



Escola Tècnica Superior d'Enginyers
de Camins, Canals i Ports de Barcelona

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

PROJECTE O TESISINA D'ESPECIALITAT

Títol

**Estudi quantitatiu del risc d'esllavissades a la carretera
N-634 entre les localitats de Zarautz i Zumaia.**

Autor/a

Carles Jurnet Sastre

Tutor/a

Jordi Corominas Dulcet

Departament

Enginyeria del Terreny, Cartogràfica i Geofísica

Intensificació

Enginyeria del Terreny

Data

30/02/2009

AGRAÏMENTS

En primer lloc, vull agrair al professor Jordi Corominas l'oportunitat de participar en aquesta tesina, per orientar-me i per resoldre tots els dubtes que m'han anat sorgint al llarg de l'estudi, posant-hi sempre el màxim interès.

En segon lloc vull agrair als meus amics i companys de carrera per tots els bons moments que hem passat al llarg d'aquests set anys. Especialment, l'Alba Yerro per la seva grata companyia en aquests darrers mesos i per ajudar-me en els últims retocs de la tesina.

Per últim i no per això menys important, vull agrair la meva família pel seu suport moral incondicional al llarg de tota la carrera.

RESUM

Títol: Estudi quantitatiu del risc d'esllavissades a la carretera N-634 entre les localitats de Zarautz i Zumaia.

Autor: Carles Jurnet Sastre

Tutor: Jordi Corominas Dulcet

En aquesta tesina es realitza una anàlisi qualitativa i quantitativa del risc d'esllavissades a la carretera N-634, també coneguda com a Carretera de la Costa, entre les localitats de Zarautz i Zumaia, a la província de Guipúscoa.

Aquest tram de carretera d'uns 8 kilòmetres compta amb un llarg historial de problemes relacionats amb fenòmens d'instabilitat dels talussos, provocant nombroses esllavissades que es veuen agreujades especialment, en èpoques de pluja. Aquest fet no només suposa greus inconvenients pels usuaris degut als talls continuats del servei, sinó que també suposa un risc important per als propis conductors. A més a més, també cal considerar el corresponent impacte econòmic i els danys provocats en la infraestructura.

Per dur a terme l'estudi, en primer lloc, s'ha realitzat una recerca bibliogràfica exhaustiva per tal de conèixer l'estat de l'art sobre els diferents mètodes existents que permeten avaluar el risc i la perillositat de talussos en carreteres, ja sigui de forma qualitativa o quantitativa.

En segon lloc s'ha fet una síntesi geològica de la zona per tal de comprendre els diferents mecanismes de trencada que provoquen cada tipus d'esllavissada. Aquests estudis s'han realitzat a partir d'informes geològics i geotècnics de la zona d'estudi dels quals es disposava.

Paral·lelament, una part important de l'estudi ha consistit en obtenir, validar i processar els registres de desprendiments proporcionats per la Diputació Foral de Guipúscoa. Aquesta tasca ha estat molt laboriosa degut a la manca d'un registre únic en el que constin totes les incidències referents a esllavissades. També s'han pogut constatar les nombroses limitacions d'aquest tipus de registres, tals com les imprecisions en les localitzacions dels esdeveniments, el seu abast i magnitud o la manca d'informació descriptiva necessària sobre el tipus d'esllavissada.

A partir d'aquí, s'ha intentat establir la relació magnitud - freqüència de caigudes i s'ha analitzat el vincle entre la intensitat i durada de les pluges i l'aparició de desprendiments i corrents d'arrossegalls, per tal de preveure la seva formació. Evidentment, la bondat dels resultats obtinguts ha estat condicionada en gran mesura, per les limitacions i imprecisions del registre d'esllavissades.

Finalment, s'ha efectuat una anàlisi quantitativa i qualitativa del risc al que estan sotmesos els usuaris de la via. Mitjançant l'anàlisi quantitativa del risc s'ha pogut determinar que la probabilitat anual de pèrdua de vida d'un usuari esporàdic i d'un usuari habitual del tram és de $2,8 \cdot 10^{-7}$ i $1,4 \cdot 10^{-4}$, respectivament. Al mateix temps, s'ha efectuat una anàlisi qualitativa del risc mitjançant una adaptació del Rockfall Hazard Rating System proposat per Budetta (2004). Per fer-ho, s'ha dividit el tram d'estudi en seccions de 50 metres i s'hi ha aplicat els paràmetres amb les modificacions pertinents adaptades a les particularitats del tram d'estudi.

ABSTRACT

Title: Landslide quantitative risk assessment in the road N-634 between Zarautz and Zumaia.

Author: Carles Jurnet Sastre

Supervisor: Jordi Corominas Dulcet

This research work consists of assessing both qualitatively and quantitatively the risk of landslides along the road N-634 between the villages of Zarautz and Zumaia in the province of Guipúzcoa, Spain.

The 8 km-length corridor has been affected by several slope instability problems ever since its construction, leading to a large number of landslide events, which become especially aggravated during or a few days after intense rainy periods. This is the cause of severe inconvenience for the road users due to the delays and detours and it also supposes a great risk of injury or death for the drivers. In addition, factors such as economic impact or damage to the infrastructure have to be considered as well.

In this research, an exhaustive literature review on this topic has been conducted in order to understand and consider the different methods being used in both quantitative and qualitative risk assessment, particularly those referring to cuts and slopes in roads and highways.

Secondly, a geological synthesis of the area has been carried out for a better understanding of the different types of landslides occurring in the road as well as the corresponding triggering factors. This study has been possible thanks to different geological and geotechnical reports available.

At the same time, an important part of the study has consisted of obtaining, validating and processing a record of the landslides occurred in the road during the last 15 years, which has been integrated in a database. This task has been laborious due to the fact that the incident records provided by the Administration were mostly hard-copy and included all kinds of incidents, not necessarily related to landslides. Also, as may be expected, only a few of the records contained the full range of attributes needed for the study such as the exact mileage and date of occurrence, magnitude and extent of the event or descriptive information of the type of landslide.

Despite of the limitations of the database, we have prepared the magnitude – cumulative frequency curves for the studied road stretch. We have also tried to define rainfall intensity – duration threshold for the occurrence of rock falls and debris flows. Obviously, the goodness of the results is strongly conditioned by the quality of the database.

Finally, we have carried out both the quantitative and qualitative risk assessment of the whole stretch. We have determined that the annual probabilities of death of the occasional driver and the daily commuter, are $2,8 \cdot 10^{-7}$ and $1,4 \cdot 10^{-4}$ respectively. Furthermore, a modification of the Rockfall Hazard Rating System (RHRS) index proposed by Budetta (2004) has been used for the qualitative analysis. To this purpose, the road has been divided in sections of 50 meters. The RHRS has been applied after being adapted to the particularities of the studied road.

ÍNDIX

1	Introducció i objectius.....	9
2	Mètodes d'anàlisi de la susceptibilitat i perillositat.....	11
2.1	Slope Mass Rating (Romana, M., 1985)	11
2.1.1	Introducció.....	11
2.1.2	Càlcul del SMR	11
2.1.3	Classes d'estabilitat	15
2.1.4	Limitacions i aplicabilitat	15
3	Mètodes d'anàlisi qualitativa del risc	17
3.1	Rockfall Hazard Rating System	17
3.1.1	Descripció del mètode	17
3.1.2	Limitacions i aplicabilitat de l'Oregon RHRS	23
3.2	RHRS modificat (Budetta et al., 2002)	24
3.2.1	Descripció del mètode	24
3.2.2	Limitacions i aplicabilitat del RHRS de Budetta.....	27
3.3	Missouri Rockfall Hazard Rating System (Maerz et al. 2005).....	28
3.3.1	Descripció del mètode	28
3.3.2	Limitacions i aplicabilitat	41
4	Mètode d'anàlisi quantitativa del risc	43
4.1	Anàlisi del risc	43
4.1.1	Plantejament del problema	43
4.1.2	Anàlisi del perill	44
4.1.3	Anàlisi de les conseqüències	46
4.1.4	Càlcul del risc	48
4.2	Avaluació del risc	51
4.2.1	Procés d'avaluació del risc	51
4.2.2	Criteris d'acceptació de risc	51
4.3	Gestió del risc	52
5	Anàlisi del risc a la Carretera de la Costa de Guipúscoa	55
5.1	Introducció.....	55
5.2	Context geològic.....	56
5.3	Pla de treball seguit	63
5.4	Historial d'esllavissades i validació de les dades	63
5.4.1	Introducció.....	63
5.4.2	Els registres obtinguts.....	65
5.4.3	Validació de les dades	66
5.5	Anàlisi magnitud – freqüència	71
5.6	Relació pluja-esllavissades.....	77
5.6.1	Introducció.....	77
5.6.2	Obtenció de les dades pluviomètriques i anàlisi dels resultats.....	77
5.7	Anàlisi quantitativa del risc	84
5.7.1	Vehicle en moviment que rep l'impacte directe d'una esllavissada.....	84
5.7.2	Vehicle en moviment que col·lisiona contra material en la via.....	86
5.7.3	Discussió i validació dels resultats obtinguts	91
5.8	Anàlisi qualitativa del risc	94
5.8.1	Introducció.....	94

5.8.2	Recopilació i processat de les dades i obtenció dels resultats	94
5.8.3	Anàlisi i validació dels resultats	101
6	Conclusions	105
7	Bibliografia.....	107
8	Glossari.....	111
8.1	Terminologia d'esllavissades:	111
8.2	Terminologia associada als mètodes d'anàlisi del risc i la perillositat:.....	112
9	Annexes.....	115

1 Introducció i objectius

Les esllavissades representen un dels principals perills naturals en zones habitades de muntanya, en termes econòmics i de pèrdua de vides humanes. En particular, també suposen una amenaça important per a les xarxes viàries i de ferrocarril que transcorren per zones muntanyoses i per als seus usuaris, causant interrupcions del servei, desperfectes, impacte mediambiental, danys personals i nombroses pèrdues econòmiques.

En alguns casos, les pròpies actuacions antropogèniques com la tala d'arbres o la construcció d'infraestructures són les causants d'aquest tipus de fenòmens, tot i que en la majoria de casos, les esllavissades venen desencadenades per fenòmens naturals com l'erosió, episodis d'activitat sísmica o pluges intenses. Per exemple, durant els forts temporals que van afectar la península durant els passats mesos de novembre i desembre, es van produir diversos despreniments a la muntanya de Montserrat, en els que van morir dos operaris de manteniment i van mantenir tallats els accessos al monestir per carretera i cremallera durant diverses setmanes. També a finals del mes de novembre, un conductor va morir a Astúries, al veure's sorprès per una esllavissada i quedar sepultat per varies tones de blocs de grans dimensions, pedres i fang.

És per aquests motius, que en les darreres dècades s'han centrat molts esforços en intentar comprendre els mecanismes de trencada que donen lloc als diferents tipus d'esllavissades i les seves relacions amb els diferents factors desencadenants, intentar establir relacions magnitud – freqüència, així com en la necessitat d'establir uns criteris objectius i reproduïbles per tal d'avaluar la susceptibilitat del terreny a produir esllavissades i el risc associat per a les persones i les infraestructures afectades.

En aquest sentit, Caine (1980) va proposar per primera vegada la possibilitat d'establir uns valors líndars d'intensitat de pluja – durada per a es produïssin lliscaments superficials i corrents d'arrossegalls. S'han identificat dos patrons de pluja desencadenant, tenint en compte la permeabilitat del terreny mobilitzable. El primer correspon als vessants recoberts amb col·luvió permeable. Johnson i Sitar (1989) van observar que la generació i dissipació de pressions de porus positives en els períodes de pluja intensa sostinguda, podia tenir lloc en molt poc temps, i tot el cicle podia durar menys de 24 hores. En aquests casos, les trencades dels vessants i talussos es produeixen per pluges de gran intensitat. En els sòls ben drenats de Hong Kong, Brand (1985) creia que la pluja antecedent tenia poca influència en la formació d'esllavissades. Va trobar un líndar d'intensitat de pluja de 70 mm/h mentre que el nombre d'esllavissades i la severitat de les conseqüències augmentava significativament amb intensitats de pluja per damunt del valor esmentat. En sòls de baixa permeabilitat, s'ha trobat que la pre-saturació de la formació superficial és una condició necessària per a la formació de corrents d'arrossegalls. L'efecte de la pluja antecedent s'ha posat en evidència en sòls d'origen glacial rics en argila (Sandersen et al., 1996) i en col·luvió (Wieczorek, 1987). La pluja antecedent redueix la succió i augmenta les pressions positives d'aigua als porus en el sòl en les pluges posteriors, fent disminuir la resistència del sòl. Per aquest motiu, amb pluja antecedent, les trencades poden ocórrer amb tempestes d'intensitats menors que les normalment requerides.

Altres autors com Gardner (1970 i 1983) i Whitehouse and Griffiths (1983) (citats a Hungr et al., 1999) van focalitzar els seus estudis en trobar relacions que permetessin trobar la freqüència dels esdeveniments que mobilitzessin un determinat volum (relacions magnitud – freqüència). Aquests tipus d'estudis tenen els seus orígens en la sismologia i s'ha demostrat que també poden ser aplicats satisfactòriament per al cas d'esllavissades. Segons Hungr et al. (2008), aquest tipus d'estudis haurien de formar part de qualsevol anàlisi quantitativa del risc.

Un aspecte clau en la gestió del risc de desprendiments en carreteres, és l'avaluació del potencial de trencada dels talussos. Diversos autors han trobat al llarg dels anys nombrosos mètodes analítics i numèrics per avaluar l'estabilitat dels desmunts. Per exemple Hoek i Bray (1977) proporcionen una cota inferior del factor de seguretat basat en mètodes de l'equilibri límit. Tot i això, malgrat les enormes incidències econòmiques i en qüestions de seguretat per les persones que suposen els desprendiments i esllavissades en carreteres, existeixen poques metodologies d'avaluació del risc i la perillositat a nivell global de tota una carretera. En 1985, Romana, va establir el paràmetre SMR per avaluar el grau d'estabilitat d'un talús i Pierson (1990) va definir per primera vegada un sistema més o menys objectiu i reproduïble per tal de valorar el risc que suposa un talús inestable en una carretera. Posteriorment, altres autors han anat desenvolupant nous mètodes més elaborats que permeten efectuar una anàlisi quantitativa del risc per tal de trobar la probabilitat d'accident o de pèrdua de vida i valorar en termes monetaris els danys materials produïts per una esllavissada. En ocasions, aquests darrers mètodes han permès establir el grau de risc al qual està sotmesa la població exposada i comparar-lo amb els nivells tolerables establerts per les diferents administracions i autoritats competents.

En aquesta tesina es fa un estudi bibliogràfic de l'estat de l'art dels diferents mètodes existents d'anàlisi de la perillositat i el risc (capítols 2, 3 i 4) que culmina en un estudi relatiu a un tram de gairebé 8 kilòmetres de la carretera N-634, entre les localitats de Zarautz i Zumaia, al País Basc (capítol 5). Aquest tram de carretera, també conegut com a Carretera de la Costa, acumula un llarg historial d'incidències relacionades amb esllavissades i un gran nombre d'actuacions per tal d'estabilitzar-ne els talussos i disminuir-ne el risc.

L'estudi en qüestió, sorgeix de la necessitat per part de la Diputació Foral de Guipúscoa de disposar d'un estudi exhaustiu i objectivable per quantificar el perill i el risc d'esllavissades. L'objectiu final és establir un criteri racional per tal de poder distingir aquelles seccions més crítiques i que necessiten un pla d'actuacions més urgent.

Finalment, en el capítol 6 s'estableixen les conclusions a les quals s'arriba després de realitzar l'estudi bibliogràfic i l'estudi del cas de la Carretera de la Costa.

2 Mètodes d'anàlisi de la susceptibilitat i perillositat

Els mètodes d'anàlisi de la perillositat es basen en estimar de forma qualitativa o quantitativa, la inestabilitat d'un talús. Aquest tipus de mètodes analitzen d'una forma o altra les característiques geològiques del massís rocós i la interacció de les juntes amb la cara del talús per determinar el grau de susceptibilitat a donar-se els diversos tipus de trencada possibles. Exemples d'aquest tipus de mètodes són el Matterock (Jaboyedoff et al., 1999), RMS (Selby, 1980) o el SMR (Romana, M., 1985), entre d'altres, tot i que a continuació només se'n detalla el darrer per ser el més conegut.

2.1 Slope Mass Rating (Romana, M., 1985)

2.1.1 Introducció

La classificació Slope Mass Rating (SMR) de Romana (1985) és una adaptació de la classificació RMR de Bieniawski (1979) per a talussos, mitjançant l'aplicació dels factors de correcció adequats. L'índex SMR s'obté sumant al RMR bàsic un factor d'ajust funció de l'orientació de les juntes (que al seu torn és el producte de tres subfactors $F_1 \cdot F_2 \cdot F_3$) i un factor d'excavació (F_4) que depèn del mètode d'excavació. La classificació és va establir a partir de l'estudi de 31 talussos amb diferents graus d'estabilitat. Posteriorment se n'han estudiat més de 90, obtenint-se una bona concordança entre l'estabilitat real que presentaven i la predita pel SMR (Romana et al., 2001).

El sistema de classificació es va establir en base a una sèrie de paràmetres, que solen tenir-se en compte en els mètodes analítics d'avaluació de l'estabilitat de talussos rocosos, i que s'exposen a continuació (Romana, 1985):

1. Caracterització global de la resistència massís rocós (incloent freqüència, estat de les juntes i presència d'aigua).
2. Valor de la diferència entre els rumbos de la cara del talús i les famílies de juntes predominants.
3. Valor de la diferència entre els cabussaments de la cara del talús i de les famílies predominants, ja que aquesta diferència controla l'aflorament de les juntes a la cara de talús, condició necessària per la ruptura planar i/o en falca, el volum potencialment mobilitzable i també l'obliquïtat de la resultant de les tensions que actuen sobre la junta.
4. Relació entre el cabussament de les juntes amb els valors normals de la fricció (per ruptures planes i/o en falca).
5. Comparació entre les tensions tangencials (al llarg de les juntes amb risc de trencada per bolcada) amb la fricció que es pot mobilitzar en elles.

2.1.2 Càlcul del SMR

L'índex SMR es basa en l'índex RMR bàsic (sense incloure l'ajust d'orientació de les discontinuïtats) i uns sumands que depenen de l'orientació de les juntes i el mètode d'excavació segons l'equació 2.1.

$$SMR = RMR + (F_1 \cdot F_2 \cdot F_3) + F_4 \quad (2.1)$$

L'índex RMR pren un valor entre 0 i 100 i es calcula segons els coeficients de Bieniawski (1979) com la suma de les valoracions corresponents a cinc paràmetres, representats en la Taula 2-1.

Pel que fa als factors d'ajust F_1 , F_2 , F_3 i F_4 es detallen a continuació:

- ✓ F_1 depèn del paral·lelisme entre el rumb de les juntes i el de la cara del talús. Varia entre 1,00 (quan els dos rumbos són paral·lels) i 0,15 (quan l'angle entre els dos rumbos és major de 30° i la probabilitat de ruptura és molt baixa). Aquests valors establerts empíricament, s'ajusten a l'expressió 2.2:

$$F_1 = (1 - \sin|\alpha_j - \alpha_s|)^2 \quad (2.2)$$

Amb α_j i α_s les direccions del cabussament de la junta i del talús respectivament.

- ✓ F_2 depèn del cabussament de la junta en ruptura plana. En certa mesura representa la probabilitat de resistència a l'esforç tallant de la junta. Varia entre 1,00 (per juntes amb cabussament a 45°) i 0,15 (per juntes amb cabussaments inferiors a 20°) segons la relació 2.3:

$$F_2 = \text{tg}^2(\beta_j) \quad (2.3)$$

On β_j és el cabussament de la junta. F_2 val 1,00 per ruptures per bolcada.

- ✓ F_3 s'obté a partir de la diferència entre cabussaments de la junta i el talús. S'ha mantingut el criteri proposat per Bieniawski en 1976 i 1979 i que fa que els valors de F_3 prengui sempre un valor negatiu. Per als trencaments planars F_3 expressa la probabilitat que les juntes aflorin en el talús. Se suposa que les condicions són "normals" quan el cabussament mig de la família de juntes és igual al del talús, i per tant afloraran algunes poques juntes. Quan el cabussament del talús és més gran que el de les juntes, serà quan afloraran un major nombre de juntes i les condicions seran "molt desfavorables", fet que suposa un valor de $F_3 = -60$ (per $\beta_s - \beta_j > 10^\circ$); o "desfavorables" fet que implica $F_3 = -50$ (per $0 < \beta_s - \beta_j < 10^\circ$). La diferència amb el valor F_3 "normal" (que és de -25) és molt gran.
- ✓ F_4 recull la possible inestabilitat creada en el talús per la utilització de mètodes d'excavació que malmetin la cara del talús i que provoquin la propagació i obertura de les fractures existents. En aquest sentit els talussos naturals recoberts per vegetació suposen una estabilitat afegida. Tècniques de voladura com el pretall, el retall o la voladura suau també afavoreixen notablement a l'estabilitat del talús. En canvi, les voladures sense precaucions afegides o excavacions mecàniques com el *ripat*, poden arribar a comprometre l'estabilitat del talús.

Tots aquests factors prèviament mencionats i les seves valoracions, queden recollits en la Taula 2-2.

Taula 2-1. Valoracions per al càlcul del paràmetre RMR de Bieniawski. (Romana et al., 2001).

Paràmetre	VALORACIONS PER AL CÀLCUL DEL RMR					
	>250	250-100	100-50	50-25	<25	
Resistència a compressió simple de la roca mare (MPa)	15	12	7	4	25-5	<1
					2	0
RQD (%) Rock Quality Designation	100-90	90-75	75-50	50-25	<25	
	20	17	13	8	3	
Separació entre juntes (mm)	>2.000	2.000-600	600-200	200-60	<60	
	20	15	10	8	5	
Estat de les juntes: Rugositat, continuïtat, separació i rebliment	Molt rugoses. No contínues. Tancades. Sanes.	Lleugerament rugoses. Separació <1 mm. Lleugerament meteoritzada.	Lleugerament rugoses. Separació <1 mm. Molt meteoritzada.	Miralls de falla 0 Rebliment <5 mm 0 Separació 1-5 mm. Contínues	Rebliment tou >5 mm 0 Separació >5 mm Contínues	
	30	25	20	10	0	
Flux d'aigua en les juntes (per problemes de pressions intersticials)	Seqües	Lleugerament humides	Humides	Gotejant	Fluïnt	
	15	10	7	4	0	

Taula 2-2. Valoracions per al càlcul dels paràmetres SMR de Romana. (Romana et al., 2001).

	MOLT FAVORABLE	FAVORABLE	NORMAL	DESFAVORABLE	MOLT DESFAVORABLE
α_j = rumb de la junta α_s = rumb del talús β_j = cabussament de la junta β_s = cabussament del talús	>30°	30°-20°	20°-10°	10°-5°	<50°
Ruptura plana: $ \alpha_j - \alpha_s $	0,15	0,40	0,70	0,85	1,00
Bolcada: $ \alpha_j - \alpha_s - 180^\circ $					
Valors					
Ajust analític:	$F_1 = (1 - \sin \alpha_j - \alpha_s)^2$				
$ \beta_j $	<20°	20°-30°	30°-35°	35°-45°	>45°
Ruptura plana	0,15	0,40	0,70	0,85	1,00
Bolcada			1,00		
Ajust analític:	$F_2 = \lg^2(\beta_j)$				
Ruptura plana: $\beta_j - \beta_s$	>10°	10°-0°	0°	0-(-10°)	<(-10°)
Bolcada: $\beta_j + \beta_s$	<110°	110°-120°	>120°	-	-
Valors	0	-6	-25	-50	-60
Ajust analític	F_3 es mantenen els valors proposats per Bieniawski, 1976/1979.				
Factor d'ajust pel mètode d'excavació F_4	Talús natural	Pretall	Voladura suaü	Voladura o mecànic	Voladura deficient
	+15	+10	+8	0	-8

Val a dir que quan apareixen diferents famílies de juntes, s'ha de calcular el SMR per a cadascuna, prenent el valor més desfavorable. Si el flux d'aigua no és constant o la roca no està meteoritzada en la seva totalitat, també cal prendre el valor més desfavorable. En roques meteoritzades i evolutives, la classificació s'ha d'aplicar dues vegades: per la situació inicial de roca sana i per la situació futura de roca meteoritzada.

2.1.3 Classes d'estabilitat

Els valors límits del SMR trobats empíricament per cada forma de ruptura són els que es presenten en la Taula 2-3. Tots els talussos amb valors del SMR inferiors a 20 són altament inestables i col·lapsen en poc temps. Tampoc s'ha trobat cap talús amb un valor inferior a 10, fet que implica que no són físicament factibles. Segons l'índex SMR es distingeixen 5 classes d'estabilitat, mostrades en la Taula 2-4.

Taula 2-3. Tipus de trencada i la seva freqüència segons la valoració SMR obtinguda. (Romana et al., 2001).

TIPUS DE TRENCADA	INTERVALS SMR	FREQÜÈNCIA
Planes	SMR >60 60> SMR >40 40> SMR >75	Cap Importants Molt grans
En falca	SMR >75 75> SMR >49 55> SMR >40	Molt poques Algunes Moltes
Bolcada	SMR >65 65> SMR >50 40> SMR >30	Cap Menors Importants
Completes	SMR >30 30> SMR >10	Cap Possible

Taula 2-4. Classes d'estabilitat en funció de la valoració SMR obtinguda. (Romana et al., 2001).

CLASSE	SMR	DESCRIPCIÓ	TRENCADA	SUPORT
I	81-100	Molt bo	Cap	Cap
II	61-80	Bo	Alguns blocs	Ocasional
III	41-60	Parcialment estable	Algunes juntes o moltes falques	Sistemàtic
IV	21-40	Inestable	Planar o grans falques	Important/Correctiu
V	0-20	Completament inestable	Planar o desengrunament	Reexcavació

2.1.4 Limitacions i aplicabilitat

L'aplicació del SMR està extesa o ha estat utilitzada en diversos països (Brasil, China, Espanya, França, Grècia, Índia, Indonèsia, Itàlia, Corea, Mèxic, Taiwan i Estats Units) segons Romana et al. (2001). Aquest fet provaria l'abast que ha tingut aquest mètode com a forma de valoració fàcil, objectiva, reproduïble i eficaç per avaluar l'estabilitat de talussos, independentment de l'àmbit geogràfic. No obstant, alguns autors ressalten que la classificació sembla ser lleugerament pessimista (entre 0 i 5 punts). A més a més,

Zuyu (1995) proposa un factor de correcció per al càlcul del SMR que contempla l'efecte desfavorable de l'alçada del talús, que el mètode original no té en compte.

3 Mètodes d'anàlisi qualitativa del risc

Els mètodes d'anàlisi qualitativa del risc (també anomenats mètodes d'anàlisi semi-quantitativa per alguns autors) permeten establir un sistema de puntuacions basat en la valoració dels paràmetres més influents en el perill i les conseqüències, de manera que es pugui establir un criteri comparatiu i reproduïble entre diverses seccions. A continuació s'expliquen tres d'aquests mètodes.

3.1 Rockfall Hazard Rating System

3.1.1 Descripció del mètode

Un dels mètodes més utilitzat per avaluar el risc de despreniments rocosos en desmunts de carretera i línies de ferrocarril és l'anomenat Oregon Rockfall Hazard Rating System (Pierson et al. 1990), desenvolupat per l'Oregon Department of Transportation. Aquest sistema, permet identificar i avaluar d'una forma relativament senzilla però alhora racional, els factors de risc per a que es produeixi el despreniment i les conseqüències que aquesta pot comportar per als usuaris de la via. Al mateix temps, permet establir un criteri que doni prioritat a les inversions i els esforços en aquelles zones més conflictives i que suposen un major risc per la població.

El procés d'avaluació es resumeix en 6 passos (Pierson et al., 1990):

1. Inventari dels desmunts, creant una base de dades geogràfica de les zones amb possibles esllavissades i despreniments.
2. Avaluació preliminar, agrupant els desmunts en tres grans categories: A, B o C que inclouran els desmunts ordenats amb risc decreixent.
3. Avaluació detallada del risc, prioritzant les zones amb alta susceptibilitat (A i B).
4. Disseny preliminar i estimació de costos, de les possibles mesures correctores a emprendre i incloure-les a la base de dades.
5. Identificació de les mesures correctores que seran portades a terme donant prioritat a l'anàlisi cost benefici.
6. Revisió periòdica de la base de dades i actualització de la mateixa, inclouent-hi les mesures correctores aplicades prèviament.

3.1.1.1 Inventari dels desmunts

Aquesta part del procés és essencial per obtenir informació específica sobre la ubicació dels desmunts i l'obtenció d'informació bàsica per poder prosseguir amb l'avaluació. És important adquirir tantes dades com siguin possibles sobre la història d'esllavissades en el desmunt en qüestió, tot i que no sempre es pot comptar amb un registre detallat. La següent informació hauria de ser recollida:

- Ubicació dels despreniments.
- Freqüència dels despreniments.

- Època de l'any en que s'observa una major activitat.
- Grandària/quantitat de material esllavissat a cada despreniment.
- Característiques físiques del material esllavissat.
- Abast de l'esllavissada (nombre de carrils afectats).
- Història d'accidents.
- Possibles causes de les esllavissades.
- Freqüència de les operacions de neteja de la cuneta.
- Cost estimat de la resposta de manteniment.

3.1.1.2 *Avaluació preliminar*

La idea de l'avaluació preliminar és agrupar les seccions inspeccionades durant l'inventari en tres categories més manejables. Aquest pas és necessari per centrar els esforços posteriors en les zones que suposin un major risc. Segons els criteris de risc de despreniments que puguin afectar a carretera i la història de despreniments a la zona, es classifiquen els desmunts en les classes A, B o C que representen grups d'alt, moderat i baix risc respectivament.

Les seccions classificades com a A i B, seran les que seguiran sent analitzades amb un major deteniment.

3.1.1.3 *Avaluació detallada del risc*

L'avaluació detallada, tal i com es mostra a la Taula 3-1, inclou 9 categories que han de ser valorades per a cada secció estudiada. Les puntuacions atorgades a cada categoria se sumen i al final s'obté una puntuació global per a cada secció. A més puntuació obtinguda, major risc.

Cadascuna de les categories avaluades, representen diferents elements que contribueixen individualment al risc d'esllavissades de la secció en qüestió. A més a més, la valoració per a cada element creix exponencialment de 3 a 81 punts a mida que el risc va augmentant. Aquesta avaluació exponencial provoca un ràpid augment de puntuació en aquelles zones més crítiques i permet distingir-les més ràpidament.

Es distingeixen els següents elements a ser valorats: Alçada del desmunt, efectivitat de la cuneta, percentatge de vehicles en situació de risc, percentatge de distància de parada, amplada de la via, característiques geològiques i climàtiques de la zona, volum i dimensions del material susceptible a ser esllavissat, i història prèvia d'esllavissades.

A continuació es descriuen els diferents paràmetres utilitzats:

✓ Alçada del desmunt

Aquesta categoria avalua el risc associat amb l'alçada del desmunt, que ha de ser mesurat fins el punt més alt des d'on s'espera la caiguda dels blocs, encara que aquest sigui una vessant natural. Aquest paràmetre està estretament relacionat amb l'energia potencial dels blocs que tard o d'hora s'haurà d'acabar dissipant a la cuneta o a la carretera.

✓ **Efectivitat de la cuneta**

L'efectivitat de la cuneta mesura la seva capacitat de retenció per tal d'evitar que el material esllavissat arribi a envair la carretera. Encara que el volum esllavissat sigui important, una cuneta dissenyada a tal efecte pot evitar que la carretera quedi afectada.

Tal i com està dissenyat aquest paràmetre, queda a criteri de l'expert decidir si la cuneta és prou efectiva o no. L'expert ha de fer la valoració de les dimensions de la cuneta juntament amb altres paràmetres estretament relacionats com la pendent del desmunt, el volum susceptible d'esllavissada per esdeveniment o la presència de sortints que puguin catapultar les roques cap a la carretera.

✓ **Percentatge de vehicles en situació de risc (PVSR)**

El percentatge de vehicles en situació de risc intenta representar la probabilitat de que hi hagi un cert nombre de vehicles en el moment i el lloc de l'esllavissada, basat en la intensitat mitja diària, la longitud del talús i la velocitat màxima permesa, segons l'expressió 3.1.

$$PVSR = \frac{IMD \text{ (vehicles / dia)} \cdot \text{Longitud de talús (Km)} / 24 \text{ (hores / dia)}}{\text{Límit de velocitat (Km / h)}} \cdot 100\% \quad (3.1)$$

✓ **Percentatge de la distància de visibilitat de presa decisió**

En aquest apartat es compara la distància de visibilitat en cada tram de la carretera amb la distància mínima requerida per aturar el vehicle en cas de despreniment. La distància mínima requerida és la prescrita per la norma AASHTO i es defineix com la distància necessària per parar el vehicle o efectuar una maniobra que permeti evitar un objecte en la calçada en condicions adverses d'adherència, viatjant a la velocitat màxima de la carretera o en cas d'un revolt concret, la velocitat màxima permesa en aquell revolt. Com més gran sigui la distància de visibilitat actual en relació a la distància de presa de decisió, més gran seran les possibilitats del conductor de poder frenar a temps o esquivar el material esllavissat. L'expressió 3.2 permet valorar aquest paràmetre.

$$PDSD = \frac{ASD}{DSD} \cdot 100\% \quad (3.2)$$

on PSDS és el percentatge de la distància de visibilitat de decisió, ASD és la distància de decisió actual i DSD és la distància de visibilitat de decisió calculada a partir de la velocitat genèrica de la via o la velocitat màxima permesa en el cas de revolts tancats i zones de velocitat reduïda.

✓ **Amplada de la via**

L'amplada de la via, en la qual s'hi inclou la suma de tots els carrils i els vorals pavimentats, és un factor decisiu a l'hora de poder evitar una col·lisió amb un despreniment que hagi envaït la carretera o tenir més marge per tal d'evitar un cotxe que hagi envaït el carril contrari al intentar esquivar un roc.

Taula 3-1. Descripcions detallades per a l'Oregon Rockfall Hazard Rating System.

CATEGORIA		CRITERI DE VALORACIÓ I PUNTUACIÓ				
		3 PUNTS	9 PUNTS	27 PUNTS	81 PUNTS	
Alçada de desmunt		7,5 m	15 m	22,5 m	>30 m	
Efectivitat de la cuneta		Alta	Moderada	Limitada	Nul·la	
Percentatge de vehicles en risc		25% del temps	50% del temps	75% del temps	100% del temps	
Percentatge de la distància de decisió		Adequat 100%	Moderat 80%	Limitat 60%	Molt limitat 40%	
Amplada de la via		13,20 m	10,80 m	8,40 m	6,00 m	
Característiques geològiques	Classe 1	Condicció estructural	Juntes discontinues, orientació favorable	Juntes discontinues, orientació aleatòria	Juntes discontinues, orientació desfavorable	Juntes contínues, orientació desfavorable
		Rugositat de les juntes	Rugosa, irregular	Ondulada	Llisa	Llisa amb ompliment argilós
	Classe 2	Condicció estructural	Poques zones d'erosió diferencial	Zones d'erosió diferencial ocasionals	Moltes zones d'erosió diferencial	Moltes zones d'erosió diferencial
		Diferència en la velocitat d'erosió	Poca diferència	Diferència moderada	Grans diferències	Diferències extremes
Dimensions dels blocs		30 cm	60 cm	90 cm	120 cm	
Volum esllavissat/esdev.		2,3 m ³	4,6 m ³	6,9 m ³	9,2 m ³	
Clima i presència d'aigua al talús		Precipitació baixa o moderada. Absència de gelades. Absència d'aigua	Precipitació moderada o períodes curts de gelada o presència intermitent d'aigua	Precipitació abundant o llargs períodes de gelada o presència continua d'aigua	Precipitació abundant i llargs períodes de gelada o presència continua d'aigua i llargs períodes de gelada	
Història d'esllavissades		Poques	Ocasionals	Moltes	Constants	

✓ **Característiques geològiques**

Les condicions geològiques de la secció susceptible a desprendiments són avaluades en aquesta secció. Com que les condicions que causen la inestabilitat del massís rocós corresponen generalment a dues situacions diferenciades, s'estableixen dos grups tal i com s'observa en la Taula 3-2. A l'hora de puntuar, només es considera la major puntuació obtinguda en un dels dos grups.

En el grup 1, s'hi inclouen els casos en que les juntes, plans d'estratificació o altres discontinuïtats siguin els principals elements estructurals causants de les esllavissades. En aquest apartat es valora l'orientació relativa de les juntes respecte l'orientació del talús i la rugositat de les juntes que afecta considerablement la resistència de lliscament relatiu entre dos estrats.

En el grup 2 s'hi inclouen els casos en els que l'erosió diferencial o la sobreinclinació del talús sigui la causa principal de la inestabilitat. En aquest apartat es valora la presència de zones d'erosió diferencial que provoquin el col·lapse de blocs superiors per falta de sustentació i la velocitat d'erosió de les mateixes.

Taula 3-2. Classificació segons les característiques geològiques del talús.

Característiques geològiques	Classe 1	Condicció estructural	Juntes discontinues (<3,3 m), orientació favorable	Juntes discontinues (<3,3 m), orientació aleatòria	Juntes discontinues (<3,3 m), orientació desfavorable	Juntes continues (>3,3 m), orientació desfavorable
		Rugositat de les juntes	Rugosa, irregular	Ondulada	Llisa	Llisa amb ompliment argilós
	Classe 2	Condicció estructural	Poques zones d'erosió diferencial	Zones d'erosió diferencial ocasionals	Bastants zones d'erosió diferencial	Moltes zones d'erosió diferencial
		Diferència en la velocitat d'erosió	Poca diferència	Diferència moderada	Grans diferències	Diferències extremes

✓ **Dimensions dels blocs o volum del material després**

El volum o les dimensions de l'esllavissada és un altre dels factors més decisius i que més influeix en el risc d'accident. En alguns casos, només un sol bloc es desprèn i arriba a la via. En aquest cas convé utilitzar les dimensions dels blocs. En altres casos l'esllavissada inclou més d'un bloc i material de granulometria heterogènia, cas en que convé utilitzar el volum total després a l'hora d'establir la puntuació.

✓ **Característiques climàtiques de la zona**

Les característiques climàtiques de la zona, tals com la pluviometria, cicles continus de gel/desgel i la presència d'aigua entre les juntes, afecten negativament l'estabilitat del talús.

✓ **Història prèvia d'esllavissades**

La història prèvia d'esllavissades en la zona acostuma a ser un indicador de futurs esdeveniments d'esllavissades.

3.1.1.4 Disseny preliminar i estimació de costos

Una vegada valorat quantitativament el risc de cada talús, s'ha de procedir a proposar les solucions més adients en cada cas i estimar-ne els costos corresponents. Exemples de mesures correctores i/o de contenció, poden ser la instal·lació de malles metàl·liques, pantalles dinàmiques, instal·lació de drenatges, reperfilat del desmunt, construcció de cunetes adients, recobriment amb formigó projectat o construcció de murets de retenció entre d'altres. Els costos associats s'hauran d'incorporar a la base de dades existent.

3.1.1.5 Identificació del projecte i desenvolupament del mateix

En aquesta etapa es porten a terme els projectes de contenció i/o de mesures correctores proposats. El RHRS proposa quatre mètodes per tal d'agrupar els projectes buscant la màxima eficiència donat que sovint, els recursos econòmics són limitats:

✓ **Prioritzant la puntuació**

És el sistema més obvi de procedir. En aquest cas es dona prioritat a les zones amb més risc, és a dir, les que han tingut una major puntuació al aplicar l'avaluació detallada; i progressivament es va actuant sobre les seccions amb menor puntuació.

El principal desavantatge d'aquest mètode és que sovint les seccions amb més risc suposen una major inversió. Per tant cal prendre la decisió de si és més convenient actuar sobre unes poques seccions amb una puntuació més alta o sobre un major nombre de seccions amb una menor puntuació.

✓ **Prioritzant la relació puntuació/costos estimats**

En aquest cas els projectes amb una major relació puntuació/costos estimats són els que es prioritzen. Aquest mètode suposa una variació del mètode cost/benefici, tal que permet reduir la màxima puntuació amb un pressupost donat.

El principal inconvenient que suposa la utilització d'aquest mètode és que pot ser que es deixin de banda seccions que suposin un alt risc.

✓ **Agrupant les seccions que requereixin mesures correctores similars**

Les seccions a les quals s'hagin d'aplicar mesures correctores similars es poden agrupar en un mateix projecte. D'aquesta manera es pot utilitzar l'experiència guanyada en la contenció d'una secció per corregir seccions que requereixin mesures semblants. Així mateix es poden adjudicar els treballs de contenció que requereixin aplicar una determinada tècnica a empreses especialitzades en aquell determinat àmbit i reduir costos d'escala. Un exemple seria la contractació d'una

determinada empresa per tal de que instal·li malles metàl·liques a totes les seccions que així ho requereixin en una determinada comarca.

✓ **Agrupant les seccions en base al factor proximitat**

La darrera forma d'actuar, consisteix en agrupar les tasques correctores i/o de contenció per proximitat geogràfica o que pertanyin a un mateix tram de carretera. Aquest sistema permet reduir els costos associats al desplaçament de personal i maquinària que al final resulta en una reducció de costos de licitació.

Tot i que les formes d'actuació prèviament mencionades s'han de tenir en compte en tot moment, sempre s'espera que les administracions competents han d'actuar en zones on hi ha hagut accidents deguts a esllavissades, independentment de la puntuació que tingui la secció en concret.

3.1.1.6 Revisió periòdica de la base de dades i actualització de la mateixa

La revisió periòdica i l'actualització de la base de dades és imprescindible per tal de poder preveure futures actuacions. A més a més, les condicions d'instabilitat poden canviar de forma inesperada degut a un hivern extremadament dur o una primavera o tardor amb precipitacions extremes, que poden accelerar el potencial de futures esllavissades.

3.1.2 Limitacions i aplicabilitat de l'Oregon RHRS

Tot i que l'Oregon Rockfall Hazard Rating System (Pierson et al. 1990), desenvolupat per l'Oregon State Highway Division va suposar un avenç important en el camp de l'enginyeria geològica, al establir unes bases per una avaluació racional i sistematitzada de la susceptibilitat de produir-se despreniments rocosos i les seves possibles conseqüències, compta amb una sèrie de limitacions que alguns autors posteriors tracten de solucionar.

