

PREVISIÓN DE MOVIMIENTOS DE LADERA: INCIDENCIAS GEOTÉCNICAS Y LITOLOGÍA DEL SUBSTRATO EN LA RED DE CARRETERAS DE LA JUNTA DE ANDALUCÍA. (PROVINCIA DE JAÉN)

JC Hernández del Pozo, Doctor Ingeniero de Caminos, Universidad de Granada

I. Ocete Ruiz, Licenciado en Geología, Geotécnica del Sur

J. Hernández Garvayo, Ingeniero de Caminos, Master, Doctorando Universidad de Granada

Ramón J. García Sánchez, Ingeniero de Caminos, Jefe de Oficina Técnica de Carreteras

J.A. Jaén

RESUMEN:

Después del período de lluvias en los años 96-99, y una vez acometidos, desde los servicios de conservación como obras de emergencia, una gran parte de la restitución de los taludes que resultaron dañados, los autores han iniciado un estudio de previsión de movimientos de ladera, bien sean artificiales o naturales, definiendo los factores de riesgo en relación con las incidencias ocurridas.

Independientemente de que la causa última fuera la acumulación de agua debido a la persistencia de las lluvias, se ha propuesto la definición de factores de riesgo y su relación con las incidencias sobre la red. En esta comunicación se presenta la posible correlación entre la litología de los materiales entendida como un indicador de las características geotécnicas y las citadas incidencias.

Es interesante hacer notar que la definición de tales incidencias en un soporte de fácil manejo ayudará a la gestión de posibles deslizamientos futuros que suelen repetirse con el tiempo, que en nuestra acepción técnica hemos cambiado por condiciones residuales en lugar de condiciones de pico cuando hablamos de los parámetros resistentes del suelo que ha deslizado con anterioridad.

1.- INTRODUCCIÓN

A principio de la década de los noventa, Andalucía se vio sacudida por una sequía que duró hasta la mitad de dicha década. A partir del noventa y seis se produjo un ciclo de lluvias que superó con creces las de años anteriores.

Este ciclo duró hasta el noventa y nueve, durante el cual y posteriormente, se produjeron muchísimos deslizamientos, algunos de ellos bastante catastróficos.

Con vistas a una determinación de las causas de dichas incidencias y con la intención de prevenirlas en un futuro, nos vemos inmersos en su estudio, investigando sus causas y formas de prevenirlas.

A raíz de todo esto, se crea un amplio programa de estudio e investigación que consta de un programa bastante intenso englobando la zona de la provincia de Jaén, bajo el nombre "*los factores de riesgo en la provincia de Jaén*" y se centra en la definición de los posibles factores que hayan producido tales daños, con la ayuda de la Junta de Andalucía, empresas privadas (Probisa Tecnología y Construcción. S . A. , Geotécnica del sur. S.A.) así como la Universidad de Granada y la Fundación Empresa – Universidad de Granada Recordemos que el fin y el objetivo de este estudio es disponer de mecanismos preventivos con los que situar la posibilidad de riesgo de deslizamientos en el futuro y antes de que ocurran.

En nuestra investigación nos vamos a ceñir a las incidencias geotécnicas en la red viaria y para ser mas concretos, estudiaremos la metodología para la elaboración de un catálogo sobre la base de tales incidencias. Como la red viaria es muy extensa nos centraremos en las carreteras de la Junta de Andalucía de la provincia de Jaén.

No obstante dentro del amplio programa de factores de riesgo se están estudiando todas las redes de carreteras de la provincia.

2.- METODOLOGÍA

Nuestra investigación se basa en la definición de los distintos factores de riesgo, su influencia en la provincia de Jaén y sus formas de actuación. En esta comunicación vamos a presentar los resultados y conclusiones que hemos obtenido una vez estudiado, al que nosotros hemos llamado primer factor de riesgo y que es la litología de los materiales, sin querer decir con ello que sea el más importante, ya que aún se prosiguen las labores

investigadoras de interrelación de unos factores con otros y es pronto para aventurarnos en dar mayor importancia a un determinado.

