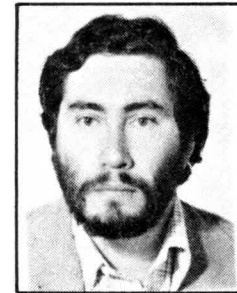


Elementos del Impacto Ambiental, Producido por los Deslizamientos de Taludes Viales Colombianos

Lisandro Beltrán Moreno ¹
Jorge Eduardo Aya Rodríguez ²
Mauricio Hernán Camargo Chávez ³



RESUMEN

Las características orográficas, climáticas y geotécnicas, junto con las condiciones impuestas por el tipo y el nivel de desarrollo en el territorio colombiano favorecen la ocurrencia de los deslizamientos. Durante las épocas de invierno se producen numerosos y a veces grandes movimientos en masa en los taludes viales, causando notables pérdidas físicas y económicas. Para reducirlas se pueden mejorar los procedimientos seguidos durante el diseño, la interventoría, y la construcción. En este artículo se describen aquellos factores y condiciones que favorecen la ocurrencia de los movimientos en masa, se mencionan las características de estos últimos determinadas mediante un inventario reciente, se indican las deficiencias actuales más notorias que se encuentran en el diseño y en la construcción de carreteras, y se incluyen informaciones sobre costos parciales de los daños ocasionados por

los derrumbes de los taludes viales. Este trabajo fue publicado en las memorias del IV Congreso Colombiano de Geotecnia, que se realizó en Bogotá, entre el 20 y 23 de agosto de 1991.

CARACTERISTICAS DEL MEDIO COLOMBIANO

Existen cuatro características principales que favorecen la ocurrencia de los fenómenos de movimiento en masa en el territorio colombiano. Las tres primeras están relacionadas con el territorio mismo: la orografía, el clima y la geotectónica. La cuarta, la más importante, es el desarrollo que tiene el país tanto por la ubicación de su infraestructura, como por su nivel. Veamos a continuación una breve descripción de cada una de estas características:

Orografía

Aproximadamente la mitad del territorio colombiano es esencialmente montañoso. Poco después de que los Andes ingresan por el sur del país, se dividen en tres cordilleras de gran longitud, cruzándolo de sur a norte y demarcando tres zonas geográficas y económicas bien definidas (González, 1977).

1. Ingeniero Civil, Universidad Nacional de Colombia. Magister en Ingeniería Civil U.N., Master of Science, D.C. Profesor Asociado Universidad Nacional de Colombia.

2. Ingeniero Civil, Universidad Nacional de Colombia.

3. Ingeniero Civil, Universidad Nacional de Colombia.

La primera es la Zona Andina, compuesta por seis regiones: 1) El Macizo Colombiano, al sur, región agrícola, minera y ganadera. 2) La Costa Pacífica, rica en maderas y atracciones turísticas. 3) El Valle del Cauca, región agrícola de gran rendimiento. 4) La Cordillera Central. En sus laderas y valles se encuentran los principales cultivos de café, primer producto de exportación del país, e industrias importantes. 5) El Valle del Magdalena. Región agrícola y ganadera. 6) La Cordillera Oriental. En sus estribaciones, altiplanos y valles, se encuentran cultivos y depósitos de minerales importantes.

La segunda zona es la Costa Atlántica, dedicada principalmente a la explotación minera, comercial y turística.

La tercera zona, que abarca cerca de la mitad del territorio colombiano, está conformada por los Llanos Orientales, con recursos petrolíferos y un uso de la tierra de tipo agrícola y ganadero, y la Amazonía, región selvática con grandes recursos, aún desconocidos.

Debido a la longitud de las tres cordilleras de la Zona Andina, y a las grandes alturas de sus montañas, especialmente de la Cordillera Central, y a la dirección predominante Sur-Norte de los ríos principales, existe una notable dificultad geográfica para la comunicación entre las seis regiones de dicha Zona, y entre las tres Zonas, produciéndose una marcada diversidad cultural, y en algún grado étnica, entre sus pobladores.

Clima

Los climas que se presentan en el territorio colombiano son el resultado de la interacción de tres factores fundamentales:

- 1) La localización geográfica en la zona intertropical, siendo cruzada en la parte inferior por la línea ecuatorial. Por esta razón la radiación solar es intensa, y aproximadamente constante durante todos los días del año.
- 2) Las montañas producen diferentes pisos térmicos en sus laderas, valles y montañas, por los cambios altitudinales de temperatura, así como condicionan la circulación de los vientos y la presencia de diversas provincias de humedad.
- 3) Las corrientes de aire y núcleos de baja presión, causados por las variaciones estacionales de los hemisferios norte y sur del globo terráqueo, y por la presencia de los Océanos Atlántico y Pacífico, situados a lo largo de más de 2.500 Km. de costas.

La interacción de los diferentes matices producidos por el último factor durante el año, con las variaciones orográficas del segundo, generan un clima muy variado en el territorio colombiano. Se presentan precipitaciones anuales que varían desde 200 hasta 12.000 m.m., y temperaturas desde 0°C, en las cumbres nevadas, hasta 40°C, en las áreas bajas y selváticas. En algunos casos se encuentran los calores extremos en regiones distantes pocos kilómetros entre sí. La precipitación tiene variaciones anuales: en la zona montañosa normalmente hay dos estaciones secas (diciembre a marzo y junio a septiembre), y dos estaciones lluviosas (abril a mayo y octubre a noviembre). En los extremos occidental y oriental, donde no hay control orográfico de la precipitación, usualmente se presenta un sólo periodo lluvioso (mayo a octubre). Los valles interandinos y las mesetas poseen, generalmente, una precipitación media a baja, mientras que en las franjas de las laderas montañosas es donde casi siempre se producen las lluvias máximas.

