

OBSERVACIONES GEOLOGICAS EN GALERIAS EXPLORATORIAS EXCAVADAS EN LA ZONA DEL VIADUCTO N° 1, AUTOPISTA CARACAS-LA GUAIRA.

Daniel Salcedo Rodríguez
Profesor Asociado. UCV.

RESUMEN

El trabajo expone, en forma muy resumida, las observaciones geológicas de mayor importancia efectuadas en las galerías exploratorias, excavadas con el objeto de investigar en forma más detallada el macrodeslizamiento que afecta el Viaducto N° 1 de la Autopista Caracas-La Guaira. Los resultados de la exploración han revelado una zona altamente tectonizada, destacando una falla importante con un espesor aparente de brecha de 50 m, medido en la dirección del eje de la galería paralela al movimiento de la ladera. Estrías de cizallamiento y superficies pulidas (slickensides), con diferente apariencia y orientación, sugieren diferentes períodos de tectonismo. Las estrías y superficies arcillosas pulidas de apariencia más reciente, han llevado a considerar la posibilidad de que el deslizamiento antiguo y la reactivación del mismo, estén asociados a deformaciones de origen neotectónico. El trabajo postula este posible mecanismo, y se discuten las implicaciones que dichas observaciones geológicas representan para las soluciones de ingeniería, requeridas para tan importante arteria vial.

ABSTRACT

The most important geological observations obtained in exploratory adits excavated as part of the investigations of a landslide at the southern abutment hill of Viaduct No. 1, located on the Caracas-La Guaira highway, are briefly discussed. Observations have revealed a highly tectonized zone and the existence of an approximately 50 m wide fault gouge breccia. At least three different periods of tectonism have been interpreted, according to the appearance of the shear surfaces and slickensides. The most recent clayey shear surfaces have brought to mind the possibility that the cause of the landslide and its reactivation, may be associated with tectonic deformations. The paper discusses this possible mechanism and the implications of the geologic observations in the engineering solutions required for such an important highway.

INTRODUCCION

En el año de 1987, la empresa consultora Ingeotec diagnosticó la reactivación de un macrodeslizamiento en la ladera Sur del Viaducto No. 1 de la Autopista Caracas-La Guaira, el cual está ejerciendo empujes sobre la estructura del dicho Viaducto. Este diagnóstico se fundamentó inicialmente en indicios fisiográficos detectados en fotografías aéreas de misiones de 1936 hasta 1981, en evidencias de desplazamiento encontradas durante la etapa de geología detallada y el hallazgo de una superficie de deslizamiento antigua en ladera inferior al viaducto. Desde 1987 hasta la fecha se han realizado además de los estudios geológicos, actividades de exploración del subsuelo mediante geofísica y perforaciones, y se ha llevado a cabo un programa de instrumentación superficial y profunda, que ha permitido el seguimiento del comportamiento del deslizamiento y las deformaciones que ha sufrido la estructura.

Las características del macrodeslizamiento y los detalles de la instrumentación, han sido descritos en varios informes de la mencionada empresa consultora para el Ministerio de Transporte y Comunicaciones, y han sido resumidos en la literatura técnica especializada por Salcedo (1989), y Salcedo y Ortas (1992). De particular importancia hay que citar que los vectores de desplazamiento de la ladera son determinados tanto con puntos de control BM colocados en la superficie, como con inclinómetros instalados hasta los 50 m de profundidad. La

superficie de cizallamiento más profunda determinada por los inclinómetros, está localizada a unos 40 m por debajo de la cota de rasante del viaducto.

Se ha estimado que la ladera con problemas de inestabilidad está constituida por unos 5 millones de metros cúbicos de suelo y masa rocosa, y su vector de desplazamiento forma un ángulo entre 30° y 50°, con el eje del viaducto. Las velocidades del movimiento en 1987 eran del orden de 10 a 20 mm/mes, y fueron disminuyendo hasta mediados de 1992 a valores en un rango de 1-2 mm/mes. A partir de esa fecha se ha notado un nuevo incremento en la velocidad de movimiento de la ladera, estimándose para la fecha de presentación de este trabajo, una tendencia entre 3 y 5 mm/mes.