Un dels principals inconvenients del mètode és la subjectivitat amb la que és classifiquen les seccions de forma preliminar en grups A, B o C o com s'avaluen alguns dels paràmetres, com per exemple la freqüència dels esdeveniments. El sistema de puntuació l'avalua de forma qualitativa, i deixa a criteri de l'expert la decisió sobre si els esdeveniments són molt, bastant o poc freqüents, fet que pot donar a lloc a disparitat de puntuacions en funció de la persona que estigui fent el procés d'avaluació.

Un altre exemple és a l'hora de determinar l'efectivitat de la cuneta, on l'expert ha de tenir en compte una sèrie de paràmetres tals com les dimensions i geometria dels blocs, l'angle i l'alçada del talús, la presència de sortints al talús i la geometria i dimensions de la cuneta per tal de determinar-ne el grau d'efectivitat. El fet de no tenir en compte la conjunció de tots els paràmetres o de no valorar-los adequadament, també pot comportar disparitat de criteris en el valor de l'efectivitat de la cuneta.

Un altre desavantatge important del mètode, és l'àmbit d'aplicació per al qual ha estat dissenyat. Cal recordar que el criteri de puntuacions es va establir a partir de l'estudi de més de 3.000 seccions a l'estat d'Oregon, un estat molt muntanyós i que compta amb unes característiques geològiques, climàtiques i orogràfiques molt heterogènies al llarg

del seu territori. Per aquest motiu, pot ser que l'ús d'aquest criteri no sigui convenient o no es pugui aplicar de forma directa en l'avaluació de seccions en una zona geogràfica molt restringida, on les condicions climàtiques i geològiques siguin pràcticament similars en totes les seccions. Per exemple, aquest mètode es mostra especialment poc sensible a petites variacions en l'alçada dels talussos o no permet diferenciar talussos amb alçades superiors a 30 metres, fet que pot suposar un gran inconvenient en determinades aplicacions. Per això, es proposa adaptar l'escala de valors a les característiques particulars de l'àmbit d'estudi abans d'iniciar l'avaluació individual de cada secció.

3.2 RHRS modificat (Budetta et al., 2002)

3.2.1 Descripció del mètode

En aquest cas, els 6 passos a seguir per al procés d'avaluació són els mateixos que els que es proposen en la versió de Pierson et al. No obstant, Budetta et al. proposa alguns canvis en l'apartat de l'avaluació detallada del risc. Bàsicament s'han modificat i adaptat sis dels paràmetres originals proposats per Pierson, encara que el sistema de puntuació exponencial s'ha mantingut. Els apartats modificats són els següents:

✓ Efectivitat de la cuneta

En el mètode original l'efectivitat de la cuneta era valorada qualitativament i de forma molt subjectiva per l'expert. En la valoració, s'havien de tenir en compte (i) la inclinació i alçada del desmunt, i (ii) l'amplada, profunditat i forma de la cuneta. En el mètode modificat, com s'observa en la Figura 3-1, es fa referència a les actualitzacions del gràfic de disseny de cunetes de Ritchie (Ritchie, 1963) proposades per Fookes i Sweeny (1976) i Whiteside (1986). A més a més es considera la presència de murs de retenció, malles de contenció, etc.

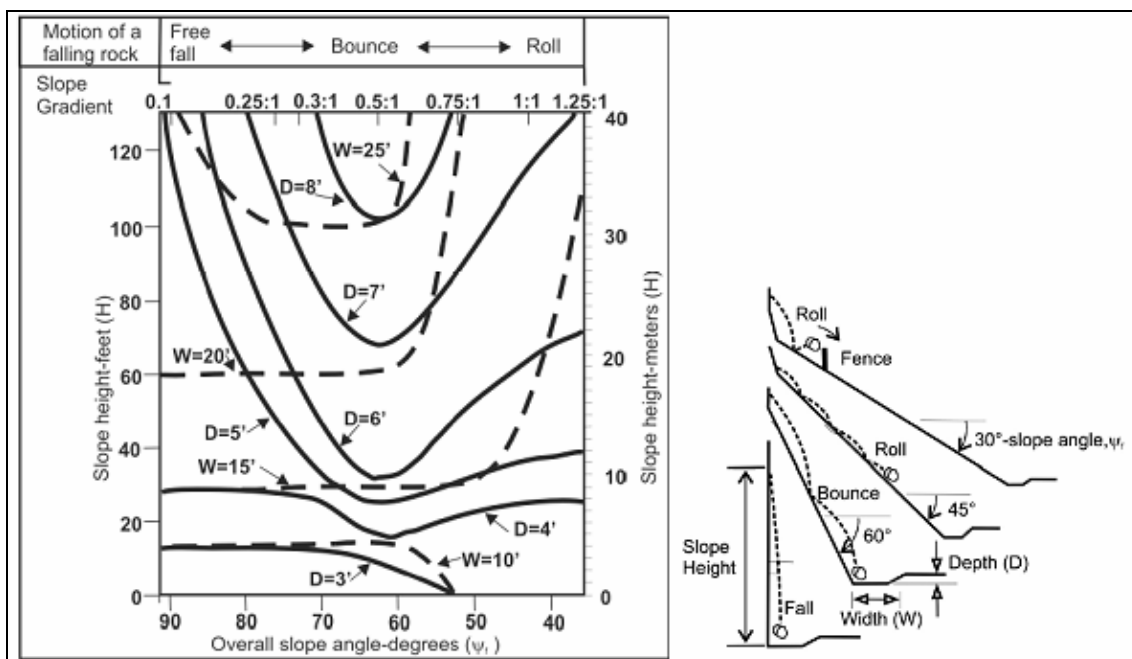


Figura 3-1. Diagrama de Ritchie per al disseny de cunetes.

✓ **Característiques geològiques**

Tal i com s'observa en la Taula 3-1, el mètode original mostra dues condicions diferenciades que causen la caiguda de blocs. El cas 1 inclou talussos en els quals la principal causa de ruptura és deguda a juntes, plans d'estratificació o altres tipus de discontinuïtats. El cas 2 inclou els casos en els que l'erosió diferencial o la sobreinclinació dels desmunts són la causa principal dels despreniments. Dintre d'aquests dos grups la puntuació final s'atorga de forma qualitativa, donant lloc al dubte en alguns casos.

En el mètode modificat, s'introdueix el sistema d'avaluació basat en l'Slope Mass Rating (SMR-Romana, 1985, 1989, 1991), que permet fer una valoració més objectiva del perill d'instabilitat, tal i com s'exposa en el capítol 2.

✓ **Dimensions dels blocs o volum del despreniment**

En el mètode original no es fa referència a quin volum s'ha d'utilitzar: si el volum del bloc abans del despreniment o pel contrari el volum del bloc després de produir-se el despreniment. Aquesta especificació es molt important ja que els blocs rarament mantenen les seves dimensions sense trencar-se durant la caiguda.

Conseqüentment es defineix el volum del bloc abans de desprendre's (V_b) segons l'expressió 3.3.

$$V_b = \frac{(S_1 \times S_2 \times S_3)}{(\sin \alpha \times \sin \beta \times \sin \gamma)} \quad (3.3)$$

amb S_i l'espaiat entre cadascuna de les 3 famílies de discontinuïtats principals i α , β i γ els angles entre juntes.

La mida del bloc ve donada per l'expressió 3.4.

$$D_b = \sqrt[3]{V_b} \quad (3.4)$$

✓ **Percentatge de la distància de visibilitat de presa de decisió**

El percentatge de la distància de visibilitat de presa de decisió ha estat adaptat (Figura 3-2) i es calcula segons el mètode modificat que proposen la majoria de normatives europees i que es defineix com la distància al llarg de la carretera en la qual un objecte de 15 cm d'alçada pot ser vist de forma continua des d'una posició 1,10 m sobre la carretera. El mètode modificat suposa una reducció de la distància de visibilitat de decisió respecte la que proposa la norma AASHTO, que és excessivament conservadora. A més a més, Budetta proposa calcular la distància de visibilitat de presa de decisió per als dos sentits de circulació, ja que normalment un objecte situat en el carril interior del revolt serà més difícilment visible que un situat al carril exterior.

✓ **Amplada de la via**

S'ha adaptat als valors que recull la normativa italiana, que distingeix els tipus de via segons l'amplada de la mateixa (CNR, 1980), tal i com es pot veure en la Taula 3-3.

✓ **Història prèvia d'esllavissades**

Aquesta categoria, que en el mètode original era clarament subjectiva, ha estat substituïda per la freqüència d'ocurrència dels esdeveniments. que permet establir una valoració més objectiva.

Totes aquestes modificacions, queden resumides en la Taula 3-3, on es mostren les categories valorades i les seves puntuacions respectives.

Taula 3-3. Puntuacions per al RHRS de Budetta.

CATEGORIA	CRITERI DE VALORACIÓ I PUNTUACIÓ			
	3 PUNTS	9 PUNTS	27 PUNTS	81 PUNTS
Alçada de desmunt	7.5 m	15 m	22.5 m	>30 m
Efectivitat de la cuneta	Efectiva: Disseny adequat segons el diagrama de Ritchie + elements de contenció	Moderada: Disseny adequat segons el diagrama de Ritchie	Limitada: Mal dissenyada	Nul·la
Percentatge de vehicles en risc	25% del temps	50% del temps	75% del temps	100% del temps
Percentatge de la distància de decisió	Adequat 100%	Moderat 80%	Limitat 60%	Molt limitat 40%
Amplada de la via	21,5 m	15,5 m	9,5 m	3,5 m
Slope Mass Rating (SMR)	80	40	27	20
Dimensions dels blocs	30 cm	60 cm	90 cm	120 cm
Volum esllavissada / esdeveniment	2,3 m ³	4,6 m ³	6,9 m ³	9,2 m ³
Clima i presència d'aigua al talús	h = 300 mm o absència de períodes de gelada	h = 600 mm o períodes de gelada curts	h = 900 mm o llargs períodes de gelada	h = 1200 mm o llargs períodes de gelada
Freqüència dels esdeveniments	1 cada 10 anys	3 cada any	6 per any	9 per any

Una altra de les millores incloses en aquest mètode és la introducció de funcions exponencials per al càlcul de la puntuació de cada paràmetre de forma continua segons les funcions mostrades a la Taula 3-4.

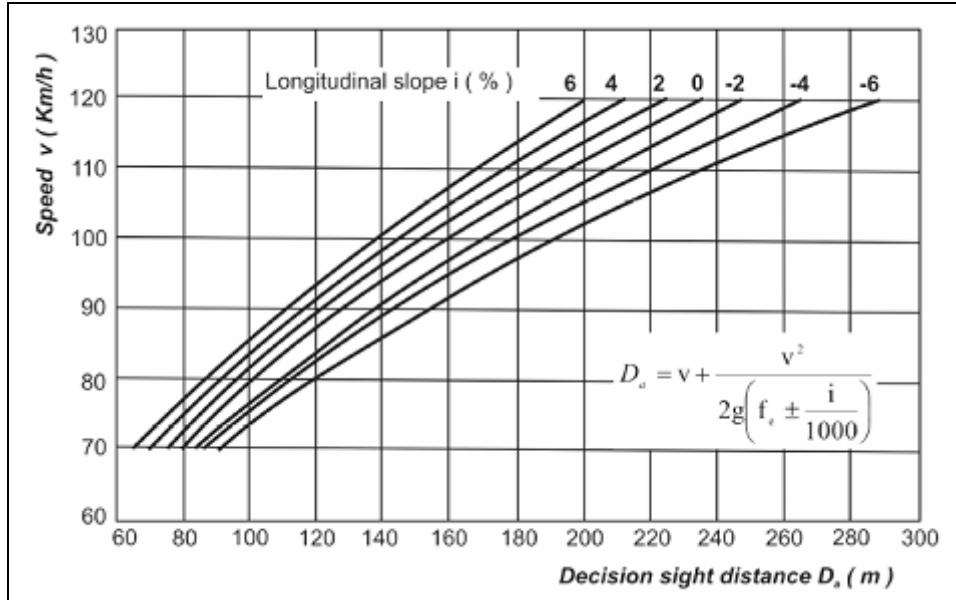


Figura 3-2. Distància de visibilitat de presa de decisió proposada per Budetta en funció de la velocitat màxima permesa i el pendent longitudinal de la via.

Taula 3-4. Funcions exponencials proposades per Budetta per al càlcul del RHRS.

Categoria	Equació
Alçada de desmunt (H)	$y = 3^{H / 7.5}$
Percentatge de vehicles en situació de risc (PVSR)	$y = 3^{PVSR / 25}$
Distància de visibilitat de decisió (%D _a)	$y = 3^{(120 - \%D_a) / 20}$
Ample de carretera (L _c)	$y = 3^{(27.5 - L_c) / 6}$
Slope Mass Rating (SMR)	$y = 3^{80 / SMR}$
Dimensions del bloc (D _b)	$y = 3^{D_b / 0.3}$
Volum esllavissat per esdeveniment (V _{fall})	$y = 3^{V_{fall} / 2.3}$
Pluviometria (h)	$y = 3^{h / 300}$
Freqüència dels esdeveniments (f)	$y = 3^{1 + (0.334 \cdot f)}$

3.2.2 Limitacions i aplicabilitat del RHRS de Budetta

No hi ha dubte que les modificacions proposades per Budetta, permeten establir uns criteris més objectius, especialment pel que fa a l'apartat de característiques geològiques, que es mesuren mitjançant l'SMR.

L'apartat de distància de visibilitat de decisió també permet obtenir uns resultats més ajustats a la realitat, que no pas els resultats obtinguts amb la norma ASHTO, que són excessivament conservadors.

No obstant alguns dels paràmetres modificats poden presentar algunes dificultats en l'avaluació. Un exemple, és l'efectivitat de la cuneta, que tot i ésser valorat objectivament, la majoria de cunetes existents en les carreteres actuals no segueixen el tipus de cuneta proposat per Ritchie en profunditat i en amplada. Això comporta que cunetes menys fondes però més amples que les proposades per Ritchie, quedin determinades com a ineficients, quan en realitat es poden mostrar sobradament eficients.

Un altre dels paràmetres modificats i que pot presentar dificultats, és la freqüència dels esdeveniments, ja que en cap moment es fa referència a la longitud de talús que s'ha de prendre per considerar-ne la freqüència.

3.3 Missouri Rockfall Hazard Rating System (Maerz et al. 2005)

3.3.1 Descripció del mètode

El Missouri Rockfall Hazard Rating System (MORFH RS) suposa una modificació substancial de la versió proposada per Pierson. Al contrari que la versió proposada per Budetta, en que se segueix utilitzant un sistema de puntuació exponencial i només canvia el sistema d'avaluació de 6 paràmetres, el MORFH RS inclou l'avaluació de 23 factors, incloent-hi 9 factors associats a la perillositat del despenjament, 10 factors associats a les conseqüències (efectes sobre els usuaris), tres factors d'ajust i un valor calculat intrínscament. tal i com s'observa en la Taula 3-5.

Un dels trets distintius d'aquest mètode és que els factors associats a la perillositat i els factors associats a les conseqüències es tracten de forma diferenciada durant tot el procés de puntuació. Encara que altres mètodes puguin considerar tant factors de perillositat, com factors de conseqüència, tots tendeixen a obtenir un resultat global que no discerneix entre la part associada al perill i la part associada a les conseqüències. Aquesta forma d'avaluar, és considerada incorrecta per alguns autors, ja que alguns factors afecten de forma diferent al perill i a les conseqüències. Per exemple, a major grandària de bloc, s'aprecia una menor probabilitat de trencada, però unes conseqüències més devastadores. Igualment, un talús de 30° presenta unes majors conseqüències per blocs grans, mentre que un talús de 85° presenta unes majors conseqüències per blocs petits, subjectes a ser projectats lluny del talús davant de la mínima irregularitat. Amb tot això, segons el MORFH RS s'obté una puntuació associada al perill i una associada a les conseqüències (Taula 3-5), i que permet focalitzar les mesures correctores per disminuir la part que pertoqui en cada cas.

Per altra banda, el MORFH RS també contempla la possibilitat mesurar alguns paràmetres, tals com l'alçada i la longitud del talús, l'angle del talús, l'ample de cuneta, etc. mitjançant un sistema de video-inspecció calibrat incorporat a un vehicle del servei d'inspecció i manteniment, tal i com es pot observar en la Figura 3-3 (Maerz et al., 2003).

Aquest sistema permet obtenir imatges d'alta definició sobre les quals es poden mesurar alguns dels paràmetres necessaris d'una forma fàcil amb errors acceptables entre el 2% i el 9% segons el paràmetre (Taula 3-6). Així es pot reduir la feina de camp amb personal especialitzat a la mesura de paràmetres que no poden ser avaluats de forma automatitzada, com la resistència de la roca intacta o la presència d'aigua al talús entre d'altres.

Taula 3-5. Sistema de puntuació del MORFH RS.

	Classificació	Rang de valors
A. Factors de perillositat		
1. Alçada de talús	-	0-18,2 m
2. Angle de talús	-	0-90°
3. Inestabilitat del talús	0-4	-
4. Factor de meteorització	0-8	-
5. Resistència de la roca intacta	0-4	-
6. Irregularitat del talús	0-4	-
7. Presència de blocs solts	0-4	
8. Mida dels blocs	-	30-152 cm
9. Presència d'aigua	0-4	-
B. Factors de conseqüència		
1. Amplada de la cuneta	-	0-4,6 m
2. Volum de la cuneta	-	0-2,8 m ³ /m
3. Volum potencial del despreniment	-	0-3,7 m ³ /m
4. Angle de talús	-	20-90°
5. Amplada del voral	-	0-3,7 m
6. Nombre de carrils	-	1-4 carrils
7. Intensitat mitja diària de vehicles	-	0-20.000 veh/dia
8. Risc d'impacte directe	-	<i>calculat amb:</i>
Límit de velocitat	-	64-112 km/h
Longitud del talús	-	30-182 m
9. Distància de visibilitat de decisió	0-4	-
10. Grandària del bloc	-	30-152 cm
C. Factors d'ajust en la perillositat		
1. Discontinuitats orientades desfavorablement	0-4	-
2. Efecte de carstificació	0-4	-
D. Factors d'ajust en les conseqüències		
1. Capacitat d'excedència de la cuneta	-	<i>calculada</i>
2. Forma de la cuneta	0-3	-

Taula 3-6. Error mig obtingut en cada paràmetre mesurat mitjançant video-inspecció.

Paràmetre	Error (%)
Amplada de la cuneta	6,0
Profunditat de la cuneta	8,6
Alçada de la cuneta	4,2
Angle del talús	2,7
Alçada del talús	3,9
Amplada del voral	7,6
Amplada de la calçada	2,7
Longitud del talús	6,8



Figura 3-3. Exemple d'imatge obtinguda amb el sistema de video-inspecció.

A continuació s'expliquen de forma detallada els factors exposats a la Taula 3-5, així com els criteris de puntuació per a cada factor.

✓ **Alçada del talús**

L'alçada del talús és un dels factors determinants a l'hora d'avaluar la possibilitat de col·lapse associat. Talls amb alçades de desmunt molt altes suposen un major perill. Aquest és un dels paràmetres que es pot mesurar a partir de video-inspecció. La puntuació atorgada a cada alçada es mostra en la Taula 3-7.

✓ **Angle de talús**

L'angle del talús, tal i com s'ha mencionat prèviament, afecta de forma diferent a l'abast i energia del despreniment i a les conseqüències que pugui comportar. Mentre que la inestabilitat augmenta amb l'angle del talús, les conseqüències són

màximes per angles de 30° i 85°, tal i com s'observa en la Figura 3-4. Estudis elaborats per Pfeiffer i Higgins (1990) demostren que per angles de 30° els blocs més grans rodolen fins a la calçada. Per angles de 85° la majoria dels rocs petits arriben a la calçada després de rebotar i projectar-se lluny del talús. Alternativament, per angles inferiors a 20°, la pendent no és prou pronunciada com per què els blocs agafin prou velocitat i per un talús ideal de 90° els blocs caurien verticalment a la cuneta. Aquestes relacions queden reflectides gràficament en la Figura 3-4. Així doncs, es poden establir dues taules de puntuacions, una associada la perillositat i l'altra a les conseqüències (Taulas 3-8 i 3-9).

Taula 3-7. Puntuacions de perillositat assignades en funció de l'alçada de talús.

Alçada del talús (m)	3	6	9	12	15	18
Puntuació de perill	2	4	6	8	10	12

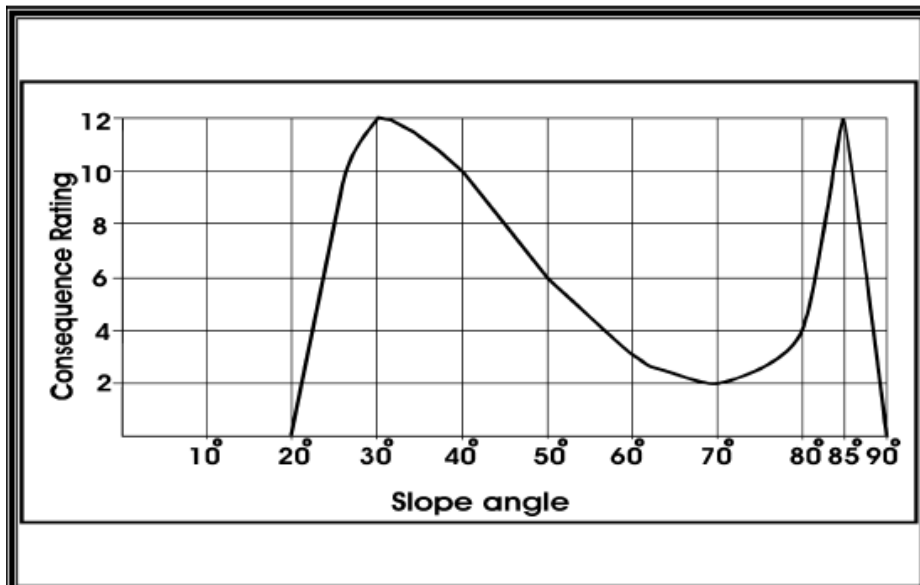


Figura 3-4. Puntuació de conseqüència en funció de l'angle del talús.

Taula 3-8. Puntuació de perillositat associada a l'angle del talús.

Angle del talús	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
Puntuació de perill	0	2	4	6	8	10	12

Taula 3-9. Puntuació de conseqüència associada a l'angle del talús.

Angle del talús	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	85°	90°
Puntuació de conseqüència	0	12	10	6	3	2	4	12	0

✓ **Inestabilitat del talús**

Aquest paràmetre és una mesura qualitativa que agrupa una sèrie de factors que poden produir la inestabilitat del talús. Es determina a partir d'observacions de desprendiments previs, evidència de blocs a la cuneta, blocs solts a la cara del talús, etc. (Taula 3-10).

Taula 3-10. Puntuació de perillositat associada a la inestabilitat de la cara del talús.

Inestabilitat del talús	Classe	Descripció	Puntuació de perill
Completament inestable	4	Desprendiments freqüents. Evidència de desprendiments a la cuneta o en els registres. Grans desprendiments	12
Inestable	3	Desprendiments freqüents en determinades èpoques de l'any però insignificants la resta de l'any	9
Parcialment estable	2	Desprendiments ocasionals però freqüents en episodis plujosos	6
Estable	1	Pocs desprendiments durant l'any. Només durant episodis de pluja intensa	3
Completament estable	0	Cap desprendiment. No hi ha evidència física ni històrica d'ocurrència de desprendiments	0

✓ **Factor de meteorització**

Tant la meteorització química com física, incrementen substancialment la inestabilitat del talús debilitant la roca mare. Trets característics de fenòmens erosius, inclouen zones que s'esmicolen i estrats que perden el suport degut a l'erosió de capes inferiors (Taula 3-11).

✓ **Resistència de la roca intacta**

La resistència a compressió de la roca mare és un factor important en la durabilitat del talús (Bieniawski 1984) (Taula 3-12).

✓ **Irregularitat del talús**

El factor d'irregularitat és un indicador de talussos inestables i està basat en una escala descriptiva (Taula 3-13).

✓ **Presència de blocs solts**

La presència de blocs solts és un indicador de talussos inestables. Està basada en l'estimació del nombre de discontinuïtats visibles a la cara del talús i la presència de blocs a punt de caure (Taula 3-14).

Taula 3-11. Puntuació del perillositat associada a la meteorització.

Factor de meteorització	Classe	Descripció	Puntuació de perill
Alt	4	Moltes evidències de meteorització. Presència d'erosió diferencial en tot el talús	24
Moderat	3	Algunes evidències de meteorització. Numerosa presència d'elements d'erosió diferencial	18
Baix	2	Erosió diferencial limitada. Només algunes zones localitzades presenten evidència d'erosió diferencial	12
Molt baix	1	Poques zones presenten evidència d'erosió diferencial	6
Nul	0	Cap evidència d'erosió diferencial. Cara del talús intacta	0

Taula 3-12. Puntuació de perillositat associada a la resistència de la roca intacta.

Resistència de la roca intacta	Classe	Descripció	Puntuació de perill
Molt alta	4	Es necessiten molts cops amb el martell de geòleg per fracturar la roca. >100 MPa	0
Alta	3	Es necessiten bastants cops amb el martell de geòleg per fracturar la roca. >50 MPa	3
Moderada	2	La roca es trenca amb un cop sec amb el martell de geòleg. >25 MPa	6
Baixa	1	La roca es ratlla amb una escarpa. >5 MPa	9
Molt baixa	0	La roca s'escrostonia amb els dits. <5 MPa	12

Taula 3-13. Puntuació de perillositat associada a la irregularitat del talús.

Irregularitat de la cara del talús	Classe	Descripció	Puntuació de perill
Molt alta	4	Moltes juntes i molta presència de descalçament al llarg del talús	12
Alta	3	La major part del talús és irregular i nombroses juntes	9
Moderada	2	Moltes zones irregulars al llarg del talús	6
Baixa	1	Algunes àrees irregulars al llarg del talús	3
Molt baixa	0	Cara del talús llisa	0

Taula 3-14. Puntuació de perillositat associada a presència de blocs solts.

Presència de blocs solts	Classe	Descripció	Puntuació de perill
Molt material solt	4	La cara està completament coberta de blocs solts	12
Bastant material solt	3	La major part de la cara està coberta amb blocs solts	9
Presència moderada de material solt	2	Una bona part de la cara està coberta amb blocs solts	6
Poc material solt	1	Gairebé no hi ha presència de blocs solts	3
Nul·la	0	No hi ha blocs solts a punt de desprendre's	0

✓ **Mida del bloc**

Generalment, els desprendiments en massissos rocosos amb mides de bloc petites són substancialment més freqüents que els que tenen mides de bloc més grans (Taula 3-15). Per altra banda la mida dels blocs afecta a la part de conseqüència de forma diferent, ja que els blocs més grans tenen més energia cinètica que els blocs petits i per tant arribaran més lluny a la calçada i produiran majors danys als vehicles i a la carretera (Taula 3-16).

Taula 3-15. Puntuació de perillositat associada a la grandària del bloc.

Mida del bloc	Descripció	Puntuació de perill
Massiva	Blocs grans i espaiat entre juntes >1,5 m	0
fracturada	Espaiat entre juntes de 0,7 m aproximadament	4
Molt fracturada	Espaiat entre juntes de 0,3 m aproximadament	8
Completament fracturada	Roca molt fracturada. Blocs molt petits	12

Taula 3-16. Puntuació de conseqüència associada a la grandària del bloc.

Mida del bloc	Descripció	Puntuació de conseqüència
Massiva	Blocs grans i espaiat entre juntes >1,5 m	12
fracturada	Espaiat entre juntes de 0,7 m aproximadament	8
Molt fracturada	Espaiat entre juntes de 0,3 m aproximadament	4
Completament fracturada	Roca molt fracturada. Blocs molt petits	0

✓ **Presència d'aigua**

La presència de pressió hidrostàtica és potser un dels elements precursors d'esllavissades que té més influència. Molts desprendiments i esllavissades es produeixen després d'un període de pluges intenses o abundants. A vegades, la pluja

no és el principal factor però en la majoria de casos actua com a últim desencadenant. A més a més, la presència d'aigua en conjunció amb cicles de gel i desgel contribueix a l'erosió i inestabilitat del massís.

Aquest paràmetre s'avalua de forma descriptiva i pot ser estimat observant la presència de filtracions d'aigua en el talús uns 2 o 3 dies després de l'episodi de pluja o la presència de signes permanents inequívocs de la presència d'humitat. (Taula 3-17).

✓ **Efectivitat de la cuneta**

L'efectivitat de la cuneta inclou tres paràmetres que contribueixen als factors de conseqüència: Amplada de cuneta, volum de cuneta (VC) i opcionalment la forma de la cuneta. Els primers dos paràmetres afecten als talussos amb angles superiors a 85° sense bermes ineficients (Taulas 3-18 i 3-19). Alternativament, en talussos amb angles inferiors a 85° o si hi ha presència de bermes ineficients que catapultin el material cap a la carretera, l'amplada de la cuneta és modificada i s'hi afegeix el factor de forma (Taulas 3-20, 3-21).

Per concloure si una berma és eficient, s'ha d'aplicar una puntuació que té en compte les característiques pròpies de la berma, així com les característiques de la part del talús per sobre de la berma (Taula 3-22). Segons aquest mètode, si s'obté una puntuació superior a 12 en el còmput total dels 6 apartats, es conclou que la berma no és efectiva.

Taula 3-17. Puntuació de perillositat associada a la presència d'aigua en el talús.

Presència d'aigua	Classe	Descripció	Puntuació de perill
Sec	0	Cap presència d'aigua	0
Humit	1	Alguna evidència d'aigua a la cara del talús	3
Moll	2	Presència significant d'aigua	6
Gotejant	3	Goteig continu per tot el talús	9
Flux continu d'aigua	4	Aigua flueix per tot el talús	12

Taula 3-18 Puntuació de conseqüència associada a l'amplada de la cuneta.

Amplada de la cuneta (m)	0	1,5	3,0	4,5
Puntuació de conseqüència	12	8	4	0

Taula 3-19. Puntuació de conseqüència associada al volum de la cuneta.

Volum de la cuneta (VC) (m ³ /m)	0	0,5	0,9	1,4	1,9	2,3	2,8
Puntuació de conseqüència	12	10	8	6	4	2	0

Taula 3-20. Puntuació de conseqüència associada a l'amplada de la cuneta (alternativa).

Amplada de la cuneta (m)	0	3,0	6,1	9,1
Puntuació de conseqüència	12	8	4	0

Taula 3-21. Puntuació de conseqüència associada a la forma de la cuneta.

Forma de la cuneta	Plana (0°)	Lleuger pendent cap al talús (7°)	Pendent moderat cap al talús (9°)	Fort pendent cap al talús (14°)
Puntuació de conseqüència	12	8	4	0

Taula 3-22. Puntuació per determinar l'efectivitat de la berma.

Puntuació:	4	2	0
✓ Talús sobre la berma			
Irregularitat del talús	Alta	Moderada	Suau
Meteorització	Alta	Baixa	Cap
Presència de blocs solts	Molts	Pocs	Cap
Amplada de la berma	<1,5 m	4,5 m	>6 m
✓ Característiques de la berma			
Presència de rocs a la berma	Molta	Poca	Gens
Pendent de la berma	Vers la carretera	Horitzontal	Vers el talús
Resultat total: <u> </u> . (Si superior a 12, llavors la berma es considera poc eficient)			

✓ Volum potencial del despreniment (VPD)

Aquest factor estima el volum potencial susceptible a ser després. Per fer-ho, cal avaluar l'àrea de la superfície del talús que es pot desprendre, així com la profunditat de la zona inestable (Taula 3-23).

Taula 3-23. Puntuació de conseqüència associada al volum de material després.

VPD	Puntuació de conseqüència
>3.7 m ³ /m lineal	12
>2.8 m ³ /m lineal	9
>1.9 m ³ /m lineal	6
>1 m ³ /m lineal	3
<0.5 m ³ /m lineal	0

✓ Amplada del voral

L'amplada del voral (pavimentat o no) pot permetre proporcionar un espai afegit en cas de que la cuneta deixi de ser efectiva a l'hora de retenir els blocs (Taula 3-24).

Taula 3-24. Puntuació de conseqüència associada a l'amplada del voral.

Amplada del voral (m)	0	0,9	1,8	2,8	3,6
Puntuació de conseqüència	12	9	6	3	0

✓ **Nombre de carrils**

Si la via només disposa d'un carril per sentit de circulació, la possibilitat d'evitar un despreniment que hagi envaït la carretera és menor que si hi ha més d'un carril (Taula 3-25).

Taula 3-25. Puntuació de conseqüència associada al nombre de carrils.

Nombre de carrils	1	2	3	4
Puntuació de conseqüència	12	6	3	0

✓ **Intensitat mitja diària de vehicles (IMD)**

La intensitat de vehicles que circulen per una carretera suposa un efecte directe sobre les conseqüències davant d'un possible despreniment. (Taula 3-26).

Taula 3-26. Puntuació de conseqüència associada a la intensitat diària de vehicles.

Intensitat mitja diària	5.000	10.000	15.000	20.000
Puntuació de conseqüència	3	6	9	12

✓ **Risc d'impacte directe (RID)**

El risc d'impacte directe intenta representar la probabilitat de que en un cert instant, hi hagi algun vehicle en el moment i el lloc de l'esllavissada, basat en la intensitat mitja diària, la longitud del talús, la velocitat màxima permesa i el nombre de carrils segons la relació 3.5.

$$RID = \frac{IMD \text{ (vehicles / dia)} \cdot \text{Longitud de talús (Km)}}{\text{Límit de velocitat (Km / h)} \cdot \text{Nombre de carrils}} \cdot 100\% \quad (3.5)$$

Un RID de 100% o superior, significa que es pot esperar que almenys un vehicle es trobi en la zona de perill en qualsevol moment. S'ha de posar especial èmfasi a l'hora de considerar només la longitud del talús on es puguin esperar despreniments. Una sobreestimació de la longitud pot comportar un efecte no desitjat en el resultat de la fórmula 3.5. Segons el valor del RID calculat, s'obté una puntuació de conseqüència. (Taula 3-27).

✓ **Distància de la visibilitat de presa de decisió**

La distància de visibilitat de presa de decisió és la distància a la qual es pot veure de forma continua, un objecte de 15 cm d'alçada situat a la carretera. A diferència

d'altres mètodes, el MORFH RS valora la distància de visibilitat de presa de decisió d'una forma qualitativa (Taula 3-28).

✓ **Discontinuitats orientades desfavorablement**

Aquest paràmetre permet puntuar negativament aquells casos en els quals les discontinuitats tinguin una orientació que contribueixi al lliscament d'una roca cap a la carretera (Taula 3-29).

Taula 3-27. Puntuació de conseqüència associada al RID.

Risc d'impacte directe	% RID	Puntuació de conseqüència
Baix	25%	3
Mig	50%	6
Alt	75%	9
Molt alt	100%	12

Taula 3-28. Puntuació de conseqüència associada a la distància de visibilitat de presa de decisió.

Distància de visibilitat de decisió	Classe	Descripció	Puntuació de risc
Molt limitada	3	Distància molt curta amb molts revolts pronunciats i canvis de rasant. Presència de vegetació que dificulta la visibilitat.	12
Limitada	2	Alguns revolts i obstacles a la carretera que no permeten apreciar a temps possibles objectes a la carretera.	8
Moderada	1	Pocs revolts i obstacles que permeten una bona visibilitat de possibles esllavissades.	4
Adequada	0	Carretera completament recta amb visibilitat excel·lent.	0

Taula 3-29. Puntuació de conseqüència associada a la presència de discontinuitats orientades de forma desfavorable.

Discontinuitats orientades desfavorablement	Favorable	Mig	desfavorable	Molt desfavorable
classe	0	1	2	3
Angle de cabussament	<20°, 90°	20°-45°	45°-65°	65°-90°
Puntuació de conseqüència	0	4	8	12

✓ **Efecte de carstificació**

L'efecte de carstificació s'afegeix en aquells casos en que elements càrstics, tals com les dolines, puguin estar reomplerts amb material fàcilment erosionable (Taula 3-30).

Taula 3-30. Puntuació de conseqüència associada a la presència de carstificació.

Efecte de carstificació	Classe	Puntuació de conseqüència
Roques no carbonatades (ígnees, gresos, etc).	0	0
Roques carbonatades que podrien incloure dolines, però no s'aprecien directament al talús.	1	3
Presència de carstificacions al talús amb amplades de fins a 15 metres, amb reompliments de blocs o graves.	2	6
Presència de carstificacions amb amplades de fins a 30 metres, amb reompliments de blocs o graves.	3	9
Presència de carstificacions amb amplades de fins a 45 metres, amb reompliments de blocs o graves.	4	12

✓ **Capacitat d'excedència de la cuneta**

És un paràmetre calculat intrínsicament a partir de paràmetres ja calculats, i es defineix com la ràtio entre el volum potencial d'un desprendiment i el volum de la cuneta (Taula 3-31).

Taula 3-31. Factor d'ajust en funció de la capacitat d'excedència de la cuneta.

VPD/VC	1	2	3	4
Puntuació	0	5	10	15

Al final del procés de puntuació de tots els paràmetres mostrats a la Taula 3-5, s'obté una puntuació associada a la perillositat i una puntuació associada a les conseqüències.

Per obtenir la puntuació associada a la perillositat, s'han de sumar les valoracions de cadascun dels 9 factors associats a la perillositat (valorats en una escala 0-12, excepte el factor meteorització que es valora en una escala 0-24 per tenir major importància) i es normalitzen a una escala entre el 0 i 100. A continuació s'hi afegeixen les puntuacions associades als factors d'ajust de carstificació i discontinuïtats orientades desfavorablement, en cas de que siguin diferents a 0. En qualsevol cas, la puntuació màxima associada a la perillositat és 100.

Pel que fa a la puntuació associada a les conseqüències, es procedeix de forma anàloga a la part de la perillositat i finalment s'obté una puntuació normalitzada de 0 a 100.

Un cop obtingudes les puntuacions es pot obtenir una representació gràfica en el pla Perillositat – Conseqüències i obtenir una fitxa detallada de cada talús, amb la fotografia, situació i valors de cada paràmetre, tal i com s'observa a la Figura 3-5.

Al mateix temps, també es poden representar en el pla Perillositat – Conseqüència tots els talussos d'una determinada carretera per comparar a simple vista les carreteres més conflictives i dins de cada carretera, les seccions que suposen un major risc. En la

Figura 3-6 s'observa la fotografia d'un talús típic de la carretera 44 a l'estat de Missouri amb el diagrama corresponent, mostrant les puntuacions d'altres talussos d'aquesta carretera.

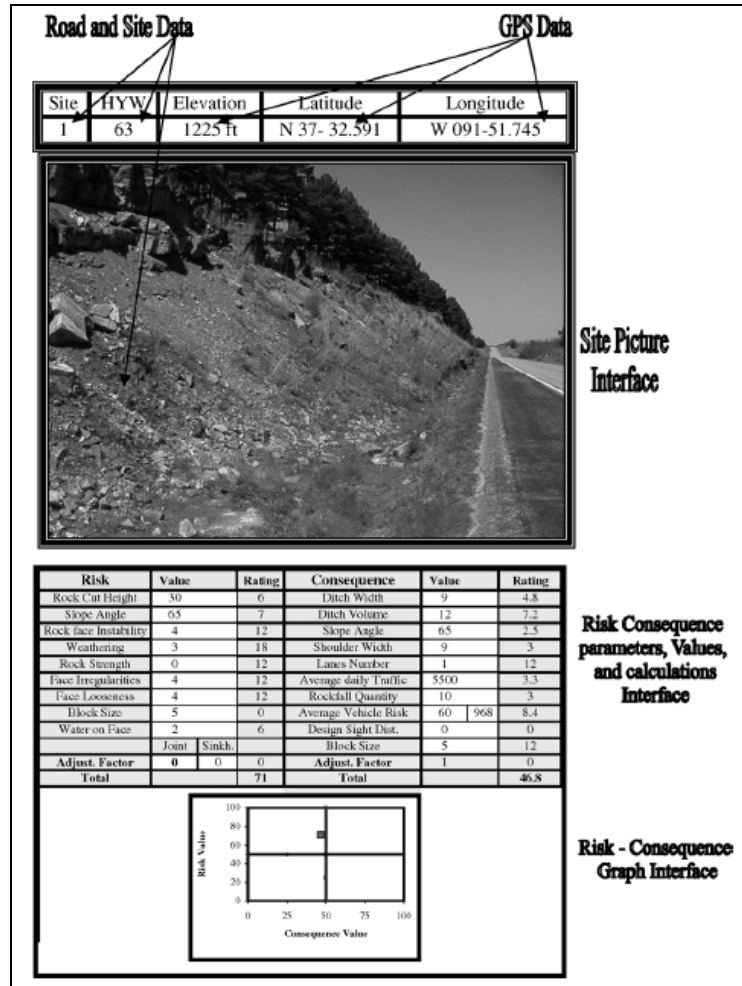


Figura 3-5. Exemple de la fitxa detallada obtinguda amb la fotografia del talús, la situació, la valoració de tots els paràmetres i el gràfic perillositat-conseqüències.

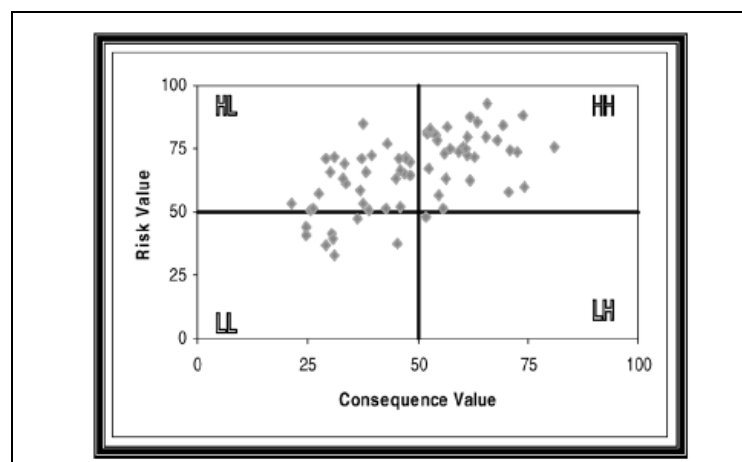


Figura 3-6. Diagrama perillositat-conseqüències dels talussos de la carretera 44 a l'estat de Missouri.