Las temperaturas medias tienen muy poca variación anual para un mismo sitio, pero los cambios diarios pueden ser altos, especialmente en las zonas secas con poca cobertura vegetal. La temperatura media y la presión atmosférica varían inversamente con la altitud sobre el nivel del mar. Montero et al (1987) presentaron un mapa climático general de Colombia dividido en siete zonas climáticas bien diferenciadas, de acuerdo con los valores promedios anuales de la precipitación y de la temperatura.

Geotectónica

El territorio colombiano se encuentra ubicado tectónicamente entre las placas de Cocos, al occidente, y la continental de Suramérica, o Escudo Amazónico, al oriente. Contra esta última se han venido adicionando diferentes terrenos provenientes del oeste. Se cree que la parte norte del territorio se encuentra sobre la placa Caribe. La cadena montañosa de los Andes entra al país por el sur en forma de dos ramales muy unidos, los cuales se separan en el Departamento de Nariño, originando las cordilleras Occidental y Central. De esta última se desprende, más adelante, otro ramal que se dirige hacia el Este, dando lugar a la Cordillera Oriental. Desde el punto de vista geológico, la primera cordillera en formarse fue la Central, la más alta y abrupta, con cerca de treinta volcanes, (Ramírez, 1975), algunos de ellos cubiertos de nieve, y conformada primordialmente por materiales ígneos intrusivos y metamórficos de alto grado. Presenta coberturas de materiales piroclásticos en las áreas volcánicas, y de origen sedimentario, provenientes del Terciario, hacia el occidente, (González y Beltrán, 1989).

El levantamiento de la Cordillera Central creó una cuenca marina hacia el oriente, en donde posteriormente se elevó la Cordillera Oriental, compuesta principalmente por materiales sedimentarios y metamórficos de origen continental y epicontinental marino. Finalmente, se levantó el fondo marino al oeste de la Cordillera Central, formando la Cordillera Occidental, la más baja y corta (picos hasta de 400 m. y con 80 Km de longitud), compuesta por material de origen marino (lavas y sedimentos) y rocas metamórficas de bajo y medio grado.

En cada evento orogénico la superficie terrestre colombiana sufrió un tectonismo, que produjo un alto grado de fallamiento y fractura todas las rocas existentes. Los sistemas de fallas principales tienen dirección Sur-Norte, cada una con numerosas fallas satélites o secundarias. Los tipos de fallamientos predominantes son los de empuje vertical con componentes de rumbo. Todas estas fallas son fuentes importantes de sismos, así como también lo son, la zona de subducción del Pacífico y la interacción entre las placas Nazca, Suramericana y Caribe, al norte del país. Generalmente la ocurrencia de los temblores de tierra produce numerosos deslizamientos, especialmente cuando coincide con las épocas lluviosas de las regiones afectadas por el sismo.

Desarrollo

El desarrollo incide de dos maneras en la generación de los deslizamientos (Beltrán, 1990). La primera se debe a la ubicación de cerca del 80% de la población colombiana de la zona Andina, en razón de la fertilidad de las tierras, la presencia de minerales valiosos, y el clima más benigno, comparado con los que se presentan en los Llanos y Costas. Como consecuencia de lo anterior, de los 1.050 municipios y ciudades con que cuenta Colombia, cerca de 800 se encuentran en la zona Andina. La comunicación entre estos centros se hace principalmente por carretera, y como resultado, ellas recorren valles y montañas, en una longitud próxima a los 26.000 Km. hoy en día. Las especificaciones de la mayoría de estas vías son pobres, teniendo en cuenta el alto costo de la construcción y mantenimiento. Vale la pena anotar que la capital del país se encuentra en el centro geográfico del territorio, sobre la cordillera Oriental, a 350 Km. de la Costa Pacífica y a 600 Km de la Costa Atlántica, ambas distancias en línea recta. Las dos ciudades siguientes en tamaño, Medellín y Cali, también están localizadas en el interior de Colombia, en la Cordillera Central y en el Valle del río Cauca, respectivamente. Las ciudades y poblaciones de la zona Andina

también son sede de la mayor parte de la producción nacional, tanto agrícola como industrial, estimándose que cerca del 80% de esta última se encuentra en dicha zona.

La segunda manera como incide el desarrollo en la ocurrencia de los deslizamientos tiene que ver con la limitación de los recursos disponibles, y con la escasa importancia que se le da a los daños que produce un desarrollo desordenado. Generalmente se terminan los presupuestos estimados para las obras antes de concluirlos, y como consecuencia, no se contruyen todas las medidas diseñadas para controlar el agua de escorrentía o de infiltración de las laderas, como las zanjas de coronación en los cortes viales, los filtros, drenes y alcantarillas. Sólo cuando se producen las fallas de los taludes que interrumpen el tráfico, se procede a terminar o construir dichas obras. Por otra parte, el cambio en el uso de la tierra acelera la degradación de los materiales y reduce su estabilidad, cuando para establecer nuevos cultivos el campesino remueve el bosque natural situado inmediatamente encima de los cortes viales, sin adoptar medida alguna para reemplazar su acción estabilizante (Beltrán et al, 1989), y cuando luego se incrementa la humedad de los suelos mediante el regadío. La construcción de vías de penetración de bajas especificaciones, generalmente por los colonos, sin cunetas ni alcantarillas, también aumenta la inestabilidad de los taludes, principalmente durante el invierno, debido a que se convierten en grandes cunetas que conducen el agua hacia algunos puntos del talud inferior y hacia la vía principal, desestabilizándolos por erosión y aumento de humedad.