Los factores los hemos englobado en cinco tipos que citamos a continuación:

- **Litología de los materiales:** las diferencias en las propiedades geológicas (grado de resistencia, factores estructurales) y geotécnicas se traduce en respuestas distintas ante las sollicitaciones.
- **Geometría de los taludes:** la relación entre la altura de taludes, sus pendientes y materiales que la constituyen pueden aumentar el riesgo de inestabilidad.
- **Geometría de la traza:** en otras investigaciones se ha demostrado que en presencia de concavidad, la posibilidad de deslizamiento aumentaba considerablemente.
- **Red de drenaje:** la presencia de una red de drenaje eficiente reduce en gran medida los riesgos de deslizamiento, de hecho una de las actuaciones principales en deslizamientos suele ser la de establecer redes de drenajes, por ejemplo, los famosos drenes California.
- **Obras complementarias:** alteran la estabilidad natural de taludes y a través de su incidencia sobre la vegetación, eliminan un importante agente de retención de los materiales. El simple hecho de la construcción de taludes, contribuye a la desestabilización de suelos ya consolidados.

Sin duda alguna los cinco actúan en conjunto, aunque prevalezcan unos sobre otros. En esta comunicación, solo se hará referencia al primero, sobre todo definiremos las propiedades geomecánicas del substrato sensibles al deslizamiento y su influencia en el coeficiente de seguridad.

En el análisis nos basaremos en los datos que ofrecen los mapas geológicos, esquemas, representaciones de los mecanismos de deslizamiento, y los datos e informes técnicos de las distintas incidencias ya ocurridas.

Ante todo, se va a definir de forma resumida la estructura y titularidad de la red viaria de la provincia.

3.- LA RED VIARIA DE LA PROVINCIA DE JAÉN.

La red viaria de la provincia de Jaén la podemos dividir en 4 grandes grupos:

- **Las Nacionales o del Ministerio de Fomento:**

La N-IV (Madrid-Cádiz).

La N-340 (Cádiz-Almería).

La N-432, (desde Jerez, pasando por Antequera y Granada y terminado por conectarse con la costera N-340 a la altura de Puerto Lumbreras (Murcia))

La N-334 (Sevilla-Antequera).

- **De la Confederación del Guadalquivir.**

- **De la Diputación Provincial.**

- **De la Junta de Andalucía,** se dividen a su vez en 2 grupos:

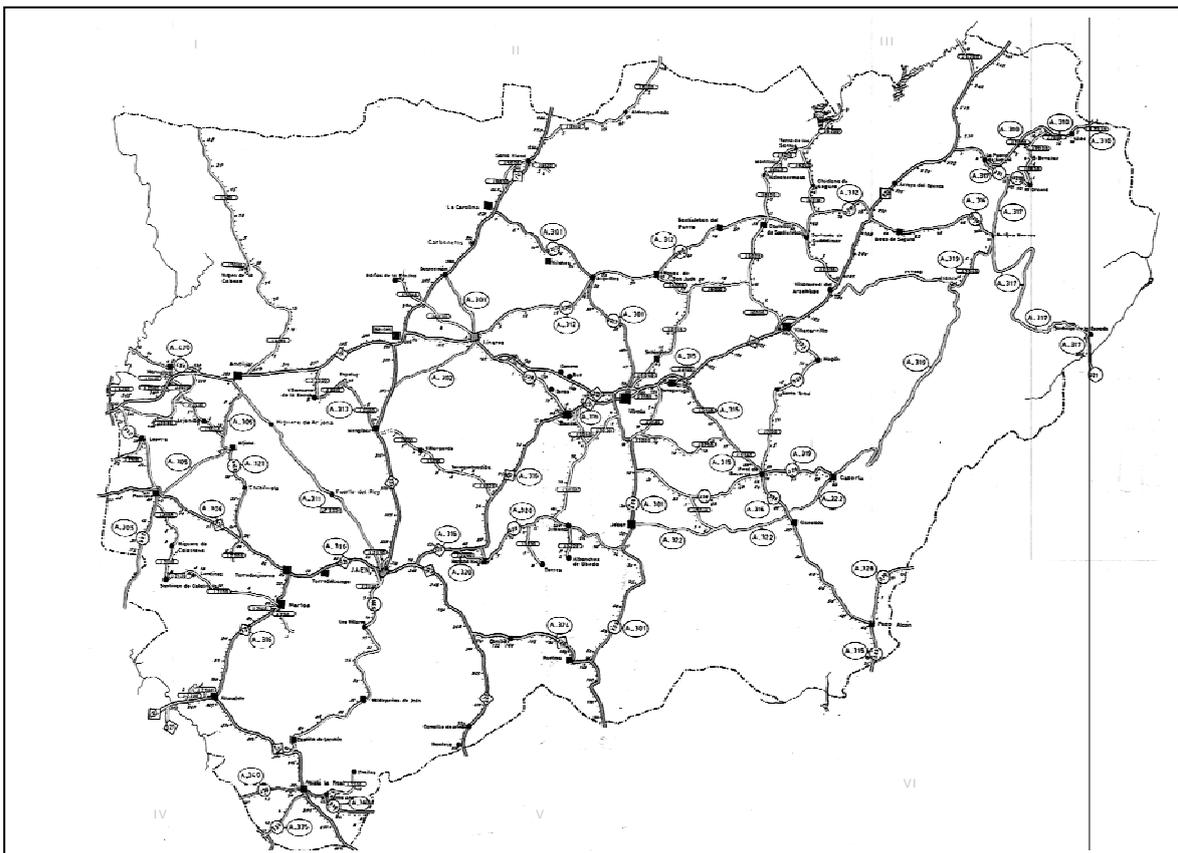
- La red principal que consta de:

- Principal-Básica.

- Principal-Intercomarcal.

- La red secundaria.

A continuación se adjunta un mapa con las distintas redes de carreteras del estado, autonómicas y de la diputación en la provincia de Jaén:



Nosotros nos centraremos en el estudio de las cuales es titular la Junta de Andalucía, que presenta ciertas particularidades que vienen indicadas en las siguientes tablas:

LONGITUD RED DE CARRETERAS DE LA PROVINCIA DE JAEN (PORCENTAJES).

PROVINCIA	LONG KM % SOBRE LA NACIONAL	AUTOPISTAS	RED NCAL. BASICA	RED NCAL, COMPLEMENT	RED REGIONAL	TOTAL RED DEL ESTADO	RED PROV. DIPUTACIONES	TOTAL GENERAL (KM)
JAEN	Longitud % sb. ncal	- -	324 2,02	475,2 2,51	885,8 1,98	1.685 2,11	1.732 2,57	8.417 2,32
ANDALUCIA	Longitud % sb. ncal	109,8 6,29	2.888 18,08	3.449,8 18,24	5.805,6 12,97	12.253,2' 15,38	10.457,9 15,47	22.601,3 15,42
ESPAÑA	longitud	1.745,1	15.975,7	18.915,8	14.745,2	79.636,7	67.282,5	146.919,2

LONGITUDES DE CARRETERAS EN LA PROVINCIA DE JAEN SEGÚN TITULARIDADES

PROVINCIA	NAC	COM	LOC	TOTAL	NAC	COM	LOC	TOTAL	DIPUTACIONES	TOTAL
Jaén	372,3	-	-	372,3	179,4	550,6	578,1	1.308,1	1.732,0	3.412,4

ANCHURA DEL PAVIMENTO. PROVINCIA DE JAEN.

RED DEL ESTADO

RED DE LAS DIPUTACIONES

PROVINCIA	De 6 a 7 m.	De 7 a 9 m.	9 m.	4,99m.	De 5 a 6 m.	6 m.
JAEN	1.282,6	381,6	20,8	1.025	106	1
ANDALUCIA	9.894,7	2.075,5	159,5	6.588,3	3,341,8	527,8
ESPAÑA	63.657,6	14.283,3	1.695,8	42.156,3	18.312,4	6.813,8

Nótese que sólo un 9,4% de las carreteras del Estado superan los 5m de anchura; siendo un 7,25% las carreteras de la red, competencia de las diputaciones, las que sobrepasan los 6m.

porcentajes claramente inferiores no sólo del teórico 17% (territorio, población), sino también del 15,3% que le correspondería en longitud del Viario.

Podemos concluir diciendo que la precaria dotación viaria de Andalucía no sólo se refiere a su escasa cantidad de vías en relación con el resto del país, sino que también afecta a la calidad de éstas.

Cabe destacar que la normativa vigente obliga a que la anchura del pavimento esté entre 6-8m, cuando la anchura de la mayoría es menor de 6m, y la ampliación de estas plataformas podría aumentar el riesgo de inestabilidad.

La presencia de bermas contribuyen favorablemente a la rotura de estos taludes en el pie de la misma.

4.- LOS DESLIZAMIENTOS, DEFINICIÓN Y MECANISMOS.