3.3.2 Limitacions i aplicabilitat

El MORFH RS suposa un avantatge respecte la resta de mètodes d'anàlisi qualitativa del risc, ja que fa una distinció dels paràmetres que influeixen en la part referent al perill i els que afecten les conseqüències dels possibles despreniments. Aquest sistema de puntuacions diferenciades permet focalitzar les mesures per reduir al risc en la part més desfavorable. Per exemple, en el cas d'obtenir una puntuació elevada en la part de perillositat es podria actuar instal·lant elements d'estabilització com bulons. Alternativament, una puntuació alta en la part de conseqüències es pot reduir mitjançant l'ampliació de la cuneta o instal·lant un muret per evitar que els blocs arribin a la calçada.

Tot i així aquest mètode, tal i com s'ha vist en la resta de mètodes d'anàlisi qualitativa, pot necessitar haver d'adaptar alguns dels seus paràmetres i les seves respectives puntuacions a cada àmbit d'estudi. Per exemple el MORFH RS estableix el límit d'alçada d'un talús per assignar-li la màxima puntuació en 18 m. Aquest límit no permetria distingir l'efecte de l'alçada en moltes carreteres de l'estat espanyol i per tant aquest paràmetre hauria de ser adaptat.

Per altra banda, el sistema de video-inspecció utilitzat, permet un gran estalvi de temps i personal, tot i que s'hauria de demostrar la seva efectivitat a l'hora de mesurar l'alçada de talussos més alts als utilitzats en l'elaboració del mètode o recoberts de vegetació.

4 Mètode d'anàlisi quantitativa del risc

La metodologia d'anàlisi quantitativa es basa en poder establir els valors numèrics de la probabilitat, vulnerabilitat i les conseqüències de l'esdeveniment per tal d'obtenir un valor del risc (Fell et al., 2005). Això resulta, en la majoria de casos, en obtenir la probabilitat anual de pèrdua de vida, per tal de poder establir un criteri comparatiu amb els límits tolerables en cada país. En ocasions, s'ha utilitzat aquesta metodologia com a criteri per establir si l'administració competent del manteniment de la carretera es podria declarar responsable dels accidents derivats de despreniments i esllavissades (Bunce et al., 1997).

En altres ocasions, aquests tipus de mètodes poden ser utilitzats per avaluar els costos socials derivats dels despreniments, com l'augment de temps que suposa pels usuaris de la via, inconvenients per al transport i les indústries de la zona, impacte al medi ambient, etc. i comparar-los amb la inversió que suposaria prendre mesures per reduir el risc (Fell et al., 2005).

Tots aquests processos estan emmarcats en el procés que culmina amb la gestió del risc, que inclou l'anàlisi del risc i la seva avaluació (Figura 4-1).

4.1 Anàlisi del risc

4.1.1 Plantejament del problema

Per assegurar-se que l'anàlisi del risc s'adreça a un problema rellevant, satisfà les necessitats dels actors involucrats i evitar malentesos, és important definir adequadament les característiques del problema a partir dels següents punts:

1. Definir correctament els límits geogràfics i l'abast de la zona d'estudi.
2. Definir adequadament si l'anàlisi es restringirà a la pèrdua o danys materials o si també inclourà una avaluació de danys personals i/o pèrdua de vides humanes.
3. L'abast dels estudis geològics i geotècnics que serviran de base per l'estudi del risc.
4. L'aproximació i els models utilitzats per caracteritzar les esllavissades i avaluar-ne la freqüència i les seves conseqüències.
5. Com, qui i per mitjà de quin procés seran establerts els valors del risc tolerables.
6. Considerar les limitacions econòmiques i operacionals (accés a zones de difícil accés per exemple) de l'anàlisi.
7. Definir les responsabilitats legals de totes les parts implicades.
8. La forma amb la qual es presentarà el producte de l'anàlisi del risc (informes, mapes, etc.) i com serà comunicada a les parts implicades.

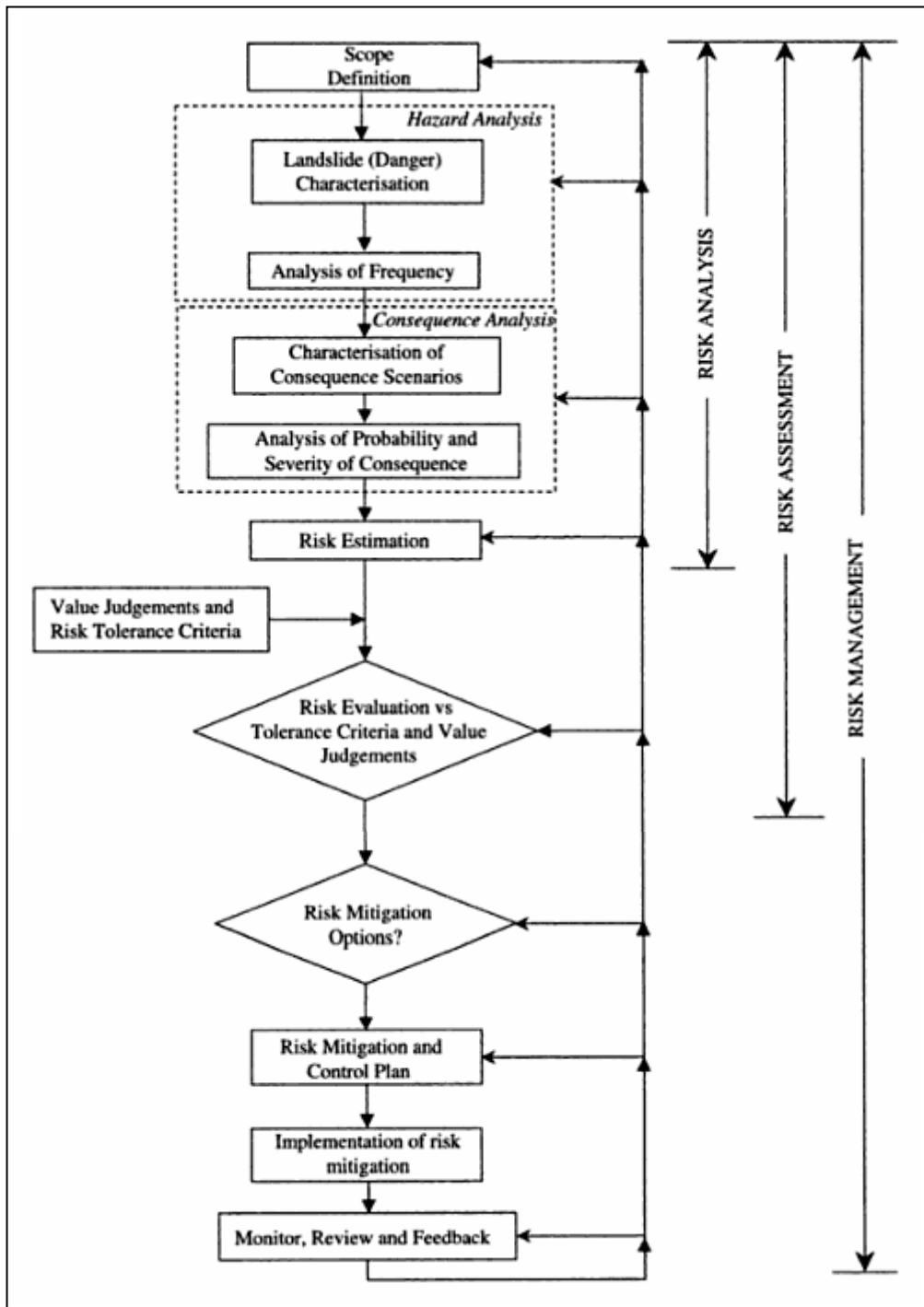


Figura 4-1. Diagrama de fluxos per a la gestió de riscos associats a esllavissades. Fell et al., 2005.

4.1.2 Anàlisi del perill

L'anàlisi del perill és el procés d'identificació i caracterització de les esllavissades potencials juntament amb l'avaluació de les seves corresponents freqüències d'ocurrència.

4.1.2.1 Caracterització del perill

La caracterització del perill requereix un coneixement dels processos que regeixen l'esllavissada i la relació entre aquests processos amb la geomorfologia, geologia, hidrogeologia, mecànica del esdeveniment, clima i vegetació. A partir del coneixement de tots aquests factors, serà possible:

1. Classificar els tipus d'esllavissada potencial (lliscada, despreniment, corrent d'arrossegalls, etc.).
2. Analitzar l'abast de cada tipus d'esllavissada potencial, incloent-hi la localització, extensió i volum potencial involucrat.
3. Analitzar la freqüència dels possibles elements detonants, les característiques físiques dels materials involucrats, com la resistència al tall, pressió intersticial i mecànica del lliscament. Aquest darrer és crític a l'hora d'entendre el pre i post comportament de trencada de l'esllavissada.
4. Estimar el tram i la distància afectada per l'esllavissada, profunditat i velocitat del moviment, estimant la probabilitat de que l'esllavissada afecti l'àrea on es troben els elements en situació de risc.
5. Identificar les possibles evidències que indiquin una trencada imminent i que siguin fàcilment detectades de forma instrumental.

És necessari disposar d'un inventari exhaustiu de les possibles esllavissades, considerant tant les que estiguin fora com dins de la zona d'estudi, ja que és possible que esllavissades produïdes talús amunt o talús avall puguin afectar els elements en situació de risc.

Així mateix, també cal considerar tots els tipus d'esdeveniments, tant els de baixa magnitud i alta freqüència, com els de gran magnitud i baixa freqüència. Sovint el risc està determinat pels esdeveniments molt freqüents, encara que siguin de baixa magnitud.

4.1.2.2 Anàlisi de freqüència

Determinar la freqüència dels esdeveniments és un dels punts primordials de la anàlisi quantitativa del risc, tot i que sovint, no és fàcil obtenir-ne valors acurats.

Segons la IUGS (1997), la freqüència de les esllavissades es pot expressar de les següents formes:

1. El nombre d'esllavissades d'un cert tipus dintre de la zona d'estudi al llarg d'un any.
2. La probabilitat d'esllavissada en un talús en concret en un període determinat, per exemple en un any.
3. La probabilitat de que les forces desestabilitzadores excedeixin les forces resistents en relació a la probabilitat d'excedència de la pressió intersticial lliandar determinada en l'anàlisi.

Per calcular la freqüència, es pot recórrer a diferents mètodes segons la IUGS (1997):

1. Dades i registres històrics de l'àrea d'estudi o en àrees amb característiques geològiques, geomorfològiques, etc. similars.
2. Mètodes empírics basats en correlacions amb els mètodes per avaluar la inestabilitat de talussos, per exemple l'SMR.
3. Utilitzant evidències geomorfològiques, juntament amb dades i registres històrics.
4. Relacionant la freqüència i la intensitat dels factors detonants com la pluja o els terratrèmols.
5. Avaluació directa basada en la valoració d'un expert.
6. Mitjançant models de la variable primària, per exemple: pressions piezomètriques - esdeveniment detonant.
7. Aplicant mètodes probabilístics, considerant les incerteses en la geometria del talús, resistència de tall, mecanisme de trencada i pressions intersticials.
8. Combinacions dels mètodes prèviament descrits.

A la pràctica pot ser apropiat i aconsellable utilitzar més d'un mètode d'anàlisi per corroborar els resultats obtinguts.

Normalment és convenient expressar la freqüència dels esdeveniments en termes de nombre d'esdeveniments per any, ja que els criteris d'acceptació de risc de pèrdua de vida o danys materials se solen donar en termes anuals. Al mateix temps, permet una comparació més fàcil amb altres tipus d'esdeveniments catastròfics com inundacions, terratrèmols, etc.

Finalment, cal mencionar que en la majoria de casos, l'estimació de la freqüència basada en registres històrics, evidències geomorfològiques o relacions amb esdeveniments detonants permet obtenir resultats més acurats que els aparentment més rigorosos i detallats mètodes probabilístics, degut a les grans incerteses involucrades en aquests tipus de mètodes.

4.1.3 Anàlisi de les conseqüències

L'anàlisi de les conseqüències involucra els següents conceptes (Fell et al., 2005):

1. Identificar i quantificar els elements en situació de risc, incloent béns materials i personals.
2. Avaluar les probabilitats temporal espacial per als elements en risc.
3. Avaluar la vulnerabilitat dels elements en situació de risc en termes de danys als béns materials i danys de pèrdua de vida i/o danys personals.

Aquesta anàlisi s'ha d'efectuar per a cada tipus de perill potencial.

Altres conseqüències no considerades prèviament, però no per això menys importants, podrien incloure la pèrdua de reputació de l'autoritat competent i de l'equip de geòlegs i enginyers, costos socials (habitants o empreses que veuen reduïdes les comunicacions per talls en una carretera), litigis per part dels familiars dels ferits/morts, repercussions polítiques, costos mediambientals (emissions afegides en cas de que els conductors hagin de recórrer major distància per buscar vies alternatives, camions de mercaderies perilloses que puguin perdre la càrrega al veure's sorpresos per una esllavissada, etc.).

Moltes d'aquestes conseqüències no són fàcilment quantificables, però en alguns casos han de ser sistemàticament considerades per dur a terme una anàlisi exhaustiva.

4.1.3.1 Elements en situació de risc

Els elements en situació de risc poden incloure persones, edificis, infraestructures, vehicles, zones d'interès natural o activitats econòmiques que estiguin en la zona afectada pel perill potencial. A la pràctica, això implica estar situat sobre l'esllavissada o en la seva trajectòria en cas de que aquesta succeeixi.

4.1.3.2 Probabilitat de que l'esllavissada arribi a l'element en situació de risc ($P_{T:L}$)

La probabilitat de que l'esllavissada arribi a l'element en situació de risc, depèn de la situació relativa de l'element en situació de risc i l'origen de l'esllavissada, així com la trajectòria més probable que segueixi l'esllavissada. És una probabilitat condicionada entre 0 i 1.

- a) Per edificis i infraestructures situats immediatament a l'origen de l'esllavissada $P_{T:L} = 1$.
- b) Per edificis o persones situades sota l'origen de l'esllavissada i dintre de la trajectòria, $P_{T:L}$ es calcula tenint en compte la distància recorreguda per l'esllavissada, l'origen de la mateixa i els elements en situació de risc.
- c) Per vehicles o persones viatjant en vehicles o caminant a través de la possible trajectòria, $P_{T:L}$ es calcula tenint en compte la distància recorreguda per l'esllavissada i la trajectòria recorreguda pel vehicle. Per tenir en compte la possibilitat de que el vehicle o persona estigui en la trajectòria al mateix temps que succeeix l'esllavissada, s'ha de considerar la probabilitat espacial temporal ($P_{S:T}$).

Hungr et al. (2005) proposa diferents mètodes per estimar la distància recorreguda per una esllavissada.

4.1.3.3 Probabilitat espacial temporal ($P_{S:T}$)

La probabilitat espacial temporal és la probabilitat que l'element en situació de risc estigui en la zona afectada pel perill en el moment de l'ocurrència de l'esdeveniment. És una probabilitat condicional entre 0 i 1.

- a) Per edificis situats en la trajectòria de l'esllavissada, la probabilitat espacial temporal és 1.
- b) Per un vehicle determinat que travessi la trajectòria d'una esllavissada determinada, és la proporció del temps en un any que ocupa la trajectòria.
- c) Per tots els vehicles que travessin la trajectòria d'una esllavissada, representa la part del temps al llarg d'un any que la trajectòria està ocupada per vehicles. En cas de que hi hagi un nombre d'esllavissades potencials al llarg d'un any, els càlculs són lleugerament més complicats (Roberds, 2005).
- d) Per persones en un edifici, és la proporció del temps al cap d'un any que les persones ocupen l'edifici. A priori és diferent per a cada persona.

Tot i que les bases del càlcul de la probabilitat espacial temporal són les mencionades anteriorment, el fet de considerar que un cotxe estigui ocupat per més d'una persona o la possibilitat de que les persones en situació de risc puguin ser alertades amb temps suficient per evacuar l'àrea afectada, pot comportar lleugeres modificacions de les probabilitats. Roberds (2005) proposa diversos mètodes per calcular les probabilitats en aquests casos concrets.

4.1.3.4 Vulnerabilitat ($V_{prop:T}$ i $V_{D:T}$)

La vulnerabilitat és el grau de pèrdua o danys a un element o un conjunt d'elements a l'àrea d'afectació. És una probabilitat condicional, donat que es dona l'esllavissada i que l'element en risc es troba en la seva trajectòria.

En el cas de béns immobles, $V_{prop:T}$ s'expressa en una escala de 0 (cap dany) a 1 (pèrdua o danys totals).

Els factors que tenen una major influència tractant-se de béns immobles són els següents:

- a) Volum de l'esllavissada en relació a l'element en situació de risc.
- b) La posició de l'element en relació a la trajectòria de l'esllavissada.
- c) La magnitud dels desplaçaments relatius i absoluts de l'esllavissada (en el cas d'elements situats dintre l'esllavissada).
- d) La velocitat de l'esllavissada.

En el cas d'afectació a les persones, la probabilitat $V_{D:T}$ és un valor entre 0 i 1 i representa la probabilitat de que la persona perdi la vida o pateixi lesions, donat que es troba en la trajectòria de l'esllavissada en el moment que aquesta té lloc.

Els factors amb un major efecte sobre la vulnerabilitat de les persones són:

- a) La velocitat de l'esllavissada. Les persones són més vulnerables davant d'esllavissades amb velocitats altes que amb velocitats baixes, independentment del volum.
- b) El volum de l'esllavissada. Les persones són més propenses a ser sepultades per grans esllavissades.
- c) Si es troben protegides dins d'un vehicle o edifici i en funció del grau de protecció que ofereixi davant l'impacte de l'esllavissada.
- d) En cas de que es trobin dintre d'un edifici, el fet de que aquest col·lapsi o no, i la forma del col·lapse.

Les persones que queden sepultades per una esllavissada tenen una elevada vulnerabilitat i és més probable que morin asfixiades que no pas pel propi impacte.

4.1.4 Càlcul del risc

El càlcul del risc es pot representar de 3 formes diferents:

1. El risc anual (esperança del risc) expressat en unitats monetàries de danys per any o nombre de morts potencials per any.
2. Parells de freqüència-conseqüència. Per exemple probabilitats anuals de danys materials per diferents valors o probabilitat de pèrdua de 1, 5, 100 vides, etc.
3. Gràfics freqüència acumulada – conseqüència. Per exemple un gràfic amb la probabilitat anual de pèrdua de N o més vides (Figura 4-2).

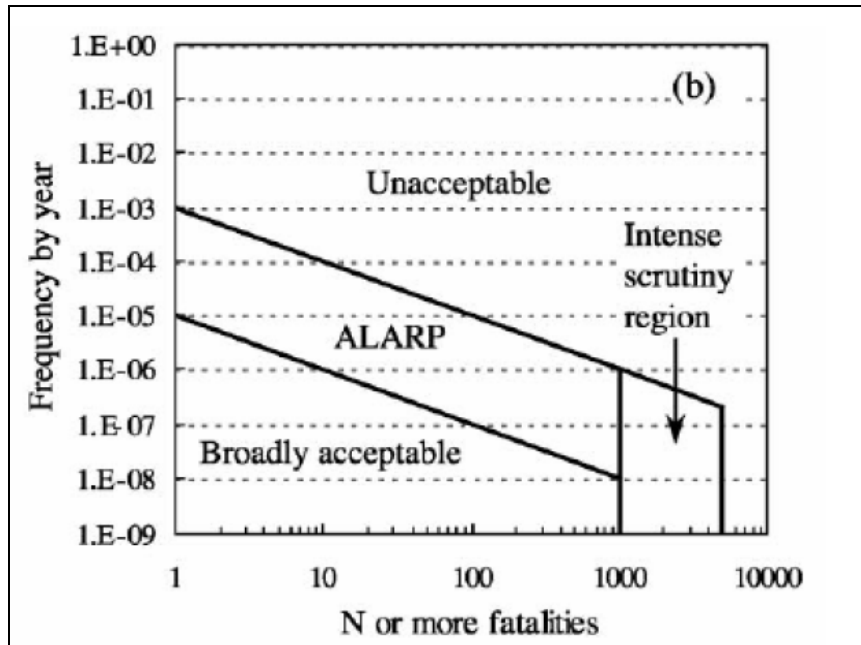


Figura 4-2. Gràfic F-N. Freqüència acumulada - nombre de morts amb 3 regions delimitades: inacceptable, tolerable (ALARP), acceptable.

Sovint és convenient calcular el risc de les 3 formes diferents.

En síntesi, el càlcul del risc per a béns immobles, es pot calcular fàcilment a partir de l'expressió 4.1.

$$R_{(prop)} = P_{(L)} \cdot P_{(T:L)} \cdot P_{(S:T)} \cdot V_{(prop:S)} \cdot E \quad (4.1)$$

amb

- $R_{(prop)}$ és el risc anual de danys a béns immobles (€/any).
- $P_{(L)}$ és la freqüència de l'esllavissada d'una certa magnitud i característiques.
- $P_{(T:L)}$ és la probabilitat de que l'esllavissada arribi a l'element en situació de risc.
- $P_{(S:T)}$ és la probabilitat espacial temporal de l'element en situació de risc.
- $V_{(prop:S)}$ és la vulnerabilitat de l'element en situació de risc.
- E és valor actual net de l'element en situació de risc.

Aquesta expressió s'ha de calcular per cada tipus d'esllavissada i per cada magnitud.

El càlcul de la probabilitat de pèrdua de vida d'una persona en concret, es pot calcular com mostra l'expressió 4.2.

$$P_{(LOL)} = P_{(L)} \cdot P_{(T:L)} \cdot P_{(S:T)} \cdot V_{(D:T)} \quad (4.2)$$

on

- $P_{(LOL)}$ és la probabilitat de que una certa persona perdi la vida.
- $V_{(D:T)}$ és la vulnerabilitat d'una persona degut a l'esdeveniment considerat.
- $P_{(L)}$, $P_{(T:L)}$, $P_{(S:T)}$ segueixen les mateixes definicions descrites anteriorment.

Aquesta expressió també ha de ser calculada per cada tipus d'esllavissada i per cada magnitud.

Per estimar el risc anual de pèrdua de vida, cal afegir a l'equació (4.2), el terme E, que representa el valor de l'esperança del nombre de persones exposades al risc, obtenint l'equació (4.3).

$$P_{(LOL)} = P_{(L)} \cdot P_{(T:L)} \cdot P_{(S:T)} \cdot V_{(D:T)} \cdot E \quad (4.3)$$

Com s'ha mencionat, en alguns casos convé considerar diversos escenaris, cadascun amb el seu risc associat. Aquests casos poden ser deguts a:

- a) Que l'element en situació de risc estigui exposat simultàniament a diferents tipus d'esllavissades, tals com despreniments rocosos, corrents d'arrossegalls o lliscades translacionals.
- b) Que l'element en situació de risc estigui exposat a esdeveniments de diferent magnitud. Per exemple a corrents d'arrossegalls de 50 m³, 500 m³ i 1.000 m³ cadascun amb la seva probabilitat d'ocurrència, vulnerabilitat, etc.
- c) Que l'element en situació de risc està exposat a un nombre de talussos, en els quals es poden produir despreniments potencials, com en el cas d'un vehicle conduït per una carretera.

En aquests casos, les equacions (4.1) i (4.2) es reescriurien com:

$$R_{(prop)} = \sum_1^n (P_{(L)} \cdot P_{(T:L)} \cdot P_{(S:T)} \cdot V_{(prop:S)} \cdot E) \quad (4.4)$$

$$P_{(LOL)} = \sum_1^n (P_{(L)} \cdot P_{(T:L)} \cdot P_{(S:T)} \cdot V_{(D:T)}) \quad (4.5)$$

Això assumeix que els esdeveniments i les causes dels esdeveniments són independents entre si, fet que no sempre es cert. En cas de que no fos així, s'haurien de considerar lleugeres modificacions, tal i com proposa Fell (2005).

Finalment, cal destacar que les dades d'origen per estimar el risc no són precises i sovint involucren grans incerteses inherents als propis fenòmens, falta de coneixement sobre els mecanismes d'activació i/o propagació dels esdeveniments o manca d'informació sobre totes les variables involucrades i les seves relacions. Per aquest motiu, sovint no és pràctic crear un model formal que reculli les incerteses, per mitjà de l'assignació de distribucions de probabilitat a cada variable i aplicar una anàlisi de Monte Carlo.

4.2 Avaluació del risc

4.2.1 Procés d'avaluació del risc

L'avaluació del risc consisteix en prendre els resultats obtinguts en el procés de l'anàlisi del risc i comparar-los amb els criteris de tolerància establerts, per tal de determinar si els riscos són suficientment baixos.

L'avaluació del risc pot involucrar la consideració de:

a) Pèrdues econòmiques o danys materials

- Cost del risc.
- Possibilitats econòmiques.
- Impacte sobre la reputació dels organismes competents.
- Assegurances disponibles.
- Per carreteres i xarxes ferroviàries; accidents per milions de tones transportades.
- Costos indirectes com pèrdua d'accessibilitat degut a una carretera tallada.
- Anàlisi cost – benefici en el cas de prendre mesures correctores.

b) Pèrdua de vides humanes

- Risc individual de pèrdua de vida.
- Risc social. Per exemple freqüència – nombre de morts.
- En el cas de prendre mesures pal·liatives, el cost per cada vida humana salvada.

4.2.2 Criteris d'acceptació de risc

En primer lloc, cal entendre la diferència entre risc acceptable i risc tolerable:

Un risc és acceptable quan qualsevol persona impactada està preparada per acceptar-lo. Sovint, no és necessari prendre noves mesures per reduir tal risc, excepte que fer-ho suposi un cost relativament baix en termes econòmics, de temps i esforços.

Un risc és tolerable si està dintre d'uns límits assumibles socialment per tal d'obtenir beneficis nets. És un rang de valors del risc concebut com a no negligible, però que necessita ser controlat i reduït en la mesura que sigui possible. Aquesta zona és la que pertany a la zona descrita com a ALARP (*as low as reasonably practicable*) en la Figura 4-2.

Els factors que afecten l'actitud individual en front a l'acceptació o la tolerància d'un risc inclouen:

- Recursos disponibles per reduir el risc.
- Edat i caràcter de la persona.
- Exposició prèvia a riscos, especialment aquells associats amb esllavissades.
- Disponibilitat d'assegurança.
- La percepció de si la anàlisi del risc és fiable.
- La disponibilitat d'alternatives per evitar el risc.

Hi ha alguns principis generals que poden ser considerats a l'hora de considerar els criteris per establir els llindars del risc tolerable de pèrdua de vides humanes (IUGS 1997). Aquests principis són comuns a altres tipus de perills potencials com per exemple indústries perilloses o preses.

- El risc incremental degut a un cert perill no hauria de ser significant comparat amb altres riscos als que es pugui estar exposat diàriament.
- El risc incremental degut a un perill hauria de ser reduït al màxim en la mesura que sigui possible (mitjans econòmics i esforços).
- Els perills que amenacin a un nombre elevat de vides humanes, haurien de tenir una baixa probabilitat d'ocurrència. Això és degut al baix nivell d'acceptació que comporten els incidents que causen la pèrdua de moltes vides humanes de forma simultània.
- Com a societat, es tendeix a tolerar riscos més elevats dels que es podrien considerar com a acceptables, en el moment en que hi ha una incapacitat (econòmica, tècnica, etc.) de controlar el risc.
- Per vessants i talussos existents, el risc tolerable és més alt que pels projectats.

Al mateix temps es poden considerar els principis propis de vessants i esllavissades:

- Els riscos tolerables per esllavissades en vessants naturals són més alts que els tolerables per talussos artificials.
- Una vegada una vessant natural ha estat posada en observació o s'han pres mesures per mitigar el risc, el risc tolerable passa a ser el d'un talús artificial.
- Els llindars que defineixen si un risc és tolerable poden canviar de país a país o dintre del mateix país, en funció del grau d'exposició al perill d'esllavissada al llarg dels anys.

Tot i que no hi ha criteris universals per establir els llindars dels criteris tolerables per a esllavissades, la AGS (2000) suggereix uns valors basant-se en els criteris adoptats per grans preses i indústries potencialment perilloses, tal i com es mostra en la Taula 4-1.

Taula 4-1. AGS(2000). Criteri suggerit per als valors tolerables del risc en talussos.

Situació	Risc de pèrdua de vides humanes
Talussos existents	10^{-5} /any persones en situació de risc (mitjana)
	10^{-4} /any persones en situació de risc (màxim)
Talussos projectats	10^{-6} /any persones en situació de risc (mitjana)
	10^{-5} /any persones en situació de risc (màxim)

4.3 Gestió del risc

La gestió del risc és l'últim dels apartats del procés i es basa en l'anàlisi dels resultats en el procés d'avaluació del risc que poden ser:

- a) El risc és acceptable o fins i tot tolerable, i per tant no cal considerar cap tipus de mesures mitigadores.
- b) El risc és intolerable i per tant cal considerar opcions per mitigar el risc.

Aquesta part del procés, constitueix un procés iteratiu, ja que requereix considerar les diferents opcions possibles per mitigar el risc i els resultats obtinguts en la reducció del risc un cop implementades les mesures pertinents. Tot plegat ha d'anar acompanyat d'un sistema de vigilància acurat. Exemples de possibles mesures per reduir el risc inclouen:

- Reduir la freqüència dels esdeveniments, per mitjà de mesures estabilitzadores com drenatge de l'aigua subterrània, ancoratges, retalussat, etc.
- Reduir la probabilitat de que l'esllavissada arribi a l'element en situació de risc. Per exemple, construcció de cunetes per retenir desprendiments o preses de retenció de corrents d'arrossegalls.
- Reduir la probabilitat espacial temporal de l'element en situació de risc, instal·lant sistemes de vigilància i avís per tal de facilitar evacuacions.

Altres opcions podrien incloure:

- Evitar el risc, per exemple evitant el projecte inicial i buscant alternatives.
- Transferir el risc a una altra autoritat que estigui capacitada per acceptar-lo o compensar pel risc com en el cas d'una assegurança.

Finalment, independentment de la reducció del risc per mitjà de mesures enginyerils, cal considerar altres opcions com la conscienciació de l'opinió pública de la impossibilitat d'assolir el risc zero i la necessitat de dipositar la confiança i la credibilitat en les administracions pertinents.

5 Anàlisi del risc a la Carretera de la Costa de Guipúscoa

5.1 Introducció

El tram de la Carretera de la Costa estudiada, comprèn el tram entre el P.K. 19+400 i el P.K. 27+200 de la N-634 entre les localitats de Zarautz-Getaria-Zumaia, a la província de Guipúscoa (Figures 5-1 i 5-2). El recorregut es fa seguint el perfil sinuós de la costa, fet que justifica la presència de diversos revolts molt tancats.

El tram en qüestió compta amb un volum de trànsit considerable, que augmenta significativament durant els mesos d'estiu. Concretament, pel tram Zarautz-Getaria hi circulen diàriament més de 8.000 vehicles, pels prop més de 6.000 que ho fan pel tram Getaria-Zumaia.

Degut a l'elevat nombre d'esllavissades que s'han succeït des de la seva construcció, el tram ha estat objecte de nombrosos estudis i actuacions de contenció dels talussos, així com reparacions del ferm en diverses ocasions.



Figura 5-1. Ubicació geogràfica del tram d'estudi.

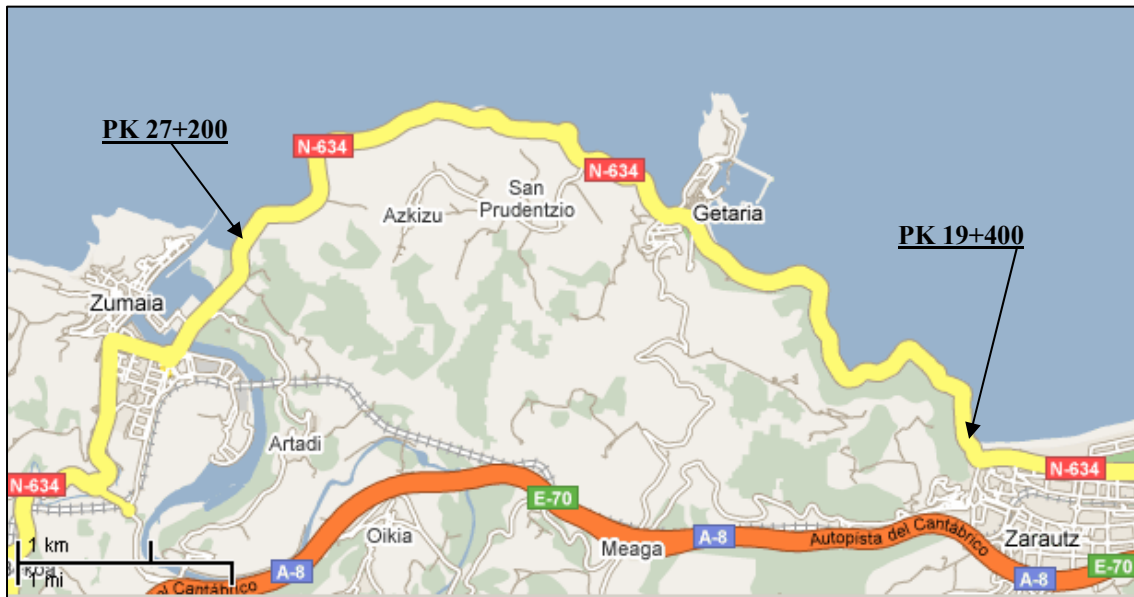


Figura 5-2. Detall de la ubicació del tram d'estudi entre Zarautz i Zumaia.

5.2 Context geològic

La regió estudiada pertany, des del punt de vista geològic, a la Serralada Costera Guipuscoana. Es tracta d'una franja de materials terciaris molt ben estratificats, amb predomini de gresos, calcàries i argil·lites, estructura coneguda amb el nom de *flysch*.

Aquesta estructura, es presenta de dues formes diferents en funció de les proporcions de les diferents capes i dels gruixos de les mateixes:

- Gresos i calcàries arenoses, dipositades en estrats de gruix decimètric a mètric amb intercalacions centimètriques a decimètriques d'argil·lites i calcàries argiloses (Figura 5-3).
- Alternança de calcàries argiloses i argil·lites, amb intercalacions de gresos i calcàries arenoses, dipositades en estrats de gruix centimètric a decimètric (Figura 5-4).

Els estrats cabussen entre 15 i 60 graus cap a l'est, i juntament amb les diferents orientacions de la carretera, donen lloc a diferents tipus de fenòmens d'inestabilitat mostrats a continuació:

a) Estructura del massís rocós neutra o indiferent:

En aquest cas, els plans d'estratificació, que formen la principal discontinuïtat i de major persistència en el massís rocós, cabussen ortogonalment o cap a l'interior del talús (Figura 5-5 B). Coincideix amb les orientacions de carretera est-oest. Les inestabilitats provoquen fonamentalment el desprendiment de roques degut a diverses causes:

- Descalçament dels estrats per efecte de l'erosió diferencial donant lloc a caigudes per bolcada (Figura 5-6).
- Intersecció de juntes definint falques inestables.
- Col·lapse de columnes de roca per la formació de fissures a tracció paral·leles al talús i falta de sustentació (Figura 5-7).



Figura 5-3. Exemple de gresos i calcàries arenoses en estrats de gruix decimètric a mètric. Font: Jordi Corominas.



Figura 5-4. Exemple d'alternança de calcàries argiloses i argilites en estrats de gruix decimètric i centimètric. Font: Jordi Corominas.

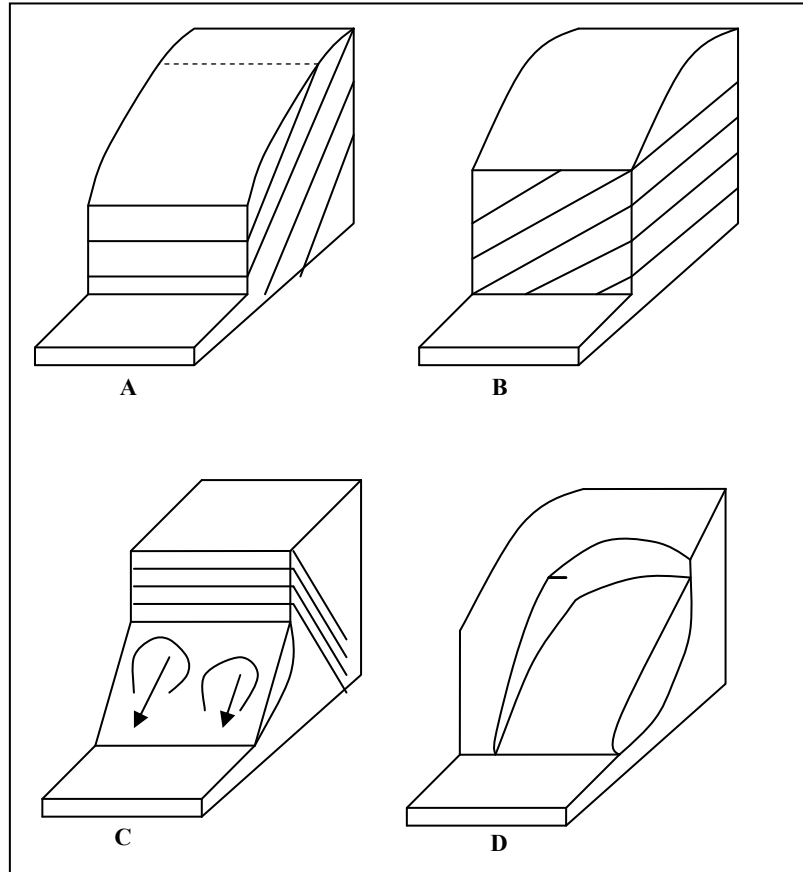


Figura 5-5. Tipus de fenòmens d'inestabilitat en la zona d'estudi.
Font: Jordi Corominas.

En el darrer cas, el volum de les trencades està condicionat principalment per les dimensions dels blocs definides per l'espaiat de juntes i estratificació. En aquest sentit els blocs més grans corresponen als gresos i calcàries d'edat eocena que afloren entre el P.K. 21+700 a P.K. 21+900 i entre els P.K. 23+700 a P.K. 24+500. En aquests punts s'obtenen dimensions de blocs superiors als 10 m^3 (Figura 5-8). En la resta dels trams, les dimensions màximes dels blocs de calcàries i gresos es troben al voltant dels 2 m^3 .

No obstant, el perill més gran en aquests casos prové de la caiguda de columnes de roques que se separen de la resta del massís per l'obertura de juntes verticals de tracció. En aquests casos, els volums poden superar les desenes i fins i tot arribar a uns quants de cents de metres cúbics, tal i com es pot apreciar en la Figura 5-7.

b) Estructura del massís rocós favorable:

En aquest cas, els estrats cabussen cap a l'interior del talús (Figura 5-5. C) o en menor mesura, ortogonalment al talús però amb gran abundància d'estrats argilosos. Coincideix amb els talussos orientats cap al oest i en menor mesura cap al nord-oest. En aquests casos, es donen descalçaments freqüents dels nivells de calcàries i gresos per l'erosió de les capes d'argil·lites interestratificades. L'acumulació dels blocs erosionats a la base del vessant dona lloc a la formació de dipòsits col·luvials molt ben gradats. Aquestes formacions són altament susceptibles de produir corrents d'arrossegalls, especialment en els talussos amb pendents superiors als 30° , tal i com

succeeix entre els P.K. 20+200 a P.K. 20+500 (Figura 5-9) o a l'entorn del P.K. 27+100 (Figura 5-10).



Figura 5-6. Blocs de gresos a punt de desprendre's al haver perdut el suport de les capes inferiors per causa de l'erosió diferencial. Font: Diputació Foral de Guipúscoa.

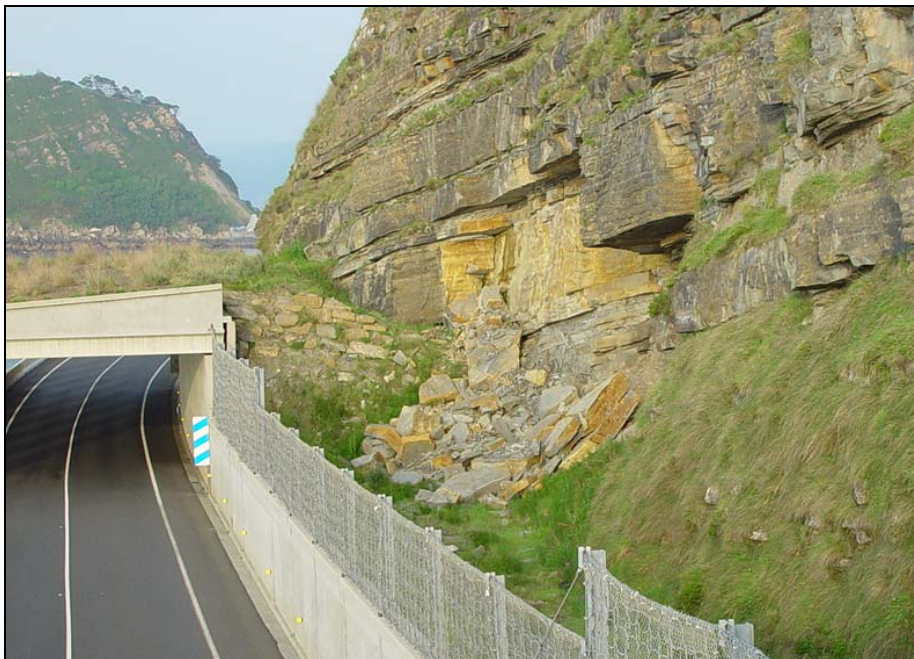


Figura 5-7. Despreniment superior als 200 m³ provocat per la formació de fissures de tracció verticals paral·leles al talús i manca de sustentació al P.K. 24+200. Noteu que el volum després correspon a la part que s'observa de color ocre, que originalment quedava en voladís respecte els estrats inferiors de color més fosc. Font: Jordi Corominas.



Figura 5-8. Despreniment del 5 de desembre de 2008 al P.K. 21+750 on s'aprecien blocs superiors als 10 m³ i material de granulometria inferior envaint els dos carrils. Font: El Diario Vasco.



Figura 5-9. Cicatriu produïda per un corrent d'arrossegalls a l'entorn del P.K. 20+250. Font: Diputació Foral de Guipúscoa.

c) Estructura del massís rocós desfavorable:

Aquesta situació es dona en els casos en que els estrats cabussen cap a l'exterior del talús (Figura 5-5. A i 5-5. D), amb la possible presència de capes potents d'argiles. En aquest cas es produeix una inestabilitat generalitzada del vessant que acostuma a coincidir amb els talussos orientats cap al est o en menor mesura, cap al nord quan el cabussament local dels estrats adopta aquesta direcció. Aquesta situació és la que es dona per exemple a la sortida de Getària (P.K. 23+125), a l'entorn del P.K. 21+500 (Figura 5-11) o entre els P.K. 23+900 i P.K. 24+015 on, l'any 1998, una gran lliscament que va mobilitzar uns 30.000 m³, es va emportar un tram de 200 m de carretera (Figura 5.12).