A lo anterior es necesario adicionar la poca conciencia que existe en la población en general, a todo nivel, sobre el impacto ambiental que se produce en la naturaleza, y sobre el daño ecológico a mediano y largo plazo, la cual se refleja en las pobres regulaciones establecidas, y en los casi inexistentes mecanismos de control para obligar su cumplimiento.

CARACTERISTICAS DE LOS DESLIZAMIENTOS COLOMBIANOS

En Colombia hasta el momento ninguna entidad tiene la función de analizar, proponer y construir las medidas correctivas necesarias para estabilizar todos los movimientos de tierra que se presentan durante las épocas de invierno. Sólo las instituciones afectadas se ven obligadas a estudiarlos y a tratarlos, para mantener el servicio de la infraestructura a su cargo, como los oleoductos, las carreteras, los ferrocarriles, etc. Únicamente en pequeñas áreas y para proyectos especiales, se han elaborado mapas de riesgo y de amenaza

de los deslizamientos. Consecuentemente, no se lleva un registro continuo de ellos, de manera que la información sobre su ocurrencia y los daños producidos es fragmentaria, poco realista y escasa. Alonso et al (1972) efectuaron una recopilación de los deslizamientos informados en uno de los períodos más importantes de Bogotá durante todo el año de 1971, encontrando un total de 212. Estos movimientos se produjeron principalmente en los períodos invernales, y en aquellos Departamentos con las mayores longitudes de vías en regiones montañosas. Vale la pena anotar que normalmente en los periódicos sólo se informa sobre aquellos deslizamientos importantes, y que muchos otros pasan inadvertidos, cuando sólo afectan a pequeños propietarios o comunidades.

Entre los meses de agosto y diciembre de 1986, la Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá, como parte inicial de la Investigación de Deslizamientos en la Red Vial Nacional, realizó un inventario parcial de los deslizamientos observados en dicha época en las carreteras ubicadas en la Zona Andina. Durante el desarrollo de este inventario se recorrieron 4.003 Km., los cuales equivalen al 15.7% de la red vial nacional, registrando información sobre 225 sitios inestables. La muestra recolectada de esta manera se considera representativa de los deslizamientos que se presentan en las épocas de invierno en las carreteras del país, ya que con la ayuda de los ingenieros del MOPT., en sus Distritos con carreteras en montaña, se seleccionaron aquellas de mayor y más grandes fenómenos, con un tráfico promedio diario (TPD) superior a 300 vehículos. Desde el punto de vista geotécnico, los resultados más importantes que se encontraron luego de analizar el inventario son los siguientes (Universidad Nacional de Colombia 1989-1) y González et al (1989).

- a) En promedio se encontró un movimiento de tierra cada 17.8 Km. con un rango entre 2 y 131 Km.
- b) Los deslizamientos y los movimientos similares son más numerosos que las caídas y los flujos. Los fenómenos son más frecuentes en suelos transportados (46%) y suelos residuales (35%), que en rocas (19%). El 85% de los movimientos observados durante el inventario eran activos en ese momento.
- c) La mayoría de los movimientos (57%), se presentan en alturas sobre el nivel del mar correspondientes a los cinturones de máxima precipitación de la Zona Andina, con una importante concentración (26.7%) entre los 2.000 m. y los 2.500 m.
- d) La mayoría de los movimientos (63%) tienen un área menor de una Hectárea (Ha.), y los movimientos más grandes (de más de 25 Ha.) se presentan en suelos transportados (coluviones). La altura promedio de los deslizamientos es 52 m., variando entre 5 y 300 m.
- e) El mayor porcentaje (85%) de los deslizamientos se presenta en secciones de vías a media ladera. El 56% de los movimientos afectan longitudes de vía menores de 100 m, mientras que el 84% de los movimientos afectan sectores menores de 200 m. de longitud.
- f) La principal causa inmediata de los deslizamientos inventariados es la alta precipitación (70.3%), seguida por el corte en la pata del talud (24.4%), ya sea este originado en obras hechas por el hombre, en la erosión, o en la socavación producida por corrientes de agua.
- g) La mayoría (84.9%) de los deslizamientos inventariados se presenta en vías con tráfico promedio diarios (TPD) menores de 3.000. Este resultado se explica considerando que las vías de mayor importancia se diseñan con mejores especificaciones, y son sometidas a mantenimiento más cuidadosos.
- h) En concordancia con la principal causa de los deslizamientos, la alta precipitación, la mayoría de las medidas correctivas inmediatas recomendadas para estabilizar los deslizamientos inventariados, tiene que ver con la recolección y adecuada disposición de las aguas superficiales y subterráneas. Entre estas medidas se reconoce la gran necesidad de construir la zanja de coronación en todos los cortes viales (68% de las medidas recomendadas), que en el momento no es una práctica corriente de la construcción de carreteras.

Los resultados de los inventarios no definieron de forma clara el impacto ambiental de los deslizamientos, debido a que el MOPT no lleva un registro adecuado sobre los daños causados, la frecuencia y duración de las interrupciones del tráfico, y el costo de las medidas adoptadas en cada caso. Sólo se puede establecer de manera muy aproximada el costo de los daños causados en la vía, con base en las longitudes de carretera afectada por los movimientos.

DEFICIENCIAS EN EL DISEÑO Y EN LA CONSTRUCCION DE CARRETERAS QUE PRODUCEN DESLIZAMIENTOS.

En el medio geotécnico del país se sabe que existen varios procedimientos corrientes en el diseño y la construcción de carreteras, que favorecen la ocurrencia de los movimientos en masa de los taludes de corte, y que, modificándolos y racionalizándolos, pueden producir un impacto negativo mínimo y controlado sobre la naturaleza. La mayoría de dichos procedimientos fueron descritos por Montero (1987).