El lado Sur del Viaducto constituido por un estribo y dos pilas intermedias fundados directamente, y una pilastra fundada sobre pilotes verticales e inclinados (pozos de concreto), ha sufrido ciertos daños. Estos daños se pueden resumir en rotación y grietas de tracción en los estribos, grietas en las vigas longitudinales y transversales, grieta en la pilastra Sur, rotación en dos direcciones de dicha pilastra, acortamiento de la cuerda del arco, levantamiento y flexión horizontal del tablero, e inclinación de las bielas en ambas pilastras que constituyen los extremos de los tres arcos biarticulados (Véase Figura 1). Las tolerancias de dicha estructura y la predicción de su comportamiento, han sido previamente discutidos por Salcedo y Ortas (1992). Entre otros aspectos importantes, se puede mencionar que el límite para cerrar el viaducto al tráfico, se ha establecido cuando el acortamiento del arco alcance los 50 cm. Hasta la fecha, se ha estimado que el arco se ha cerrado unos 29 cm.

Como parte de los trabajos que se han realizado en el área del Viaducto, está la excavación de galerías que además de su carácter exploratorio, permitiría cumplir la función de drenaje, en el caso de encontrar flujos de aguas subterráneas, y serviría para la colocación de instrumentación dentro de la masa en movimiento.

El objetivo de este trabajo es describir las observaciones geológicas de mayor importancia obtenidas en la excavación de las galerías, y evaluar las implicaciones que dichas observaciones representan para las soluciones de ingeniería, requeridas para tan importante arteria vial.

PROYECTO Y CONSTRUCCION DE LAS GALERIAS

El proyecto de las galerías fue realizado por la empresa consultora Ingeotec (1991), y su construcción se inició en Marzo de 1992. El proyecto contempló la excavación de una galería denominada "transversal", a cota de entrada 680, orientada paralela al vector de desplazamiento de la ladera, y una galería subparalela al eje de vía, denominada "superior", con un total de 284 m de longitud. Asimismo para efectos de licitación se incluyeron unos 116 metros adicionales de excavación para construcción de ramales, cuya ubicación se decidiría de acuerdo a las observaciones que se fuesen obteniendo en el campo. La Figura 1 muestra la ubicación de las galerías excavadas hasta la fecha. La sección típica de dichas galerías y un perfil generalizado de carácter preliminar han sido incluidos en la misma figura.

La excavación en suelos fue realizada a mano, mientras que en la masa rocosa se requirió de voladura. El soporte de la abertura se ha realizado fundamentalmente con costillas de acero (IPN 120), separadas de acuerdo a las características del material excavado. Asimismo, en ciertas áreas críticas se ha utilizado refuerzo adicional consistente de concreto lanzado con malla y acañamientos de acero y madera. En varios sitios la competencia de la roca ha sido tal que se ha podido excavar colocando solamente perfos en el techo.

RESULTADOS DE LAS GALERIAS EXPLORATORIAS

En forma muy resumida los resultados de las observaciones realizadas en las galerías excavadas, son las siguientes:

1. En la galería transversal se ha determinado la existencia de un tramo de unos 39 m, constituido por suelos de origen coluvial, caracterizado por fragmentos angulares de calizas marmóreas, esquistos y gneises, en una matriz areno-limosa, a veces arcillosa. La orientación caótica de los bloques de rocas, sugiere que este material es producto del deslizamiento antiguo, y que es muy probable que el colapso fue rápido, en forma catastrófica, sin tiempo para el acomodo de dichos bloques.