Amb tot el mencionat prèviament, el tram de carretera estudiat es veu afectat principalment per tres mecanismes d'inestabilitat: Despreniments rocosos (Figura 5-7 i

5-8), corrents d'arrossegalls (Figures 5-9 i 5-10) i grans lliscaments (Figura 5-12). Tot i que en general, a cada secció li correspon un únic mecanisme d'inestabilitat, és possible trobar zones on es puguin donar simultàniament desprendiments provinents de la part superior del talús i corrents d'arrossegalls deguts a l'acumulació de material col·luvial en la part inferior (Figura 5-13). En el nostre cas d'estudi ens centrarem en estudiar de forma més detallada els desprendiments i els corrents d'arrossegalls. (Veure capítol 8 per veure la descripció i un esquema dels diferents tipus i mecanismes de trencada).



**Figura 5-10. Corrent d'arrossegalls produït el 30 de gener de 2008 a l'altura del P.K 27+100 amb afectació d'un carril.
Font: Diputació Foral de Guipúscoa.**



Figura 5-11 Estrats cabussant en la direcció del talús a l'altura del P.K. 21+500. Font: Jordi Corominas.



Figura 5-12. Lliscament d'uns 30.000 m³ succeït el desembre de 1998 a l'entorn del P.K. 23+900, afectant un tram de carretera de 200 m. Font: Ikerlur.



Figura 5-13. Exemple de zona on es poden donar desprendiments provinents de la part superior i corrents d'arrossegalls de forma simultània. Font: Jordi Corominas.

5.3 Pla de treball seguit

Havent realitzat la síntesi geològica i coneixent el tipus de fenòmens d'inestabilitat que en cal esperar, s'ha dissenyat un pla de treball per arribar a efectuar una anàlisi qualitativa per a diferents seccions en les que s'ha dividit la carretera i de forma quantitativa a nivell global.

Per assolir els objectius proposats, abans ha calgut passar per uns estadis previs que es resumeixen a continuació i que es tracten més en detall al llarg dels propers capítols:

En primer lloc ha calgut extraure les dades del registres d'esllavissades, depurar-les, processar-les, interpretar-les i validar-les. Aquesta tasca ha estat molt laboriosa degut al alt volum d'informació que s'ha hagut de processar.

En segon lloc s'ha realitzat una anàlisi magnitud – freqüència dels esdeveniments succeïts els darrers anys que ha servit de base per efectuar l'anàlisi quantitativa del risc.

En tercer lloc s'ha buscat la possible relació entre l'ocurrència d'esllavissades i la precipitació. Per un costat, es pretén identificar llindars de pluja responsables de l'aparició de trencades -aïllades o múltiples- i determinar els períodes de retorn. Per l'altre costat, anticipar l'ocurrència de desprendiments i corrents d'arrossegalls a partir de l'anàlisi de la pluja recollida i la seva durada. Per efectuar aquesta part de l'estudi s'ha requerit disposar de les dades de pluja dels darrers 15 anys.

A continuació s'ha fet una anàlisi quantitativa del risc a nivell global de tota la carretera que ha permès trobar la probabilitat anual d'accident i de pèrdua de vida en la carretera.

Finalment s'ha efectuat una anàlisi qualitativa del risc per seccions de 50 metres al llarg del tram d'estudi per tal de determinar les seccions més crítiques i poder aplicar les mesures pertinents.

Tot i que pugui semblar contradictori, tal i com es veurà ens els propers capítols, degut a imprecisions en les dades dels registres d'esllavissades obtinguts, l'anàlisi quantitativa del risc és menys “precisa” que l'anàlisi qualitativa per haver pogut fraccionar el tram en seccions de 50 metres. Aquesta observació també la fa Hungr et al. (2008). És per aquest motiu que s'ha cregut oportú culminar l'estudi amb l'anàlisi qualitativa del risc.

5.4 Historial d'esllavissades i validació de les dades

5.4.1 Introducció

Per tal d'efectuar una anàlisi quantitativa del risc, així com també per aplicar molts dels mètodes d'anàlisi qualitativa del risc (RHRS, etc.) és convenient disposar de la freqüència i la magnitud dels esdeveniments en la zona d'estudi. En molts casos, com en zones de muntanya poc poblades i de difícil accés, és complicat disposar d'un inventari exhaustiu, ja que molts dels petits esdeveniments passen desapercebuts sense quedar registrats. No obstant, en ocasions, és possible determinar si en el passat hi ha hagut grans esllavissades, mitjançant l'observació de cicatrius i formacions geològiques

que així ho indiquin. És possible arribar a conèixer el moment en que van tenir lloc aquestes esllavissades mitjançant tècniques de datació absoluta com el C14, dendrogeomorfologia (estudi dels anells i altres característiques del creixement dels arbres), etc.

Pel que fa a zones habitades, carreteres o altres zones d'ús públic, pot ser més habitual disposar d'un registre d'esdeveniments més o menys exhaustiu en el que constin dades com la ubicació espacial i temporal de l'esllavissada, volum mobilitzat, tipus d'esllavissada, element desencadenant, pèrdua de vides humanes, etc., tot i que és habitual que hi manqui informació (Chau, et al., 2003).

En el cas concret d'esllavissades en carreteres i autopistes, diversos autors han analitzat els registres de desprendiments facilitats per l'administració competent de la gestió i el manteniment de la via i tracten les nombroses limitacions d'aquests registres.

Bunce et al. (1997) va observar que un canvi d'empresa encarregada del manteniment i conservació de la via va comportar un augment significatiu i sobtat d'esdeveniments en el registre de desprendiments en un talús d'argil·lita a l'autopista 99 de Canadà. Aquest augment d'esdeveniments registrats es va atribuir a una major vigilància sistemàtica a l'hora d'enregistrar els esdeveniments per part del nou equip de manteniment. Contràriament, una disminució sobtada del nombre d'esdeveniments es va atribuir a les actuacions d'estabilització realitzades en el talús.

Bunce també descobreix que en la majoria de casos, només els blocs superiors als 0,15 metres de diàmetre (els que suposen un major perill per als usuaris de la via) eren enregistrats pel servei de manteniment i que en la majoria de casos no es disposava del volum total esllavissat.

Per tal de poder establir la freqüència dels desprendiments en el talús d'argil·lita, malgrat les limitacions en el registre prèviament mencionades, Bunce proposa, per primera vegada, comptar el nombre de senyals d'impacte en l'asfalt i mesurar-ne el volum en un tram en el que es coneixia la data de la darrera vegada que va ser asfaltat, i així poder establir la relació magnitud – freqüència acumulada. Amb tot això, els autors de l'estudi assumeixen (i) que és factible distingir les empremtes produïdes per blocs despresos, d'altres empremtes d'orígens diversos com arbres caiguts o altres marques antropogèniques com escrostonaments del ferm produïts per maquinària pesada utilitzada en el manteniment de la via. (ii) que cada bloc que envaeix la calçada (i que per tant suposa un perill per als usuaris de la via) deixa una empremta en l'asfalt, sense donar la possibilitat que un bloc impacti en la cuneta i llisqui sobre l'asfalt sense deixar cap mena de senyal visible. (iii) que és fàcil distingir i filtrar les empremtes deixades pels blocs després d'impactar per primera vegada i fragmentar-se en blocs més petits. (iv) que el volum de les empremtes es pot aproximar per una piràmide, de manera que només cal mesurar-ne la profunditat i dues mesures en planta. (v) que la mida de les empremtes no varia al llarg del temps a causa de l'erosió o escrostonaments. (vi) que finalment, el volum del bloc és aproximadament deu vegades superior al de l'empremta que deixa.

Paral·lelament, Hungr et al. (1999) fa referència a que els registres d'esllavissades analitzats en diverses vies i línies ferroviàries de l'oest del Canadà són incomplets degut a tres motius. En primer lloc, alguns esdeveniments, tot i afectar la via, no són

enregistrats en la base de dades per manca de diligència de l'administració competent o el seu registre pot ser incomplet. En segon lloc, l'interval de temps del registre sovint no es prou ampli com per recollir i representar adequadament els esdeveniments poc freqüents i de gran magnitud. Finalment, una censura sistemàtica pot ser deguda a la pròpia naturalesa del fenomen. Per exemple, molts dels esdeveniments de petita magnitud que queden interceptats pels elements de protecció com murets o pantalles dinàmiques disposats a tal efecte passen inadvertits pels serveis de manteniment i per tant no queden enregistrats. Per aquest motiu és interessant observar amb deteniment els registres i sotmetre'ls a un procés de validació per tal de conèixer la bondat del registre i determinar si ha estat sotmès a un procés continu de censura.

5.4.2 Els registres obtinguts

En el nostre cas, s'ha disposat dels registres facilitats per la Diputació Foral de Guipúscoa corresponents al període 1994-2008. Una part d'aquests registres han estat facilitats en format paper, mentre que la part corresponent a les incidències pertanyents a l'any 2006 i posteriors han estat facilitades en format digital.

5.4.2.1 Registres de 1994 a 2005

La part dels registres en format paper inclou més de 2.450 avisos als serveis d'emergència d'incidències diverses en la xarxa viària de la província de Guipúscoa entre el març de 1994 i desembre de 2005. Entre tots aquests avisos, a part d'esllavissades, hi ha comptabilitzades incidències tan diverses com accidents de trànsit atribuïbles a causes alienes a esllavissades, arbres caiguts a la calçada degut al fort vent o comunicacions internes entre el servei d'emergències i el servei de manteniment de la xarxa viària, entre d'altres. Tots aquests avisos consten de la data i hora d'emissió en que es va efectuar l'avís, així com d'un missatge amb informació sobre el tipus d'incidència i una localització de la mateixa de forma més o menys precisa.

Una part laboriosa del procés ha consistit, en una primera fase, en filtrar manualment totes aquelles incidències corresponents a esllavissades succeïdes en la carretera de la costa, de la resta d'esllavissades o incidències irrellevants per al nostre estudi.

En una segona fase, s'ha hagut de filtrar els avisos que feien referència a una mateixa esllavissada. Això és degut a que en moltes ocasions, hi havia el registre de l'avís o avisos de particulars al telèfon d'emergència, el registre de l'avís de la policia local conforme es dirigia al lloc de l'esllavissada, la notificació del servei de manteniment conforme havia retirat el material esllavissat, l'avís conforme es restablí la circulació, etc. Tot i així, en alguns casos, aquesta tasca no ha estat trivial, ja que en algunes ocasions, les imprecisions en quant a la localització i a la descripció de l'esdeveniment, especialment en els avisos dels propis usuaris de la via, no permetien assegurar amb certesa que diversos avisos corresponguessin al mateix esdeveniment. En aquests casos, ha estat necessari aplicar el criteri subjectiu.

En darrer lloc, pel que fa als registres del període 1994-2005, s'ha creat una base de dades exclusiva d'esllavissades on es fa constar la data, la localització i els comentaris rellevants que s'hagin pogut extreure dels avisos facilitats per la diputació, parant especial atenció a aquells comentaris que permetin estimar la magnitud i l'abast de

l'esdeveniment. En quant a la localització de l'esllavissada, cal distingir entre els esdeveniments que venien donats amb una precisió de 100 m, altres que venien donats amb una precisió de 1 km, i altres que disposaven d'una localització indefinida en un tram com "despreniment en el tram Getaria-Zarautz" o en relació a elements de referència com "a prop del segon túnel", "a prop de la platja d'Orrua", "a prop l'encreuament de San Prudencio", etc. En quant als comentaris de les incidències, val a dir que en casos molt comptats s'ha pogut extreure una informació precisa sobre el volum i el grau d'afectació de l'esdeveniment, ja que en la majoria dels casos els comentaris són del tipus "retirar pedra gran", "pedres arriben a la calçada", "despreniment que ocupa part de la calçada", etc.

5.4.2.2 Registres de 2006 a 2008

Els registres d'esllavissades del període de gener de 2006 a novembre de 2008, amb l'excepció del mes de maig de 2008 que no consta en el registre, han estat obtinguts en format digital en un full de càlcul. A priori, la presentació de les incidències relacionades amb les esllavissades succeïdes al tram de carretera estudiat de forma separada de la resta d'esllavissades en altres carreteres o altres incidències de trànsit irrellevants per al nostre cas d'estudi, fa pensar en un major interès per part de l'administració a l'hora de mantenir un registre més acurat de les esllavissades. Juntament amb el registre s'aporten una quarantena de fotografies d'alguns dels esdeveniments. Aquestes fotografies s'utilitzaran amb posterioritat per validar el registre i extreure informació addicional d'aquestes esllavissades.

Cadascun dels esdeveniments compta amb la data en que es va produir i la localització amb resolució de 50 o 100 m segons el cas. Els comentaris que acompanyen cada esdeveniment, però, no permeten extreure gaire informació referent al volum i tipus d'esdeveniment, ja que en la majoria de casos es parla de "retirar pedres" o "retirar despreniment". Només en quatre casos dels aproximadament 340 comptabilitzats en aquest període, s'aporta alguna xifra relacionada amb el volum retirat.

També s'observen un cert nombre reduït de casos atribuïts al mateix dia i a un mateix P.K., que pot ser que en realitat corresponguin a dues operacions de manteniment diferents relacionades amb un sol esdeveniment. Davant del dubte i la manca d'evidències que demostrin aquesta hipòtesi, se seguiran prenent com a dos esdeveniments independents i no com a un de sol.

Així dons amb tot el mencionat prèviament, s'actualitza la base de dades, amb les noves esllavissades del període 2006-2008.

5.4.3 Validació de les dades

Tal i com s'ha explicat prèviament, és important conèixer la bondat dels registres per tal de saber si són suficientment acurats i si cal esperar que alguns dels esdeveniments (normalment els més petits i que no arriben a la calçada) no hagin quedat enregistrats i en quina mesura. Per aquest motiu, s'ha procedit a validar els registres.

En una primera fase, la revisió de les hemeroteques d'alguns diaris locals i estatals a partir de l'any 2000, han permès aportar informació addicional sobre alguns dels

esdeveniments. Especialment, mitjançant l'observació de les fotografies adjuntes en els articles, s'ha pogut acabar d'estimar la localització, el volum i la tipologia de l'esllavissada d'una forma més precisa. En general, només aquelles esllavissades més importants i que comporten una gran afectació de la carretera (talls d'hores, dies o setmanes i/o reparacions i operacions de manteniment importants) o aquelles que tot i essent petites, provoquen un accident, apareixen recollides en els diaris. Per tant, la consulta dels diaris no permet aportar nova informació sobre petits esdeveniments que hagin passat desapercebuts en el registre original.

En una segona fase, s'ha revisat una quarantena de fotografies que s'adjuntaven amb el registre d'esllavissades de 2006 a 2008. Aquestes fotografies recollien esllavissades de diverses tipologies (despreniments i corrents d'arrossegalls) i de diverses magnituds que havien tingut lloc en el tram d'estudi. De l'anàlisi de les fotografies s'ha observat que la terminologia utilitzada en el registre a l'hora de descriure l'esdeveniment tal com "retirar pedres" o "retirar despreniment" no té cap mena de significat que en permeti deduir la tipologia o el volum esllavissat, ja que sota aquestes descripcions hi ha recollides esllavissades de diferents magnituds, tipologies i graus d'afectació de la via (Figures 5-14, 5-15 i 5-16). D'aquesta forma és complicat saber si un determinat esdeveniment correspon a un despreniment o a un corrent d'arrossegalls, ja que en determinats llocs es poden donar els dos tipus d'esllavissades, com s'ha mencionat prèviament.

Al mateix temps, alguns dels esdeveniments fotografiats en que s'observaven alguns blocs inferiors a $0,001 \text{ m}^3$ retinguts a la cuneta, s'ha constatat que en el registre no apareix cap tipus de comentari que permeti saber a priori, que l'esdeveniment en qüestió no havia arribat a afectar la calçada. Igualment s'ha pogut constatar sis casos en els que els blocs havien quedat retinguts per elements de retenció com pantalles dinàmiques, sense que això tampoc consti en el registre original facilitat per la Diputació. Per tant tampoc es pot concloure que tots els esdeveniments enregistrats en aquest període hagin arribat a afectar la calçada. De totes maneres, en aquests casos en que s'ha pogut extreure informació addicional a partir de les fotografies, s'ha incorporat per completar la base de dades en cas de que s'hagi d'utilitzar posteriorment.



Figura 5-14. Exemple de fotografia d'un despreniment rocós que inicialment havia quedat enregistrat amb el comentari de "retirar pedres".



Figura 5-15. Exemple de fotografia d'un corrent d'arrosseballs que inicialment havia quedat enregistrat amb el comentari de "retirar pedres".

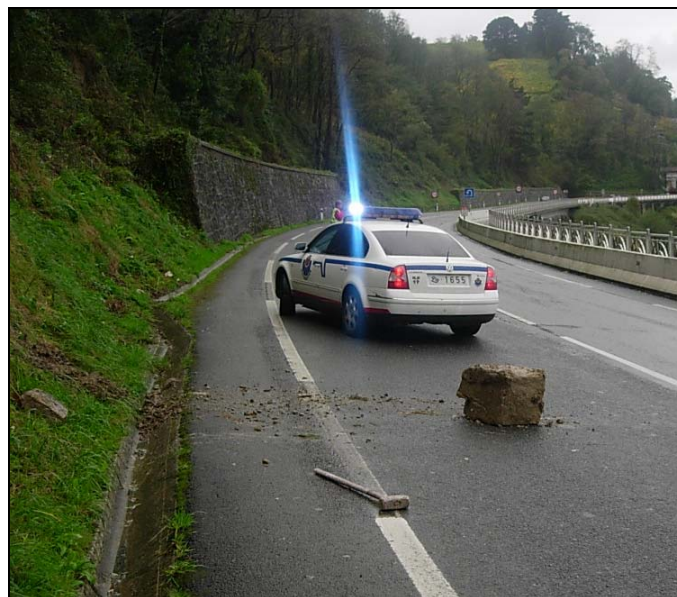


Figura 5-16. Exemple de fotografia d'un despreniment rocós amb afectació d'un carril, que inicialment havia quedat enregistrat amb el comentari de "retirar pedres".

Un darrer fet que s'ha pogut constatar de l'anàlisi detinguda de les prop de quaranta fotografies és que alguns dels esdeveniments fotografiats no apareixien en el registre o apareixien amb una localització errònia per uns quants centenars de metres o en algun cas per més d'un kilòmetre. A tall d'exemple, una petita esllavissada que hi va haver el 03/04/2007 (Figura 5-17) i que en el registre constava que havia succeït en el P.K.

25+700, al analitzar la fotografia de l'esllavissada, es va trobar que en realitat es corresponia amb el P.K. 26+000 segons la Figura 5-18 adjunta en les fitxes de cada secció.



Figura 5-17. Foto que mostra l'esllavissada, originalment localitzada al P.K. 25+700.



Figura 5-18. Fotografia del P.K. 26+000 on s'hi ha atribuït l'esllavissada durant el procés de validació.

Les incongruències entre el P.K. de les fotografies i la base de dades poden ser degudes a una falta de diligència a l'hora d'etiquetar les fotografies amb el P.K. corresponent, de transcripció de l'esdeveniment al registre per part de l'administració competent o a errors de localització per part de l'equip de manteniment. Aquesta darrera consideració

és important tenir-la en compte, ja que tal i com s'ha comprovat, alguns dels esdeveniments dels que disposen amb una localització amb precisió de 50 o 100 m, pot ser que estiguin erròniament localitzats. Aquest fet encara dificulta més el fet de poder conèixer la tipologia dels esdeveniments en funció de la seva localització, ja que aquesta pot ser errònia. En qualsevol cas, s'han considerat les fotografies com a correctes i s'han afegit o corregit els esdeveniments pertinents a la base de dades.

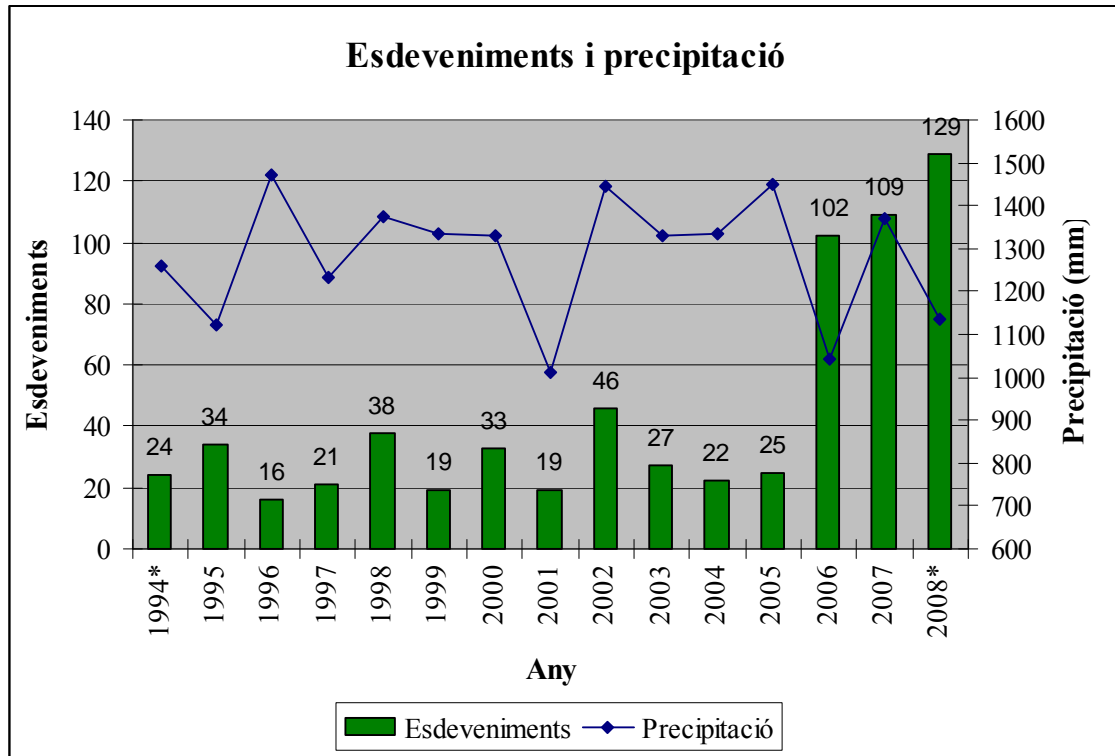
En una tercera fase, s'han afegit al registre dos nous esdeveniments mencionats en uns informes geotècnics de la carretera i que no constaven inicialment en el registre. Precisament, un d'aquests esdeveniments, és un gran lliscament que va mobilitzar uns 30.000 m³, afectant un tram de carretera de 200 m, i que fins aquest punt del procés de validació, no s'havia considerat. Aquests mateixos informes, han permès també, corroborar o ampliar la informació referent a alguns dels despreniments de la base de dades definitiva.

Amb totes aquestes consideracions, es posa clarament de manifest les nombroses limitacions associades a les imprecisions dels registres d'esllavissades dels que se sol disposar, tal i com mencionen Bunce et al. (1997), Hungr et al.(1999) i Guzzetti et al. (2003).

Al finalitzar les tres fases prèviament mencionades, es disposa d'un total de 664 esdeveniments comptabilitzats en el tram d'estudi, dels quals 452 disposen d'una localització amb resolució de 50 o 100 m. Els 212 restants tenen una localització indefinida al llarg d'un kilòmetre o en un tram més llarg. En total, es disposa de la magnitud (volum mobilitzat) de 57 dels 664 esdeveniments enregistrats. L'interval d'estudi entre març de 1994 i novembre de 2008 (a excepció del mes de maig de 2008) suposa un període de registre de 14,7 anys amb 45,17 esdeveniments/any de promig.

Finalment, s'ha elaborat el Gràfic 5-1, que ens permet observar un increment dramàtic del nombre d'esdeveniments enregistrats a partir de 2006, que s'accentua especialment l'any 2008, on a falta de comptabilitzar els esdeveniments de 2 mesos (maig i desembre), s'arriba a les 129 esllavissades registrades. Aquest augment significatiu en el nombre de registres a partir de 2006, no va acompanyat d'un augment considerable de la precipitació respecte d'anys anteriors ni es té constància de la presència d'activitat sísmica o altres elements desencadenants que permetin justificar tal augment. A més a més, la implantació progressiva en els darrers anys de mesures d'estabilització i retenció hauria de suposar una reducció en el nombre d'esdeveniments registrats. Tots aquests arguments corroboren la hipòtesi, tal i com ja s'ha apuntat anteriorment, que a partir de 2006 hi ha un major interès per part de l'administració a l'hora d'enregistrar els esdeveniments, però no un major interès per millorar la qualitat del registre. Aquesta lectura interpretada de forma diferent, comporta que fins l'any 2006, només aquells esdeveniments més importants o que suposaven una major afectació de la via quedaven enregistrats, mentre que les petites esllavissades o aquelles que no afectaven directament la via, passaven inadvertides.

Tots els registres originals mencionats en aquest capítol, fotografies i articles de diari, així com la base de dades obtinguda després del procés de validació, s'adjunten en format digital en l'Annex VII.



Gràfic 5-1. Nombre d'esdeveniments i precipitació anual.
 1994* El registre comença al mes de març.
 2008* El registre no inclou les dades del mes de maig i desembre.

5.5 Anàlisi magnitud – freqüència

Les relacions magnitud – freqüència acumulada (relacions MCF), són àmpliament utilitzades en fenòmens naturals (Hungar et al., 1999). Potser l'exemple més conegut és la relació de Gutenberg i Richter per a terratrèmols, en la que s'estableix una relació entre el nombre de terratrèmols N que excedeix una certa magnitud M (equació 5.1).

$$\log N = A + bM \quad (5.1)$$

On la constant A depèn en gran part de l'àrea i l'interval de temps d'estudi, i b és una constant que varia entre -0,6 i -1 i que possiblement està relacionada amb l'origen tectònic dels terratrèmols (Hungar et al., 1999). Com que M és una quantitat logarítmica, l'equació 5.1 es pot representar com una recta en un gràfic doble-logarítmic.

En el cas d'esllavissades, diversos autors han obtingut, en les últimes dècades, relacions similars per als volums mobilitzats i la freqüència acumulada (Gardner, 1970, 1983; Whitehouse i Griffiths, 1983; citats a Hungar et al., 1999) i més recentment (Hungar et al., 1999; Chau et al., 2003; Guzzetti et al., 2003, 2004). En aquest cas, la constant A depèn de la longitud del tram d'estudi (en el cas de carreteres i línies de ferrocarril) o de la superfície analitzada i de la propensió de cada zona a produir esllavissades. Per altra banda, el pendent b caracteritza la distribució de freqüències en la zona d'estudi. Aquest comportament es pot explicar gràcies al caràcter fractal de les esllavissades.

Per obtenir una bona anàlisi magnitud freqüència, és convenient disposar d'una base de dades, el més completa i extensa possible al llarg d'un interval continu de temps i on consti, com a mínim, el volum i la data de cada esdeveniment. Com s'ha esmentat prèviament, això no sempre és possible. En el nostre cas d'estudi, només es disposa de 57 esdeveniments amb un volum quantificat, repartits aleatòriament dins del període 1994-2008 i que suposen un 8,5% respecte el nombre total d'esdeveniments registrats. Aquesta situació no és l'òptima, ja que es disposa de poques esllavissades amb un volum quantificat, i no formen part d'un mateix interval continu de temps. De totes formes, per poder continuar amb l'estudi, s'assumeix que la mostra es prou representativa de tots els esdeveniments que han succeït en el tram d'estudi.

A partir d'aquí, s'ha creat la Taula 5-1, On s'han calculat les freqüències relatives i acumulades per a cada volum segons les equacions 5.2 i 5.3.

$$f_j = \frac{\text{Nombre d'esdeveniments de magnitud } M_i}{\text{Nombre total d'esdeveniments de magnitud coneguda}} \quad (5.2)$$

$$F_j = \sum_{i=1}^j f_i \quad (5.3)$$

Estrictament, la freqüència relativa s'hauria d'haver calculat respecte un temps d'estudi continu en el qual es disposés del volum de tots els esdeveniments. Com que, tal i com s'ha mencionat prèviament, els esdeveniments amb un volum conegut estan repartits aleatòriament per tot el període d'estudi, s'ha optat per calcular la freqüència respecte les 57 esllavissades amb volum documentat.

Amb les dades de la freqüència acumulada i la magnitud, s'ha creat el Gràfic 5-2, amb el corresponent ajust seguint una llei potencial.

A primer cop d'ull, s'aprecia que l'ajust obtingut és prou bo ($R^2 = 0,970$), però es mostra poc representatiu en el cas dels esdeveniments a partir de 200 m^3 . Aquest fet es deu segurament a una manca de registres d'esdeveniments amb un volum documentat entre 200 i 30.000 m^3 .

En segon lloc, segons l'ajust obtingut, s'observa que els esdeveniments de volum superior als 30.000 m^3 tenen una probabilitat d'ocurrència aproximada de l'1%, que a priori sembla excessiva. Aquest fet es dona per haver considerat l'esdeveniment de 30.000 m^3 representatiu de la mostra de 57 esdeveniments amb volum quantificat.

Per completar l'estudi, i obtenir una mostra més representativa dels 664 esdeveniments dels que consta el registre, s'ha intentat estimar el volum de 101 esdeveniments més, dels quals se'n disposava informació sobre el grau d'afectació de la via o la descripció referent a les dimensions dels blocs. El criteri seguit a l'hora d'estimar els corresponents volums es mostra en la Taula 5-2.

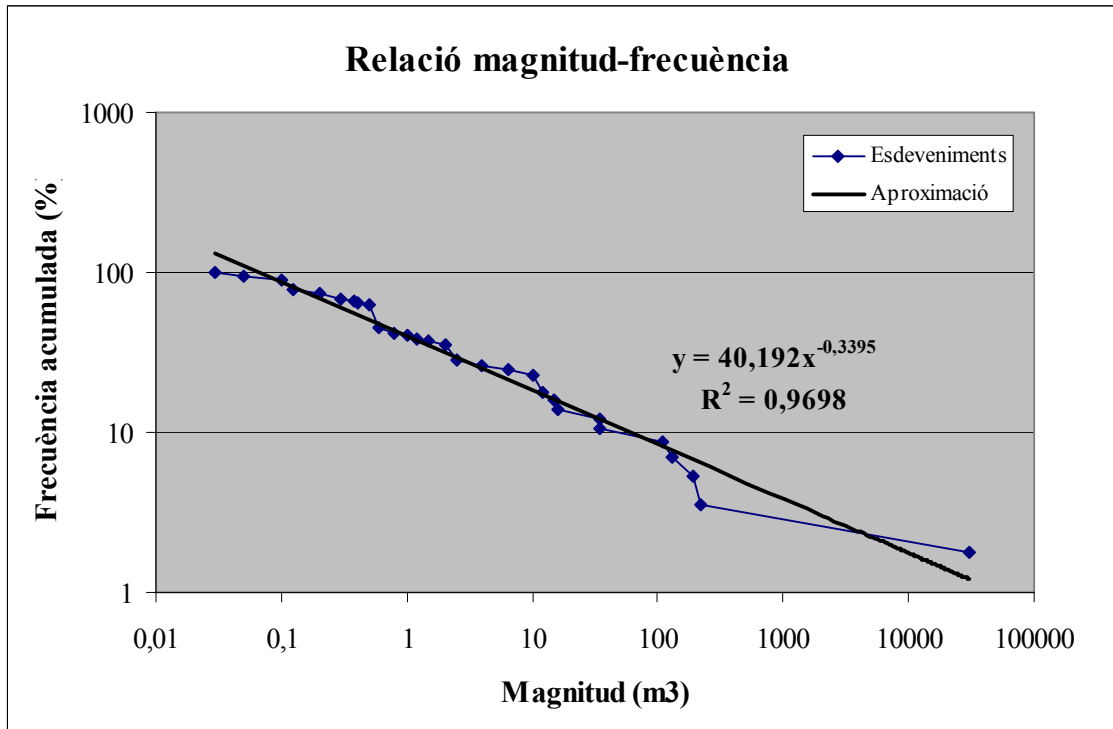
Evidentment, el criteri establert a l'hora d'assignar els diferents volums segons el grau d'afectació compta amb un alt grau de subjectivitat, però intenta ser representatiu de

l'ordre de magnitud de les esllavissades per tal de produir el conseqüent grau d'afectació de la via.

Aquests nous esdeveniments amb un volum estimat, juntament amb els 57 anteriors s'han introduït en la Taula 5-3 i s'ha procedit a calcular les freqüències relatives, acumulades i anuals. Per obtenir la freqüència anual, s'ha multiplicat la freqüència acumulada per 45,17 esdeveniments/any, que és el nombre mig d'esdeveniments al llarg d'un any durant el període d'estudi.

Taula 5-1. Esdeveniments amb volum documentat amb les respectives freqüències relatives i acumulades.

Magnitud (m³)	Nombre d'esdeveniments	Freqüència relativa f_i	Freqüència acumulada F_i	Freqüència acumulada (%)
30.000	1	0,02	0,02	1,75
217	1	0,02	0,04	3,51
192	1	0,02	0,05	5,26
130	1	0,02	0,07	7,02
109	1	0,02	0,09	8,77
35	1	0,02	0,11	10,53
34	1	0,02	0,12	12,28
16	1	0,02	0,14	14,04
15	1	0,02	0,16	15,79
12	1	0,02	0,18	17,54
10	3	0,05	0,23	22,81
6,5	1	0,02	0,25	24,56
4	1	0,02	0,26	26,32
2,5	1	0,02	0,28	28,07
2	4	0,07	0,35	35,09
1,5	1	0,02	0,37	36,84
1,2	1	0,02	0,39	38,60
1	1	0,02	0,40	40,35
0,8	1	0,02	0,42	42,11
0,6	2	0,04	0,46	45,61
0,5	10	0,18	0,63	63,16
0,4	1	0,02	0,65	64,91
0,375	1	0,02	0,67	66,67
0,3	1	0,02	0,68	68,42
0,2	3	0,05	0,74	73,68
0,125	3	0,05	0,79	78,95
0,1	6	0,11	0,89	89,47
0,05	3	0,05	0,95	94,74
0,03	3	0,05	1,00	100,00
Total:	57			



Gràfic 5-2. Relació magnitud freqüència amb l'ajust corresponent, obtingut de les 57 esllavissades amb volum documentat.

Taula 5-2. Criteri seguit a l'hora d'estimar el volum dels esdeveniments a partir del volum descriptiu o el grau d'afectació de la calçada.

Volum descriptiu/grau d'afectació de la calçada	Volum assignat (m³)	Nombre d'assignacions
Pedra petita	0,125	1
Pedra gran, pedres mitjanes, pedres petites	1	48
Afecta parcialment un carril, pedres grans	2	20
Afecta un carril	8	15
Afecta els dos carrils	64	17
Total:		101

A més a més, s'ha considerat que el lliscament de 30.000 m³ registrat no és prou representatiu d'una mostra de 158 esdeveniments, sinó que s'ha de considerar representatiu de tot el període d'observació entre 1994 i 2008. Per tant la freqüència relativa d'aquest esdeveniment s'ha obtingut dividint entre els 664 esdeveniments enregistrats en el període d'estudi. Aquesta distinció en el període d'observació entre esdeveniments de diferent magnitud ha estat prèviament proposada per Hungr et al. (1999).

Com s'observa en el Gràfic 5-3, en que es representa la relació magnitud – freqüència acumulada, s'obté un pitjor ajust ($R^2 = 0,892$) enlloc de l'obtingut en el Gràfic 5-2. Aquest fet, en part, es deu a l'agrupació dels esdeveniments amb volum estimat en els 5 volums modals representats en la Taula 5-2.

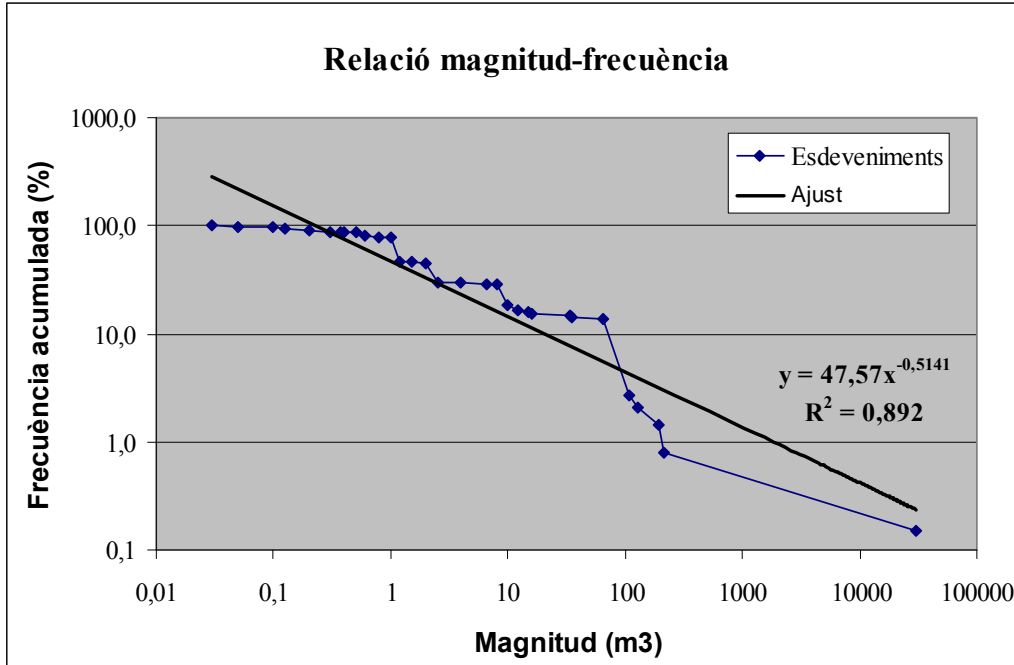
Taula 5-3. . Esdeveniments amb volum documentat o estimat amb les respectives freqüències relatives i acumulades.

Magnitud (m ³)	Nombre d'esdeveniments	Freqüència relativa f _i	Freqüència acumulada F _i	Freqüència acumulada (%)	Freqüència anual
30.000	1	0,002	0,00	0,15	0,07
217	1	0,006	0,01	0,79	0,36
192	1	0,006	0,01	1,42	0,64
130	1	0,006	0,02	2,06	0,93
109	1	0,006	0,03	2,70	1,22
64	17	0,108	0,14	13,53	6,11
35	1	0,006	0,14	14,16	6,40
34	1	0,006	0,15	14,80	6,69
16	1	0,006	0,15	15,44	6,97
15	1	0,006	0,16	16,07	7,26
12	1	0,006	0,17	16,71	7,55
10	3	0,019	0,19	18,62	8,41
8	15	0,096	0,28	28,18	12,73
6,5	1	0,006	0,29	28,81	13,01
4	1	0,006	0,29	29,45	13,30
2,5	1	0,006	0,30	30,09	13,59
2	24	0,153	0,45	45,37	20,50
1,5	1	0,006	0,46	46,01	20,78
1,2	1	0,006	0,47	46,65	21,07
1	49	0,312	0,78	77,86	35,17
0,8	1	0,006	0,78	78,49	35,46
0,6	2	0,013	0,80	79,77	36,03
0,5	10	0,064	0,86	86,14	38,91
0,4	1	0,006	0,87	86,77	39,20
0,375	1	0,006	0,87	87,41	39,48
0,3	1	0,006	0,88	88,05	39,77
0,2	3	0,019	0,90	89,96	40,63
0,125	4	0,025	0,93	92,51	41,79
0,1	6	0,038	0,96	96,33	43,51
0,05	3	0,019	0,98	98,24	44,37
0,03	3	0,019	1,00	100,00	45,17
Total:	158				

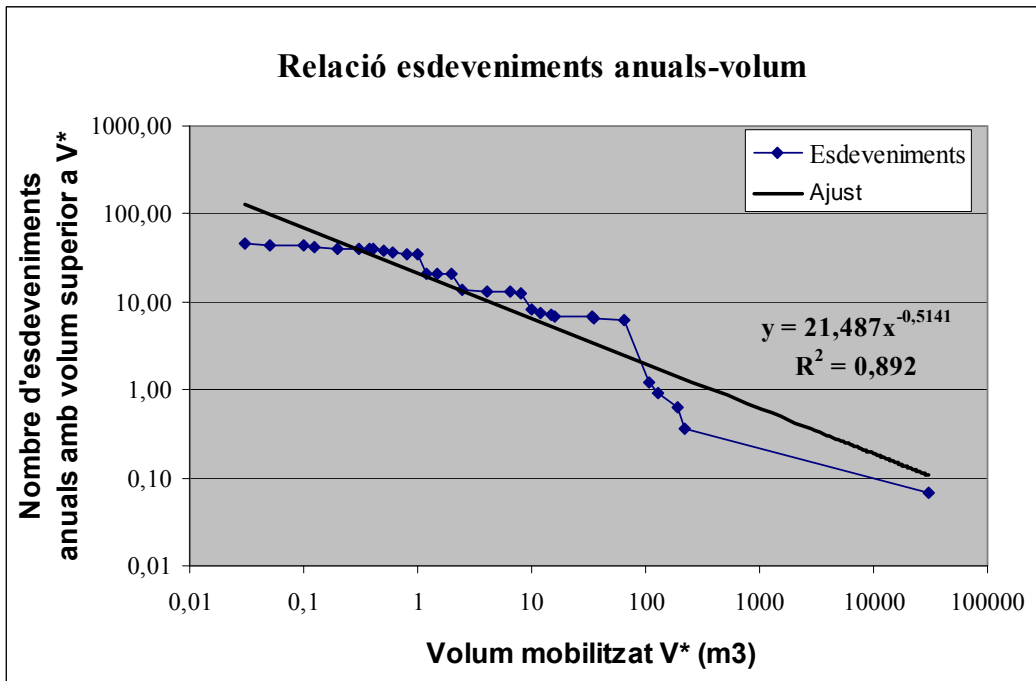
També cal observar que els esdeveniments observats amb un volum relativament petit, semblen estar infravalorats respecte l'ajust obtingut. Aquest fet també ha estat observat en el cas d'altres estudis similars (Hungar et al., 1999) i s'ha d'atribuir a una censura sistemàtica deguda a l'alta efectivitat de les cunetes i altres elements de contenció en aquesta franja de magnituds.