Con el propósito de precisar su importancia, Aya y Camargo (1989) realizaron el Proyecto de Grado "Diseño Vial. Métodos Constructivos y Costos", revisando la literatura existente en nuestro medio y las normas y condiciones aprobadas y establecidas por el MOPT para sus contratos entrevistando ingenieros de firmas de ingeniería dedicadas al diseño, interventoría y construcción de carreteras, con reconocida experiencia en estos aspectos, y finalmente evaluando en el terreno los procedimientos empleados en la construcción de la carreteras Puente Hila-Villeta, en el Departamento de Cundinamarca, y Sogamoso-Yopal, en el Departamento de Boyacá y en la Intendencia del Casanare. Las deficiencias más notorias que este trabajo encontró fueron las siguientes:

Deficiencias en el diseño

Estudio geológicos y geotécnicos

Los estudios geológicos y geotécnicos, en general, no alcanzan a cubrir en forma detallada los diferentes aspectos que señalan las normas de MOPT. De acuerdo con ellas, los estudios de la Fase III deben analizar puntos específicos del terreno, lo cual rara vez se cumple, y más bien, en algunos casos de la Fase I de pasa a la Fase III, y en otras, la etapa de factibilidad, la Fase III, no abarca la información necesaria para diseño.

Las columnas estratigráficas se definen de manera amplia y general, con frases como: "El espesor de suelo puede variar entre 3.0 m. y 15.0 m.", impidiendo así la determinación de los volúmenes de corte en roca y suelo con exactitud, y consecuentemente, los costos estimados para la construcción.

Los taludes de los cortes en roca y en suelo se diseñan de acuerdo con la experiencia que posea la compañía diseñadora sobre el particular. Este aspecto es crítico cuando se trata de diseñar taludes en roca dura, ya que se presume que ellas soportan taludes verticales, y aún negativos, sin tener en cuenta la determinación

de discontinuidades, la presencia de grietas y el tipo de relleno, la posición especial de los planos estructurales y de estratificación, y consecuentemente, sin hacer un análisis de estabilidad de los bloques o cuñas que podrían deslizarse.

No se hace una zonificación adecuada del corredor de diseño, para establecer los terrenos más inestables y las medidas correctivas que correspondan eficientemente a los factores de mayor incidencia en su estabilidad. Esta falla seguramente no se presentará en el futuro, ya que el MOPT recientemente incluyó dentro de sus normas de diseño de carreteras las recomendaciones dadas en este sentido por la Investigación de Deslizamientos en la Red Vial Nacional (Universidad Nacional de Colombia 1989-b).

Los sitios de botadero, a donde se deben llevar los materiales de desecho excavados durante la construcción, deberían seleccionarse y diseñarse de manera que se garantice su estabilidad, como lo señalan las normas del MOPT. No obstante, casi siempre se posterga esta selección y diseño para el momento de la construcción, adaptando generalmente sitios cercanos a la excavación, donde se producen daños importantes el ambiente.

Estudio hidrológicos y de drenaje

Puesto que el agua lluvia es la causa principal inmediata de los deslizamientos que se producen en las carreteras del país, debería dársele gran importancia a los estudios hidrológicos, con el fin de predecir acertadamente las cantidades de agua que caerán sobre los taludes y llegarán a las corrientes de agua adyacentes, y para diseñar obras competentes de recolección y de drenaje,

Sin embargo, se encuentra que los datos y las estaciones hidrológicas son insuficientes, por su calidad, variedad y número de años de registros. Por otra parte, los criterios y pautas utilizados durante los diseños no son plenamente justificados, recurriendo al empleo de métodos y fórmulas propuestas en otros países, para condiciones ambientales totalmente diferentes a las nuestras. Los resultados que se obtienen de esta forma están condicionados en gran medida por la experiencia del diseñador, y se evidencia la carencia de un manual donde se unifiquen los criterios para el diseño hidráulico de las obras viales.

Se han identificado dos deficiencias que inciden marcadamente en la inestabilidad de los taludes viales. La primera tiene que ver con el diseño de las obras de drenaje, el cual generalmente no se hace, pero en cam-

bio se incluyen como items en los pasos que deben efectuarse durante la construcción, con el objeto de que la interventoría pueda solucionar los problemas que se presenten. Esta falta hace que obras fundamentales para la estabilidad de los taludes de corte, como son las zanjas de coronación, generalmente no se construyan, ya que todos los recursos terminan siempre siendo orientados hacia la conclusión de las obras, para facilitar la puesta en servicio de la vía a la mayor brevedad, aunque ésta deba cerrarse durante el primer invierno con el fin de corregir las inestabilidades producidas por las aguas no controladas.

