*. Obtenido de http://www.magrama.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/Registro-informacion.aspx

Ministerio de Medio Ambiente, G. d. (2005). *Guía de Consrucción Sostenible.*

Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales, G. d. (2003). *Manual de Buenas Prácticas Ambientales en la familia profesional: Edificación y Obras Públicas.*

Ministry of Transportation and Infrastructure, B. C. (2010). *Environmental Best Practices for Highway Maintenance Activities.*

Ortiz Ripoll, J., & Moncunill Farré, C. (2006). *Reducción de emisiones en la producción de mezclas bituminosas en caliente.*

PEUGEOT. (24 de Mayo de 2015). Obtenido de http://innovacion.peugeot.es/consejos-para-la-conduccion-eficiente-mejora-tu-conduccion-para-reducir-las-emisiones-de-co2/

PRESTO. (22 de Marzo de 2015). Obtenido de http://www.presto.es/index.html

Rodríguez, M. E. (1 de Diciembre de 2014). *Medio Ambiente Cantabria.* Obtenido de http://www.medioambientecantabria.es/documentos_contenidos/60410_6.Espanaturproteg.pdf

SBQConsultores. (8 de Febrero de 2015). Obtenido de http://www.sbqconsultores.es/la-norma-iso-14064/

Scribd. (24 de Mayo de 2015). Obtenido de http://es.scribd.com/doc/154540514/Cuanto-CO2-Absorbe-Un-Arbol-docx#scribd

SendeCO2. (6 de Abril de 2015). Obtenido de http://www.sendeco2.com/

SINIA. (9 de Febrero de 2015). Obtenido de http://www.sinia.cl/1292/w3-article-48293.html

SolidForest. (22 de Marzo de 2015). Obtenido de http://www.solidforest.com/#software

TECNIBERIA. (10 de Marzo de 2015). *hueCO2*. Obtenido de http://hueco2.tecniberia.es/factores-de-emision/

The Roadside Conservation Committee Western Australia. (2010). *Handbook of Environmental Practice for Road Construction and Maintenance Works .*

Transfer Enginyeria S.A. (2014). *Annex núm. 21: Memòria Ambiental i Gestió de Residus del projecte executiu dels túnels viaris a la plaça de les glòries i avantprojecte de vialitat en superfície.*

UOCRA, R. S. (2009). *Guía de Buenas Prácticas Ambientales para obras en construcción.*

Valle Álvarez, A. (Abril 2004). *Plan de Vigilancia Ambiental del puerto de Palombera.*

Valle Álvarez, A. (Julio 2003). *Informe Extraordinario del humedal del puerto.*

Valle Álvarez, A. (Junio 2003). *Plan de Vigilancia Ambiental del Puerto de Palombera.*

Valle Álvarez, A., García Fernández, V., del Jesus Clemente, M., & de la Puente, A. (2005). Actuaciones Ambientales en la mejora de la carretera de Palombera, en Cantabria. *Carreteras*, 35-54.

Web de la Confederación Hidrográfica del Tajo. (26 de Enero de 2015). Obtenido de http://www.chtajo.es/Informacion%20Ciudadano/Calidad/AguasSup/Paginas/MejillonCebra.aspx

Web de la UNESCO. (7 de Enero de 2015). Obtenido de http://www.unesco.org/mab/doc/ekocd/spanish/chapter2.html

Web del Gobierno de Cantabria, Consejería de ganadería, pesca y desarrollo rural. (1 de Diciembre de 2014). Obtenido de http://www.dgmontes.org/espacios/interactivo.htm

Web del MAGRAMA. (2 de Mayo de 2015). Obtenido de http://www.magrama.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mecanismos-de-flexibilidad-y-sumideros/los-mecanismos-de-flexibilidad/

Wikipedia. (1 de Diciembre de 2014). Obtenido de http://es.wikipedia.org/wiki/Anexo:Espacios_naturales_de_Cantabria

Wikipedia. (2 de Marzo de 2015). Obtenido de http://es.wikipedia.org/wiki/Red_de_carreteras_de_Espa%C3%B1a

Wikipedia. (30 de Abril de 2015). Obtenido de http://es.wikipedia.org/wiki/Protocolo_de_Kioto_sobre_el_cambio_clim%C3%A1tico

Woerdenbach, P. d. (24 de Mayo de 2015). Obtenido de http://pablodelaiglesia.es/mezclas-bituminosas-en-frio-templadas-o-en-caliente/

www.balat.com. (17 de Enero de 2015). Obtenido de http://www.balat.com/casetas-almacen-residuos-venta.aspx

www.consum.cat. (17 de Enero de 2015). Obtenido de http://www.consum.cat/temes_de_consum/etiquetatgealtres/index_es.html

www.ecconex.com. (17 de Enero de 2015). Obtenido de http://www.ecconex.com/revista/06-2012/ahorro-del-agua.html

www.huescamedioambiental.es. (8 de Febrero de 2015). Obtenido de http://huescamedioambiental.blogspot.com.es/2013/07/publicada-la-norma-iso-de-huella-de.html

www.lineaprevencion.com. (17 de Enero de 2015). Obtenido de http://www.lineaprevencion.com/ProjectMiniSites/IS35/html/2-1-1/2_1_1_4.html

www.ToldosBotero.com. (17 de Enero de 2015). Obtenido de http://www.toldosbotero.com/productos.aspx?cn=15&ct=2

www.zamarbu.com. (17 de Enero de 2015). Obtenido de http://www.zamarbu.com/productos/volquetes-obra/volquetes-recto/volquete-tipo-dumper-con-capacidad-estandar-135-m3/opciones/