Pel que fa als esdeveniments superiors als 30.000, s'obté una probabilitat d'ocurrència de 0,23%, que suposa una visió més realista que la presentada en el Gràfic 5-2.

Observant el Gràfic 5-4, en el que es representa el nombre d'esdeveniments anuals superiors a una certa magnitud, s'obté 130 esdeveniments de magnitud superior als 0,03 m³, aproximadament del mateix ordre de magnitud que els esdeveniments enregistrats en els 3 darrers anys, quan ha augmentat l'interès per registrar les esllavissades més petites.



Gràfic 5-3. Relació magnitud-frecuència amb l'ajust corresponent a partir de les esllavissades amb volum documentat o estimat.



Gràfic 5-4. Relació esdeveniments anuals acumulats-volum mobilitzat amb l'ajust corresponent a partir de les esllavissades amb volum documentat o estimat.

5.6 Relació pluja-esllavissades

5.6.1 Introducció

En diversos llocs del món, s'ha comprovat que la pluja és un dels principals factors desencadenants d'esllavissades. Molts autors han intentat establir pluges lliars a partir dels registres de pluja i els inventaris d'esllavissades disponibles, per tal de preveure'n l'ocurrència (Guzzetti et al., 2008). Tot i així, no hi ha cap consens que permeti definir el concepte de pluja lliar i de quina forma s'ha de valorar la precipitació acumulada en els dies, setmanes o fins i tot mesos previs a una esllavissada (Corominas et al., 2002).

El fet de poder establir un lliar de precipitació que permeti assegurar l'activació d'esllavissades amb certa fiabilitat o trobar algun tipus de correlació precipitació – nombre d'esllavissades, permetria poder establir un sistema d'alerta de temps real per predir l'ocurrència imminent d'aquest tipus de fenòmens i prendre les mesures pertinents per tal d'evitar accidents fatals.

No obstant, a priori no és possible trobar una relació universal que relacioni la precipitació amb l'activació de les esllavissades per a qualsevol zona. Aquest fet, s'entén si es considera la complexitat dels factors que regulen aquest tipus de relacions com ara la geologia de la zona d'estudi, tipus de sòl, permeabilitat del terreny, velocitat d'infiltració, taxa d'evaporació, dimensions de les conques, tipologia d'esllavissada i mecànica de trencament, etc. Per exemple, Crozier i Eyles (citats a Glade et al, 2000) utilitza l'índex de la pluja anterior per valorar la influència de la pluja de diversos dies anteriors a l'esllavissada. Aquest mètode pondera la pluja recollida durant una sèrie de dies anteriors a l'esllavissada en funció d'uns coeficients que representen el flux a través del regolit i que depenen en gran mesura de la permeabilitat de la roca i que s'han de calibrar mitjançant treball de camp.

En el nostre cas d'estudi, ens centrarem en intentar trobar una relació entre el nombre d'esllavissades i la pluja recollida el mateix dia de l'esllavissada, així com també amb la intensitat mitjana dels dies previs a l'esllavissada per valorar l'efecte dels episodis perllongats de pluja encara que menys intensa.

A priori, és d'esperar que els episodis de pluja intensa o períodes llargs de pluja portin associats un gran nombre caigudes i reactivacions, mentre que en períodes de poca pluja s'espera un baix nombre d'esdeveniments. Aquesta hipòtesi s'hauria de complir especialment en el cas de corrents d'arrossegalls, ja que per la pròpia tipologia del fenomen i el seu mecanisme de trencada, la ruptura inicial està fortament condicionada per la infiltració de l'aigua de pluja al terreny.

5.6.2 Obtenció de les dades pluviomètriques i anàlisi dels resultats

En primer lloc, s'han obtingut les dades pluviomètriques diàries proporcionades per l'observatori de Mendara (Figura 5-19), situat a 11 kilòmetres del tram considerat. Tot i que l'observatori més proper al tram d'estudi és el de Laurgain, a uns 7 kilòmetres de distància, aquest comptava amb un nombre elevat de dies sense disponibilitat de dades pluviomètriques. Tot i així, s'ha pres la precaució de comprovar que els registres

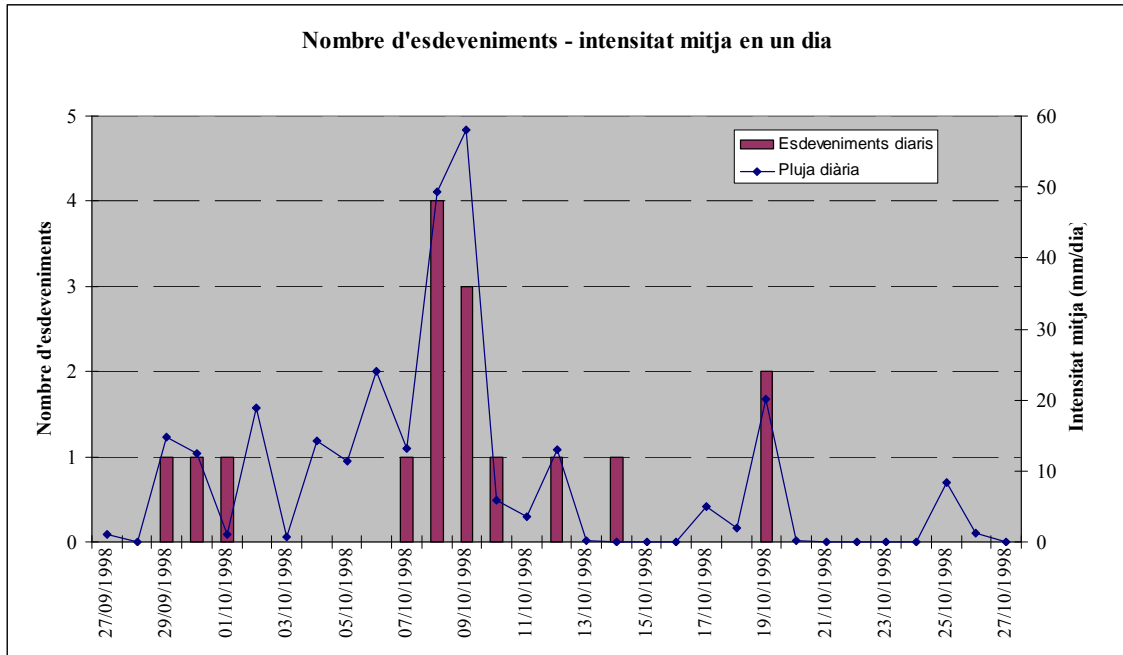
pluviomètrics d'ambdós observatoris són molt similars. Les dades pluviomètriques corresponents als 15 anys d'estudi utilitzades s'han adjuntat en format digital en l'Annex VII.



Figura 5-19. Ubicació dels observatoris de Laurgain i Mendaro respecte el tram d'estudi.

Un cop obtingudes les dades pluviomètriques, juntament amb la base de dades d'esllavissades obtinguda després del procés de validació (veure capítol 5.4), s'han representat els gràfics combinats esdeveniments – intensitat mitja al llarg de tot el període d'estudi. En total s'han realitzat 4 gràfics considerant tots els esdeveniments comptabilitzats en el període d'estudi amb les diferents intensitats diàries en períodes arbitraris de 1, 3, 5 i 7 dies. Per exemple, per calcular la intensitat diària mitja d'un dia qualsevol associada a un període de 3 dies, s'obté la pluja acumulada durant el dia en qüestió i els dos dies anteriors i es divideix entre tres. Tot i que aquests gràfics no s'han adjuntat en format paper al ocupar molt espai, a tall d'exemple, s'ha adjuntat la part corresponent al mes de novembre de 1998 del gràfic amb la intensitat mitja d'un sol dia (Gràfic 5-5). Els gràfics complets s'han adjuntat en format digital en l'Annex VII.

Paral·lelament, s'han realitzat els gràfics amb les intensitats diàries mitges en períodes de 1, 3, 5, 7 i 15 dies, superposats amb els esdeveniments corresponents només a corrents d'arrossegalls. És important destacar que només s'ha pogut classificar un determinat esdeveniment com a corrent d'arrossegalls en funció de si la seva localització es dona en una zona susceptible de produir-se corrents d'arrossegalls i no pas per la seva descripció com a tal en la base de dades. Aquesta consideració és important tenir-la en compte, ja que degut a possibles errors de localització i assignació dels esdeveniments (com es menciona al capítol 5.4) o la possibilitat de que en una zona amb susceptibilitat de produir corrents d'arrossegalls, també hi pugui haver desprendiments, pot ser que esdeveniments que hagin estat considerats com a corrents d'arrossegalls, realment corresponguin a desprendiments.



Gràfic 5-5. Nombre d'esdeveniments i relació intensitat mitja-durada aplicat a un sol dia.

De l'observació detallada dels gràfics prèviament mencionats, a priori no se'n pot extreure cap conclusió respecte a la existència d'un llindar de pluja a partir del qual es pugui assegurar la formació de despreniments i corrents d'arrossegalls. Aquest fet ja havia estat observat prèviament per Corominas (2000). Tot i així, s'observa una tendència general a l'ocurrència d'un nombre elevat d'esllavissades durant forts episodis de pluja. Aquest fet s'accentua quan es consideren períodes de pluja de 3, 5 i 7 dies, que permeten atenuar l'efecte diferit degut al procés d'infiltració. També s'observa un nombre d'esdeveniments que no es poden associar a episodis de pluja al produir-se després de dies de sequera.

En el cas particular dels corrents d'arrossegalls també s'observa un gran nombre d'esdeveniments que s'activen en períodes de poca pluja o fins i tot nul·la. Aquest fet posa de manifest que segurament s'han considerat com a corrents d'arrossegalls esdeveniments que en realitat corresponen a despreniments, degut a possibles errors de localització dels esdeveniments.

En un segon estadi, per tal de salvar la dimensió temporal, s'han agrupat els esdeveniments per episodis de pluja i s'ha representat el gràfic intensitat mitja – durada que ha provocat un cert nombre d'esdeveniments (Gràfic 5-6). A cada episodi de pluja se li ha assignat el seu valor màxim d'intensitat. Per fer les agrupacions d'esdeveniments ha calgut utilitzar el criteri subjectiu, ja que com es pot comprendre no sempre es fàcil atribuir un determinat esdeveniment a un determinat episodi de pluja. A més a més, els grups per a cadascun dels períodes poden ser diferents. Per exemple els esdeveniments enregistrats cada dia entre el 7/10/1998 i el 10/10/1998 en el Gràfic 5-5 s'han comptabilitzat per separat en la precipitació mitja d'un dia però s'han comptabilitzat sota el mateix episodi de pluja en el cas de considerar episodis plujosos 5 i 7 dies de durada. En el cas d'episodis que no generen cap tipus d'esllavissada, s'ha establert unes intensitats mínimes a l'hora de representar els punts al gràfic per no haver

de comptabilitzar les innombrables ocasions en que es recull una precipitació minsa i no s'activa cap mena d'esllavissada. Aquests llandars arbitraris no suposen cap mena de perjudici a l'hora d'analitzar el gràfic.

A partir de l'observació del Gràfic 5-6, se'n poden extreure diverses conclusions. En primer lloc, s'observa una lleugera tendència que corrobora la hipòtesi que per desencadenar un nombre elevat d'esdeveniments simultàniament (5 o més), en general calen episodis de pluja intensa. El cas recíproc no sempre és cert, ja que s'observen episodis de pluja intensa que només desencadenen 1 o 2 esllavissades. De totes formes, també caldria considerar la possibilitat de que més d'un esdeveniment simultani hagués quedat registrat com a un únic cas, entenent-se al fet de que algunes de les descripcions obtingudes dels registres, mencionaven que s'havien succeït diversos esdeveniments al llarg de la carretera.

En segon lloc, s'aprecia que obviant alguns punts aïllats en les series d'intensitats que no donen lloc a cap esllavissada, es pot establir un valor mínim d'intensitat de pluja a partir del qual es pot assegurar l'ocurrència d'almenys un esdeveniment. Aquest llandar està delimitat per la corba 1 (corba blava) en el Gràfic 5-6 i pels valors representats en la Taula 5-4 en funció del període de temps considerat per calcular l'episodi de pluja. Com es pot comprovar en la Taula 5-4, s'obtenen uns percentatges molt elevats de probabilitats que garanteixen que havent superat els llandars corresponents, s'activarà almenys una esllavissada.

Paral·lelament, obviant uns pocs casos aïllats, s'han pogut representar les corbes que estableixen els valors mínims d'intensitat per tal de que es produeixin 2 o més esllavissades (corba 2 – corba púrpura) i 3 o més esllavissades (corba 3 – corba vermella) en el Gràfic 5-6. Tot i així, aquestes corbes no són gaire representatives ni podrien ser utilitzades per establir cap sistema d'alerta en temps real, ja que els valors llandars de precipitació són massa baixos i es crearien alertes continuadament.

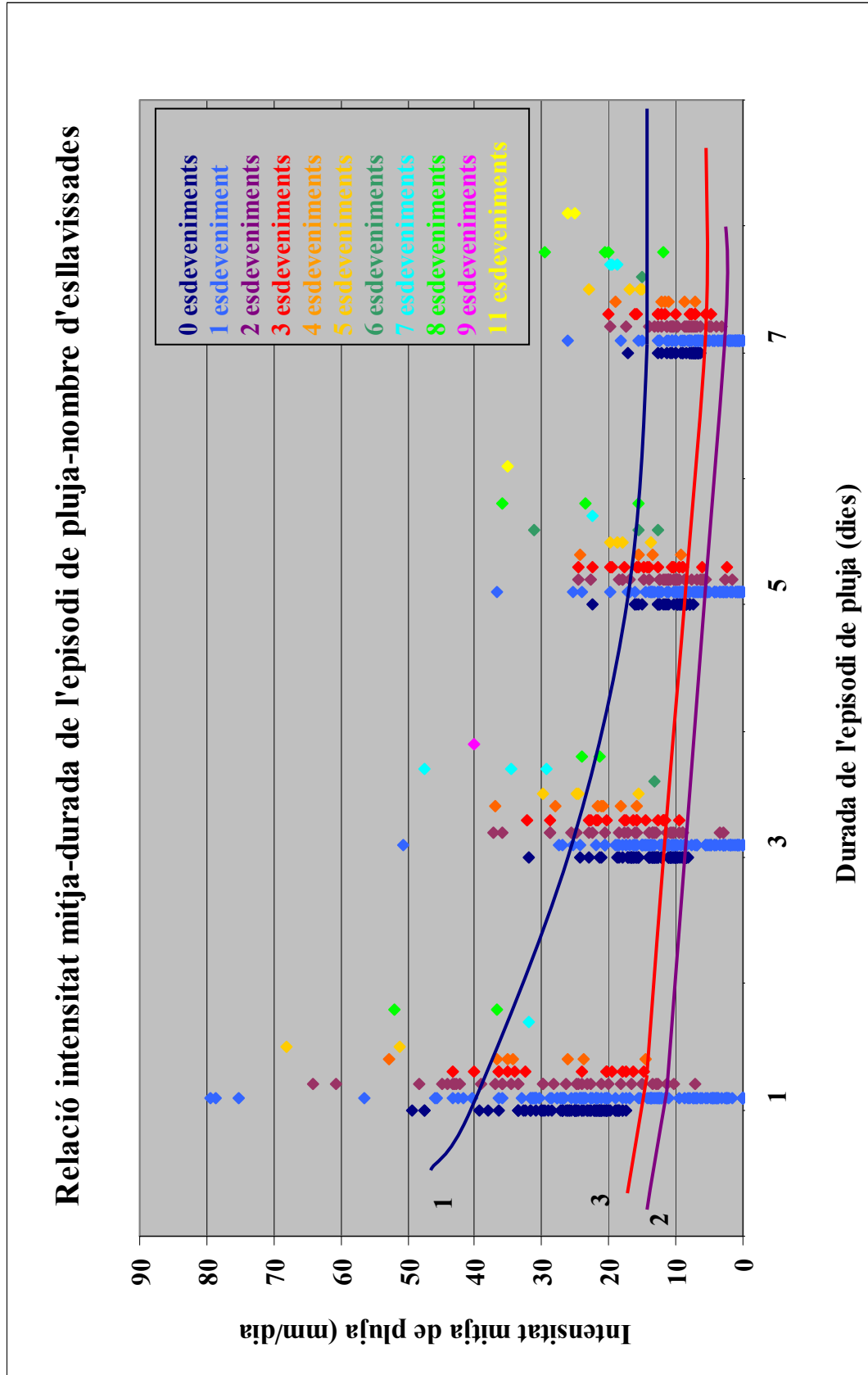
Taula 5-4. Llandars d'intensitat de pluja que assegurin l'ocurrència d'esdeveniments.

Durada de l'episodi de pluja (dies)	Llandar que assegura una o més esllavissades (mm/dia)	Casos verificats	% de probabilitat
1	39,2	24/26	92%
3	24,2	20/21	95%
5	16,1	28/30	93%
7	12,7	27/28	96%

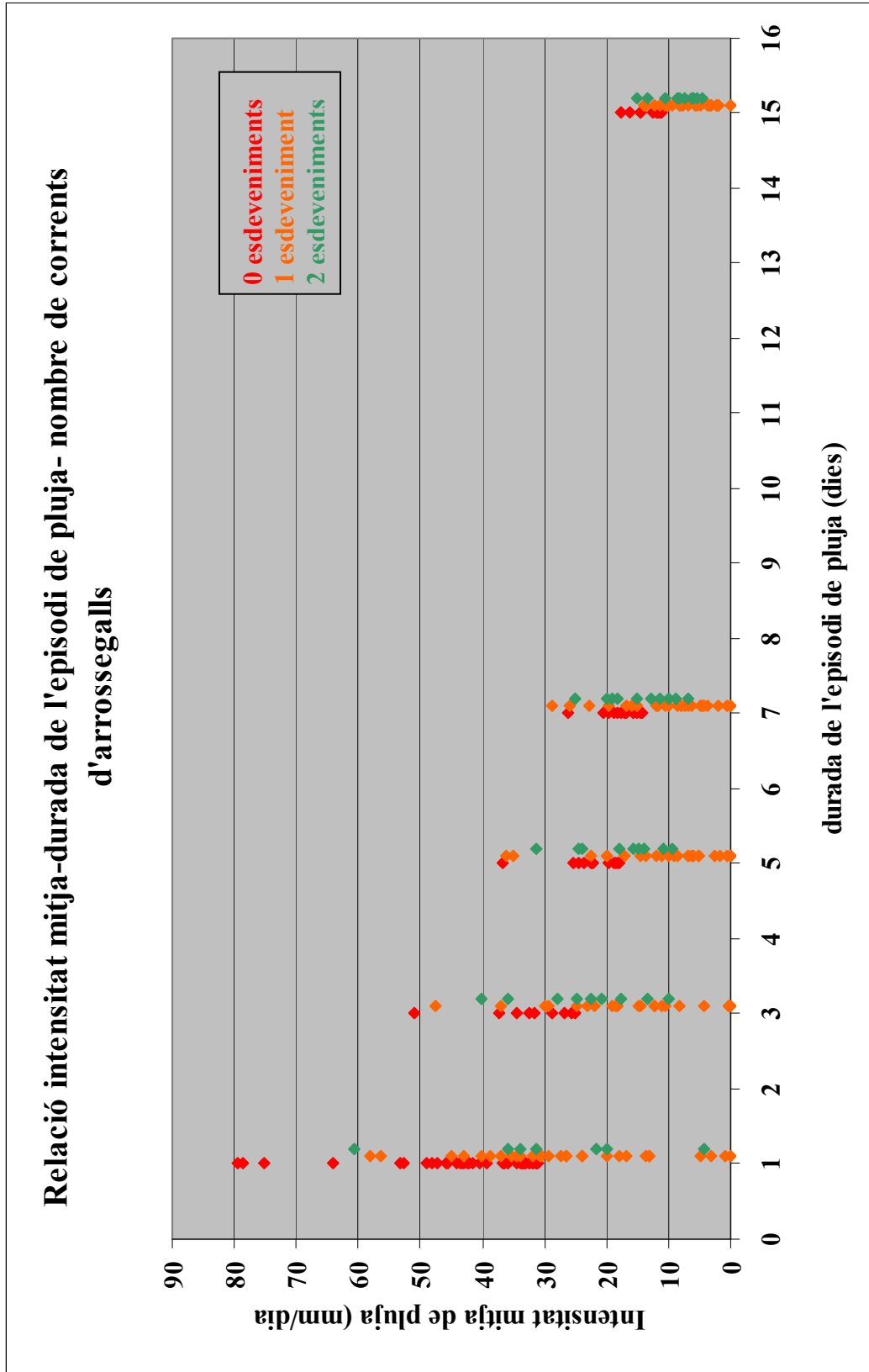
A partir d'aquí, ja no es pot extreure cap altre mena de conclusió sobre el Gràfic 5-6, ja que els resultats obtinguts per a 3 o més esdeveniments simultanis per episodi de pluja són molt dispersos, tot i que s'observa una tendència a l'alça en el nombre d'esdeveniments per episodi a intensitats de pluja creixents. Una possible explicació de la aleatorietat dels resultats obtinguts per alts nombres d'esllavissades simultànies podria ser el sistema d'agrupació d'esllavissades utilitzat. Tampoc es pot establir cap

intensitat màxima que permeti assegurar la no formació d'esllavissades, ja que tal i com s'ha esmentat prèviament, hi ha un gran nombre de cassos d'esdeveniments produïts amb pluges nul·les o molt minses.

Finalment, s'ha construït un gràfic similar per als esdeveniments associats a corrents d'arrossegalls (Gràfic 5-7). En aquest cas, també s'han establert uns valors mínims d'intensitat de pluja per a episodis que no donen lloc a cap corrent d'arrossegalls. Com es pot comprovar, però, els resultats obtinguts no permeten extreure cap conclusió. Tal i com s'observa, hi ha casos en que es donen corrents d'arrossegalls amb precipitació nul·la o pràcticament nul·la. Aquest fet, tal i com ja s'ha comentat prèviament, no és factible per a que es doni un corrent d'arrossegalls. Amb aquesta observació dons, es corrobora la hipòtesi de que una part dels esdeveniments associats a corrents d'arrossegalls, corresponen en realitat a despreniments degut a problemes de localització ja mencionats o la possibilitat de que en una certa zona s'hi pugui donar despreniments i corrents d'arrossegalls indistintament.



Gràfic 5-6. Relació intensitat mitja-durada de l'episodi de pluja i nombre d'esllavissades activades.



Gràfic 5-7. Relació intensitat mitja-durada de l'episodi de pluja i nombre de corrents d'arrossegalls.

5.7 Anàlisi quantitativa del risc

Tal i com s'ha esmentat en el capítol 4, el mètode d'anàlisi quantitativa del risc es basa en obtenir els valors numèrics de la probabilitat d'ocurrència, vulnerabilitat dels elements en situació de risc i les conseqüències de l'esdeveniment per obtenir un valor numèric del risc. En el cas d'estudi, es limitarà a trobar la probabilitat de pèrdua de vida degut a l'ocurrència d'una esllavissada i es compararà amb els criteris proposats per diversos autors. Per tant, en aquest cas, es deixaran de banda els costos socials derivats de les esllavissades, tals com impacte en el transport i indústries de la zona, impacte sobre el medi ambient, costos de pèrdua de temps, danys materials, etc.

Per calcular el risc al que estan sotmesos els usuaris de la via, es podrien considerar les següents situacions segons Wilson et al., Bunce et al. (1997) i Roberds (2005):

- a) Vehicle en moviment que rep l'impacte directe d'una esllavissada.
- b) Vehicle en moviment que col·lisiona contra els detritus d'una esllavissada dipositats a la via o que té un accident al intentar esquivar-los.
- c) Vehicle en situació de retenció o aturat al voral que rep l'impacte d'una esllavissada.
- d) Accident en cadena posterior al primer accident.
- e) Accidents derivats de la pèrdua de control del vehicle al circular per l'asfalt deteriorat degut a una esllavissada.

En aquest cas concret, ens centrarem en calcular el risc associat a l'impacte directe d'una esllavissada contra un vehicle circulant al llarg de la carretera i el risc d'accident associat a la col·lisió d'un vehicle contra material esllavissat que hagi arribat a la calçada i que suposi un obstacle pels vehicles que circulen per la via (situacions a. i b.). La resta de situacions, suposen casos poc freqüents en el nostre cas d'estudi o casos massa complexos per esser avaluats al no disposar de suficient informació que permeti establir la freqüència d'ocurrència de cada situació o la vulnerabilitat a la que estan sotmesos els usuaris de la via al trobar-se en les situacions mencionades. A més a més, l'anàlisi que suposa la probabilitat de que una esllavissada impacti contra un vehicle en situació de retenció o aturat al voral durant un lapse de temps, pot variar notablement de secció a secció en funció de la freqüència de les esllavissades, lluny del nostre objectiu de calcular el risc a nivell global en tram d'estudi.

5.7.1 Vehicle en moviment que rep l'impacte directe d'una esllavissada.

Per resoldre aquesta situació, s'utilitza l'aproximació utilitzada per Hungr et al. (1999), que es basa en calcular la probabilitat anual d'accident i de pèrdua de vida d'almenys una persona, a partir de la suma les probabilitats d'accident i de pèrdua de vida en funció de la magnitud de l'esdeveniment, tal i com es mostra en les expressions 5.4 i 5.5.

$$P_A = \sum_1^n f_L \cdot P_{(T:L)} \cdot P_{(S:T)} \quad (5.4)$$

$$P_{LOL} = \sum_1^n f_L \cdot P_{(T:L)} \cdot P_{(S:T)} \cdot V_{(D:T)} \quad (5.5)$$

on

- P_A és la probabilitat d'accident.
- P_{LOL} és la probabilitat de pèrdua de vida.
- f_i és la freqüència de l'esllavissada d'una certa magnitud.
- $P_{(T:L)}$ és la probabilitat de que l'esllavissada arribi a l'element en situació de risc.
- $P_{(S:T)}$ és la probabilitat espacial temporal de l'element en situació de risc.
- $V_{(D:T)}$ és la vulnerabilitat d'una persona degut a l'esdeveniment considerat.

La freqüència anual associada a un cert volum modal, s'ha obtingut a partir de l'ajust obtingut en el Gràfic 5-4, com a resta de les freqüències acumulades que conformen els diferents blocs modals.

Al mateix temps, $P_{(T:L)}$ es pot representar com el producte de $P_{(S:H)}$ i $P_{(I:S)}$, que representen respectivament, la probabilitat de que un vehicle es trobi en la trajectòria de l'esllavissada en el moment que aquesta es produeix, i la probabilitat de que aquesta arribi a impactar contra el vehicle.

Per estimar la probabilitat de que el vehicle es trobi en la trajectòria de l'esllavissada en el moment en que aquesta es produeix, $P_{(S:H)}$, es pot utilitzar la representació geomètrica representada en la Figura 5-20. que permet arribar a la probabilitat d'intersecció per als dos carrils mostrada en l'expressió 5.6.

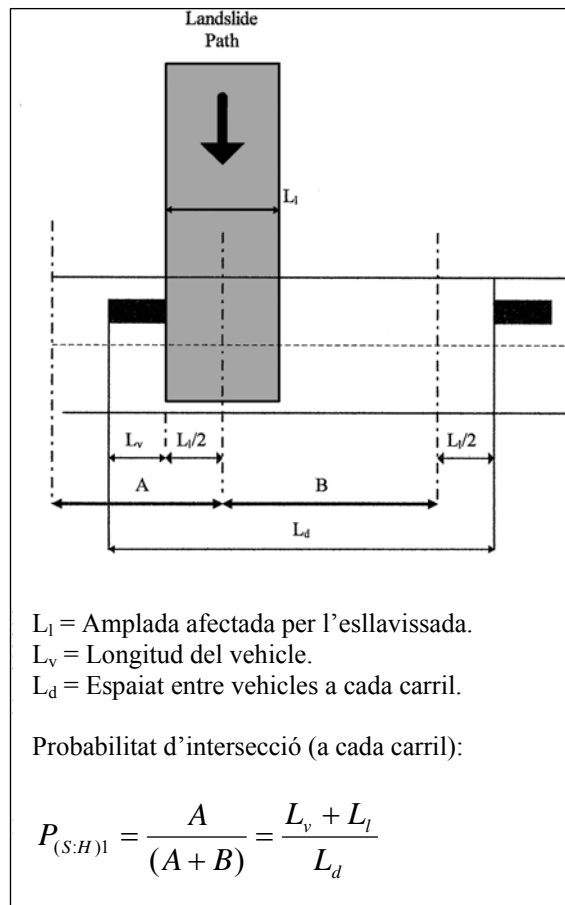


Figura 5-20. Esquema explicatiu del càlcul de la probabilitat d'intersecció.

$$P_{(S:H)} = 2 \frac{L_v + L_l}{L_d} \quad (5.6)$$

On s'ha utilitzat $L_v = 4$ m i L_l un valor variable en funció del volum mobilitzat, segons els valors que proposa Hungr et al. (1999), mostrats en la columna 3 de la Taula 5-4. L_d s'ha calculat segons l'expressió 5.7, en funció d'una intensitat mitja en el tram Zarautz-Zumaia de 7.000 vehicles diaris i una velocitat màxima permesa de 90 km/h.

$$L_d = \frac{90.000}{\frac{7.000/2}{24}} = 617 \text{ m} \quad (5.7)$$

Pel que fa a la probabilitat d'impacte lateral, $P_{(I:S)}$, s'ha utilitzat el mateix criteri que l'establert per Hungr et al. (1999) per falta de dades que permetin establir un criteri en el nostre cas d'estudi. Com s'observa a la columna 5 de la Taula 5-4, per petites esllavissades i una via de dos carrils, serà proper a 0,5, ja que només un carril de la carretera es veurà afectat. Per esllavissades amb volums superiors a 100 m³ s'assumeix igual a 1 ja que qualsevol vehicle present en la trajectòria de l'esllavissada es veurà afectat, independentment del carril en que es trobi.

En quant a la probabilitat espacial temporal, $P_{(S:T)}$, s'ha pres igual a la unitat, al considerar que tots els vehicles estan distribuïts equidistantment al llarg de la carretera i al llarg del temps.

Finalment, els coeficients de vulnerabilitat dels ocupants d'un vehicle, $V_{(D:T)}$, es prenen els proposats per Wilson et al., a falta de prou elements que ens permetin establir aquests coeficients per al nostre cas concret. Aquests coeficients depenen en gran mesura del volum esllavissat. Per a grans volums, la vulnerabilitat dels ocupants del vehicle és igual a 1, mentre que pels esdeveniments més petits tendeix a 0 com s'observa en la columna 6 de la Taula 5-4.

En quant als resultats obtinguts, mostrats en les columnes 7, 8, 9 i 10 de la Taula 5-5, s'obtenen unes probabilitats anuals d'accident i de pèrdua de vida de 0,819 i 0,306 respectivament. Si es divideixen les probabilitats anuals obtingudes pel nombre de viatges realitzats al cap de l'any (7.000 vehicles/dia × 365 dies/any) s'obtenen unes probabilitats anuals d'accident i de pèrdua de vida per viatge de $3,20 \cdot 10^{-7}$ i $1,19 \cdot 10^{-7}$ respectivament.

5.7.2 Vehicle en moviment que col·lisiona contra material en la via

Per al càlcul de les probabilitats d'accident i de pèrdua de vida deguts a l'impacte d'un vehicle en moviment contra material esllavissat a la via, s'utilitza una adaptació del mètode proposat per Roberds (2005), tot i que la metodologia és molt semblant a la utilitzada en el cas anterior.

Per calcular el risc relacionat amb la probabilitat de que un vehicle tingui un accident al col·lisionar o intentar esquivar material esllavissat en la calçada s'utilitza el teorema de

Taula 5-5. Càlcul del risc d'accident i pèrdua de vida degut a l'impacte directe d'una esllavissada sobre un vehicle en moviment.

Volum esllavissat (m ³)	Freqüència anual f _L	Amplada esllavissada (m) L ₁	P _(S:H)	P _(I:S)	V _(D:F)	Probabilitat d'accident P _A		Periode de retorn (anys) T	
						P _A	P _{LOL}	T	T
0,05 a 0,1	30,05	0,1	0,0133	0,2	0,05	0,080	0,004	12	250
0,1 a 1	48,70	1	0,0162	0,4	0,1	0,316	0,032	3	32
1 a 10	14,91	2	0,0194	0,6	0,3	0,174	0,052	5	19
10 a 100	4,56	5	0,0292	0,8	0,7	0,106	0,075	9	13
100 a 1.000	1,40	10	0,0454	1	1	0,063	0,0663	15	16
1.000 a 10.000	0,43	30	0,1102	1	1	0,047	0,047	21	21
>10.000	0,19	50	0,1750	1	1	0,033	0,033	30	30
TOTAL:						0,819	0,306	1,2	3,3
PER VIATGE:						3,20·10⁻⁷	1,19·10⁻⁷		

les probabilitats totals, que permet sumar les probabilitats de col·lisió associades a les diferents magnituds d'esllavissades, tal i com s'ha fet en les expressions 5.4 i 5.5.

Donat l'esdeveniment d'una esllavissada de magnitud M_R , la probabilitat de que un vehicle que s'hi apropi tingui un accident al col·lisionar o intentar-la esquivar-la, ve donada per l'expressió 5.8 segons Roberds (2005).

$$P(A|M_R) = \alpha \cdot \beta = \alpha \cdot \left(1 - \Phi \left\{ \frac{\ln(V_x) - \ln(m[V_d])}{\ln(COV(V_d) \cdot m[V_d])} \right\} \right) \quad (5.8)$$

On

- α és un coeficient que valora el grau d'ocupació del carril en funció del volum esllavissat. Està relacionat amb la possibilitat d'esquivar l'esllavissada.
- β és el paràmetre d'accidentalitat.
- V_x és la distància de parada disponible en el lloc de l'esllavissada, que és el valor mínim de la meitat de l'espaiat entre vehicles i la màxima distància de visibilitat. En el nostre cas, el valor de la meitat d'espaiat entre vehicles (308 m) és superior a la distància de visibilitat en qualsevol punt de la carretera.
- $M[V_d]$ és la distància de parada nominal, que és funció de la velocitat del vehicle.
- $COV[V_d]$ és el coeficient de variació de la distància de parada.
- $\Phi\{\}$ és la funció de distribució normal estàndard acumulada.

$M[V_d]$ s'ha calculat segons l'expressió 5.9 proposada en la *Instrucció de Carreteras*, considerant un temps de percepció-reacció de 1,5 segons, una velocitat de 90 km/h, un coeficient de fregament longitudinal roda-paviment de 0,334 i cap inclinació de rasant.

$$M[V_d] = \frac{V \cdot t_p}{3,6} + \frac{V^2}{254(f_l + i)} = \frac{90 \cdot 1,5}{3,6} + \frac{90^2}{254(0,334 + 0)} = 132 \text{ m} \quad (5.9)$$

El valor de $COV[V_d]$ s'ha agafat igual a 0,1 per falta de dades, tal i com proposa Roberds (2001).

Amb tot això, el valor del paràmetre d'accidentalitat, β , es pot representar segons el Gràfic 5-8.

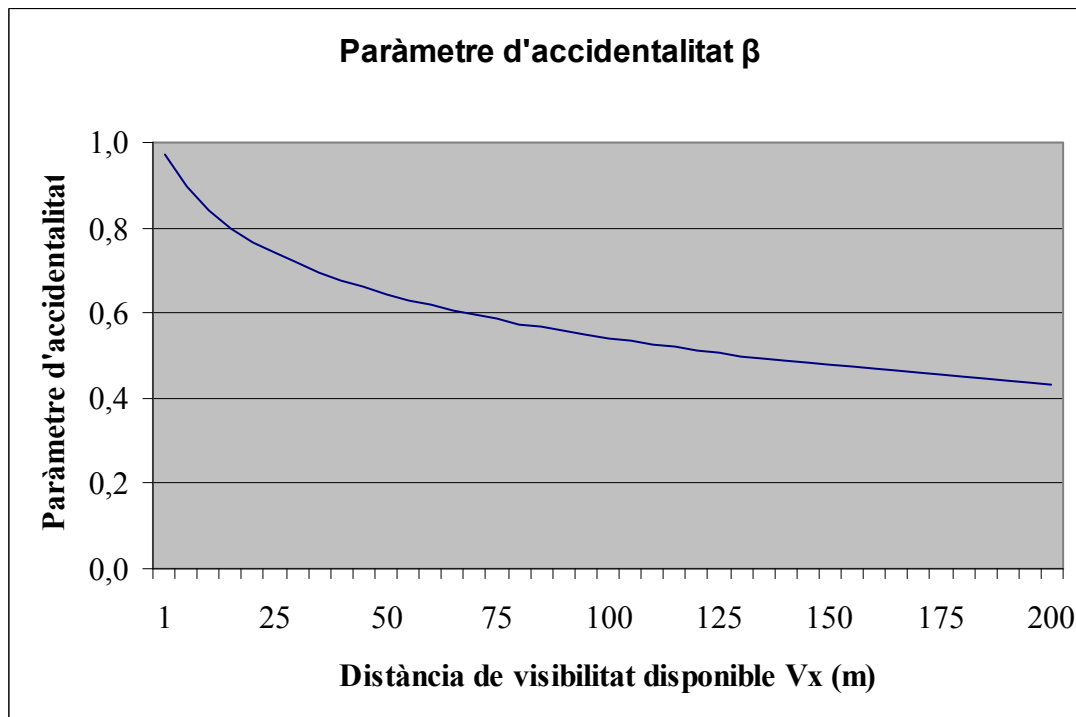
Com que el tram d'estudi es llarg i sinuós, el valor de β varia en funció de V_x al llarg del recorregut per a cada carril. Per tal d'obtenir-ne un valor representatiu de tot el recorregut, s'han discretitzat cadascun dels 2 carrils i s'han calculat les distàncies de visibilitat com a un percentatge de la distància de parada i s'ha calculat un valor ponderat del valor de β per a cada carril, com es pot observar en la Taula 5-6. Val a dir però, que els valors de β obtinguts són molt similars per als dos carrils.

Pel que fa als valors de α , s'han assignat diferents valors en funció de la magnitud de l'esdeveniment i el carril, i s'han calculat els respectius valors de la probabilitat d'accident, $P(A|M_R)$, com s'observa en la Taula 5-7. Pel carril mar, s'ha suposat que esllavissades de menys de 10 m³ no arriben a afectar el carril, mentre que esllavissades

de volums superiors l'afecten completament. Pel carril muntanya, el grau d'afectació va augmentant progressivament fins a arribar als 10 m³. A partir d'aquest volum, el grau d'afectació és igual a 1.

Per calcular la probabilitat anual d'accident, s'utilitza la distribució de probabilitat binomial, considerant que la probabilitat de que hi hagi almenys un accident a l'any degut a la presència d'una esllavissada d'una certa magnitud és igual a la unitat menys la probabilitat de que no hi hagi cap accident (expressió 5.10).

$$P(A) = 1 - (1 - P(A|M_R))^{f_L} \quad (5.10)$$



Gràfic 5-8. Paràmetre d'accidentalitat en funció de la distància de visibilitat disponible segons Roberds.

Taula 5-6. Valors de β ponderats per a cadascun dels dos carrils.

Distància de visibilitat V_x (m ³)	β	% de zones amb distància de visibilitat V_x Carril mar	% de zones amb distància de visibilitat V_x Carril muntanya	β carril mar	β carril muntanya
>132	0,5	26	23	0,13	0,12
115	0,52	16	19	0,08	0,10
91	0,56	29	25	0,16	0,14
65	0,6	26	26	0,16	0,16
<52	0,64	3	8	0,02	0,05
TOTAL:				0,55	0,56

Taula 5-7. Valors dels paràmetres α , β i les probabilitats d'accident donada la presència de material esllavissat en la calçada per a cada sentit de circulació.

Volum esllavissat (m ³)	α mar	α muntanya	β mar	β muntanya	$P(A M_R)$ mar	$P(A M_R)$ muntanya
0,05 a 0,1	0	0,1	0,55	0,56	0	0,056
0,1 a 1	0	0,3	0,55	0,56	0	0,168
1 a 10	0	0,7	0,55	0,56	0	0,392
10 a 100	1	1	0,55	0,56	0,55	0,56
100 a 1.000	1	1	0,55	0,56	0,55	0,56
1.000 a 10.000	1	1	0,55	0,56	0,55	0,56
>10.000	1	1	0,55	0,56	0,55	0,56

Com es pot comprovar en la Taula 5-8, les probabilitats anuals de que hi hagi un o més accidents obtingudes després d'aplicar l'expressió 5.10 a cada rang de volum modal, són molt elevades en la majoria de casos, i en alguns casos arriben a la unitat. Això implica que és d'esperar que al llarg d'un any hi hagi més d'un accident, al considerar tots els volums modals. Per aquest motiu, sabent que la probabilitat anual d'accident és igual a la unitat, es calculen el nombre d'accidents anuals que cal esperar.

Taula 5-8. Probabilitats d'accident per a cadascun dels carrils.

Volum esllavissat (m ³)	Freqüència anual f_i	$P(A M_R)$ mar	$P(A M_R)$ muntanya	P(A) mar	P(A) muntanya
0,05 a 0,1	30,05	0	0,056	0,00	0,82
0,1 a 1	48,70	0	0,168	0,00	1,00
1 a 10	14,91	0	0,392	0,00	1,00
10 a 100	4,56	0,55	0,56	0,97	0,98
100 a 1.000	1,40	0,55	0,56	0,67	0,68
1.000 a 10.000	0,43	0,55	0,56	0,29	0,30
>10.000	0,19	0,55	0,56	0,14	0,14

El nombre d'accidents i accidents amb resultat de pèrdua vida per a cada magnitud d'esllavissada i en funció de la freqüència anual es poden calcular segons les expressions 5.11 i 5.12.

$$N^{\circ} \text{ accidents / carril} = \sum_1^n f_L \cdot P(A|M_R) \quad (5.11)$$

$$N^{\circ} \text{ accidents mortals} = \sum_1^n [f_i \cdot (P(A|M_R)_{mar} + P(A|M_R)_{muntanya}) \cdot V_{(DT)}] \quad (5.12)$$

Per calcular el nombre d'accidents anuals, s'ha suposat que només el primer vehicle que passa després de que es produeixi l'esllavissada es pot veure involucrat en l'accident.

Aquest fet es podria donar en cas de que el primer conductor en arribar a l'esllavissada advertís els conductors posteriors o apartés el detritus, en cas de que aquest fos petit. Tot i que aquesta hipòtesi no sempre es correspon amb la realitat, evita haver d'estimar un temps de permanència del detritus a la calçada.