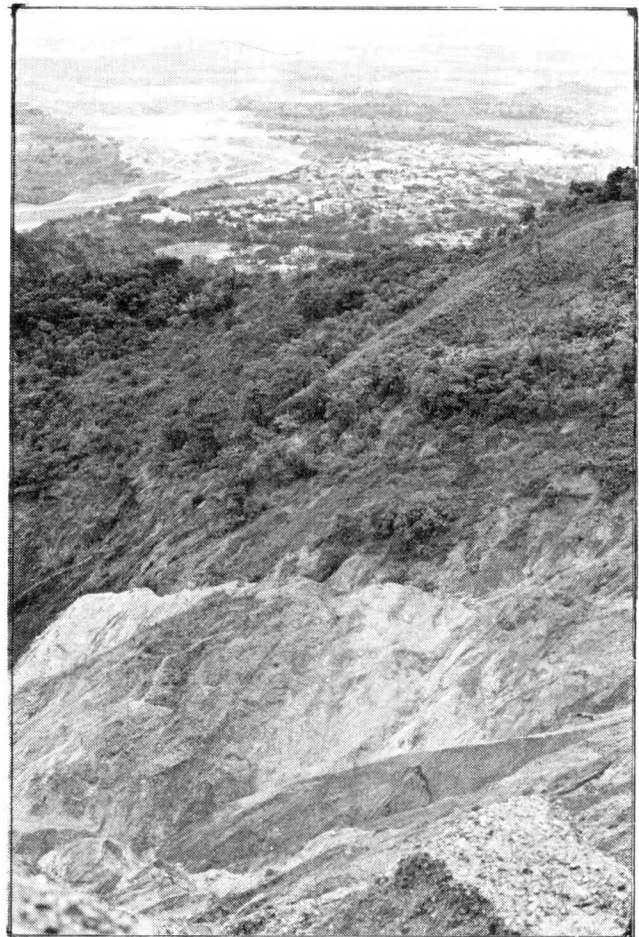
La segunda deficiencia es la falta de diseño para los descoles de las alcantarillas, de tal manera que las aguas que ellas recojan sean conducidas de forma inofensiva para los taludes hasta los cauces naturales del agua. La experiencia del MOPT muestra que los descoles efectuados directamente sobre los taludes inferiores de las vías, pueden desencadenar fenómenos de erosión que se tornan incontrolables rápidamente, obligando a la ejecución de grandes obras para mantener en servicio vías importantes. Tal es el caso de los sitios conocidos como El Mirador, en el Km. 105 de la carretera Bogotá-Villavicencio, y la Siria, en el Km. 14 de la vía Manizales-Pereira.

Diseño geométrico

Un análisis comparativo realizado en la Investigación de Deslizamientos en la Red Vial Nacional (Universidad Nacional de Colombia, 1989-c), entre el diseño geométrico tradicional del MOPT, para un sector de la autopista Bogotá-Villavicencio, y el diseño vial hidráulico para el mismo sector, pero con dos calzadas a diferente nivel, una para cada dirección del tránsito, mostró que los costos son similares, pero con una sensible disminución en el impacto ambiental en el segundo caso, dado que de esta manera los cortes son más bajos. No obstante, y aunque es recomendable efectuar análisis comparativos similares en otras vías, para confirmar los resultados, llegando incluso hasta su construcción, se considera necesario adoptar unas normas de diseño especiales para las carreteras que atraviesan la Zona Andina, que tengan en cuenta sus particularidades geológicas, topográficas y climáticas, dejando de lado las especificaciones establecidas en los países desarrollados para terrenos planos.

Estudios de impacto ambiental

El MOPT exige a sus diseñadores la ejecución de estos estudios desde 1982, pero no se les ha señalado de una manera precisa la metodología para realizarlos,



Por esta razón, la mayoría de los estudios de impacto ambiental elaborados hasta el momento son deficientes, y de poca importancia práctica.

Los aspectos que más influencia tienen sobre el ambiente físico, en la construcción de vías, son el movimiento de tierras, tanto en la ejecución de los cortes como en la disposición de los materiales de desecho, la alteración del drenaje natural del terreno, con posibles cambios a las cuencas hidrográficas, y la destrucción de la vegetación natural. Sin embargo, existe también el aspecto socioeconómico, que a la larga puede alterar el ambiente físico de manera notable. La construcción de una vía cambia con el tiempo el uso de la tierra y el valor económico de las zonas que atraviesa. Estos cambios implican asentamientos nuevos en cercanías de la vía, con deforestación, e implantación de cultivos y pastoreo, alterando notablemente el equilibrio de los taludes. Por otra parte, el desarrollo de la región origina la construcción de carreteras de tercer orden, para conectar las nuevas áreas productivas con la carretera, las cuales se con-

vierten en canales de conducción de agua durante las lluvias, puesto que en ellas no se construyen cunetas y alcantarillas. Esta agua de escorrentía arrastra gran cantidad de sedimentos, provenientes del afirmado de la vía de tercer orden, que colmatan rápidamente el sistema de drenaje de la carretera. Al sobrepasarse la capacidad del sistema de drenaje (cunetas y alcantarillas), por la colmatación y por el volumen adicional de agua recibida (que no tuvo en cuenta en el diseño de las obras de arte), se produce el desborde sobre el talud inferior de la carretera, llegando a causar deslizamientos. Se debe mencionar que casi siempre estas vías de tercer orden son construidas por los colonos y los vecinos, sin que haya un diseño y control por parte del MOPT, u otra entidad. Aunque ciertamente es difícil predecir acertadamente la manera como se producirán los cambios socio-económicos en las zonas servidas por la nueva carretera, se pueden tomar algunas medidas iniciales, que luego deberán modificarse y adaptarse a las situaciones reales, con el propósito de mantener bajo control el impacto ambiental que ellos produzcan.

Estudios de movimientos de tierra

De acuerdo con las especificaciones del MOPT, estos estudios deben establecer los volúmenes de explanación, descapotés, cortes en roca y material común, terraplenes, préstamos, materiales de desecho y materiales probables de derrumbes, y deben suministrar recomendaciones sobre el empleo de explosivos, y los métodos y maquinaria de excavación. Para ello, se cuenta con el perfil del terreno y de la rasante, las secciones transversales, los espesores de las columnas estratigráficas, la descripción de los estratos y recomendaciones geotécnicas.