Dentro del material coluvial, a unos 10 m del portal y hasta los 20 m de excavación, se encontraron superficies de cizallamiento, representadas por arcillas de espesores menores de 1 mm, típicas por presentarse pulidas y estriadas. La orientación de las estrías coincidía con la dirección de los vectores de desplazamiento determinados tanto por los puntos de control superficial como por los inclinómetros.

2. Adyacente al material coluvial se encontró unos 8 m de calizas metamórficas con buzamiento al Sur y superficies estriadas paralelas a la foliación, y seguidamente se encontró una brecha tectónica, que resultó con un espesor de 50 m (km 0+047-km 0+097), medidos en sentido de la orientación de la galería. La brecha está constituida por bloques de calizas marmóreas dislocados, y esquistos brechoides, en una matriz típica cataclástica y con abundantes superficies arcillosas pulidas y estriadas (slickensides). Asimismo, dentro de la brecha se detectaron geofracturas, cavidades rellenas por materiales sedimentados por eventuales flujos de aguas subterráneas y por materiales colapsados, y cavidades rellenas por la lechada utilizada durante la instalación de anclajes pasivos en la zona.
3. Adyacente a la brecha tectónica se encuentra, al Sur de ella, la masa rocosa más competente constituida principalmente por calizas marmóreas poco meteorizadas, duras, con intercalaciones de esquistos calcáreos y no calcáreos, con buzamiento entre 10° y 40° al Norte. Es de hacer notar que aún dentro de la masa rocosa más competente, la gran mayoría de los intervalos de esquistos interfoliados con las calizas presentan una textura brechoide, revelando movimiento tectónico entre intervalos duros y relativamente blandos. La galería superior se excava principalmente en esta masa rocosa, la cual en varios sitios se encontró desplazada por fallas geológicas subparalelas al eje de la galería transversal.
4. Con el fin de investigar la orientación de la brecha tectónica, se decidió excavar dos ramales adicionales. El denominado Ramal-1, con una longitud de 37 m y que encontró nuevamente la brecha de falla a unos 34 m de su intersección con la galería superior, y el Ramal-2, que tiene una longitud de 69 m. La ubicación de estos ramales, se indica en la Figura 1.
5. Con base en las observaciones geológicas detectadas en la galería transversal y superior, adicionalmente a las galerías mencionadas, se decidió excavar una galería denominada "inferior" a cota 657, paralela a la galería "transversal", a unos 57 m por debajo de la cota de rasante del viaducto (714). Esta galería tendría como función incrementar los conocimientos acerca de la posición espacial y características de la falla tectónica detectada en la galería transversal, permitiría investigar la existencia de superficies de deslizamiento más profundas y detectar cualquier presencia de agua subterránea a cotas inferiores a la de las galerías ya excavadas. En la galería inferior se excavaron unos 74 m, encontrándose una falla geológica con unos 4 m de espesor entre el km 0+010 y km 0+014. La brecha de la falla observada en la galería transversal, se comenzó a encontrar en el km 0+064, habiéndose avanzado 10 m dentro de ella. Las observaciones más importantes de mencionar es la presencia de abundantes superficies arcillosas, pulidas, y con estrías de apariencia reciente, paralelas a los

planos de foliación, los cuales se han encontrado que tienen rumbo alrededor de la E-W, y buzamientos predominantes entre 45° y 65° al Norte.

6. De extrema importancia es la mención de la gran cantidad de evidencias tectónicas encontradas durante la excavación de las galerías. Algunas de ellas, a nuestro juicio, pueden ser atribuidas a eventos neotectónicos, aunque hasta la fecha no se tienen resultados de dataciones. Entre las evidencias tectónicas se pueden mencionar:
 - Estrías de cizallamiento petrificadas y mineralizadas, muy duras, en algunos casos superpuestas. Estas se denominaron, para fines descriptivos, estrías antiguas.
 - Estrías de cizallamiento en costras arcillosas algo endurecidas. Para efectos puramente descriptivos se denominaron semi-recientes.
 - Estrías en arcillas blandas y de apariencia muy fresca. Se denominaron estrías recientes.