Els resultats obtinguts, així com els criteris de vulnerabilitat establerts per Wilson et al., han estat representats en la Taula 5-9.

Com es pot constatar en la Taula 5-9, els resultats indiquen que en promig s'han de produir 23,1 accidents cada any (3,6 en el carril mar i 19,5 en el carril muntanya). D'aquests 23,1 accidents anuals, 0,412 implicarien la pèrdua de vida. Pel que fa a les probabilitats d'accident i de pèrdua de vida per viatge s'obtenen uns resultats de $9,02 \cdot 10^{-6}$ i $1,61 \cdot 10^{-7}$ respectivament.

5.7.3 Discussió i validació dels resultats obtinguts

Després de calcular el risc per cadascuna de les dues situacions plantejades prèviament, s'obtenen els resultats exposats en la Taula 5-10.

Tot i no disposar de cap estudi específic sobre els accidents registrats en el tram de carretera analitzat, a partir dels comentaris del registre proporcionat per la Diputació i el recull de premsa, s'han trobat fins a 5 casos en que es parla de vehicles accidentats, tot i que es probable que hi hagi hagut més accidents que no constin en el registre ni en el recull de premsa. En cap cas es parla de víctimes mortals ni de l'abast dels accidents.

Tot i així, donant per bons els 5 accidents al llarg dels prop de 15 anys que dura el període d'estudi, s'obté una probabilitat anual d'accident de 0,34, o el que és el mateix, un accident cada 3 anys. Aquest resultat contrasta amb la probabilitat anual d'accident de 0,819 obtinguda en el cas d'esllavissada que impacta un vehicle en moviment o els 23 accidents anuals obtinguts en el cas de vehicle que impacta contra material esllavissat. Aquests resultats prèviament mencionats es poden veure sobrevalorats per diversos motius:

En primer lloc, és possible que l'ajust de freqüències obtingut en el Gràfic 5-4, tendeixi a sobrevalorar lleugerament el nombre d'esdeveniments, especialment en la franja d'esllavissades de volum més petit i que és on els elements de retenció se solen mostrar més efectius.

En segon lloc, molts dels paràmetres utilitzats, tals com els criteris de vulnerabilitat, paràmetre d'accidentalitat, probabilitat d'impacte lateral, etc. pot ser que siguin excessivament pessimistes, ja que provenen d'estudis realitzats en països anglosaxons on s'acostumen a utilitzar uns criteris més aviat conservadors.

Pel que fa a l'avaluació del risc, s'han comparat els riscos de pèrdua de vida per viatge per als dos tipus d'accidents analitzats amb els criteris establerts per diversos autors i les probabilitats de pèrdua de vida d'un individu per a diferents activitats quotidianes, ja siguin voluntàries o involuntàries. Aquestes relacions queden representades en la Figura 5-21 adaptada de Bunce et al. (1997).

Taula 5-9. Nombre d'accidents anuals i accidents amb resultat de pèrdua de vida.

Volum esllavissat (m ³)	Freqüència anual f _L	P(A M _R) _{mar}	P(A M _R) _{muntanya}	Vulnerabilitat V _(D:T)	Nombre d'accidents mar	Nombre d'accidents muntanya	Nombre d'accidents anuals amb pèrdua de vida
0,05 a 0,1	30,05	0	0,056	0,0006	0,0	1,7	0,0010
0,1 a 1	48,70	0	0,168	0,0020	0,0	8,2	0,0164
1 a 10	14,91	0	0,392	0,0300	0,0	5,9	0,1756
10 a 100	4,56	0,55	0,56	0,0300	2,5	2,6	0,1522
100 a 1.000	1,40	0,55	0,56	0,0300	0,8	0,8	0,0466
1.000 a 10.000	0,43	0,55	0,56	0,0300	0,2	0,2	0,0143
>10.000	0,19	0,55	0,56	0,0300	0,1	0,1	0,0063
				SUBTOTAL:	3,6	19,5	
				TOTAL:		23,1	0,412
				PER VIATGE:		9,02·10⁻⁶	1,61·10⁻⁷

Taula 5-10. Resum de les probabilitats d'accident i pèrdua de vida obtingudes.

Cas plantejat	P_A per viatge	P_{LOL} per viatge
Esllavissada impacta contra vehicle	$3,20 \cdot 10^{-7}$	$1,19 \cdot 10^{-7}$
Vehicle col·lisiona contra material esllavissat	$9,02 \cdot 10^{-6}$	$1,61 \cdot 10^{-7}$
TOTAL:	$9,34 \cdot 10^{-6}$	$2,8 \cdot 10^{-7}$

La probabilitat de pèrdua de vida corresponent a un sol viatge a l'any correspon a la suma de les probabilitats de pèrdua de vida per viatge obtingudes en cadascun dels dos casos estudiats. Això resulta en una probabilitat de $2,8 \cdot 10^{-7}$ (marcat amb un quadrat vermell en la Figura 5-21). Aquest cas, correspondria al d'un conductor esporàdic que realitza el seu viatge per plaer i per tant s'assumeix que el viatge realitzat es correspon amb una activitat voluntària. La probabilitat de pèrdua de vida en aquest cas, pertany a una zona en la que és aconsellable una reducció del risc, sempre que sigui possible tècnica i econòmicament.

En el cas d'un usuari habitual que utilitzi la carretera 500 vegades cada any (250 en cada sentit), es considera que en fa un ús involuntari com una component més de la seva activitat diària. En aquest cas, la probabilitat de pèrdua de vida seria de $1,4 \cdot 10^{-4}$ (marcada amb un quadrat vermell en la Figura 5-21), arribant a superar el límit d'acceptació establert per Morgan l'any 1991 equivalent a $1,0 \cdot 10^{-4}$. Assumint que les carreteres estan dissenyades i mantingudes considerant els riscos als quals estan sotmesos els usuaris més freqüents, caldria prendre les mesures pertinents, per tal que els usuaris habituals de la via (per exemple habitants de Zumaia que treballin a Zarautz o a l'inrevés) estiguessin sotmesos a un nivell de risc tolerable.

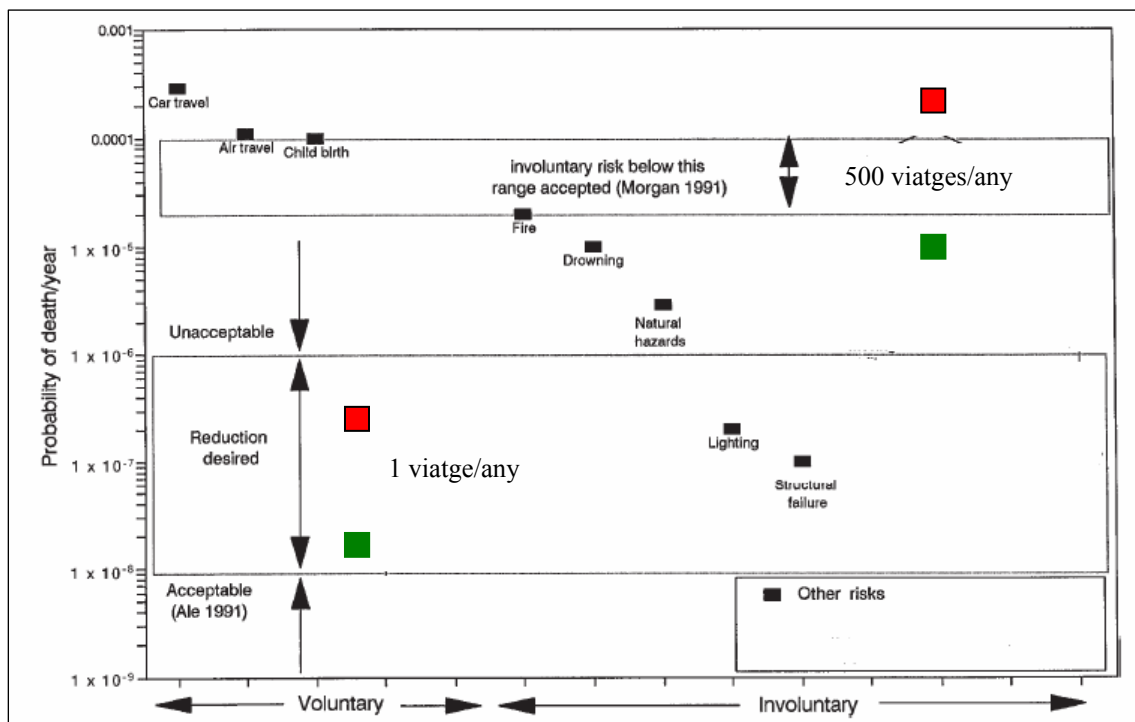


Figura 5-21. Probabilitat de pèrdua de vida d'un individu per a 1 viatge a l'any i per 500 viatges a l'any. Adaptat de Bunce et al. 1997.

Tot i així, si bé es veritat que els riscos representats amb els punts vermells en la Figura 5-21 representen les probabilitats reals de pèrdua de vida per un conductor esporàdic i un conductor habitual, hi ha certa ambigüïtat per part de la comunitat científica sobre quina longitud s'ha de prendre per normalitzar aquests riscos. Hungr et al. (2007) proposa normalitzar el risc per trams de 500 metres. En aquest cas, el risc al qual estarien sotmesos un conductor esporàdic i un conductor habitual en el tram d'estudi, serien de $1,8 \cdot 10^{-8}$ i $9,0 \cdot 10^{-6}$ (representats amb quadrats verds en la Figura 5-21). El risc d'un viatge a l'any continuaria estant en la zona denominada *As Low As Reasonably Possible* mentre que el risc d'un conductor habitual estaria en la zona inacceptable segons Ale però en una zona acceptable segons Morgan.

5.8 Anàlisi qualitativa del risc

5.8.1 Introducció

Tal i com s'ha comprovat en el capítol 5.7, és convenient reduir el risc al qual es veuen exposats els usuaris del tram d'estudi. Per analitzar quines són les seccions més crítiques, i per tant, on seria més convenient aplicar mesures correctores s'utilitzarà un mètode d'anàlisi qualitativa del risc. Com ja s'ha explicat en el capítol 3, hi ha diversos mètodes que permeten efectuar una anàlisi qualitativa del risc. Entre els mètodes analitzats, s'ha decidit, d'entrada, utilitzar el mètode proposat per Budetta et al. (2002) per tal d'efectuar una anàlisi detallada secció a secció. Tot i així, és d'esperar que s'hagin d'efectuar alguns canvis en les valoracions per tal d'adaptar els criteris a les particularitats geomorfològiques del tram d'estudi. En particular, també s'ha optat per adaptar el mètode de Budetta per despreniments al cas de corrents d'arrossegalls.

5.8.2 Recopilació i processat de les dades i obtenció dels resultats

Les dades requerides per aplicar el RHRS de Budetta han estat facilitades per una consultoria amb una àmplia experiència en estudis geotècnics en la zona d'estudi que ha efectuat el treball de camp i la recollida de dades necessària. Prèviament, es va contactar amb la consultoria, per tal d'arribar a un acord sobre les dades que s'havien de recollir i els criteris a utilitzar en cada cas per tal de completar una fitxa estàndard per a seccions de 50 metres al llarg del tram d'estudi, adjuntada en l'Annex I. És necessari mencionar que els paràmetres recollits han estat lleugerament diferents en funció de si es tracta d'una zona on predominen els despreniments rocosos o els corrents d'arrossegalls. Les fitxes completades, s'adjunten en format digital en l'Annex VII.

Posteriorment, cadascuna de les prop de 140 fitxes completades amb les dades de camp de cada secció de 50 metres, s'han hagut de processar i transcriure laboriosament a format digital, mitjançant un full de càlcul per tal de poder establir les puntuacions pertinents per a cada secció.

A continuació es fa una breu descripció dels diferents paràmetres i puntuacions utilitzats en una primera aproximació per al cas de despreniments rocosos i corrents d'arrossegalls:

5.8.2.1 Paràmetres utilitzats per a seccions amb despreniments rocosos

✓ Alçada de talús

L'alçada de cada talús s'ha estimat *in situ* de forma aproximada, fet que pot comportar certs errors. En algunes zones aquest fet s'ha vist agreujat per la presència de vegetació o pel fet d'haver d'estimar l'alçada del propi vessant natural. En els cassos en els que es mostra evident que la sortida potencial de blocs només es produeix des d'una certa alçada inferior a l'alçada màxima del talús, s'ha pres aquesta com l'alçada considerada a l'hora de calcular l'índex.

✓ Efectivitat de la cuneta

L'efectivitat de la cuneta, és un dels paràmetres que comporta més dificultats a l'hora de ser valorat. Per una banda, Budetta proposa utilitzar el diagrama de Ritchie (1963) per concloure el grau d'efectivitat de la cuneta i la pertinent puntuació (veure Figura 3-1). El cas és que en el tram d'estudi hi ha poques zones en les que es puguin trobar cunetes fondes assimilables al model de cuneta que planteja Ritchie. En la majoria de casos es tracta de platges de recepció de blocs. Per aquest motiu s'ha hagut d'establir un criteri alternatiu per aquests casos, basat en el percentatge de blocs que és capaç de retenir la cuneta. Per fer aquest càlcul, s'ha utilitzat el programa comercial Rofmod que simula la caiguda de blocs per a diferents seccions tipus, alçades de talús i diferents volums de blocs. Mitjançant aquest model es pot determinar quin percentatge dels blocs supera una certa distància a peu de talús. Tot i que aquest model és altament sensible a la forma dels blocs, els coeficients de restitució del terreny, presència de vegetació, la velocitat inicial del bloc i a la presència de sortints en el talús, aquesta és l'única forma de poder establir un criteri objectiu per valorar l'efectivitat de la cuneta. El criteri utilitzat per establir les puntuacions en funció del percentatge de blocs retinguts en el cas de cunetes que no segueixen el model de Ritchie, es mostra en la Taula 5-11, on ω_{50} ω_{70} ω_{100} , representen l'ample de cuneta obtingut pel model que reté el 50%, 70% i 100% dels blocs respectivament. Per a cunetes assimilables a les proposades per Ritchie, el criteri de puntuacions és el mateix que proposa Budetta (veure Taula 3-3).

Taula 5-11. Criteri de puntuació establert per cunetes que no segueixen el model proposat per Ritchie.

Amplada de la cuneta existent d (m)	Puntuació assignada
$0 < d < \omega_{50}$	81
$\omega_{50} < d < \omega_{70}$	60
$\omega_{70} < d < \omega_{100}$	27
$\omega_{100} < d < 1,4\omega_{100}$	9
$d > 1,4\omega_{100}$	3

✓ Característiques geològiques

Les característiques geològiques, tal i com proposa Budetta, venen definides pel paràmetre SMR. (veure capítol 2). En el nostre cas, es disposa d'informes geotècnics de la zona d'estudi en els quals consten els índex SMR per diferents seccions de carretera.

✓ **Dimensions dels blocs o volum del material després**

El volum del material després, s'ha obtingut de ponderar les sortides de diferents volums potencials per les seves proporcions en cada talús. Així s'ha obtingut un volum potencial ponderat per a cada secció.

✓ **Característiques climàtiques de la zona**

Les característiques climàtiques de la zona, venen determinades en bona mesura per la pluviometria de la zona. En el cas d'estudi, la pluviometria anual de la zona és superior als 1.200 mm i per tant se li assigna la puntuació més desfavorable de 81 punts. Tot i que aquest paràmetre es té en compte al calcular l'índex final, aporta la mateixa contribució en totes les seccions i per tant no és un paràmetre determinant.

✓ **Història prèvia d'esllavissades**

Per evitar la influència dels possibles errors en quant a la localització de les esllavissades en el registre, s'ha optat per considerar una freqüència subjectiva a cada secció en funció de l'experiència dels propis operaris de manteniment. Per això s'ha estimat la freqüència en funció del seu ordre de magnitud tal i com es mostra en la Taula 5-12.

Taula 5-12. Equivalències freqüència subjectiva-freqüència anual assignada.

Freqüència subjectiva	Freqüència anual assignada
1 esllavissada cada 10 anys	0,1
1 esllavissada cada 5-10 anys	0,15
1 esllavissada cada 1-5 anys	0,3
1 o 2 esllavissades cada any	2
> 2 esllavissades cada any	3

✓ **Percentatge de vehicles en situació de risc (PVSR)**

El percentatge de vehicles en situació de risc s'ha calculat en funció de l'expressió 3.1, per a cada secció. L'única diferència distintiva entre seccions correspon a la IMD, ja que les longituds dels talussos i el límit de velocitat són iguals per totes les seccions. En el cas del tram Zarautz-Getaria, s'ha considerat una IMD de 8.115 vehicles/dia, mentre que pel tram Getaria-Zumaia s'ha considerat una IMD de 6.052 vehicles/dia.

✓ **Percentatge de la distància de visibilitat de presa decisió**

El percentatge de la distància de visibilitat de presa de decisió a cada tram, s'ha calculat mitjançant el mapa topogràfic de la zona en format CAD. Tot i que no és la forma més estricta de fer-ho ja que no es té en compte el traçat en alçat ni la presència d'elements que puguin dificultar la visió, estalvia haver de fer les mesures *in situ* amb el temps que això comporta. Per fer-ho, s'han discretitzat els percentatges de la distància de visibilitat de presa de decisió mostrats a la Taula 5-13 per a cada carril. Pel que fa al valor DSD de l'expressió 3.2 s'ha pres igual a 132 metres, que correspon a considerar un temps de percepció-reacció de 1,5 segons i un

coeficient de fregament roda-asfalt de 0,334 segons la instrucció de carreteres IC3, aplicant l'expressió 5.13.

$$DSD = \frac{V \cdot t_p}{3,6} + \frac{V^2}{254(f_l + i)} = \frac{90 \cdot 1,5}{3,6} + \frac{90^2}{254(0,334 + 0)} = 132 \text{ m} \quad (5.13)$$

Taula 5-13. Valors de la distància de visibilitat de presa de decisió utilitzats.

ASD (m)	%DSD
132	100%
118	90%
92	70%
66	50%
53	40%

✓ **Amplada de la via**

L'amplada de la via ha estat mesurada directament sobre el terreny considerant els vorals pavimentats.

Cal destacar que els tres darrers paràmetres (percentatge de vehicles en situació de risc, percentatge de la distància de visibilitat de presa de decisió i amplada de la via) pertanyen al grup de paràmetres que afecten a la part de conseqüències mentre que la resta de paràmetres afecten a la part de puntuació de perillositat.

5.8.2.2 Paràmetres utilitzats per a seccions amb corrents d'arrossegalls

Pel que fa a les seccions amb possibles casos de corrents d'arrossegalls, s'han utilitzat els mateixos paràmetres que en el cas de despreniments rocosos a excepció de les característiques geològiques del massís, el volum del material després i la freqüència dels esdeveniments que han estat modificades per l'angle del talús, el volum potencial del corrent d'arrossegalls i el nombre de cicatrius respectivament. A continuació es dóna una explicació detallada d'aquests canvis.

✓ **Angle del talús**

En el cas de corrents d'arrossegalls generats en zones de dipòsits col·luvials, no té sentit aplicar l'índex SMR com a mesura de la propensió a donar-se l'esllavissada com en el cas dels despreniments. Per contra, l'angle del talús és un dels factors determinants a l'hora de determinar la propensió a produir-se corrents d'arrossegalls. En algunes zones dels Pirineus s'ha demostrat que existeix un valor llindar de l'angle de talús per sota del qual és gairebé impossible que es mobilitzi un corrent d'arrossegalls (Corominas et al., 2003). Per contra, a valors d'angles creixents, les forces desestabilitzadores augmenten i faciliten la formació de corrents d'arrossegalls. Els angles de cada talús s'han pogut calcular de forma aproximada sobre un mapa topogràfic en format CAD. Amb tot això els criteris seguits es mostren en la Taula 5-14.

✓ **Volum potencial**

En el cas dels corrents d'arrossegalls, els volums mobilitzats són considerablement més grans que en el cas de despreniments, ja que volums mobilitzats de desenes de metres cúbics són relativament habituals. Per aquest motiu s'ha canviat el criteri de puntuació, valorant-se, a judici d'un expert, el volum potencial mobilitzable en cada secció. Aquests criteris es mostren en la Taula 5-15.

✓ **Nombre de cicatrius**

Donat que la freqüència d'ocurrència dels corrents d'arrossegalls és més baixa que la dels despreniments i per tant es fa difícil valorar-ne la freqüència, i per altra banda no es pot discernir quins esdeveniments corresponen a corrents d'arrossegalls i quins a despreniments degut a errors de localització, s'ha optat per utilitzar el nombre de cicatrius com a mesura de l'activitat de corrents d'arrossegalls en el passat. Tot i que és cert que en alguns casos, la presència de vegetació frondosa dificulta l'apreciació d'aquestes cicatrius, a diferència dels despreniments, en general és bastant fàcil comptar el nombre de cicatrius en cada tram de 50 metres. Els criteris utilitzats són els mostrats en la Taula 5-16.

Finalment, s'han aplicat les equacions plantejades per Budetta en la Taula 3-4 a cada paràmetre i per cada secció per tal d'obtenir unes puntuacions contínues per a cada paràmetre excepte en alguns dels casos explicats prèviament on s'ha aplicat un sistema de puntuació discret. Els resultats han estat presentats en forma de gràfic combinat, considerant les puntuacions relatives a les zones de despreniments, corrents d'arrossegalls i el nombre d'esdeveniments registrats en cada secció durant el període d'estudi. Aquest gràfic es presenta en l'Annex II.

En una primera etapa, de l'observació detallada del gràfic, se'n poden destacar diversos aspectes:

En primer lloc, s'observen zones marcades al gràfic en les quals no s'ha pogut calcular l'índex RHRS per manca de dades. Aquesta falta de dades, en la majoria de casos es deu a no haver pogut disposar del paràmetre SMR en una zona de despreniments rocosos. En altres casos esporàdics, no explicats en el gràfic, tampoc s'ha pogut calcular l'índex RHRS degut a la impossibilitat de mesurar altres paràmetres de camp com el volum potencial dels despreniments, degut a la presència de vegetació frondosa que en dificultava la visibilitat.

En segon lloc tampoc s'ha calculat l'índex RHRS en zones corresponents a lliscaments translacionals, en les quals no es poden donar despreniments ni corrents d'arrossegalls, zones de terraplè o en zones en les quals el talús quedi molt lluny de la carretera i no comporti cap mena de risc.

Paral·lelament, observant la distribució dels esdeveniments registrats en el període 1994-2008 es comprova que s'han registrat esdeveniments en zones de lliscaments o en la pròpia zona urbana de Getaria. D'aquí, es pot deduir que aquests esdeveniments han pogut ser localitzats de forma incorrecta per part del servei de manteniment de la carretera, com ja s'ha mencionat anteriorment en el capítol 5-4. En el cas de la zona urbana de Getaria, si que seria possible que alguns dels esdeveniments haguessin tingut lloc en el P.K. corresponent abans de que s'urbanitzés la zona i s'hi construís un gran mur de contenció en els darrers anys.

Taula 5-14. Puntuació assignada en el cas de corrents d'arrossegalls en funció de l'angle de cabussament del talús.

Angle de talús β	Puntuació assignada
<25°	3
26° a 35°	9
36° a 45°	27
>46°	81

Taula 5-15. Puntuació assignada en funció del volum potencial mobilitzat pels corrents d'arrossegalls.

Volum potencial (m ³)	Puntuació assignada
<5 m ³	3
5 a 25 m ³	9
25 a 100 m ³	27
>100 m ³	81

Taula 5-16. Puntuació assignada en funció del nombre de cicatrius en seccions de 50 metres.

Nombre de cicatrius / 50 metres	Puntuació assignada
0	3
1	9
2	27
3 a 5	81
>5	100

També cal destacar el gran nombre d'esdeveniments succeïts en el P.K. 26+000. Tot i que aquesta zona és bastant conflictiva i hi manquen elements de protecció com cunetes, és possible que els serveis de manteniment hagin pogut assignar alguns esdeveniments al P.K. 26+000 i que en realitat hagin tingut lloc en les proximitats d'aquest punt concret. La mateixa hipòtesi podria ser igualment aplicable al P.K. 21+700 on un dels carrils transcorre a través d'un túnel natural excavat en la roca, concretament el tercer túnel que es troba en el recorregut Zarautz-Zumaia. És possible doncs, que algunes de les esllavissades desencadenades en les proximitats d'aquest P.K. hagin estat localitzades per part del servei de manteniment amb la referència "en les proximitats del tercer túnel" i finalment hagin estat assignades al P.K. 21+700.

Finalment, és important observar que zones amb un gran nombre d'esdeveniments registrats no necessàriament es corresponen amb altes puntuacions de RHRS i viceversa. Això es pot interpretar de diverses formes. En primer lloc, la freqüència dels esdeveniments és un dels molts paràmetres que intervenen en la puntuació RHRS, de

manera que pot ser que la resta de paràmetres siguin prou favorables com per compensar amb escreix una alta freqüència d'esllavissades en una secció concreta. Per exemple, una zona amb una alta freqüència de desprendiments però que mobilitzin volums petits procedents d'un talús relativament baix i que a més a més compti amb una cuneta ben dissenyada pot obtenir una puntuació RHRS més baixa que una secció amb una baixa freqüència de desprendiments, amb uns grans volums mobilitzats, procedents d'un talús prou alt i una cuneta mal dissenyada. En segon lloc, pot ser que en una certa secció s'hi hagin aplicat mesures d'estabilització que n'hagin reduït la freqüència dels desprendiments (malles, bulons, etc.), no obstant, en la puntuació RHRS aquests elements d'estabilització no hi intervenen ni s'han volgut considerar de cap manera, ja que en molts casos es troben mal estat i es mostren inefectius. En darrer lloc, s'ha de mencionar les imprecisions i la omissió d'alguns esdeveniments en el registre, que ja han estat tractades en el capítol 5-4.

En una segona etapa, s'ha comprovat que en el cas dels desprendiments les puntuacions assignades per a cada rang de valors, en els casos de volum de bloc i la freqüència dels esdeveniments, no s'adapten correctament a les circumstàncies del nostre cas d'estudi. Per aquest motiu, s'han hagut de plantejar algunes modificacions en aquests dos apartats.

5.8.2.3 Paràmetres modificats per a seccions amb desprendiments rocosos

A continuació es mostren els paràmetres modificats, el nou sistema de puntuació establert en cada cas i la justificació per la qual s'ha decidit efectuar el canvi.

✓ **Dimensions dels blocs o volum del material després**

El volum ponderat no és prou representatiu, ja que tendeix a infravalorar el volum dels blocs més grans, que són els que suposen un major risc. Per aquest motiu s'ha establert un nou sistema de puntuacions per aquest paràmetre utilitzant el volum de bloc màxim, també estimat *in situ* (Taula 5-17).

Taula 5-17. Nova puntuació assignada en funció del volum màxim de bloc.

Volum màxim de bloc (m ³)	Puntuació assignada
<0,5	3
0,5 a 1	9
1 a 5	27
>5	81

✓ **Freqüència dels esdeveniments**

El sistema de puntuacions establert per Budetta, estableix puntuacions de 9, 27 i 81 punts per freqüències anuals de 3, 6 i 9 esllavissades respectivament. Com ja s'ha explicat prèviament en el capítol 3, Budetta no explicita la longitud de talús a la qual s'han d'aplicar les esmentades freqüències. En el nostre cas, havent pres les seccions d'estudi de 50 metres, és gairebé impossible arribar a obtenir freqüències anuals de 6 i 9 desprendiments per any, fet que implica limitar les puntuacions d'aquest apartat

entre 0 i 9 punts. Per aquest motiu, s'ha decidit adaptar el sistema de puntuacions al nostre cas concret, segons els criteris establerts en la Taula 5-18.

Havent fet aquests canvis, s'han representat de nou els gràfics amb les respectives puntuacions referents a despreniments i corrents d'arrossegalls, mostrats en l'Annex III.

Taula 5-18. Nova puntuació assignada en funció de la freqüència dels despreniments.

Freqüència anual	Puntuació assignada
1 despreniment cada 5 anys o més	3
1 despreniment cada 1 - 5 anys	9
1 o 2 despreniments cada any	27
>2 despreniments cada any	81

Com es pot comprovar, les puntuacions del RHRS modificades aplicades a despreniments han augmentat lleugerament respecte les puntuacions obtingudes abans de fer els dos canvis esmentats. També s'han incrementat les diferències entre zones, fet que permet distingir les zones més crítiques a simple vista.

També cal destacar que globalment les puntuacions RHRS associades a corrents d'arrossegalls són lleugerament més altes que les obtingudes en el cas de despreniments. Tot i que les dues puntuacions no són del tot comparables, ja que alguns dels paràmetres valorats són diferents i l'escala de valors per a corrents d'arrossegalls és 20 punts superiors, el major volum mobilitzat en el cas de corrents d'arrossegalls fa que s'obtinguin valors més alts.

Al mateix temps, en l'Annex IV, s'han adjuntat els gràfics referents a les puntuacions RHRS per a despreniments i corrents d'arrossegalls amb el desglossament de puntuacions de perillositat i conseqüències. La part de puntuació de conseqüències està formada per les categories de percentatge de vehicles en situació de risc, amplada de la carretera i distància de visibilitat de presa de decisió; i és independent de si en la secció en concret hi ha despreniments o corrents d'arrossegalls. La resta de paràmetres formen la part associada a la perillositat.

D'aquests gràfics, se'n pot distingir ràpidament les seccions que suposen un major risc a nivell global i el desglossament de puntuacions entre perillositat i conseqüències.

5.8.3 Anàlisi i validació dels resultats

Pel que fa a despreniments, la secció amb un major risc és la corresponent al P.K. 21+750, amb gairebé 500 punts i on curiosament al mes de desembre s'hi va produir un gran despreniment que va afectar els dos carrils sense causar cap víctima (Figura 5-8). Tot i que la puntuació de perillositat d'aquesta secció no és la més elevada, compta amb una alta puntuació de conseqüències degut a que es troba a la sortida del tercer túnel i d'un revolt molt tancat que comporten una baixa visibilitat de presa de decisió. A més a més, durant les tasques de retirada dels detritus del despreniment esmentat prèviament,

es va constatar que els bulons que s'havien instal·lat anys enrere, es trobaven molt deteriorats i no eren suficientment profunds per travessar la fractura que havia donat lloc al despreniment i arribar al massís rocós en bon estat. Aquest fet, permetria validar el procediment utilitzat de no considerar els elements d'estabilització i contenció com malles, pantalles dinàmiques, bulons, etc. ja que si aquests no estan instal·lats correctament i no se'ls sotmet a un manteniment continu, es poden mostrar inefectius.

Altres zones a destacar, en quant a risc de desprendiments rocosos són les situades en el P.K. 19+650, 24+450 i 25+600 a 25+750. En el cas de la primera, una bona part del risc total correspon a la part de conseqüències degut a que es troba situada en les proximitats del primer túnel, en un revolt molt tancat i una amplada de calçada corresponent a la d'un sol carril (un carril passa per dintre el túnel i un altre per fora) tal i com s'observa en la Figura 5-22. En el cas de la resta de seccions, la part de conseqüències és insignificant, dons es troben en zones amb força visibilitat i una amplada de calçada força generosa, però compten amb una puntuació elevada de perillositat degut a l'alçada de talús, freqüència i volum dels esdeveniments. En el cas particular del tram comprès entre el P.K. 25+600 al P.K. 25+750 també cal afegir la baixa efectivitat de la cuneta tot i la presència de pantalles dinàmiques.



Figura 5-22. Fotografia de la secció situada al P.K. 19+650. Font: Ikerlur.

Pel que fa a les puntuacions més desfavorables corresponents a corrents d'arrossegalls, cal destacar els P.K. 20+550 i 26+600 (Figura 5-23) amb 545 i 541 punts respectivament i obtenint puntuacions especialment altes en l'apartat de perillositat.

En quant a les seccions amb una puntuació més favorable, no n'hi ha cap que destaquí especialment. Per contra, s'observen diverses seccions que no arriben a superar els 250 punts (per exemple el P.K. 24+150 o el P.K. 25+050) i que per tant no necessitarien mesures d'estabilització urgents.

En l'Annex VII, s'adjunten les fitxes completades de cada secció i fotografies addicionals on es poden apreciar les característiques de cada secció. També s'hi adjunten els fulls de càlcul utilitzats per calcular les puntuacions RHRS.

En darrer lloc, mitjançant un programa de CAD, s'han dissenyat uns mapes de risc de la carretera, que permeten veure de forma ràpida i intuïtiva les zones que suposen un major risc. En aquests mapes s'ha marcat el risc obtingut al aplicar les puntuacions del RHRS després d'incloure les modificacions pertinents en el cas dels despreniments i analitzades en el capítol 5.8.2.3. El codi de colors utilitzat és el mostrat en la Taula 5-19. En el cas de zones amb puntuacions relatives als corrents d'arrossegalls i a despreniments, s'ha utilitzat la puntuació més desfavorable de les dues. Les zones no marcades, corresponen a les zones on no s'ha calculat l'índex RHRS degut a diversos motius com falta de dades, zones de grans lliscades, etc. Aquests mapes es poden consultar en l'Annex V.

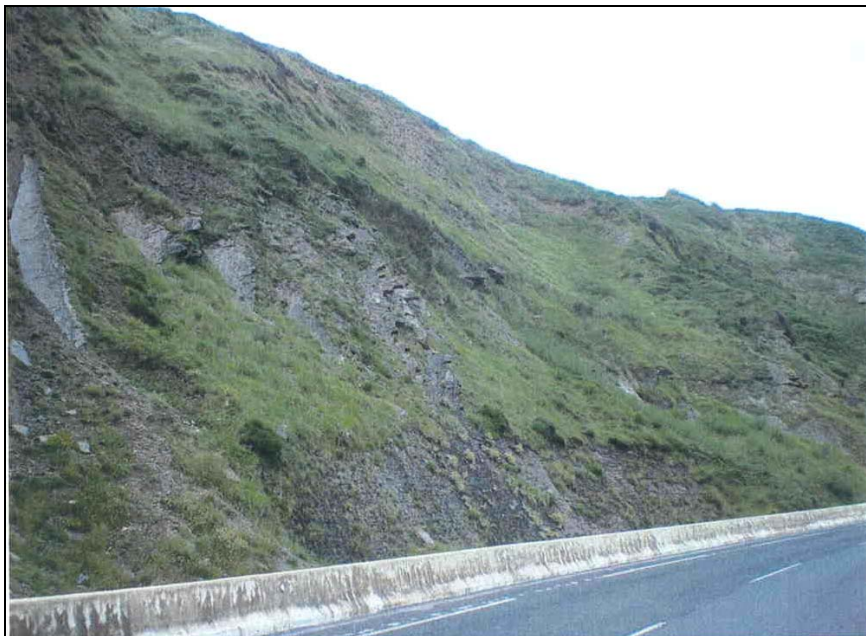


Figura 5-23. Exemple de la secció situada al P.K. 26+600.

Taula 5-19. Codi de colors i risc qualitatiu en funció de la puntuació obtinguda al aplicar el RHRS.

Rang de puntuació en el RHRS	Risc qualitatiu	Codi de colors
POBLAT	ZONA DE POBLAT	
<270	RISC BAIX	
270 – 345	RISC MODERAT	
345 – 420	RISC ALT	
>420	RISC MOLT ALT	

6 Conclusions

Després d'haver realitzat tot l'estudi, s'ha pogut arribar a extreure una sèrie de conclusions que s'exposen a continuació:

- a) La gran majoria de mètodes d'anàlisi del risc i la perillositat, així com anàlisis complementaris de magnitud – freqüència o intensitat de precipitació – durada de l'episodi de pluja es basen en disposar de la freqüència i la magnitud de les esllavissades. Com s'ha explicat al llarg del capítol 5, en la majoria de casos és difícil poder comptar amb un registre complet i exhaustiu que permeti establir la freqüència dels esdeveniments de forma fiable. Aquest fet fa que alguns autors hagin proposat mètodes alternatius per tal d'obtenir valors de la freqüència de les esllavissades en el passat. En el nostre cas particular, es disposa de suficients elements de judici que permeten assegurar que no només no es disposa d'un registre d'esllavissades complet i que compti amb totes les dades necessàries, sinó que part de les dades són errònies i poden contenir imprecisions. Aquestes imprecisions poden arribar a ser prou importants com per afectar de manera considerable els estudis posteriors. En aquest sentit, caldria fer un esforç per part de les administracions competents per mantenir un registre complet que permetés efectuar nous estudis en el futur i poder fer un seguiment de les mesures d'estabilització i protecció implementades. Per aquest motiu, en l'Annex VI s'adjunta un model de fitxa bàsica que ha de ser omplert amb les dades de cada esdeveniment, parant especial atenció a no cometre errors de localització. Aquests errors podrien ser minimitzats de forma senzilla i econòmica, proporcionant als serveis encarregats del manteniment de mapes a gran escala o fins i tot d'un aparell de localització via GPS que permeti una localització més acurada de les esllavissades.
- b) Els mètodes d'anàlisi del risc compten amb un desenvolupament relativament recent que no ha permès trobar un procediment establert de forma unànime per part de la comunitat científico-tècnica i enginyeril. Uns dels aspectes que dificulten el desenvolupament d'un criteri únic són la gran varietat de tipus de vessants i desmunts, mecanismes desencadenants, mecanismes de trencada i propagació i tècniques d'estabilització i protecció. Això provoca que sovint sigui necessari adaptar els diferents mètodes existents a les particularitats específiques de cada zona d'estudi.
- c) Per efectuar una anàlisi quantitativa del risc que sigui prou representativa del risc real que suposa la presència d'esllavissades en una carretera, cal disposar no només d'un registre d'esllavissades complet sinó també d'una sèrie de paràmetres que avaluin la vulnerabilitat dels ocupants dels vehicles, probabilitat d'accident donades unes certes circumstàncies, etc. Degut a la complexitat de molts d'aquests paràmetres i a les gran variabilitat dels mateixos en funció de les circumstàncies, tipus de vehicle, habilitat del conductor, etc fa que en l'actualitat, no es disposin de gaires estudis al respecte i que sovint s'acabin establint els valors d'aquests paràmetres de forma subjectiva. En el nostre cas, al no disposar de prou informació, s'han utilitzat els mateixos paràmetres utilitzats per alguns autors en estudis similars, tot i que pot ser que no siguin prou

representatius del nostre cas d'estudi. Amb tot això, el resultat del risc obtingut, és altament sensible a petits canvis en els valors d'aquests paràmetres, pel que caldria centrar esforços en obtenir uns criteris que s'adaptessin a les particularitats de cada cas concret.

- d) Els resultats del risc d'accident i de pèrdua de vida, haurien de ser comparats amb uns valors llindars establerts per part de les administracions i organismes competents. Aquests valors llindars estan ben definits pel cas d'obres d'enginyeria que puguin afectar un gran nombre de persones simultàniament, com plantes nuclears, plantes químiques o preses. Aquest fet, demostra una major sensibilitat per part de la societat per controlar els perills que afecten un gran nombre de persones. En els casos prèviament mencionats, el risc global i el nombre de persones afectat queda perfectament determinat en funció del grau de fallada i el període de retorn associat. En el cas del risc d'esllavissades en carreteres, encara no s'ha establert un consens per determinar la unitat a la qual cal normalitzar el risc. Alguns autors consideren com a unitat de mesura tota una carretera gestionada per una mateixa administració com a part d'un únic projecte. Aquesta visió no és del tot objectiva, ja que un mateix projecte es podria fraccionar a conveniència i de forma arbitrària per tal d'obtenir valors del risc acceptables per a cada tram. Per contra, altres autors proposen, amb més encert, normalitzar el valor del risc per vehicle i unitat de longitud de carretera (per exemple per un tram de 500 metres). Aquesta forma de calcular el risc seria assimilable a la forma d'expressar el risc en el cas dels diferents mitjans de transport (morts/any per viatger i km).

7 Bibliografia

Bieniawski, Z.T. 1979. "The geomechanics classification in rock engineering application." *Proceedings 4th International Congress of the International Society for Rock Mechanics*, Montreux, Switzerland. **Vol. II**: 41-48.

Budetta, P. 2004. "Assesment of rockfall risk along roads". *Natural Hazards and Earth System Sciences*. European Geosciences Union. **Vol. IV**: 71-81.

Brand, E.W. 1985. "Predicting the performance of residual soil slopes." *Proceedings 11th Int. Conf. Soil Mech. & Found. Engineering*. San Francisco. **Vol. V**: 2541-2578.

Bunce, C.M., Cruden, D.M., Morgenstern N.R. 1997. "Assesment of the hazard from a rock fall on a highway." *Canadian Geotechnical Journal* **34**: 344-356.

Caine, N. 1980. "The rainfall intensity-duration control of shallow landslides and debris-flows." *Geografiska Annaler* **62 A**: 23-27.

Chau, K.T., Wong, R.H. C., Liu, J. i Lee, C. F. 2003. "Rockfall Hazard Analysis for Hong Kong Based on Rockfall Inventory." *Rock Mechanics and Rock Engineering* **36**: 383-408.

Corominas, J. 2000. "Landslides and Climate." en *VIII International Symposium on Landslides*. E.N. Bromhead (ed.). Cardiff, UK, Keynote lectures.

Corominas, J.; Moya, J. & Hürlimann, M. 2002. "Landslide rainfall triggers in the Spanish Eastern Pyrenees." *Proceedings 4th EGS Conference on Mediterranean Storms*. Mallorca. CD-ROM.

Corominas, J., Copons, R., Vilaplana, J.M., Altimir, J.A., Amigó, J. 2003. "Integrated landslide susceptibility analysis and hazard assessment in the Principality of Andorra." *Natural Hazards* **30**: 421-435.

Fell, R., Ho, K.K.S., Lacasse, S. Leroi, E. 2005. "A framework for landslide risk assessment and management." en *Landslide Risk Management*. Hungr, Fell Couture i Eberhardt (eds). Balkema, Rotterdam: 3-26.

Fookes, P.G. i Sweeny, M. 1976. "Stabilization and control of local fockfalls and degrading rock slopes". *Quart. J. Eng. Geol.* **9**: 37-55.

Glade, T., Crozier, M., Smith, P. 2000. "Applying probability determination to refine landslide-triggering rainfall thresholds using an empirical Antecedent Daily Rainfall Model". *Pure and Applied Geophysics* **157**: 1059-1079.

Guzzetti, F., Reichenbach, P. i Wieczorek, G. F. 2003. "Rockfall hazard and risk assessment in the Yosemite Valley, California, USA." *Natural Hazards and Earth Systems Science* **3**: 491-503.