En buena parte debido a las deficiencias ya anotadas de los estudios geológicos y geotécnicos, no es posible evaluar con precisión cada uno de los puntos señalados en el párrafo anterior, aunque sería de desear su mejora, ya que se reconoce ampliamente que es en la explanación, cortes y derrumbes, donde generalmente se consumen recursos mucho mayores de los presupuestados, en detrimento de otras obras necesarias que se postergan, o finalmente no se ejecutan, y que casi siempre obligan a la suspensión de los trabajos, mientras se apropian los dineros adicionales requeridos para culminar la carretera.

En general se le da una mayor importancia a las zonas de préstamo con relación a las zonas de botadero. En el primer caso se determinan la zona de préstamo y sus características, estableciendo la distancia de aca-

rreo, mientras en el segundo caso, no se localizan ni diseñan los sitios más adecuados, recomendando que ellos se escojan durante la construcción casi siempre se termina permitiendo la práctica común de realizar el volteo sobre la ladera.

En la realidad tampoco se tienen en cuenta los métodos ni los equipos de excavación durante la ejecución de los movimientos de tierra; se suponen un procedimiento y equipos normalizados, únicamente con el fin de realizar el análisis de precios unitarios, establecer las especificaciones de construcción, y calcular el presupuesto de la obra.

Etapas de construcción y programas de trabajo.

Con la elaboración de los programas de trabajo se espera establecer el tiempo óptimo de ejecución de la obra, las cantidades y clases de maquinaria, el número de hombres, y el total de horas-hombre. Sin embargo, las compañías diseñadores asumen procedimientos, equipos y rendimientos normalizados, que no corresponden con los empleados después en la construcción, debido a dos razones principales: los constructores no especializan el uso de su maquinaria, y el período de tiempo transcurrido entre el diseño y la construcción tiende a ser muy prolongado.

Es importante mencionar que el clima incide grandemente en los procesos constructivos, pero no se le da mayor importancia, y como consecuencia, se generan a veces grandes retrasos en las obras, especialmente en la construcción de terraplenes. Por esta razón, es necesario que las obras de drenaje se programen para ser ejecutadas en la etapa inicial de la construcción, especialmente cuando se prevean lluvias, garantizando así la estabilidad de los taludes y facilitando los procesos constructivos. Ellas incluyen las zanjas de coronación, que deben construirse tan pronto se concluya la excavación del corte, las cunetas preliminares a nivel de subrasante, y un abombamiento de la superficie excavada o construida, para facilitar la evacuación rápida del agua de escorrentía.

Deficiencias en la contratación

Existen deficiencias notables en el diseño de carreteras, las cuales en buena parte se explican por los relativamente bajos presupuestos asignados a los estudios, comparados con los de la construcción, que no permiten analizar en detalle los puntos críticos. Considerando la gran variedad de condiciones geológicas, que se presentan a lo largo de un corredor en cualquier

parte montañosa de la Zona Andina, los altos sobrecostos por excavaciones y derumbes, y los grandes retrasos en la culminación de las obras, deben asignarse mayores recursos a los contratos de diseños, exigiendo mejor precisión en las evaluaciones, y estudios detallados en los puntos críticos de estabilidad. De esta manera, los diseñadores requerirán necesariamente más tiempo de ejecución, por lo tanto se deberán programar con suficiente antelación para minimizar las presiones políticas, que siempre imponen la inauguración de obras antes de finalizar el período de mandato.

La construcción de una carretera requiere de un proceso de licitación y adjudicación, el cual a veces se convierte en punto de partida de grandes problemas, al entregar una obra al contratista que presente la propuesta más baja, quien corre el riesgo de no poder terminar la obra, o finalmente, caer en bancarota cuando no puede utilizar las debilidades de las normas constructivas, o de los diseños deficientes para demandar el contrato, y en este caso, obtener grandes beneficios.

El tiempo transcurrido entre la licitación, la adjudicación y el inicio de la obra fácilmente puede ser un par de años, a veces más, lo cual permite que la maquinaria y el equipo presentado en los pliegos de licitación no sean empleados en la obra.

Por otra parte, los programas de trabajo se ven influenciados primordialmente por las cuantías de desembolsos hechos al contratista por el MOPT, así como por las demoras en los pagos, que a veces sufren retrasos considerables, cuando se agota el presupuesto y se debe esperar la aprobación de adiciones.

Finalmente, la minimización de los costos de la interventoría ha llevado a que esta se ocupe primordialmente de medir cantidades de obra, con el objetivo de autorizar los pagos, y no a controlar y a contribuir en la solución de los problemas técnicos, trayendo como consecuencia la disminución de la calidad final de las obras.

Deficiencias en la construcción

En la construcción de carreteras en Colombia existen algunos procedimientos que son práctica común, y que tienen una enorme influencia en la estabilidad de los taludes. Aunque estas prácticas pueden economizar algunos recursos durante la construcción, producen grandes sobrecostos de mantenimiento de la vía. Están relacionados principalmente con el inadecuado

manejo de las aguas de escorrentía e infiltración, de los escombros provenientes de la excavación, y de los explosivos.

Con mucha frecuencia se realizan extensos tramos de excavación, sin que al mismo tiempo se construyan las obras necesarias de drenaje y contención, quedando expuestos los materiales de los cortes y subrasante a la erosión producida por las aguas de escorrentía e infiltración. Esto se debe a que el constructor obtiene el mejor rendimiento de su maquinaria haciéndola trabajar constantemente, además de que en las carreteras de alta montaña el volumen de excavación resulta siempre elevado, incrementando considerablemente el valor de las actas mensuales de pago.

El MOPT y el Fondo Nacional de Caminos Vecinales (FNCV) especifican que las obras de explanación y las de drenaje no pueden desfasarse una distancia mayor de dos kilómetros, pero esta norma rara vez se cumple.