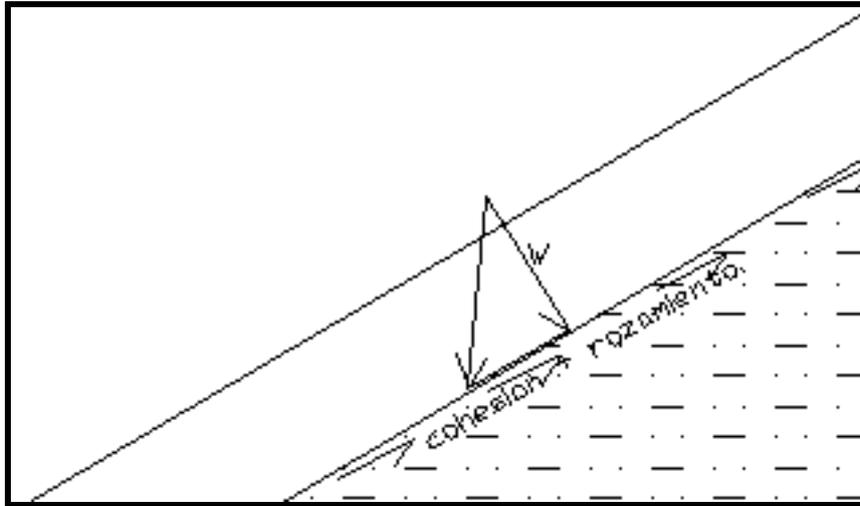
Los deslizamientos tienen lugar cuando la superficie del terreno no es horizontal. Existe un componente del peso del terreno, que tiende a provocar deslizamientos del suelo, si a lo largo de una superficie potencial de falla, deslizamiento o rotura, los esfuerzos tangenciales superan la resistencia al corte del suelo, produciéndose así un deslizamiento (ver figura1).

Es primordial definir el mecanismo de rotura para elegir el método de resolución a aplicar.

La causa de la rotura esencialmente, es la gravedad y no el agua aunque esta influye.

Ante todo hay que definir el factor de seguridad, aunque brevemente, es la relación entre la capacidad de resistir a cortante y la tensión tangencial (las primeras serian fuerzas estabilizadoras y las segundas las desestabilizadoras).

$$F_s = \frac{\text{Fuerzas estabilizadoras}}{\text{Fuerzas desestabilizadoras}}$$



Deslizamiento sobre superficie inclinada, FIGURA 1

Aunque una expresión mas adecuada y menos general seria:

$$F_s = \frac{CL + N.Tg\phi}{W.Sen\beta} = \frac{CL + W.Cos\beta.Tg\phi}{W.Sen\beta}$$

Siendo:

- C cohesión.
- β Inclinação del plano de deslizamiento.
- ϕ Angulo de rozamiento interno.
- W componente del peso de la masa deslizante.

Lo ideal es que este en valores superiores a 1.5, pero los valores habituales varían entre el 1.15 y 1.35.

En caso de que este factor sea igual o menor que 1, ocurre el deslizamiento.

El hecho de que los deslizamiento se repitan en el tiempo nos lleva a hablar de valores residuales en vez de valores de pico, lo que se traduce en reducir el valor de ϕ en $2/3$ a $1/2$.

$$\phi_{residual} = (2/3 - 1/2) \phi.$$

El **Fs** se reduce todavía mas con la presencia de humedad, aumento de la inclinación, presencia de sismo...etc. Las lluvias o la humedad influye en el factor de seguridad Fs de forma que la nueva expresión de este ultimo queda (ver figura 2):

$$F_s = \frac{(W \cdot \cos\beta - U) \cdot \text{Tg}\phi + CL}{W \cdot \text{Sen}\beta}$$

Siendo: u presión intersticial.

$$W = (\gamma - \gamma_w) \cdot b \cdot h.$$

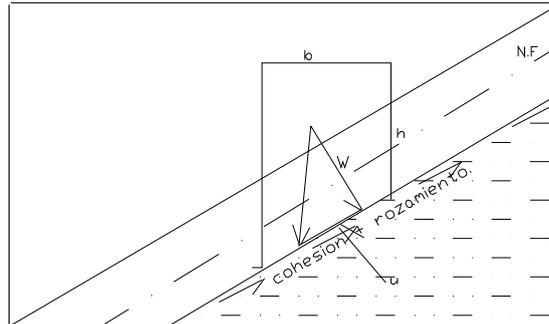


FIGURA 2

En principio la presencia de agua actúa de dos formas:

- Disminuye la resistencia a cortante.
- Genera presiones intersticiales positivas.

5.- EL FACTOR LITOLÓGICO.

Situada en el Norte de Andalucía, la provincia de Jaén se halla en la depresión del Guadalquivir y está enmarcada por las provincias de Ciudad Real y Albacete, al norte y noreste respectivamente, y por las andaluzas de Granada, al sur, y Córdoba al oeste.

El relieve jienense participa de tres grandes unidades morfoestructurales:

Sierra Morena, la depresión del Guadalquivir o Bética y las cordilleras Béticas.