Guzzetti, F., Reichenbach, P. 2004. "Rockfall Hazard and Risk Assessment along a Transportation Corridor in the Nera Valley, Central Italy." *Environmental Management* **34 (2)**: 191-208.

Guzzetti, F., Peruccacci, S., Rossi, M., Stark, Stark, Collin. 2008 "The rainfall intensity-duration control of shallow landslides and debris flows: an update." *Landslides* **5**: 3-17.

Hoek, J., Bray, W. 1977. "Rock slope Engineering." 2a edició. The Institute of Mining and Metallurgy, London.

Hungr, O., Evans, S.G., Hazzard, J. 1999. "Magnitude and frequency of rock falls and rock slides along the main transportation corridors of southwestern British Columbia." *Canadian Geotechnical Journal* **36**: 224-238.

Hungr, O., Corominas, J., Eberhardt, E. 2005. "Estimating landslide motion mechanism, travel distance and velocity." en *Landslide Risk Management*. Hungr, Fell, Couture i Eberhardt (eds.). Balkema, Rotterdam: 99-128.

Hungr, O., Wong H.N. 2007. "Landslide Risk Acceptability Criteria: Are F-N Plots Objective?" *Geotechnical News* 2007: 2-6.

Hungr, O., McDougall, S., Wise, M., Cullen, M. 2008. "Magnitude-frequency relationships of debris flows and debris avalanches in relation to slope relief." *Geomorphology* **96**: 355-365

IUGS. 1997. "Quantitative risk assessment for slopes and landslides – The State of the Art." IUGS Working Group on Landslides, Committee on Risk Assessment, en *Landslide Risk Assessment*, Cruden i Fell (eds), Balkema, Rotterdam: 3-12.

Jaboyedoff, M., Baillifard, F., Marro, C., Philipposian, F., Roulier, J.D. 1999. "Detection of rock instabilities: Matterock Methodology." *Joint Japan-Swiss Scientific on Impact Load by Rock Falls and Design of Protection Structures. Kanazawa, Japan. 4-7 octubre de 1999.*

Johnson, K.A. & Sitar, N. 1989. "Hydrologic conditions leading to debris-flow initiation". *Canadian Geotechnical Journal*, **27**: 789-801.

Maerz, N. Youssef, A. Fennessey, T. 2005. "New Risk-Consequence Rockfall Hazard Rating System for Missouri Highways Using Digital Image Analysis." *Environmental & Engineering Geoscience* **Vol. XI, No. 3**: 229-249.

Pierson, L.A., Davis, S.A., Van Vickle, R. 1990. "Rockfall Hazard Rating System – Implementation Manual". Federal Highway Administration (FHWA), *Report FHWA-OR-EG-90-01*, FHWA, U.S. Dep of Transportation.

Ritchie, A.M. 1963. "Evaluation of Rockfall and its Control." *Highway Research Board Record* **17**. Washington D.C: 13–28..

Roberds, W. 2005. "Estimating temporal and spatial variability and vulnerability." en *Landslide Risk Management*. Hungr, Fell, Couture i Eberhardt (Eds.). Balkema, Rotterdam. 129-158.

Romana, M. 1985. "New adjustment ratings for application of Bieniawski classification to slopes." *Int. Symp. on "The role of rock mechanics"* ISRM, Zacatecas. 49-53.

Romana, M., Serón J.B., Montalar, E. 2001. "La clasificiación geomecánica SMR: Aplicación, experiencias y validación." *V Simposio Nacional Sobre Taludes y Laderas Inestables (Madrid, 27 al 30 de Noviembre de 2001)*. **Vol. I:** 393-404.

Sandersen, F.; Bakkehøi, S., Hestnes, E. and Lied, K. 1996. "The influence of meteorological factors on the initiation of debris flows, rockfalls, rockslides and rockmass stability" en *Landslides Proceedings 7th International Symposium on Landslides*. Senneset (ed.). A.A. Balkema. **Vol. I:** 97-114

Selby, M.J. 1980. "A rock mass strength classification for geomorphic purposes: with tests from Antarctica and New Zealand." *Zeitschrift für Geomorphologie* **24:** 31-51.

Ministerio de Fomento. Centro de Publicaciones 2006. "Trazado: Instrucción de Carreteras. Norma 3.1-IC" / Dirección General de Carreteras. -2ª edición – Madrid.

Whiteside, P.G.D. 1986. "Discussion on rockfall protection measures. *Conference on Rock Engineering, and excavation in an Urban Environment*." Institution of Mining and Metallurgy, Hong Kong: 490-498.

Wieczorek, G.F. 1987. "Effect of rainfall intensity and duration on debris flows in central Santa Cruz Mountains, California". Geological Society of America. *Reviews in Engineering Geology* **7:** 93-104.

Wilson, R.A., Moon, A.T. Hendrickx, M. "Application of quantitative risk assessment to the Lawrence Hargrave Drive Project, New South Wales, Australia." Informe no publicat.

Zuyu, Chen. 1995. "Recent developments in slope stability analysis. Keynote lecture." en *Proc. 8th Int. ISRM Congress (Fuji Ed)*.

8 Glossari

Aquest glossari recull la terminologia específica utilitzada al llarg de la tesina, per una millor comprensió per part del lector. Es diferencia entre la terminologia relacionada amb les esllavissades i la terminologia relacionada amb els mètodes d'anàlisi del risc i la perillositat. Pel que fa a aquesta última, s'ha utilitzat la proposada per Fell et al. (2005), ja que durant molts anys la comunitat científica ha estat utilitzant termes diferents per designar un mateix concepte. Tot i així, no sempre és fàcil trobar una traducció adequada, ja que pot ser que en anglès existeixin dos termes diferents per expressar dos conceptes amb diferències molt subtils mentre que en català quedin englobats en una única paraula.

8.1 Terminologia d'esllavissades:

Esllavissada: (*landslide*). Moviment massiu de sòl o roques en un vessant o desmunt per acció de la gravetat. Es poden distingir diversos tipus d'esllavissada, entre els quals es mencionen els següents:

Bolcada: (*topple*). És la rotació d'una massa de terra o roca cap a l'exterior del vessant. La força desestabilitzadora és la gravetat o bé l'empenta exercida pel terreny adjacent o l'aigua a les fissures. (Figura 8-1D).

Corrent d'arrossegalls: (*debris flow*). Desplaçament ràpid d'una mescla de material groller (graves i blocs), material fi (sorra, llim i argila) i una quantitat variable d'aigua, de consistència semblant a la del formigó fresc i que es propaga per onades. Els principals elements desencadenants d'aquest tipus d'esllavissades és la pluja intensa, la fusió sobtada de la neu o en alguns casos, terratrèmols. (Figura 8-1E).

Despreniment: (*rockfall*). Separació i caiguda d'un tros de sòl o roca d'una paret molt dreta, tot descrivint una trajectòria amb caiguda lliure en part del seu recorregut. El bloc que cau, un cop ha entrat en contacte amb el terreny, segueix el seu recorregut rebotant, rodolant o lliscant, fins a la seva aturada. Durant el recorregut, el bloc es pot fragmentar en blocs més petits i arribar a arrossegar altres blocs inestables en la seva trajectòria. Els principals elements desencadenants d'un despreniment són les pluges intenses, processos continuats de gel-desgel, cicles de càrrega i descàrrega i acció mecànica de les arrels dels arbres. (Figura 8-1C).

Lliscament: (*translational / rotational landslide*). Moviment d'una massa rígida de sòl o roca que té lloc per una superfície de trencament ben definida. La forma de la massa durant el desplaçament és manté a grans trets. Segons la geometria del trencament els lliscaments poden ser rotacionals, quan el moviment segueix una superfície de trencada corba i el terreny experimenta un gir, o translacionals, quan el terreny es desplaça per una superfície plana tot descrivint una trajectòria. (Figura 8-1A i 8-1B).

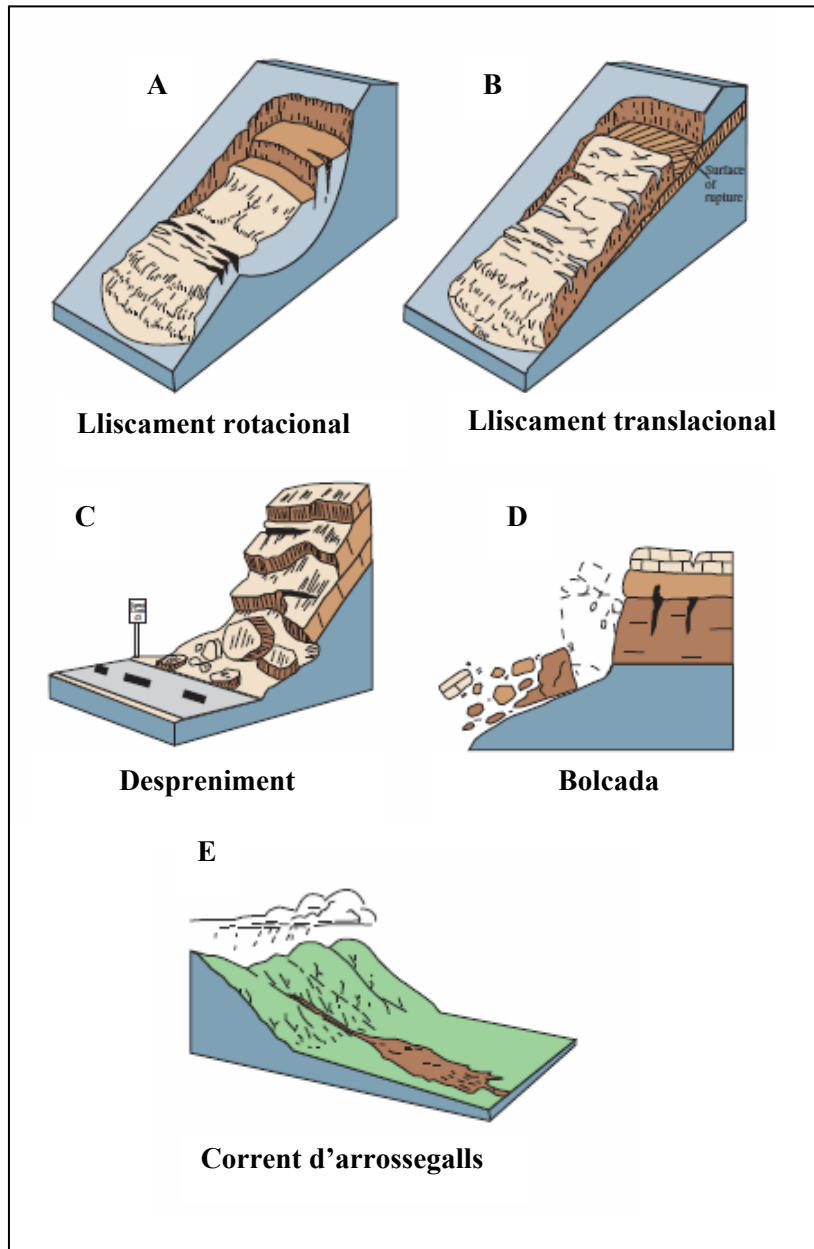


Figura 8-1. Esquemes dels diferents tipus d'esllavissades en el tram d'estudi

8.2 Terminologia associada als mètodes d'anàlisi del risc i la perillositat:

Amenaça: (*danger / threat*). El fenomen natural capaç de provocar danys materials i/o personals, descrit en termes de la seva geometria, mecànica de trencada i altres característiques. La amenaça pot ser que ja existeixi i se n'hagin observat les conseqüències (fenòmens de fluència) o una de potencial (un despreniment rocós).

Anàlisi del risc: (*risk analysis*). Utilització de la informació disponible per tal d'estimar el risc que suposa un perill per un individu o població, propietat o territori.

Anàlisi qualitatiu del risc: (*qualitative risk analysis*). Una anàlisi del risc que utilitza paràmetres descriptius o escales numèriques per descriure la magnitud de les conseqüències potencials i la probabilitat de que aquestes succeeixin.

Anàlisi quantitatiu del risc: (*quantitative risk analysis*). Una anàlisi basada en valors numèrics de la probabilitat d'ocurrència, vulnerabilitat i les conseqüències, que resulta en un valor numèric del risc.

Avaluació del risc: (*risk assesment*). El procés de presa de decisions i recomanacions sobre si els riscos existents són tolerables i les mesures existents per controlar el risc són les adequades. En cas contrari, inclou la presa de decisions sobre la conveniència d'implementar noves mesures. L'avaluació del risc inclou l'anàlisi del risc i el càlcul del risc.

Càlcul del risc: (*risk evalutation*). La etapa en la qual les valoracions entren en el procés de decisió de forma explícita o implícita, incloent consideracions importants sobre riscos estimats i les conseqüències socials, ambientals i econòmiques associades, per tal d'identificar un ventall d'alternatives per gestionar els riscos.

Conseqüència: (*consequence*). En relació a l'anàlisi del risc, el resultat d'un cert esdeveniment associat a un perill.

Control del risc: (*risk control*). La implementació de les accions per controlar el risc i l'avaluació periòdica de l'efectivitat d'aquestes accions.

Elements en situació de risc: (*elements at risk*). Població, edificis, infraestructures, espais naturals i activitats econòmiques en la zona afectada per un perill.

Freqüència: (*frequency*). Una mesura de la susceptibilitat expressada com el nombre d'ocurrències d'un cert esdeveniment en un període de temps.

Gestió del risc: (*risk management*). L'aplicació sistemàtica de les polítiques de gestió, procediments i pràctiques a les tasques d'identificació, anàlisi, avaluació, mitigació i control del risc.

Mitigació del risc: (*risk mitigation*). Una aplicació selectiva de les tècniques i principis apropiats per reduir tant la probabilitat d'ocurrència o les seves conseqüències adverses.

Perill: (*danger*). Probabilitat de que una amenaça concreta succeeixi en un cert període de temps.

Probabilitat anual d'excedència: (*annual exceedance probability*). La probabilitat estimada de que un esdeveniment d'una determinada magnitud sigui excedit un any qualsevol.

Probabilitat espacial temporal: (*temporal spatial probability*). La probabilitat de que l'element en situació de risc estigui en la zona afectada per l'amenaça en l'instant de la seva ocurrència.

Risc: (*risk*). Mesura de la probabilitat i severitat d'un efecte advers cap a la vida o salut de les persones, béns materials o el territori. També es pot definir com: risc = perill × valor potencial dels danys.

Risc per a l'individu. (*individual risk to life*). L'increment de risc per a un individu que suposa el fet d'estar exposat a un cert perill.

Risc per a la societat: (*societal risk*). El risc que comporta una afectació a gran escala i que necessita una resposta social i política.

Risc tolerable: (*tolerable risk*). El valor del risc entra dins d'un rang tal que la societat és capaç d'assumir per tal d'obtenir uns beneficis nets. És un rang de valors del risc concebut com a no negligible, però que necessita ser controlat i reduït en la mesura que sigui possible.

Vulnerabilitat: (*vulnerability*). El grau de pèrdua d'un element o conjunt d'elements dintre de la zona afectada per un perill. S'expressa en una escala de 0 (no pèrdua) a 1 (pèrdua total).

9 Annexes

ANNEX I

ANNEX II

ANNEX III

ANNEX IV

ANNEX V

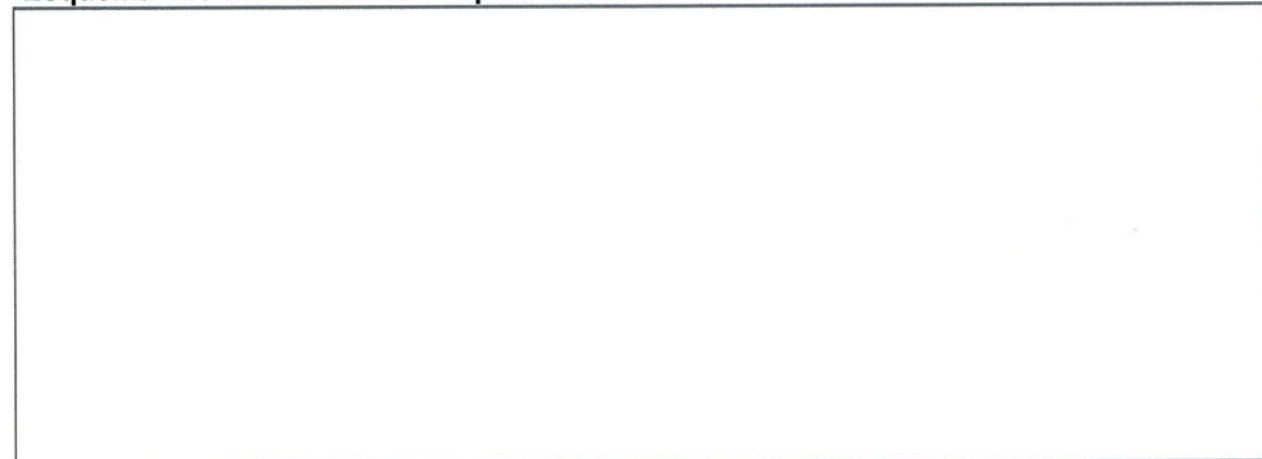
ANNEX VI

ANNEX VII

FOTO

Comentarios

Kl'gkl'sfdgklsdf ls df'gkl sjkñlsdkfjg
 Sdfgsdfgsdfgsdf g

Esquema - zonas de salida más probables

IDENTIFICACIÓN – Localización

Zona	N-634 - I.1 - Zarautz-Getaria 19+400 – 23+100	N-634 - I.2 - Getaria-Zumaia 23+100 – 27+200			
Tramo-PK-Talud		I.15	23,125	23,225	

A-GEOMETRÍA	Tipo perfil talud	Irregular					Regular				
		P-1	P-2	P-3	P-4	P-5	P-6	P-7	P-8	P-9	P-10
							X		X		
	Dir. buzamiento e inclinación										
	Altura talud (m)	60-65 m									
	Longitud talud (m)	100 m									

B-ESTRUCTURA GEOLÓGICA

Litología	4-Areniscas y conglomerados cuarcíticos, en estratos de espesor métrico a decimétrico, con intercalaciones de argilitas y calizas arcillosas, en estratos centimétricos a decimétricos.			
Disposición estructural	A Estructura desfavorable	B Estructura favorable	C Favorable con posible corriente derrubio	D Material desorganizado X

Familias principales de discontinuidades

Punto observación	Tipo de plano (1)	ORIENTACIÓN		Continuidad (m)					Espaciado (m)				
		Dirección buzamiento AZIMUT	Ángulo buzamiento	0,5	1	2	4	8	>8	<0,5	0,5-2	2-4	>4
113	E	73	33										
	J	270	69										
	J	344	70										

(1) E: estratificación; F: falla; J: junta

Impresión sobre la estabilidad del talud

Riesgo de que coluvión deslice sobre E y alcance la N-634 (PK 23,1500).
 Existe muro de pie (hormigón) . Esta celda va aumentando de tamaño a medida que se introduce texto en ella. Se puede hacer que tenga un tamaño máximo para evitar que salte de página y así se limitaría el texto a introducir

IDENTIFICACIÓN – Localización

Ficha: N-634-I2-I15-23125-23225-F60-v2

Zona	N-634 - I.1 - Zarautz-Getaria 19+400 – 23+100	N-634 - I.2 - Getaria-Zumaia 23+100 – 27+200		
Tramo-PK-Talud		1.15	23,125	23,225

DESPRENDIMIENTOS	
C1-Potencialidad y magnitud	
Nº puntos potenciales de desprendimiento / 50 m talud	<2
	3-5
	6-10
	11-20
	>20
Frecuencia relativa de volúmenes potenciales	<0,5 m ³
	0,5-1 m ³
	1-2 m ³
	2-5 m ³
	5-10 m ³
	>10 m ³
Tamaño modal bloques (Volúmenes de bloques en m ³)	<0,03
	0,03-0,125
	0,125-0,5
	0,5-1
	1-5
	>5
Tamaño máximo bloque	

CORRIENTES DE DERRUBIO	
C2-Potencialidad y magnitud	
Nº roturas potenciales / 50 m lineales de talud	<2
	3-5
	6-10
	11-20
	>20
Grosor coluvión (m)	<1
	1
	1-2
	2-5
	>5
Volumen evento potencial (m ³)	<5
	5-25
	25-100
	>100

D1-Intensidad y frecuencia	
Nº de cicatrices recientes en 50 m lineales	<2
	3-5
	6-10
	11-20
	>20
Frecuencia subjetiva: 1 caída cada	>10 años
	5-10 años
	1-5 años
	1-2 caídas /año
	>2 caídas /año

D2-Intensidad y frecuencia	
Nº de cicatrices rotura en 50 m lineales	Ninguna
	1
	1-2
	3-5
	>5
Frecuencia subjetiva: 1 rotura cada	>10 años
	5-10 años
	1-5 años
	1-2 roturas /año
	>2 roturas /año
Volumen cicatrices (m ³)	

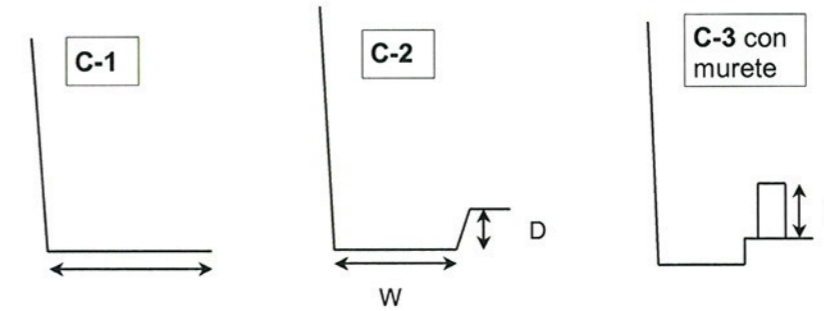
Altura y ángulo talud	
Altura (m)	<5
	6-10
	11-20
	21-40
	>40
Angulo talud	

Altura y ángulo talud	
Altura (m)	<5
	6-10
	11-20
	21-40
	>40
Angulo talud	

EXPOSICIÓN Y VULNERABILIDAD

E1- Carreteras	Descripción	Valor
Ancho	Metros	
Arcen	Si / No	
	Anchura (metros)	
Distancia a curva – sentido carril talud	Metros	
Distancia a curva – sentido carril exterior	Metros	
IMD	Vehículos/día	

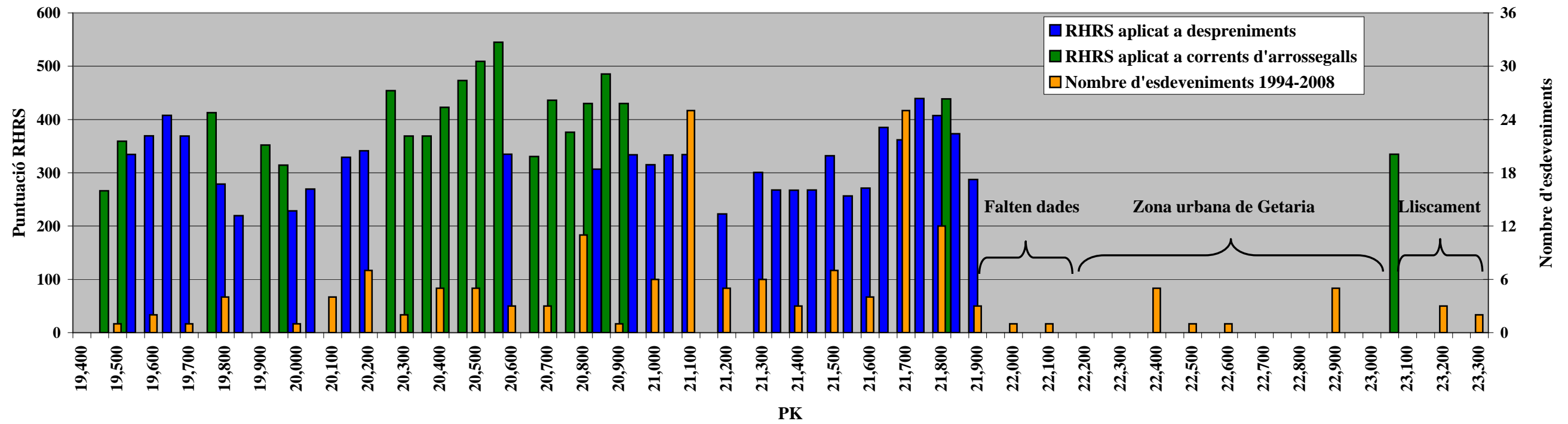
E2- Cunetas	Descripción	Valor
Existencia		
Tipología (ver esquemas)	C-1 / C-2 / C-3	
Dimensiones	Ancho (m) - W	
	Profundidad (m) - D	
	Altura Murete (m) - H	



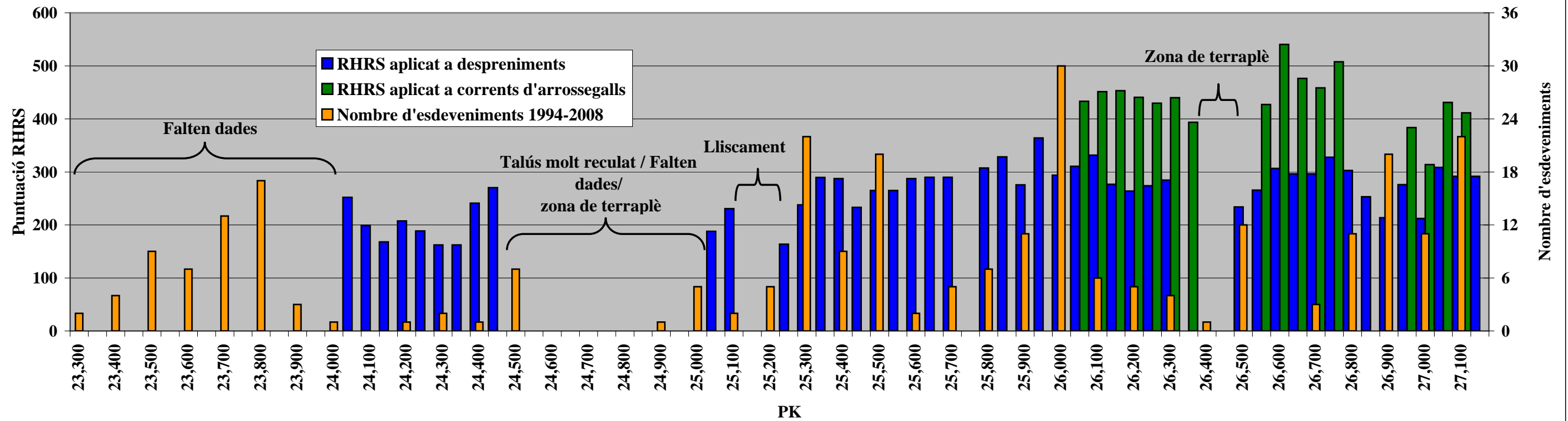
E3- Elementos de contención		
Tipo	Descripción	Estado conservación
AN-Anclajes		
BU-Bulones		
MA-Malla		
MR-Muro de recalce		
ME-Muro de escollera		
MH-Muro de hormigón		
OT-Otros		

E4- Elementos de protección		
Tipo	Características	Estado conservación
BE-Berma		
CU-Cuneta		
GA-Galería		
PD-Pantalla dinámica		
TE-Terraplén		
OT-Otros		

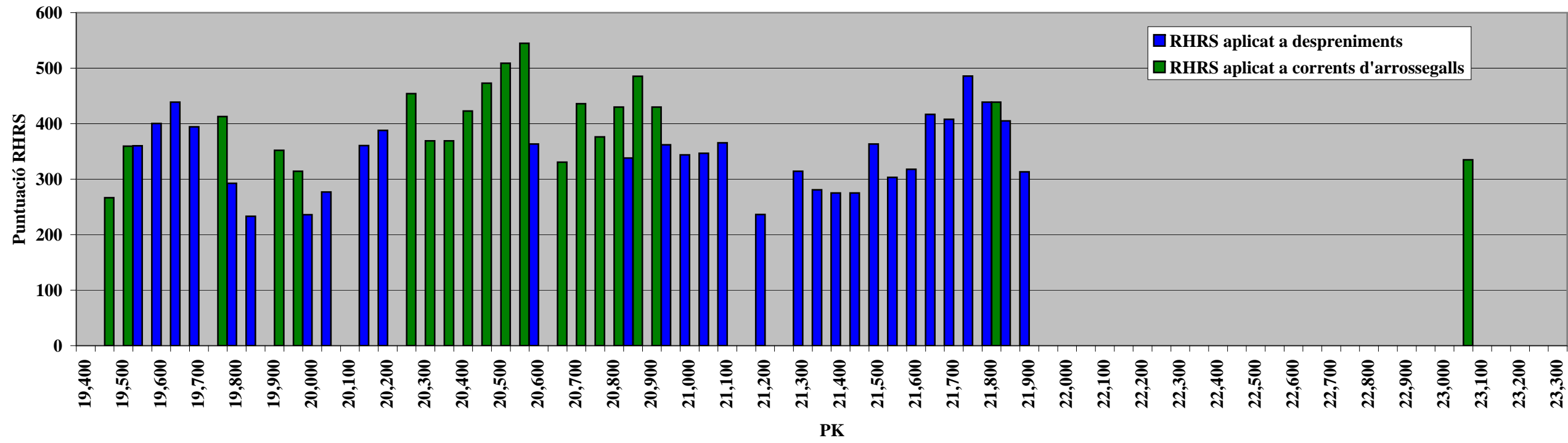
Puntuació RHRS aplicat a despreniments i corrents d'arrossegalls i nombre d'esdeveniments (1/2)



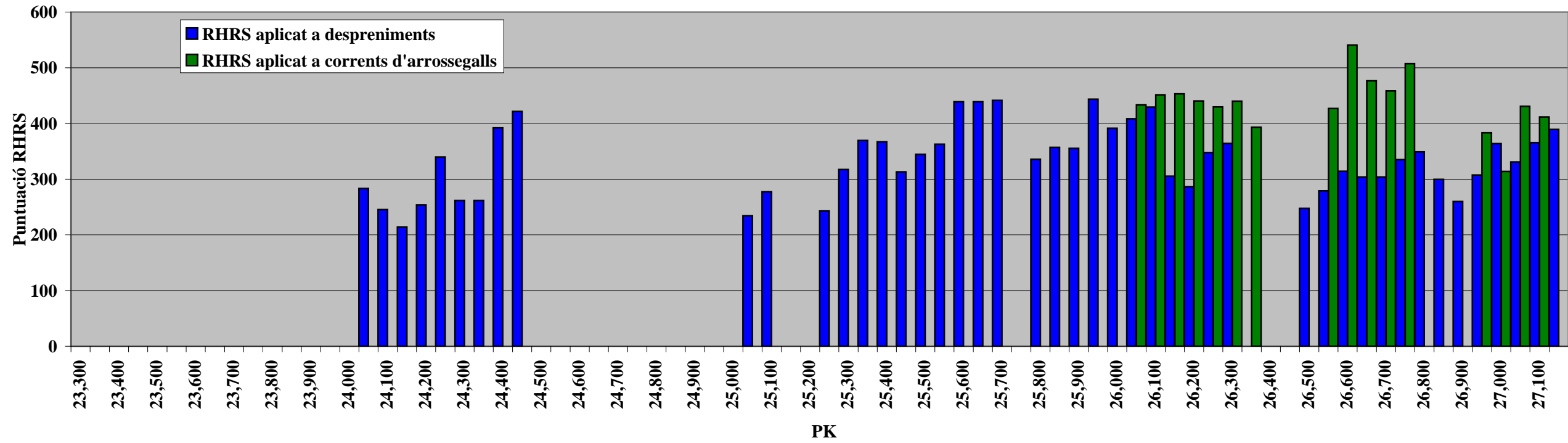
Puntuació RHRS aplicat a despreniments i corrents d'arrossegalls i nombre d'esdeveniments (2/2)



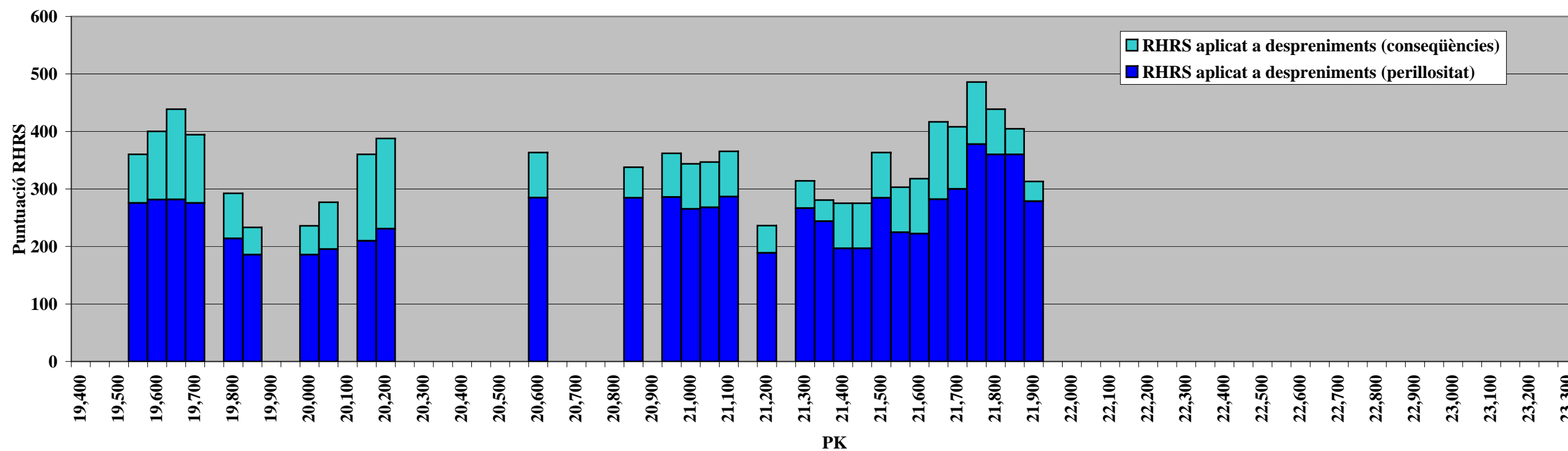
Puntuació RHRS aplicat a despreniments (modificat) i corrents d'arrossegalls (1/2)



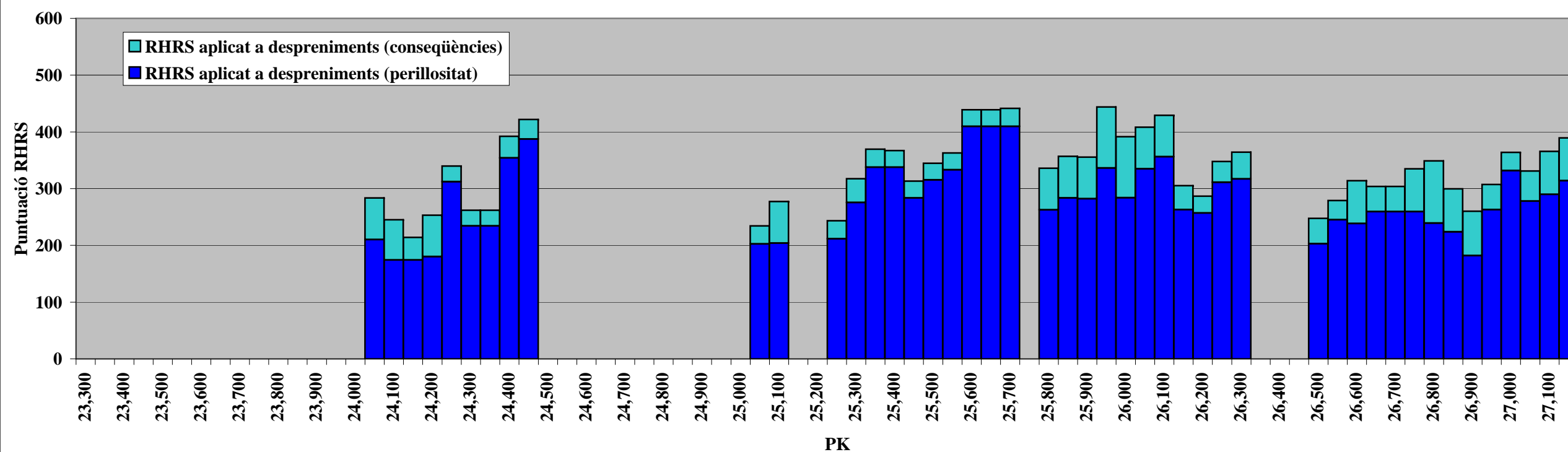
Puntuació RHRS aplicat a despreniments (modificat) i corrents d'arrossegalls (2/2)



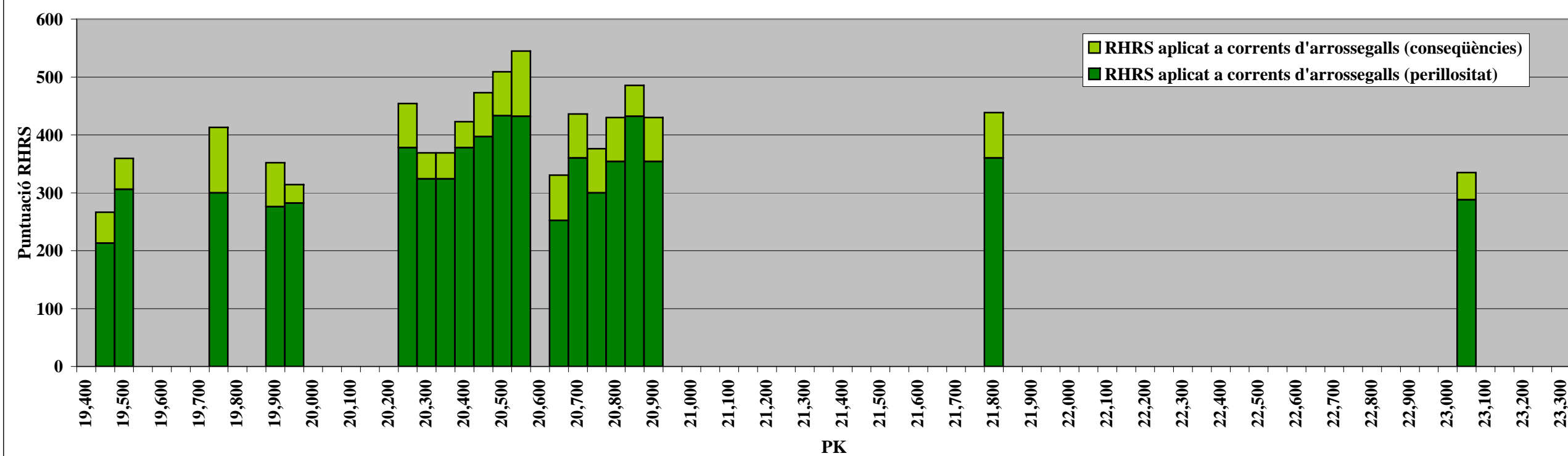
Puntuació RHRS aplicat a despreniments (modificat) (distinció entre perillositat i conseqüències) (1/2)



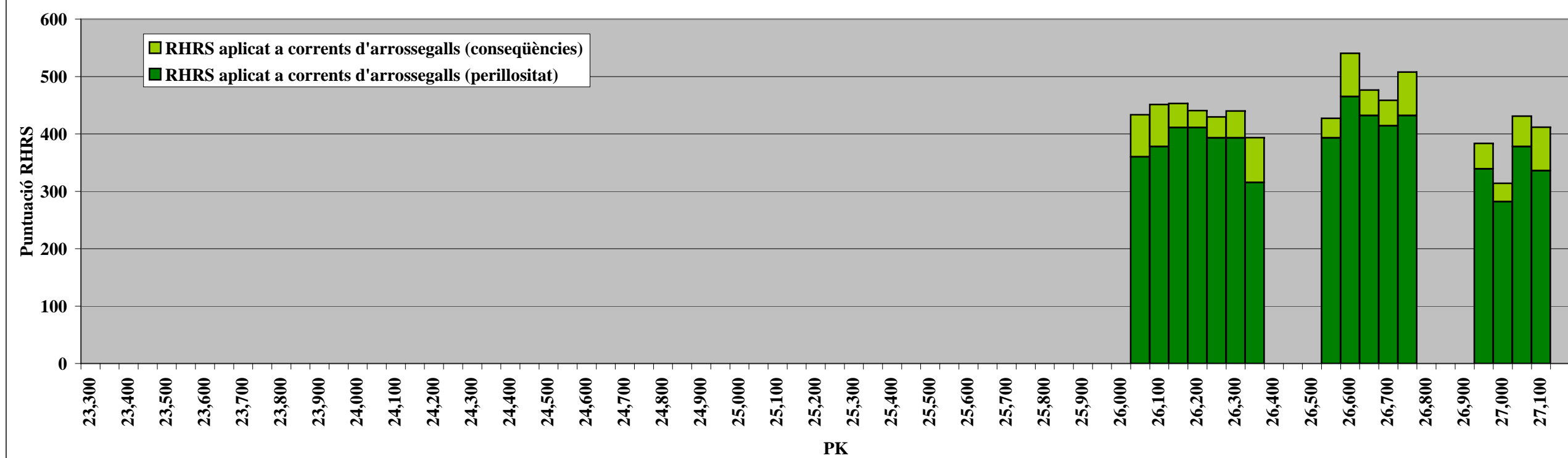
Puntuació RHRS aplicat a despreniments (modificat) (distinció entre perillositat i conseqüències) (2/2)



Puntuació RHRS aplicat a corrents d'arrossegalls (distinció entre perillositat i conseqüències) (1/2)



Puntuació RHRS aplicat a corrents d'arrossegalls (distinció entre perillositat i conseqüències) (2/2)