Generalmente se prefiere efectuar las excavaciones durante la época lluviosa, bajo las condiciones más críticas para la estabilidad de los taludes de corte, pues los materiales se encuentran saturados, dejando las épocas secas para la construcción de los terraplenes. No obstante, como se ha dicho antes, no se le concede mucha atención a las obras de drenaje durante la construcción, ya que no se diseñan, dejándolas a discreción del interventor.

De otro lado, es práctica común durante la construcción de carreteras, que se abandone temporalmente la ejecución de las obras, ya sea por falta de recursos, o simplemente por descuido, quedando inconclusas y expuestas a su destrucción, causada por los deslizamientos.

Debido a que los sitios para la disposición de los desechos no se escogen en el diseño, se ha tomado la tendencia general de arrojar los sobrantes de la explanación en sitios cercanos a la excavación, sin someterlos previamente a algún tratamiento. Estos sitios de botadero son las laderas inferiores a la banca, donde, además de destruir la vegetación natural, se compromete su estabilidad, al producir sobrecargas concentradas que pueden activar deslizamientos sobre el plano donde se encontraba la vegetación natural, pues ella y la materia orgánica se convierten en un plano de poca resistencia.

En cuanto al uso de explosivos, la práctica de su uso en carreteras no sigue las recomendaciones suministra-

das por normas, en buena parte debido a la dificultad de obtener los explosivos que se emplean en otros países, tanto en calidad como en cantidad, optando por aplicar en general pocas cargas concentradas para remover grandes masas. La consecuencia desfavorable más importante de esta práctica es la fragmentación excesiva del talud de corte, convirtiendo inestable un material que sería estable si se hubieran empleado los procesamientos recomendados por la práctica sana de los explosivos.

COSTOS DE LOS DAÑOS PRODUCIDOS POR LOS DESLIZAMIENTOS

Debido a que el MOPT no lleva un registro sistemático de las interrupciones en el tráfico, y de los costos de las reparaciones que deben acometerse para mantener en servicio las carreteras, es imposible cuantificar de manera aproximada el costo del impacto ambiental ocasionado por su construcción. Se sabe que los deslizamientos en las carreteras se presentan más frecuentemente durante la construcción y los primeros años de vida; con el tiempo generalmente tienden a decrecer, si las condiciones naturales no se alteran antes de que lleguen a un nuevo equilibrio. Se conocen también algunos datos de costos, que permiten suponer que el costo total anual para el país es muy alto. Alonso et al (1972) estimaron el costo de los daños producidos por los deslizamientos más importantes, ocurridos en las carreteras durante 1971, en \$300 millones, equivalentes en 1990 a cerca de \$9.000 millones. Castro, et al (1974), basados en el informe de actividades del MOPT correspondiente al período 1970 - 1972, señalan que la reparación de las vías nacionales por los daños debidos a los deslizamientos tuvo un costo de \$700 millones, equivalente a \$21.000 millones de 1990. Montero et al (1978) indican que entre 1971 y 1973 el MOPT constató la existencia de 139 tramos inestables en el sistema vial nacional, 132 de los cuales causaron interrupciones frecuentes en el tráfico, acumulando un total de 21.036 horas. Como ejemplo del costo de los deslizamientos están el caso de la carretera Bogotá-Medellín, en el sector Medellín-Puerto Triunfo, cuya construcción se inició en 1967; en un tramo de 64.5 Km. se había pagado al constructor hasta 1977, por concepto de deslizamientos, la suma de \$47.8 millones, mientras que en el tramo restante, de 199,7 Km. se habían pagado \$16.3 millones. Montero et al (1978) concluyeron que en promedio entre el 85% y el 90% de los mayores costos pagados en la construcción de carreteras se deben a los deslizamientos, con el costo en pesos de 1973 de \$11.3 millones, equivalentes hoy en día a \$317 millones.

Recientemente, Aya et al (1989) analizaron los sobrecostos de la construcción de la carretera Puente Hila-Villeta (Cundinamarca) de una longitud de 23 Km., debidos a los deslizamientos.

Aunque no fue fácil establecer el valor exacto, debido a que para efectuar los pagos al constructor se recurre a utilizar presupuestos de otros ítems del contrato, donde haya disponibilidad cuando se agota el correspondiente a derrumbes, se estimó al sobrecosto en \$84,6 millones, equivalentes al 10% del costo total de la vía. Los mismos autores encontraron que en la construcción del tramo dos de la carretera Sogamoso-Yopal, comprendido entre Cruceiro y Corinto, de una longitud de 55.3 Km., cuya construcción se había realizado en un 75% en el momento de la evaluación (febrero de 1989), el ítem de explanación en roca tuvo un incremento de 12,6 veces, y el de derrumbes de 13 veces, en relación con los volúmenes que se previeron del respectivo contrato.

CONCLUSIONES

1. En el territorio colombiano se cambian los factores orográfico climático y geotécnico, con las condiciones aportadas por el tipo y el nivel de desarrollo, para crear situaciones favorables a la ocurrencia de movimientos en masa, que afectan las laderas de la Zona Andina. Las condiciones establecidas por el desarrollo son las que principalmente desequilibran las fuerzas existentes, acelerando la desestabilización de los taludes,
2. Para reducir la cantidad y la magnitud de los deslizamientos causados por la construcción de carreteras, es necesario mejorar la calidad de los estudios, exigiendo mayores detalles y precisión en los diseños. Esta necesidad es prioritaria en la Zona Andina, debido a los rápidos cambios que se producen en las condiciones geológicas y geotécnicas a lo largo de los corredores viales. Como una ayuda valiosa para mejorar los estudios geotécnicos, se debe realizar la zonificación geotécnica y de estabilidad.
3. Puesto que es imposible conocer y prever en el diseño todos los problemas que se presentarán durante la construcción, se debe contar con interventorías capacitadas y experimentadas, que contribuyan a encontrar las soluciones más adecuadas. Estas interventorías deben garantizar que las obras se construyan respondiendo a cronogramas de actividades racionales, donde se dé

prioridad a la minimización del impacto ambiental negativo y a la estabilidad de los taludes.