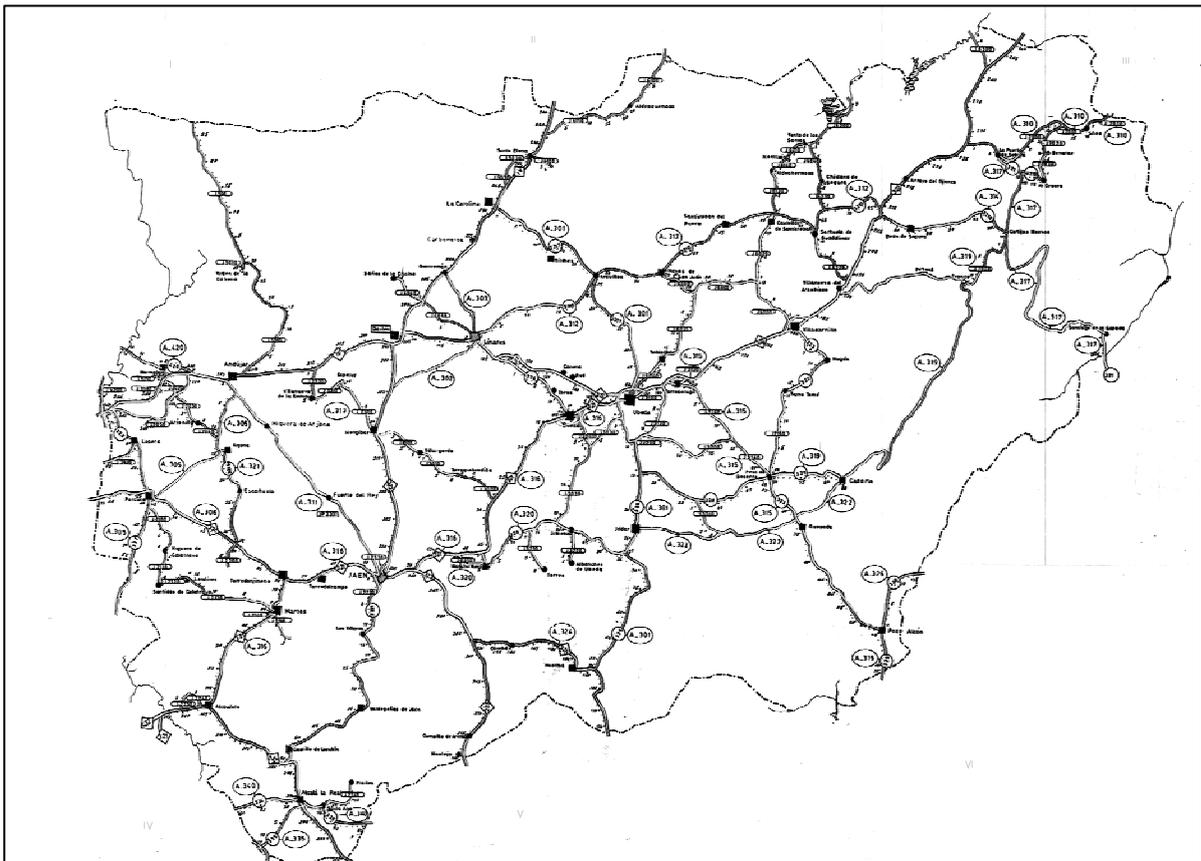
- **En Sierra Morena**, predomina el relieve de penillanura, con valles excavados en duras rocas, de cuyo color oscuro le viene tal vez el nombre.
- **La Depresión del Guadalquivir**, también llamada la Bética, se trata de una vasta depresión triangular que se extiende de oeste a este entre Sierra Morena y las Cordilleras Béticas. Al inicio es estrecha y de notable altitud (más de 500 m en la loma de Úbeda), pero se ensancha al descender hacia el Atlántico.

- **Las Cordilleras béticas**, finalmente, extensas y bajas, presentan una alineación continua que culmina en el este, en las Sierras de la Sagra, Segura, del Pozo y Cazorla.

Predomina sobre todo en esta zona el Mioceno y el Triásico (Trías), siendo menos notoria la presencia de los demás (cuaternario, jurásico, cretácico, devónico y pérmico). La litología es la siguiente:

- **Cuaternario:**
 - ✓ Conglomerados, arenas y arcillas.
 - ✓ Arenas de playa y dunas.
 - ✓ Formaciones esencialmente detríticas características marismas.
- **Mioceno:**
 - ✓ Calcarenitas, margas, yesos y calizas.
- **Triásico:**
 - ✓ Arcillas abigarradas, areniscas yesos y calizas.
- **Jurásico:**
 - ✓ Dolomías, calizas y arcillas.
- **Ordovícico:**
 - ✓ Calizas, pizarras, cuarcitas y conglomerados.