GETARIA

PK. 23,100

I.1-4

I.1-3

N-634

I.1-2

I.1-1

N-634

N-634

PK. 19,400

ZARAUTZ



TUTOR DEL PROJECTE
JORDI COROMINAS DULCET

AUTOR DEL PROJECTE
CARLES JURNET SASTRE

TÍTOL DEL PROJECTE
ESTUDI DEL RISC D'ESLLAVISSADES A LA CARRETERA N-634
ENTRE LES LOCALITATS DE ZARAUTZ I ZUMAIA

CLAU
-

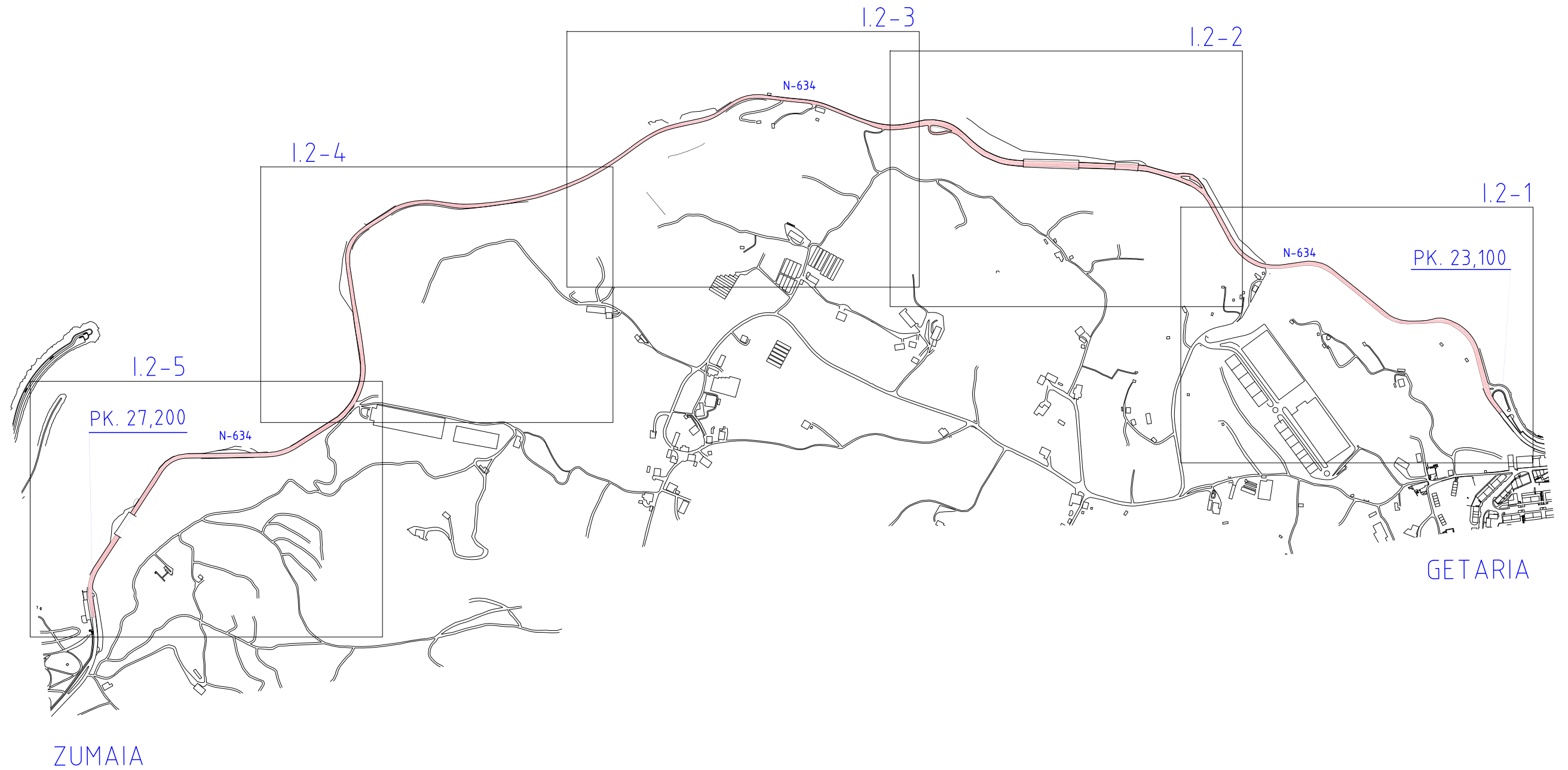
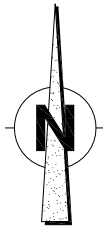
ESCALES
1:10000
ORIGINALS A3
0 250
GRAFIQUES

NOM DEL PLÀNOL:
PLÀNOL_DE_SITUACIÓ_ZONA_I.1

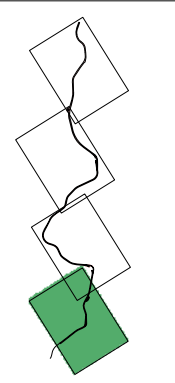
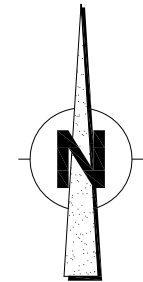
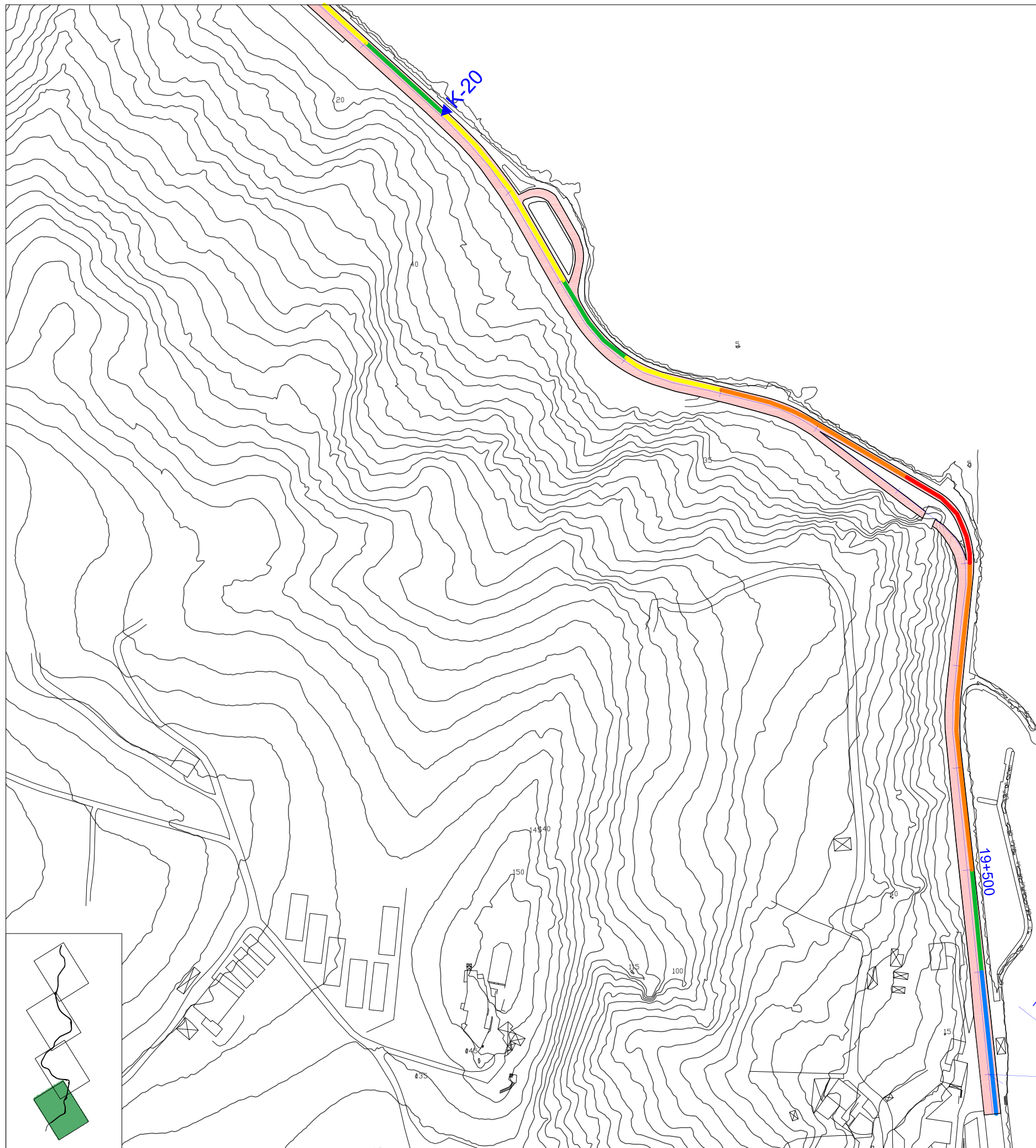
DATA:
FEBRER 2009

NOM FITXER:
-

PLÀNOL NÚM.
1
FULL...1...DE...11...

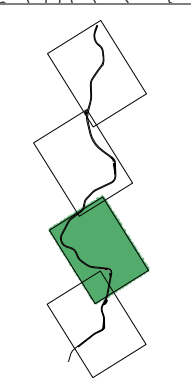
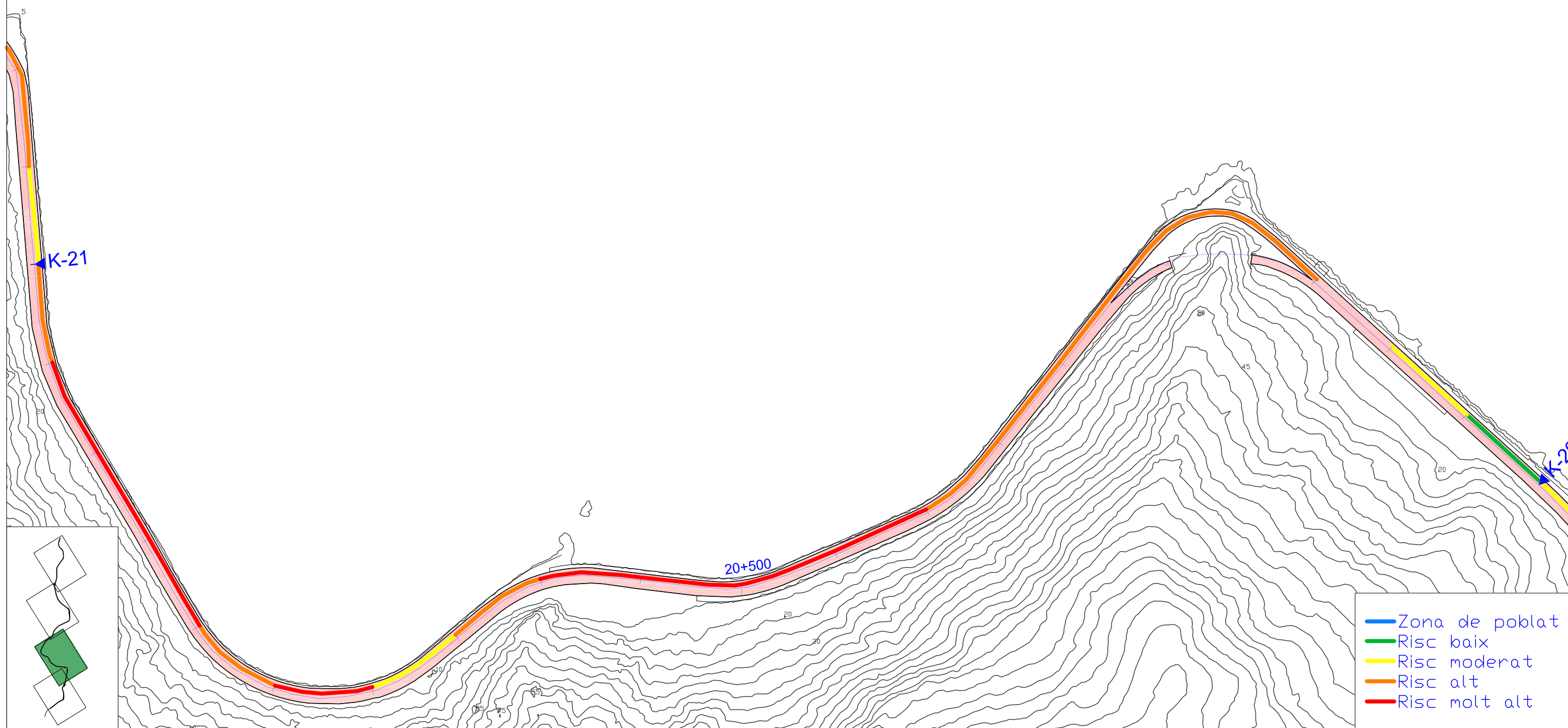
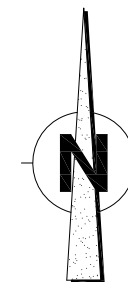


TUTOR DEL PROJECTE JORDI COROMINAS DULCET	AUTOR DEL PROJECTE CARLES JURNET SASTRE	TÍTOL DEL PROJECTE ESTUDI DEL RISC D'ESLLAVISSADES A LA CARRETERA N-634 ENTRE LES LOCALITATS DE ZARAUTZ I ZUMAIA	CLAU -	ESCALES 1:10000 ORIGINALS A3	 GRÀFIQUES	NOM DEL PLÀNOL: PLÀNOL_DE_SITUACIÓ_ZONA_I.2	DATA: FEBRER 2009 NOM FITXER: -	PLÀNOL NÚM. 2 FULL...2...DE...11...
--	--	--	-----------	------------------------------------	---------------	--	--	---



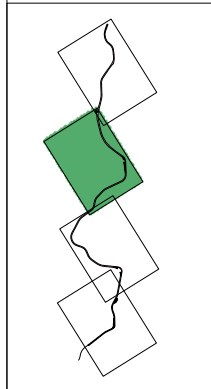
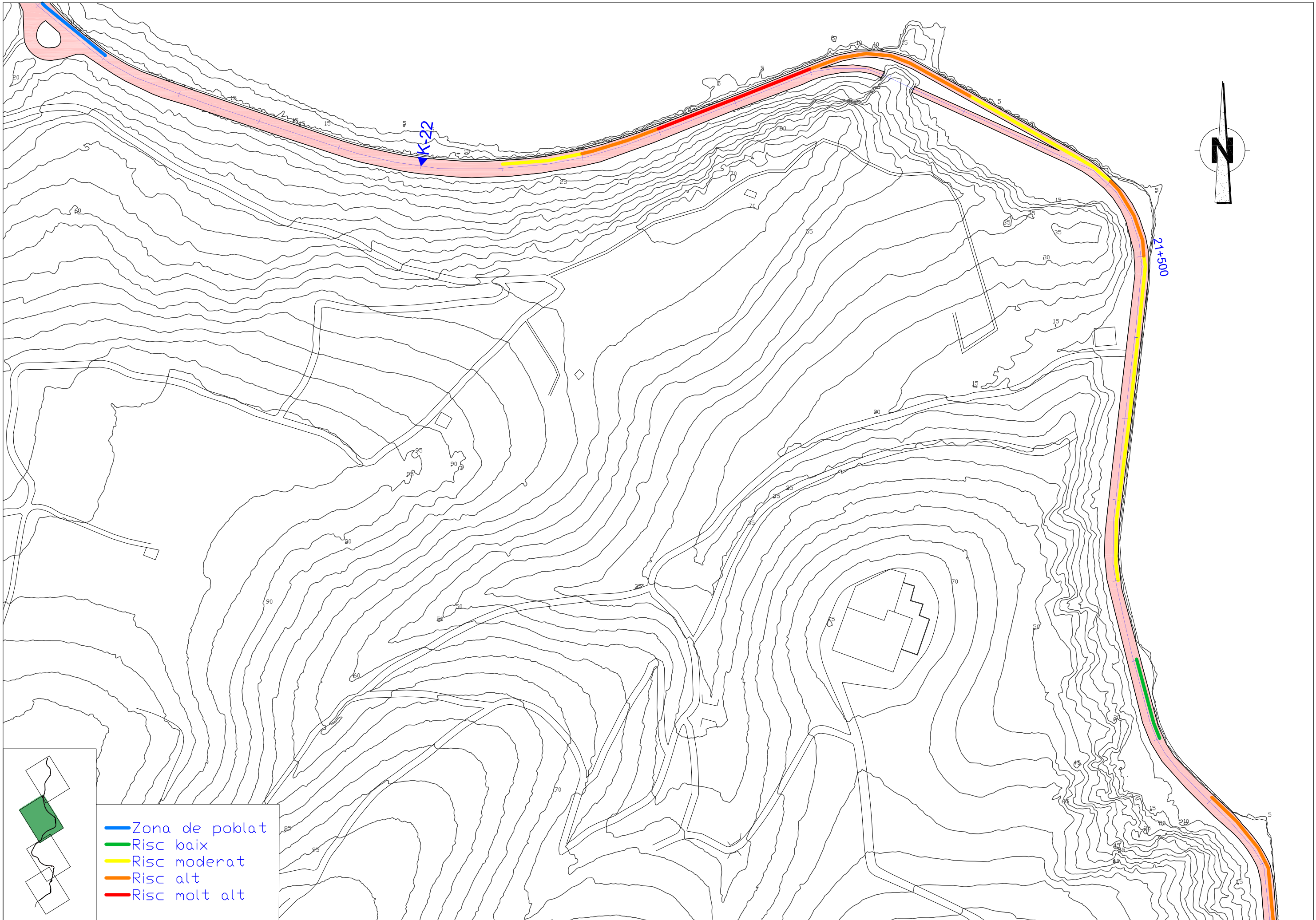
- Zona de poblat
- Risc baix
- Risc moderat
- Risc alt
- Risc molt alt

TUTOR DEL PROJECTE JORDI COROMINAS DULCET	AUTOR DEL PROJECTE CARLES JURNET SASTRE	TÍTOL DEL PROJECTE ESTUDI DEL RISC D'ESLLAVISSADES A LA CARRETERA N-634 ENTRE LES LOCALITATS DE ZARAUTZ I ZUMAIA	CLAU -	ESCALES 1:2000 ORIGINALS A3	 GRAFIQUES	NOM DEL PLÀNOL: ZONA_I.1-1	DATA: FEBRER 2009	PLÀNOL NÚM. 3
							NOM FITXER: -	FULL...DE... 3...DE...11



- Zona de poblat
- Risc baix
- Risc moderat
- Risc alt
- Risc molt alt

TUTOR DEL PROJECTE JORDI COROMINAS DULCET	AUTOR DEL PROJECTE CARLES JURNET SASTRE	TITOL DEL PROJECTE ESTUDI DEL RISC D'ESLLAVISSADES A LA CARRETERA N-634 ENTRE LES LOCALITATS DE ZARAUTZ I ZUMAIA	CLAU -	ESCALES 1:2000 ORIGINALS A3	 GRÀFIQUES	NOM DEL PLÀNOL: ZONA_I.1-2	DATA: FEBRER 2009 NOM FITXER: -	PLÀNOL NÚM. 4 FULL...4...DE...11.
--	--	--	-----------	-----------------------------------	---------------	-------------------------------	--	---



- Zona de poblat
- Risc baix
- Risc moderat
- Risc alt
- Risc molt alt

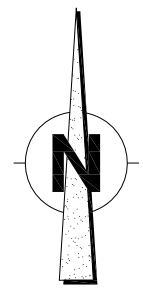
TUTOR DEL PROJECTE JORDI COROMINAS DULCET	AUTOR DEL PROJECTE CARLES JURNET SASTRE	TITOL DEL PROJECTE ESTUDI DEL RISC D'ESLLAVISSADES A LA CARRETERA N-634 ENTRE LES LOCALITATS DE ZARAUTZ I ZUMAIA	CLAU -	ESCALES 1:2000 ORIGINALS A3	 GRÀFIQUES	NOM DEL PLÀNOL: ZONA_1.1-3	DATA: FEBRER 2009 NOM FITXER: -	PLÀNOL NÚM. 5 FULL...DE...11.
--	--	--	-----------	-----------------------------------	---------------	-------------------------------	--	-------------------------------------



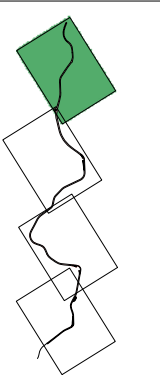
PK. 23,100

17+28

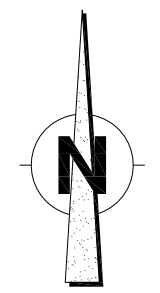
22+500



- Zona de poblat
- Risc baix
- Risc moderat
- Risc alt
- Risc molt alt

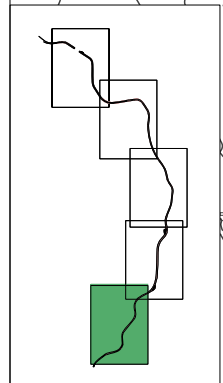


TUTOR DEL PROJECTE JORDI COROMINAS DULCET	AUTOR DEL PROJECTE CARLES JURNET SASTRE	TÍTOL DEL PROJECTE ESTUDI DEL RISC D'ESLLAVISSADES A LA CARRETERA N-634 ENTRE LES LOCALITATS DE ZARAUTZ I ZUMAIA	CLAU -	ESCALES 1:2000 ORIGINALS A3	 GRÀFIQUES	NOM DEL PLÀNOL: ZONA_I.1-4	DATA: FEBRER 2009	PLÀNOL NÚM. 6
							NOM FITXER: -	FULL...6...DE...11.

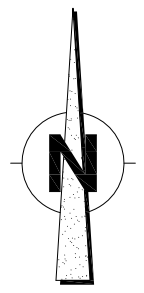
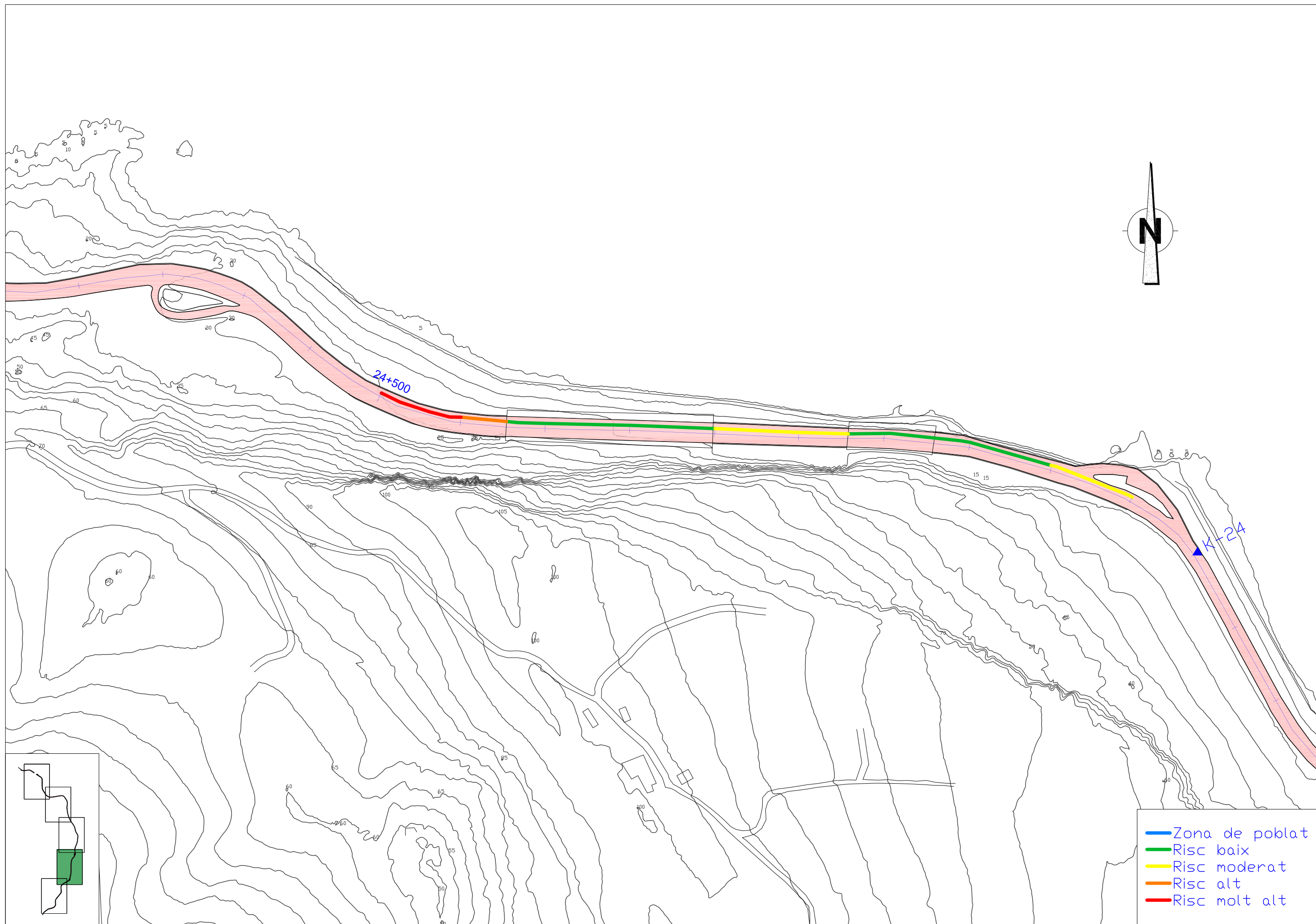


PK. 23,100

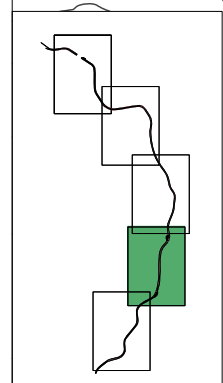
- Zona de poblat
- Risc baix
- Risc moderat
- Risc alt
- Risc molt alt



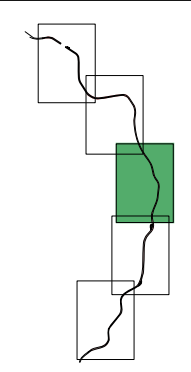
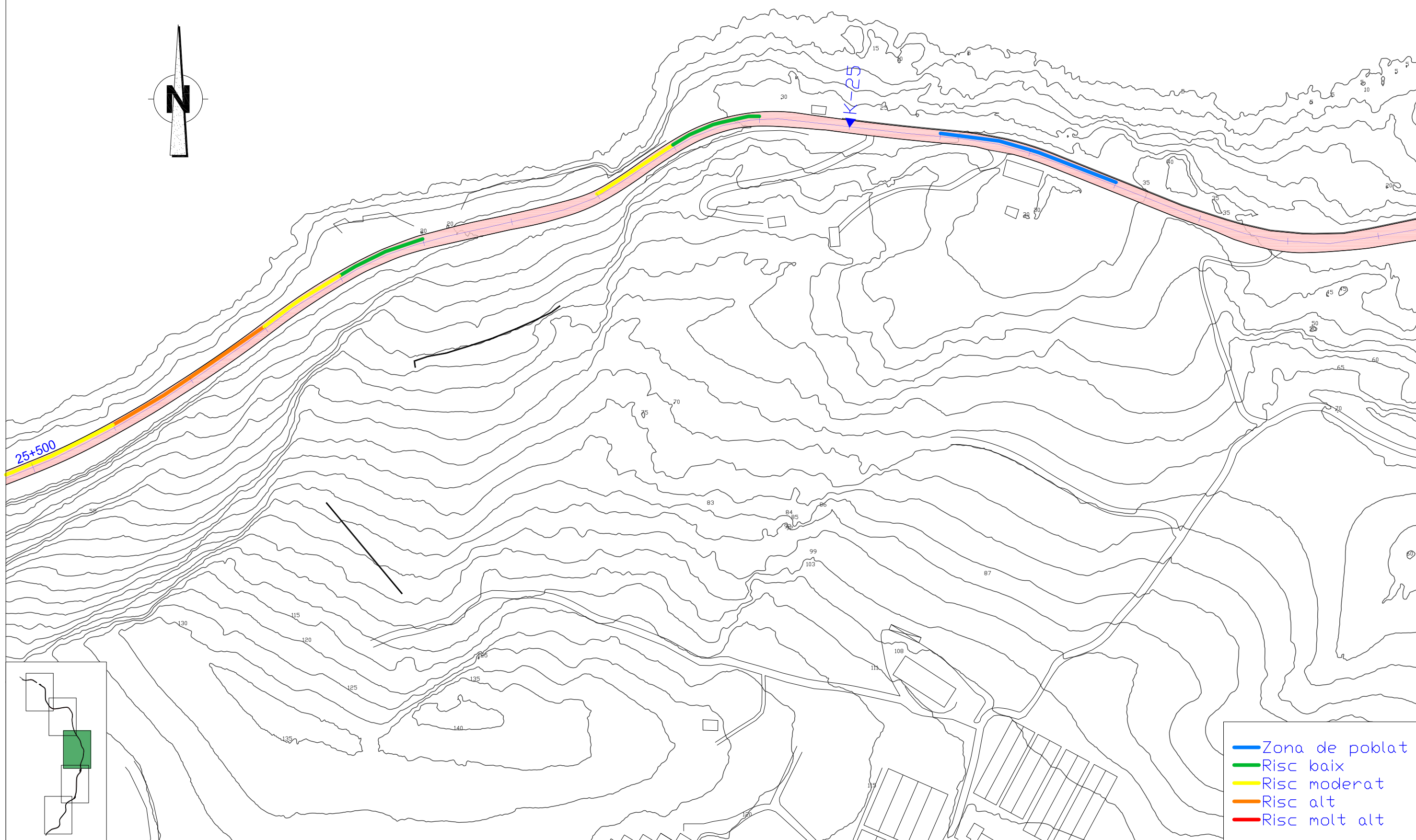
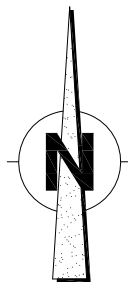
TUTOR DEL PROJECTE JORDI COROMINAS DULCET	AUTOR DEL PROJECTE CARLES JURNET SASTRE	TITOL DEL PROJECTE ESTUDI DEL RISC D'ESLLAVISSADES A LA CARRETERA N-634 ENTRE LES LOCALITATS DE ZARAUTZ I ZUMAIA	CLAU -	ESCALES 1:2000 ORIGINALS A3	 GRÀFIQUES	NOM DEL PLÀNOL: ZONA_I.2-1	DATA: FEBRER 2009 NOM FITXER: -	PLÀNOL NÚM. 7 FULL...7...DE...11.
--	--	--	-----------	-----------------------------------	---------------	-------------------------------	--	---



- Zona de poblat
- Risc baix
- Risc moderat
- Risc alt
- Risc molt alt

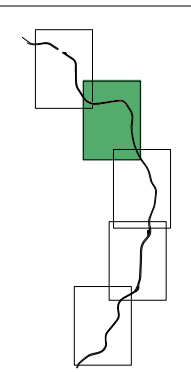
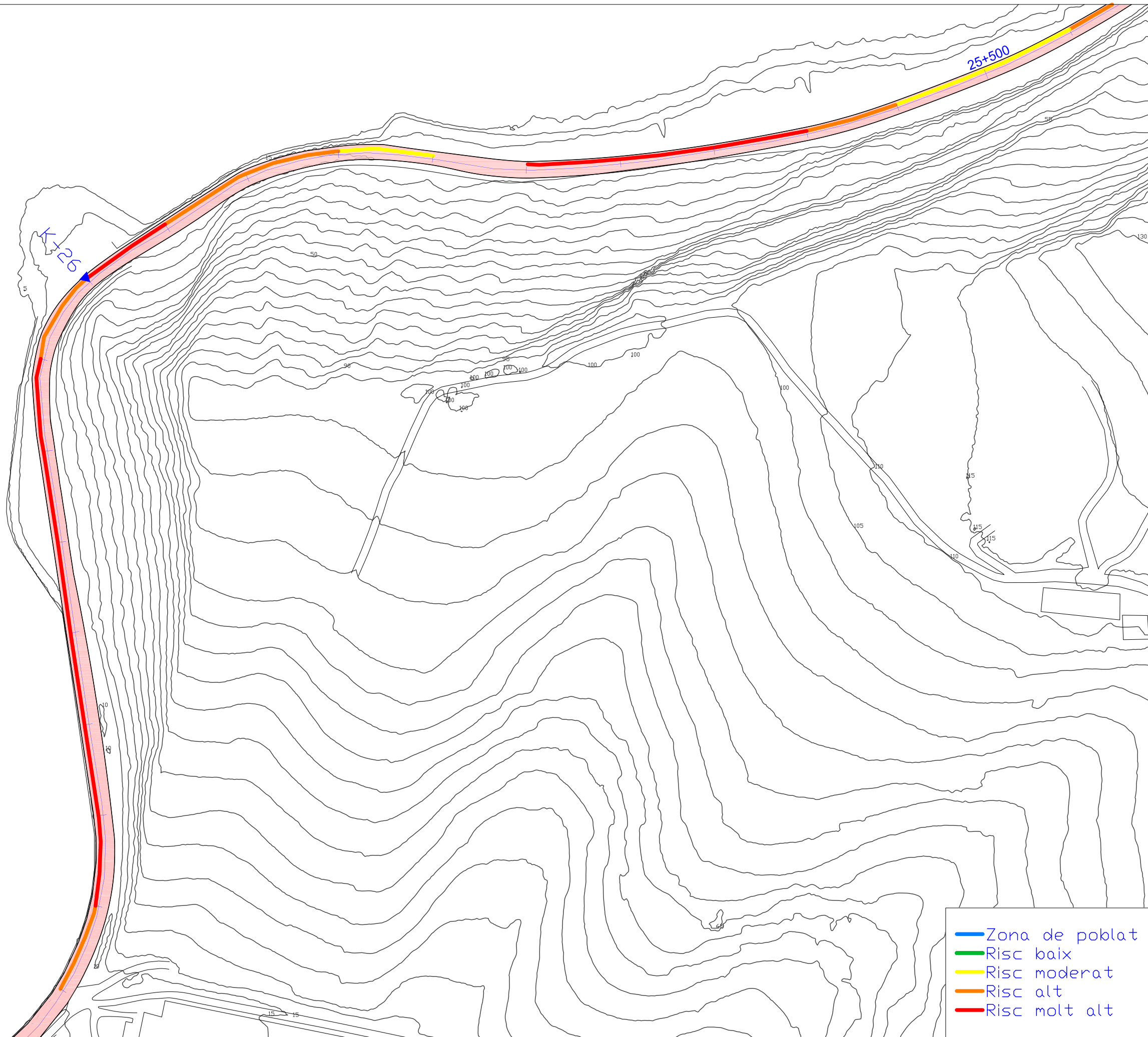
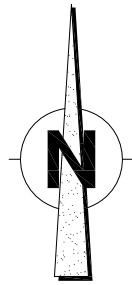


TUTOR DEL PROJECTE JORDI COROMINAS DULCET	AUTOR DEL PROJECTE CARLES JURNET SASTRE	TITOL DEL PROJECTE ESTUDI DEL RISC D'ESLLAVISSADES A LA CARRETERA N-634 ENTRE LES LOCALITATS DE ZARAUTZ I ZUMAIA	CLAU -	ESCALES 1:2000 ORIGINALS A3	 GRÀFIQUES	NOM DEL PLÀNOL: ZONA_1.2-2	DATA: FEBRER 2009	PLÀNOL NÚM. 8
							NOM FITXER: -	FULL_8...DE...11.



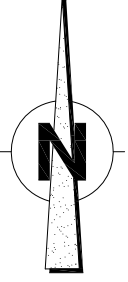
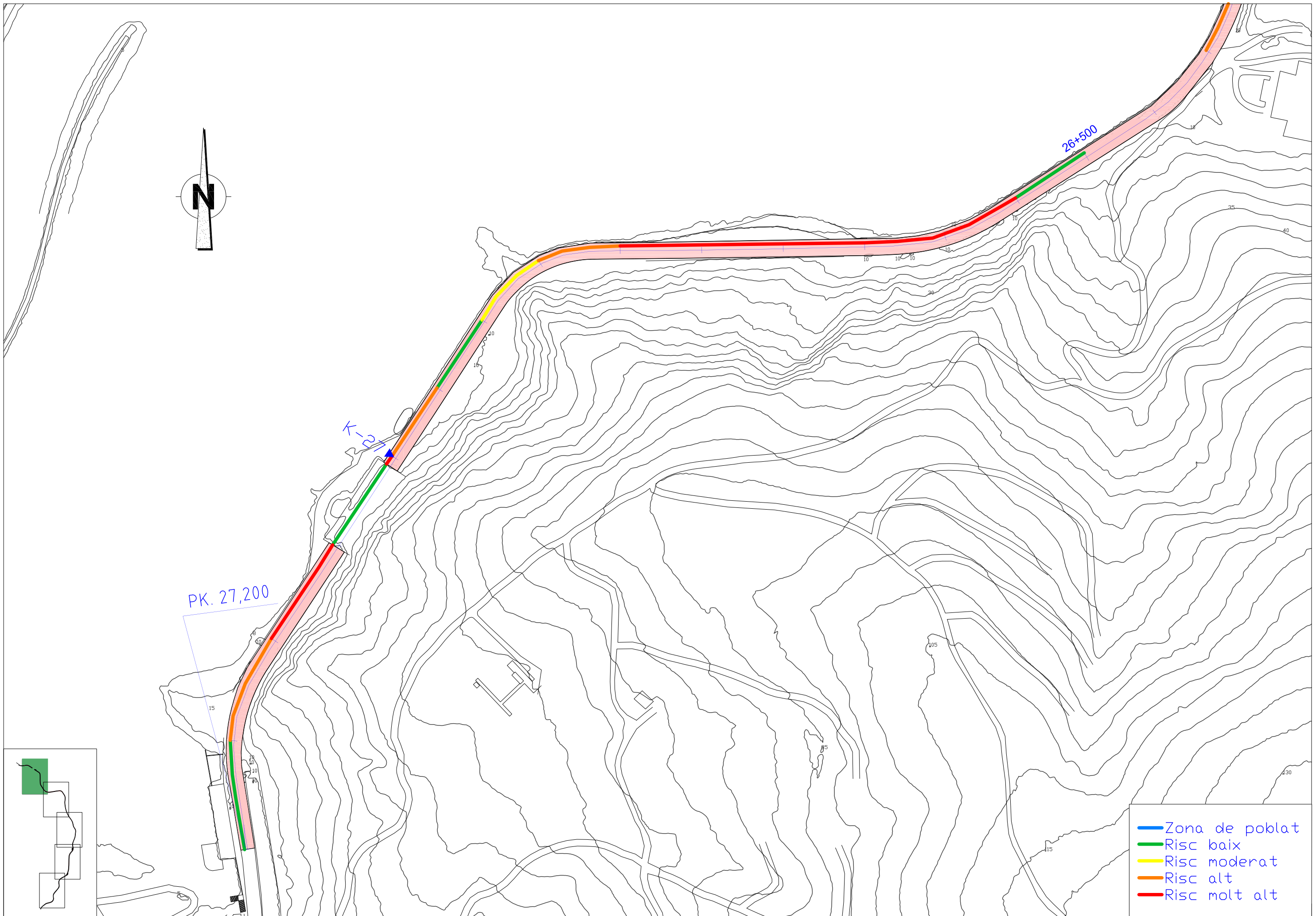
- Zona de poblat
- Risc baix
- Risc moderat
- Risc alt
- Risc molt alt

TUTOR DEL PROJECTE JORDI COROMINAS DULCET	AUTOR DEL PROJECTE CARLES JURNET SASTRE	TITOL DEL PROJECTE ESTUDI DEL RISC D'ESLLAVISSADES A LA CARRETERA N-634 ENTRE LES LOCALITATS DE ZARAUZ I ZUMAIA	CLAU -	ESCALES 1: 2000 ORIGINALS A3	0 50 GRÀFIQUES	NOM DEL PLÀNOL: ZONA_I,2-3	DATA: FEBRER 2009 NOM FITXER: C_NOM_FITXER	PLÀNOL NÚM. 9 FULL_9.....DE...11.
--	--	---	-----------	------------------------------------	-------------------	-------------------------------	---	---



- Zona de poblat
- Risc baix
- Risc moderat
- Risc alt
- Risc molt alt

TUTOR DEL PROJECTE JORDI COROMINAS DULCET	AUTOR DEL PROJECTE CARLES JURNET SASTRE	TÍTOL DEL PROJECTE ESTUDI DEL RISC D'ESLLAVISSADES A LA CARRETERA N-634 ENTRE LES LOCALITATS DE ZARAUTZ I ZUMAIA	CLAU -	ESCALES 1:2000 ORIGINALS A3	 GRÀFIQUES	NOM DEL PLÀNOL: ZONA_1.2-4	DATA: FEBRER 2009 NOM FITXER: -	PLÀNOL NÚM. 10 FULL...10...DE...11.
--	--	--	-----------	-----------------------------------	---------------	-------------------------------	--	---

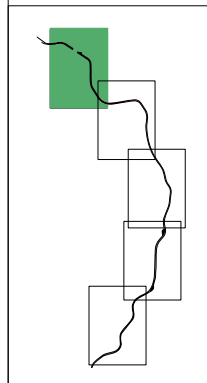


PK. 27,200

K-27

26+500

- Zona de poblat
- Risc baix
- Risc moderat
- Risc alt
- Risc molt alt



TUTOR DEL PROJECTE JORDI COROMINAS DULCET	AUTOR DEL PROJECTE CARLES JURNET SASTRE	TITOL DEL PROJECTE ESTUDI DEL RISC D'ESLLAVISSADES A LA CARRETERA N-634 ENTRE LES LOCALITATS DE ZARAUTZ I ZUMAIA	CLAU -	ESCALES 1:2000 ORIGINALS A3	0 50 GRÀFIQUES	NOM DEL PLANOL: ZONA_I.2-5	DATA: FEBRER 2009 NOM FITXER: -	PLANOL NÒM. 11 FULL...11...DE...11.
--	--	--	-----------	-----------------------------------	-------------------	-------------------------------	--	---

FICHA DE DESPRENDIMIENTO

Encargado: _____ Fecha: _____ Hora: _____

Carretera: _____ P.K (precisión de 50 o 100 m): _____

Tipo de desprendimiento y dimensiones:

- a) Desprendimiento rocoso _____ m³ volumen total _____ m carretera afectados
- b) Corriente de derrubios _____ m³ volumen total _____ m carretera afectados

Indicar modo de medición del volumen (estimación, N° de camiones, etc.): _____

En caso de desprendimiento, indicar numero de bloques y dimensiones los bloques más grandes:

N° de bloques: _____ Dimensiones: _____

Alcance:

- a) No llega a invadir la calzada (retenido en cuneta, murete, etc.) b) Sólo llega al arcén
- c) Llega al 1er carril d) Llega al 2º carril

Accidente:

- a) NO provoca accidente
- b) Desprendimiento impacta contra vehículo en movimiento
- c) Vehículo colisiona contra material en la calzada

Otras observaciones de interés:

* Hora del incidente en caso de conocerse; punto de salida del desprendimiento; dimensiones de la rotura en origen; en caso de haberlos, efectividad de los elementos de protección; N° de vehículos implicados en el accidente; posible factor desencadenante del desprendimiento, etc.

Fotos del desprendimiento:

*Tomar fotos del desprendimiento que muestren la situación, alcance, volumen (usar objeto de referencia), punto de salida y estado de los elementos de protección si los hay. Adjuntar nombres de los archivos fotográficos:

Foto 1: _____ , Foto 2: _____ , Foto 3: _____ , Foto 4: _____