Las apariencias tan distintas de las superficies de cizallamiento en una misma litología, sugiere que la masa rocosa ha estado sometida al menos a tres períodos de actividad tectónica. Esta apreciación es también compartida por Schubert (1993).

- Dentro de las estrías recientes desarrolladas en arcillas blandas, pulidas, se detectaron superficies con dos direcciones distintas, lo cual pudiera ser un indicio de la ocurrencia de dos eventos neotectónicos. En muestras observadas en microscopio electrónico se pudo constatar la presencia de tres direcciones de cizallamiento, dos en un mismo plano y otra en dirección subperpendicular a dicho plano, que desplaza las estrías sobre él.
- Varias fallas geológicas menores con material de brecha petrificado, donde se han desarrollado nuevas superficies arcillosas de cizallamiento recientes, muchas de ellas mostrando movimiento del tipo de rumbo-deslizante. Este hecho se considera un indicio de actividad posterior a la que originó el fallamiento inicial.
- Presencia de estrías horizontales entre el suelo joven depositado en cavernas y fracturas en el contacto con la roca adyacente. Algunas de estas estrías son horizontales y perpendiculares al movimiento de deslizamiento de la ladera, y se han desarrollado en planos que buzaban hacia el Sur, contrarios al frente de exposición de la ladera en movimiento.
- De particular importancia es el tramo del Ramal-2 entre el km 0+255 y km 0+275, donde la foliación es prácticamente horizontal. En este tramo se aprecian abundantes estrías paralelas al eje de la galería (N15W), tanto en foliación como en las diaclasas de este mismo rumbo. Un ejercicio muy sencillo para explicar la presencia de estas estrías, considerando un bloque con foliación horizontal con una presión geostática de 30 m, y asumiendo una resistencia al corte relativamente baja en comparación con la que debió existir antes de la cizalla, da como resultados que se necesitan fuerzas de orden de magnitud muy superiores a las 2000 t/ml para mover la secuencia. Este ejercicio permite pensar que las estrías existentes son producto de esfuerzos tectónicos y no son originadas por el movimiento gravitacional de la ladera.
- Una evaluación preliminar realizada por Funvisis (1993) en una sección de las galerías excavadas, concluye que los campos de esfuerzos responsables de los movimientos tectónicos observados, corresponde a los tensores de esfuerzos plio-cuaternarios obtenidos en la región central por Funvisis (1984), tanto en rocas metamórficas como en sedimentarias. Coinciden con las apreciaciones de la empresa consultora Ingeotec, en cuanto a que la edad geológicamente reciente de la actividad de la falla presente en la galería como una brecha tectónica, es altamente factible.

7. En lo concerniente a la presencia de agua dentro de la masa en movimiento, hay que mencionar que solo se han conseguido goteos menores a unos 20 m del portal de la galería transversal, y en el cruce de la galería superior con el Ramal-2. Del resto se han encontrado zonas muy húmedas pero sin evidencias de flujos importantes. Se han perforado e instalado drenes en forma de abanico desde la galería transversal y superior, y hasta la fecha no revelan la presencia de flujos de agua.

Cabe destacar que un análisis químico realizado en una muestra de agua en el km 0+020, reveló un contenido anormal de sales y un pH muy básico de 10.9. Este tipo de aguas ha sido identificada por Rodríguez et al (1984) como aguas fósiles que han sido atrapadas en deslizamientos antiguos. En varios tramos se han detectado zonas importantes de oxidación de color amarillo ocre, lo cual se considera indicios de la existencia en algún momento de flujos de aguas a través de la masa rocosa. Ninguna de las aguas muestreadas ha manifestado la presencia de bacterias o partículas fecales, que sugieran su proveniencia de las viviendas ubicadas en la ladera superior.