5. Las zanjas de coronación deben construirse en todos los cortes viales tan pronto se termina la excavación, con el objeto de recoger las aguas de escorrentía y las infiltradas superficialmente, para conducir las hasta los cauces naturales. De esta manera se evita que durante el primer invierno se produzca la erosión acelerada del talud de corte y su posible derrumbamiento. Con este mismo propósito, se deben implantar en el talud de corte las especies vegetales que suministren la más rápida y eficiente cobertura, utilizando los procedimientos más indicados.
6. Los sitios de botaderos deben seleccionarse y diseñarse en los estudios de la carretera, incluyendo en la evaluación económica los costos que produzca su preparación y el acarreo de los materiales. La práctica común de asignar su diseño a la interventoría ha conducido a que se boten los desechos sobre el talud inmediatamente inferior, causando su inestabilidad posterior y grandes daños ecológicos.
7. En general las técnicas seguidas para emplear los explosivos en cortes rocosos son inadecuadas, dado que usan grandes cantidades de explosivos concentrados en pocos puntos para remover amplias masas. De esta manera se fractura excesivamente el material del talud de corte, volviendo inestable un talud que correctamente cortado sería estable. Estas técnicas deben mejorarse en el futuro.
8. Durante las épocas de invierno se producen muchos deslizamientos en la Zona Andina, que causan grandes pérdidas físicas y económicas al país. Para reducirlas a un mínimo posible, es necesario buscar la conservación del medio ambiente, controlando el impacto negativo de las obras, e implementando las medidas que contrarresten sus efectos.

RECONOCIMIENTOS

Este trabajo resume los resultados del informe MOPT-UN 16.2 que la Universidad, a través de la Investigación de Deslizamientos en la Red Vial Nacional, le presentó al Ministerio de Obras Públicas y Transporte en 1989, así como los del Proyecto de Grado "Diseño vial. Métodos constructivos y costos", que elaboraron los ingenieros civiles Jorge Aya y Mauricio Camargo, bajo la dirección del primer autor.

REFERENCIAS

- Alonso G., C.A., Medina, J. y, Prieto S., F.Z., (1972). Estabilidad de taludes naturales. **Proyecto de Grado**, Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Aya R., J.E., y, Camargo Ch., M.H., (1989). Diseño vial. Métodos constructivos y costos. **Proyecto de Grado**, Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Beltrán M., L., (1990). Characteristics of the mass movements in road slopes in Colombia. **6th International Congress International Association of Engineering Geology**. Balkema, Amsterdam, pp. 2093 - 2098.
- Beltrán M., L., y, Corredor G., A. (1989). El uso de la vegetación en la estabilidad de taludes. **Primer Simposio Suramericano de Deslizamientos**, Sociedad Colombiana de Geotecnia, Paipa, Vol. 1, pp. 411-432.
- Castro V., A., Parra V., F., y, Durán G., G., (1974). Deslizamiento en el kilómetro 38 de la carretera Bogotá-Villavicencio. Investigación de algunos métodos de estudio. **Proyecto de Grado**, Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- González G., A.J., (1977). Las carreteras en Colombia. **Boletín Programa de Investigaciones en Transporte**. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- González G., A.J., y, Beltrán M., L., (1989). Investigación de deslizamientos en las vías colombianas. **Primer Simposio Suramericano de Deslizamientos**: Sociedad Colombiana de Geotecnia, Paipa. Vol. 1, pp. 663-676.
- González G., A.J., Beltrán M., L., y, Baéz C., E.E., (1989). Características de algunos movimientos en la red vial colombiana. **Primer Simposio Suramericano de Deslizamientos**, Sociedad Colombiana de Geotecnia, Paipa. Vol. 1, pp. 699-725.
- Montero O., J., (1987). Algunos problemas geotécnicos en la construcción de carreteras. Ministerio de Obras Públicas y Transporte, Bogotá, 16 p.
- Montero O., J., y, Granados G., L.C., (1978). Nuevos aportes al enfoque en la selección de criterios del diseño vial en Colombia. Ministerio de Obras Públicas y Transporte. Bogotá, 23 p.
- Montero O., J., Beltrán M., L., y, Cortés D., R., (1987). Inventario de deslizamientos en la red vial nacional. **VIII Congreso Panamericano de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Fundaciones, Cartagena**. Vol. 3, pp. 137-151.
- Lane, C.J.D., y, Montero O., J., (1973). Nota preliminar de los costos de construcción de carreteras en terrenos inestables MOP - TRRL, Bogotá, 40p.
- Ramírez, J.E., (1975). Historia de los Terremotos en Colombia. Segunda edición, Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 250 p.
- Universidad Nacional de Colombia, (1989-1). Inventario de deslizamientos. Análisis preliminar. Informe MOPT-UN 02.2, Investigación de Deslizamientos en la Red Vial Nacional, Bogotá, 95 p.
- Universidad Nacional de Colombia, (1989-b). Criterios para la delimitación de zonas geotécnicamente homogéneas. Informe MOPT-UN 03.1, investigación de Deslizamientos en la Red Vial Nacional, Bogotá.
- Universidad Nacional de Colombia, (1989-c). Diseño Vial. Diseño Geométrico e hidráulico. Informe MOPT-UN 16.1, Vols. 1 y 2, Investigación de Deslizamientos en la Red Vial Nacional, Bogotá.