A continuación se adjunta un mapa de litología lineal en las carreteras de la Junta en la provincia de Jaén, en el que ya se puede ir apreciando la amplia presencia del mioceno en las carreteras autonómicas.



6.- RELACION DE INCIDENCIAS GEOTÉCNICAS

J-314:

- Carretera A-315 Torreperogil-Peal de Becerro

-corrección de deslizamiento:

- PK-14+750
- PK-15+000
- PK-15+700
- PK-19+000

-patologías:

- PK-5+000
- PK-6+000
- PK-7+000

J-303:

- Carretera J-303 Jaén

-corrección de deslizamiento.

C-3221:

- Carretera Jaén-Valdepeñas de Jaén.

-corrección de deslizamiento:

- PK-18+500 AL 20+000
- PK-24+800
- PK-28+000
- PK-10+500

- Riofrío -Jaén

-Deslizamiento de ladera:

- PK-18+000

- Ronda sur de Jaén

-Estabilización de los deslizamientos

- PK-1+500
- PK-1+600

C-3217:

- De la Fernandina a Giribaile .

-Reforma de tablero del puente sobre el río Guadalén.

- A-301 Úbeda - La Carolina

N-321:

- A-316 variante de Baeza

-Estudio de los problemas de asentamiento.

-Estudio de los problemas de estabilidad de un terraplén.

- PK-7+200
- PK-11+000

-Terraplén agrietado

- A-401 De la Carolina a Guadix por Úbeda.

- PK-9+920
- PK-50+800
- PK-51+50

- A-316 Puente del Obispo

-corrección de deslizamiento de ladera

- PK70+000

- A-316 Arroyovil –Mancha Real

- Variante noroeste de Jaén

-estudio de estabilidad del terraplén

-terraplén agrietado

- PK-8+800
- Intersección Gran Eje (Jaén ciudad)
 - corrección de deslizamiento de desmonte
 - PK-58+000
- Jaén - Martos
 - corrección de deslizamiento de desmonte
 - PK-19+000 – 20+500
- Torredonjimeno –variante Alcaudete
 - inestabilidad de talud
 - PK-2+400
 - PK-3+340
 - PK-19+000 – 20+500
 - PK-5+920

JP-2331

- A-311 de Fuerte del Rey a Andujar
 - refuerzo del firme

J-700

- intersección de la J-702 al límite de la provincia de Albacete
 - acondicionamiento de las carreteras

C3210

- entre Navas de San Juan, el enlace con la N-322
 - deslizamiento de desmonte
 - PK-32+500
 - PK-35 a 36
 - acondicionamiento de la C-3210

C-336

- A-340 -Jaén
 - deslizamiento

C-328

- Jimena a mancha real
 - corrección de deslizamiento
 - PK-14+750
 - corrección de deslizamiento de desmonte
 - PK-14+750

- PK-18+000
- PK-24+100
- PK-25+800

C225

- Cortijo Nuevo a Belmez
 - estabilización de la ladera
 - PK-4+800
- Guadahortuna a Jódar
 - corrección de deslizamiento de desmonte
 - PK-75+100
 - PK-76+500
 - PK-77+500
- Úbeda a Jódar
 - problemas de estabilidad en los terraplenes
 - PK-2.2 a 2.4
 - PK-2+500
 - PK-50+800
 - PK-51+500