En la galería inferior se han encontrado afloramientos de aguas subterráneas a nivel de piso (cota 657), estimándose que corresponden al nivel freático. Este nivel se encuentra por debajo de las superficies de deslizamiento detectadas con medidas inclinométricas.

TORMENTA DE IDEAS RESPECTO A POSIBLES MECANISMOS DEL DESLIZAMIENTO

Existen suficientes evidencias para aseverar que el problema que afecta al Viaducto No. 1, está relacionado con la reactivación de un deslizamiento antiguo. Sin embargo, no se han podido establecer con certeza las causas que originaron el deslizamiento original y la reactivación reciente del mismo. Entre las razones que pudieran justificar la reactivación del deslizamiento, se pueden mencionar las presiones generadas por aguas subterráneas producto de infiltración de aguas pluviales o provenientes de las viviendas marginales en la ladera superior, y/o la influencia de una componente de origen tectónico, en una masa rocosa intensamente afectada por tales eventos.

El efecto negativo del agua en la estabilidad de una ladera es indiscutible, sin embargo, el hecho de que no se hayan encontrado dentro de las masas en movimiento, flujos de agua importantes en las galerías excavadas, tornan esta hipótesis incierta como único factor responsable de la reactivación del deslizamiento.

A nuestro juicio es muy probable que el deslizamiento antiguo pudo haber estado asociado a un evento tectónico. Por tal razón, surge la siguiente pregunta: ¿Podría estar también la reactivación del mismo, asociada a deformaciones de tipo tectónico?. Cabe destacar que otras observaciones de macrodeslizamientos detectados en la ladera superior de la autopista Caracas-La Guaira, y en la margen derecha de la quebrada Tacagua a nivel de la planta Cantinas y Plan de Manzano, podrían conducir a pensar en la existencia de actividad neotectónica en la región. Estos planteamientos son obviamente conjeturas, puesto que no se dispone de los datos requeridos para la comprobación de esta hipótesis. En este mismo orden de ideas hay que mencionar que otros autores como Rial (1973), Fanti, Frontado y Vecchio (1981) y Schubert (1993), han presentado argumentos que sugieren actividad neotectónica en el sistema de fallas de Tacagua. Otros autores como Suárez y Nabelek (1990), aun cuando consideran que el sismo de Caracas en 1967, se originó en un sistema de fallas de orientación Este-Oeste, y no en fallas transversales como las de Tacagua, concluye que las fallas de dirección NW como las de este último sistema, deben ser consideradas sismogénicas y que deberían ser consideradas cuando se establezca el riesgo sísmico de la región norte-central de Venezuela.

El hallazgo de una brecha tectónica tan amplia, plantea ciertas interrogantes acerca de su posible influencia en el mecanismo inicial del deslizamiento y en su reactivación. No hay dudas en cuanto a que el material brechoide con abundantes superficies pulidas y diferentes orientaciones, debe ser considerado como un intervalo de muy baja resistencia al corte, en el cual se pueden desarrollar, muy fácilmente, superficies de deslizamiento. Cabe destacar que ensayos de corte directo en dichas superficies pulidas, dieron resultados de ángulos de fricción último de 12° en condiciones seca, y 6° en condiciones húmeda. Aún con un movimiento rumbo-deslizante de la brecha tectónica, pudiera justificarse la pérdida momentánea de la resistencia al corte en sentido del deslizamiento gravitacional y por supuesto explicaría su mecanismo de reactivación. Estos razonamientos han sido comentados por Goodman, Salcedo y Sancio (1992).

Es conveniente destacar que la falla encontrada en la galería transversal coincide con la interpretada por Aguerreverre (1955), se orienta según las escarpas de falla cartografiadas por Ingeotec (1984), y un tramo de ella fue interpretada como de posible existencia por Funvisis (1984).

En contra de la hipótesis de deformaciones tectónicas como agente de reactivación, se pudiera argumentar que el movimiento de la falla debería manifestarse en la superficie a nivel de la autopista, lo cual no ha sido comprobado. Es criterio del autor, en primer lugar, que solo se requieren deformaciones menores en la brecha de falla para reactivar un deslizamiento, y en segundo lugar, estas deformaciones no necesariamente tienen que ser visualizadas en superficie. Hay que recordar que en la zona del Viaducto, la brecha de falla está cubierta por un espesor hasta de 35 m de material coluvial, el cual puede impedir el reflejo de dichos movimientos y la propagación de grietas a nivel superficial. El autor ha tenido oportunidad de inspeccionar deslizamientos donde las grietas de tracción profundas, no se manifestaron en superficie.

Otra hipótesis para explicar la reactivación del deslizamiento, podría ser el efecto de sollicitaciones dinámicas provenientes de sismos que no necesariamente deben tener sus focos en el sistema de fallas de Tacagua. Especulando se podría pensar que el deslizamiento pudo haberse activado durante el evento sísmico de Julio 1967. Cabe mencionar que en la ladera superior del Viaducto No. 1, se han reportado problemas de estabilidad en 1974, 1976 y 1981, antes de detectar los daños en el Viaducto en Marzo 1987, lo cual pudiera ser indicativo de que la ladera estaba en proceso de movimiento. Si se continúa haciendo ejercicios mentales y se toma en cuenta que el cierre de la cuerda del arco del Viaducto se ha estimado en unos 140 mm, antes de comenzar las mediciones en Agosto 1987, se podría estimar la velocidad del movimiento distribuyéndola uniformemente desde la fecha de ocurrencia del sismo de 1967. De esta forma en esos 20 años resulta una velocidad de 7 mm/año, y si se considera la relación de desplazamiento suelo-estructura, determinada mediante correlación de mediciones en un mismo período de tiempo, resulta que la ladera se debe haber movido con una velocidad entre 10 y 15 mm/año, valores que están en el orden de magnitud de velocidades que se han medido en ciertos períodos prolongados de tiempo (2 años).

La necesidad de establecer con certeza los efectos del neotectonismo en el mecanismo del deslizamiento, es evidentemente imperante. De comprobarse esta hipótesis estaríamos en presencia de fuerzas in situ no controlables, por lo cual sería inútil cualquier intento de estabilizar la ladera en movimiento mediante métodos de ingeniería convencionales tales como remoción de sobrecarga en la parte crestal de la ladera, sistemas de drenajes, terraplenes, macro-anclajes, etc. Se tiene programado la ejecución de pruebas para determinación de esfuerzos in situ, y se ha recomendado un estudio orientado a la datación del material coluvial y de las diferentes superficies pulidas y estriadas por tectonismo. Los resultados serán de valiosa ayuda para definir el mecanismo del deslizamiento.

CONCLUSIONES

El caso descrito muestra la factibilidad de que una variable de índole neotectónica, prácticamente olvidada en las evaluaciones convencionales de los posibles mecanismos de rotura de un deslizamiento, debe ser considerada entre las hipótesis explicativas del fenómeno. Fuerzas tectónicas podrían haber sido responsables de la ocurrencia del macro-deslizamiento inicial de la gran masa actualmente en movimiento, y deben ser consideradas, por lo tanto, entre los factores que justificarían la reactivación posterior del mismo.

Sobre la influencia directa en el mecanismo del macrodeslizamiento, de las superficies pulidas y estriadas, originadas por cizallamiento de aparente origen neotectónico, no cabe la menor duda. Estas superficies de cizalla constituyen planos de muy baja resistencia al corte a lo largo de los cuales se pueden desarrollar fácilmente superficies de deslizamientos gravitacionales.