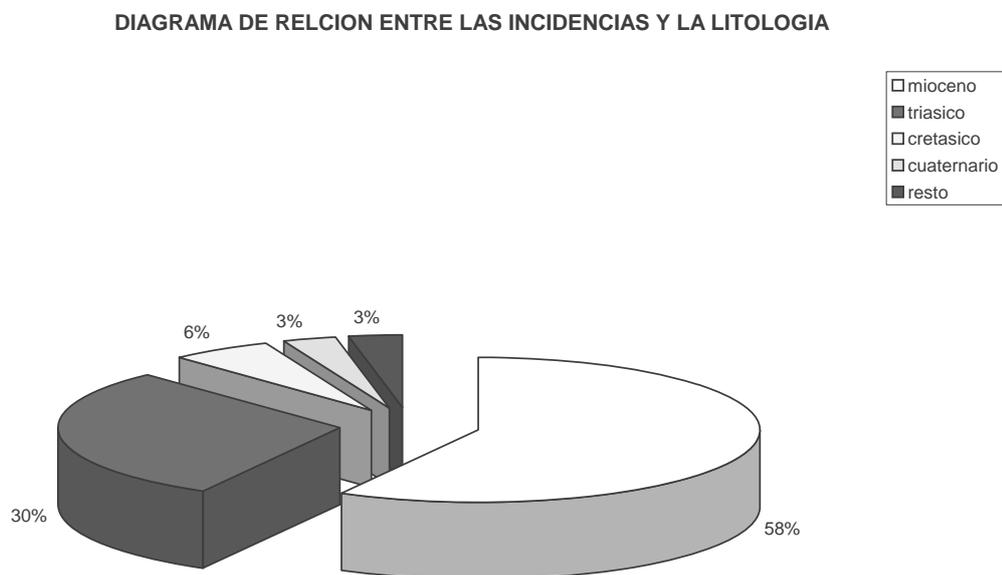
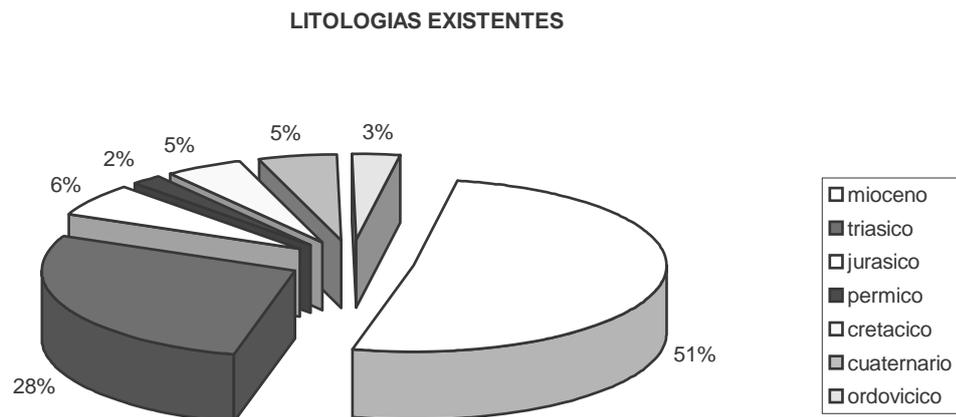
C-323

- Huesa a Pozo Alcón
 - Ripabilidad de los desmontes

N-324

- de Córdoba a Jaén por Bujalance
 - problemas de estabilidad en terraplén
 - PK-67
- de Córdoba a Almería por Jaén
 - problemas de estabilidad en terraplén
 - PK-65+000 a 88+200
- A-306
 - obras de emergencias
 - PK-12+300
 - PK-13+050
 - PK-13+400
 - PK-4+950
 - PK-11+650

A continuación presentamos los diagramas que representan la distribución de la geología en los tramos de las carreteras de la provincia, y la relación de dicha geología con las incidencias.



Quizás todo esto que primera vista nos extraña, al no ser el Trías donde se produce el mayor número de deslizamientos, tiene otra lectura e interpretación si nos damos cuenta de que en realidad existe mucho más Mioceno que Trías en Jaén, que es uno de los datos que hemos obtenido, cuando siempre y por deformación profesional, se había creído lo contrario. Lo que sí se ha comprobado y esto sí es una novedad, es que proporcionalmente sí están

en el mismo orden el número de deslizamientos que se producen tanto en el Mioceno como en el Trías.

Nos encontramos ahora finalizando el estudio del orden de magnitud de unos y otros y la relación con los otros factores de riesgo (es nuestra intención presentar unas conclusiones con la influencia de las características geométricas de la carretera y el factor litología aquí estudiado con las incidencias producidas y su magnitud), para intentar obtener conclusiones de qué litología es la de más riesgo y si se confirma que es el Trías como tradicionalmente hemos estado convencidos, ya que con los datos de que disponemos y hemos estudiado hasta ahora en Jaén, sólo podemos concluir lo expresado y es que proporcionalmente el número de incidencias en el Trías y el Mioceno sería similar, siendo mucho mayor el porcentaje de incidencias en el Mioceno en Jaén porque existe más Mioceno que Trías.

8.- REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- “GEOTECNIA Y CIMIENTOS I, MECANICA DEL SUELO Y DE LAS ROCAS”, cap: 7.8.9.
J. A. Jiménez Salas, J. L. De Justo Alpañes, Alcibiades A. Serrano González(editorial rueda 1975).
- “GEOLOGÍA APLICADA A LA INGENIERIA CIVIL”,cap: 3, 11.
Mariano Ruiz Vázquez, Silvia González Huesca (noriega editores 1999).
- “GEOLOGÍA APLICADA A LA INGENIERIA CIVIL”, cap: 2,4,5,6,7.
Juan Manuel López Marinas (CIE, inversiones editoriales, dossat 2000).
- “GUIA CIUDADANA DE LOS RIESGOS GEOLÓGICOS “, the American institute of professional Geologist (editado por: Luis Suárez & Manuel regueiro).
- “RIESGOS NATURALES”,Francisco Javier Ayala Carcedo, Jorge Olcina Cantos (Barcelona : Ariel, 2002).
- “RIESGOS NATURALES DE LA INGENIERÍA CIVIL “Eduardo Alonso Pérez de Agreda... (Barcelona : Universitat Politècnica de Catalunya , 1986.)
- “RISK AND RELIABILITY IN GROUND ENGINEERING: proceeding of the conference organised by the institution of civil engineers, an de held in London in 11 and 12 november 1993.(edited by B.O SKIPP).

- “ANALYSE DETAILLÉ DES REPONSES A L'ENQUETE INTERNATIONALE SUR LES GLISSEMENTS DE TERRAIN.” Arnould, M., and P. Frey,(UNESCO, Paris 1977)
- “MECHANISMS OF LANDSLIDES”, Terzaghi, K.(Geological Society of America, Berkey Volume, 1950)
- “SLOPE MOVEMENT AND TYPES AND PROCESSES.”, Varnes, D,J (E.B. ECKEL 1978)
- “LANDSLIDE HAZARD ZONATION”, Varnes, D.J, UNESCO 1984.
- “PREVENCION ESPACIAL DE MOVIMIENTOS DE LADERA Y RIESGOS DE Y RIESGOS ASOCIADOS MEDIANTE SIG”, Chacón, J. Irigaray, C. (ed. L. Lían. IGME 1999)
- “MAPAS DE PELIGROSIDAD DE MOVIMIENTOS DE LADERA, I Bienal Española de Ingeniería Geológica y Minera. TOMO 1, Ferrer, M.(IGME 1991)
- “ESTABILIDAD DE TALUDES Y LADERAS NATURALES. MONOGRAFÍA N°3”, Corominas, J(sociedad española de geomorfología. Zaragoza 1989)
- “LANDSLIDES AND THEIR CONTROL BY QUIDO ZÁRUBA, AND VOJTECH MENCL”, Záruba, Quido (Amsterdam : Elsevier Scientific , 1982)
- “GEOTECHNICAL CHARACTERIZATION OF CARBONATE MARLS FOR THE CONTRUCCION OF IMPERMEABLE DAM CORES” F, Lamas. C, Irigaray. J, Chacón. Engineering Geology 66(2002)
- “THE RESIDUAL SHEAR STRENGTH OF NEOGENE MARLY SOILS IN THE GRANADA AND GUADIX BASINS, SOUTHEASTERN SPAIN” N, El Amrani Paaza. F, Lamas. J, Chacón. C, Oteo. BULL ENG GEOL ENV(2000)58
- “CARACTERISACION GEOTECHNIQUE DES MARNES DE LA DEPRESIÓN DE TETOUAN-MARTIL(MAROC) ET DE SES ALENTOURS: POTENTIEL DE GOMFLEMENT ET ACTIVITE DES SOLS.” N, El Amrani Paaza. C, Irigaray. J, Chacón. BULL ENG GEOL ENV (2002) 61.
- “MECANICA DE SUELOS.” T William Lambe, Robert v, Whitman Edit. Limusa. S.A. dee.v .Grupo Noriega editores (1999)
- “IV. SIMPOSIO SOBRE TALUDES Y LADERAS INESTABLES I, II, III” 1997 Editores: Alonso. E, corominas.J, Chacón. C...

- “FUNDAMENTOS DE LA MECANICA DE SUELOS” Donald W. Taylor, profesor asociado de Mecanica de Suelos. INST.TEC.de Massachussets. Compañía editorial continental S.A 1962.
 - “MANUAL DE INGENIERIA DE TALUDES” Instituto Minero de España (ITGE) Y la empresa Estudios y Proyectos Técnicos Industriales, S.A. 1986
 - “ASPECTS OF THE BEHAVIOUR OF CLAYS IN DRINING” Marimtro FAM y Chandler Rj.Proceeding sessions on unsaturated Soils. ASCE.NAT Univ.Dallas. 1993
-