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa su agradecimiento a la Ing. Josefina Ortas de Martínez, por su participación activa en el levantamiento geológico detallado de las galerías y en la elaboración de los informes de avance. Asimismo agradece la colaboración de la Oficina de inspección WSATI y de la empresa CONINTUR, en las personas de William Savelli, Salvador Pulido, Alexey Korokbkoff, Luis Rangel, Roger Gamboa e Isaac Salcedo. Especial agradecimiento al Técnico Biaggio Carletta por su invalorable ayuda en todas las fases de las actividades de campo. El Dr. Gabriel Fernández de la Universidad de Illinois participó como consultor en el proyecto de las galerías.

REFERENCIAS

Aguerrevere, S. E. (1955)

"Aspectos geológicos en la construcción de la Autopista Caracas-La Guaira. Revista Colegio de Ingenieros de Venezuela. Abril.

INGEOTEC (1984)

Estudio de la Autopista Caracas-La Guaira. Km 0 - Km 4. MTC. Informe inédito. Vol. I y II.

INGEOTEC (1991)

Estudio geotécnico para diseño de galerías exploratorias y de drenaje, Viaducto No. 1, Autopista Caracas-La Guaira. MTC. Informe inédito. Vol. I y II.

INGEOTEC (1992 y 1993)

Informes de levantamiento geológico de galerías exploratorias, Viaducto No. 1, Autopista Caracas-La Guaira. MTC. Informes inéditos.

Fanti, O., Frontado, L., Vecchio, A., Rial, J. (1981)

"Tectónica moderna del área de Caracas y sus alrededores." Memorias III Congreso Venezolano de Sismología e Ingeniería Sísmica. Caracas. pp. 185-205.

FUNVISIS (1993)

Evaluación neotectónica preliminar de la galería superior del estribo Caracas del Viaducto No. 1 de la Autopista Caracas-La Guaira. Departamento de Ciencias de la Tierra. pp. 1.19.

FUNVISIS (1984)

"Estudio de riesgo sísmico Ferrocarril Caracas-Litoral. Informe inédito. Vol. y apéndices I.; sismotectónica, pp. 1.86.

- Goodman, R., Salcedo, D., Sancio, R. (1992)
Informe del grupo de consultores ad hoc sobre el problema del Viaducto No. 1, Autopista Caracas-La Guaira. Informe inédito. MTC.
- Rial, J. A. (1973)
"La fosa tectónica de Tacagua y su relación con la sismicidad de la región de Caracas." Boletín Sociedad Venezolana de Geólogos. V. 8. No. 3. pp. 49-54.
- Rial, J. A. (1978)
"The Caracas, Venezuela, earthquake of July 1967: a multiple source event". Journal of Geophysical Research. Vo. 83. pp. 5405-5414.
- Rodríguez et al (1984)
"Slope stabilization in weathered schists and shales by excavation and drainage." Proc. IV International Symposium on Landslides. Toronto. pp. 173-178.
- Salcedo, D. y Ortas, J. (1992)
"Investigation of the slide at the southern abutment hill of Viaduct N. 1. Caracas-La Guaira Highway, Venezuela." Proceedings of the Sixth International Symposium on Landslides. Christchurch, New Zealand. Vol. 1. pp. 189-198.
- Salcedo, D. (1989)
"Es predecible el comportamiento del macrodeslizamiento que afecta el Viaducto No. 1 de la Autopista Caracas-La Guaira?". Boletín Sociedad Venezolana de Mecánica del Suelo e Ingeniería de Fundaciones. No. 58. pp. 3-29.
- Suárez, G. y Nabelek, J. (1990)
"The 1967 Caracas earthquake: fault geometry, direction of rupture, propagation and sismotectonic implications." Journal of Geophysical Research. Vol. 95. No. B-11. pp. 17459-17470.
- Schubert, C. (1993)
"Informe preliminar sobre la actividad neotectónica de la zona de fallas de Tacagua." IVIC. pp. 1-3.
- Wehrmann, M. (1972)
"Geología de la región de Guatire-Colonia Tovar." Memorias Cuarto Congreso Geológico Venezolano. Tomo IV. pp. 2091-2121.

