



CGI

Centro
Geotécnico
Internacional

ARTICULO TECNICO

“Ingeniería geotécnica forense [Casos historia] parte III”

Ing. Luis Bernardo Rodríguez González

Ingeniero Civil de la Academia de Ingeniería de México

Ingeniería geotécnica forense [Casos historia] parte III

Autor:

Ing. Luis Bernardo Rodríguez González

Ingeniero Civil de la Academia de Ingeniería de México

www.ai.org.mx/ai

“No hay gloria en las cimentaciones”

Karl. Terzaghi.

“El que esté libre de una falla geotécnica,
que tire la primera piedra”

L. B. Rodríguez

1. RESUMEN EJECUTIVO

En este trabajo se describe lo que el autor ha conceptualizado como Ingeniería Geotécnica Forense, la cual presenta similitudes con los llamados “Casos Historia” en otros países.

La Ingeniería Geotécnica Forense trata de los casos en los que durante la construcción geotécnica, se han presentado y producido fallas; sobre todo tratándose de las obras de gran magnitud o extensión, donde intervienen grupos interdisciplinarios de profesionistas y las decisiones se comparten. Lo anterior no implica que las fallas se puedan producir únicamente en las obras grandes, sino también en obras pequeñas que no están exentas de los riesgos que implica la construcción geotécnica.

En este trabajo se presentan varios casos, la mayoría de los cuales están relacionados con las obras del Metro, en las que el autor ha desarrollado la mayor parte de su actividad profesional por más de treinta años.

La Ingeniería Geotécnica Forense en cada caso, se analiza y se discute bajo una metodología cuya secuencia comprende los antecedentes, el planteamiento del problema, la presentación de la falla, el análisis de las causas que la originaron y finalmente un enfoque que remarca las lecciones aprendidas. Este último punto se considera la parte medular de la Ingeniería Geotécnica Forense tratada en este trabajo, ya que permite conocer las causas de las fallas y sacar el mayor provecho de ellas con el fin de tomarlas en cuenta en procesos constructivos geotécnicos actuales o futuros similares y al mismo tiempo tomarlas como referencia en la academia para transmitir estas experiencias a los futuros ingenieros.

Finalmente se plantean algunos comentarios breves de tipo técnico y jurídico de la Ingeniería Geotécnica Forense.

2. PALABRAS CLAVE

- ✓ Geotecnia: Rama de la ingeniería que estudia la disposición de los materiales de la corteza terrestre y sus condiciones de equilibrio.
- ✓ Ingeniería Geotécnica Forense: el análisis de una falla que ocurrió durante una excavación, o durante la construcción geotécnica de una obra y el planteamiento del análisis minucioso de las causas que la produjeron.
- ✓ Falla: Evento que se presenta durante el diseño o durante la obra, que no concuerda con lo diseñado o lo planeado y que generalmente conduce a una accidente simple o fatal. En el diccionario: Defecto, falta, deficiencia o error, [Geol.]: quiebra que los movimientos geológicos que se han producido en un terreno.
- ✓ Sifón: Estructura con fines hidráulicos que en ingeniería sirve para eludir un obstáculo que se interpone con alguna obra, en este caso, la interferencia de alguna tubería con el cajón del metro. De acuerdo con el diccionario: Tubo encorvado que sirve para sacar líquidos del vaso que los contiene, haciéndolos pasar por un punto superior a su nivel.
- ✓ Colector: Tubería que en ingeniería hidráulica y en zonas urbanas o sub urbanas sirve para conducir los efluentes de aguas negras o grises; generalmente tuberías circulares de concreto de diámetros mayores que 60 cm.
- ✓ Pilote: Elemento de concreto reforzado generalmente de sección cuadrada, de longitud variable, pero siempre muy largo con relación a su ancho, que se construye por tramos y que se hinca dentro de un terreno para que sirva de apoyo a cajones o zapatas de cimentación y que transfiere los esfuerzos a los estratos inferiores del suelo.

3. INTRODUCCIÓN

En este trabajo se describen algunos casos de fallas durante la construcción de obras geotécnicas y excavaciones realizadas en algunas obras de las Líneas del Metro de la Ciudad de México y en otras construcciones que implicaron trabajos subterráneos. Las fallas pudieron estar relacionadas con errores, faltas constructivas, descuidos durante la construcción geotécnica, o bien por algunos descuidos u omisiones durante el proyecto o los análisis de estabilidad temporal de los procedimientos constructivos. Las fallas que se analizan en este documento, provienen de esas faltas, deficiencias o errores que se han producido en las obras geotécnicas, todas ellos de manera involuntaria.

Por otra parte el concepto de Ingeniería Forense es un concepto acuñado hace no más de treinta años dentro de la ingeniería. De acuerdo nuevamente con el diccionario, el término forense se asocia a la medicina forense y la definición que más se adapta es aquella que alude al médico forense que el diccionario la define como: “médico encargado por la justicia para dictaminar los problemas de medicina legal”.

Finalmente se buscó el término autopsia el cual se define en el diccionario como: “examen anatómico de un cadáver, o examen analítico minucioso”.

A la luz de estas definiciones, el concepto de Ingeniería Geotécnica Forense se ha considerado en este trabajo como el análisis “post mortem” de una falla que ocurrió durante una excavación, o durante la construcción geotécnica de una obra y el planteamiento de un análisis minucioso de las causas que la produjeron, siempre con la finalidad de no repetir en el futuro las causas que la originaron y de alejarse lo más posible de los riesgos que implica la presencia de este tipo de eventos. Bajo este concepto están planteadas las fallas analizadas en este trabajo, desde un punto de vista estrictamente de la ingeniería.

En algunos países, incluido el nuestro, estos conceptos donde se presentan fallas en la ingeniería, son llamados también Casos Historia y como su nombre lo indica, corresponden a la relatoría de los casos donde se presentaron incidencias o fallas y se analizan sus causas, el autor considera que es más completo el concepto de Ingeniería Geotécnica Forense.

De inmediato surge la pregunta ¿y cómo considerar las repercusiones jurídicas o penales que conllevan este tipo de problemas? La respuesta es compleja, no es fácil, es un enfoque de responsabilidades que no forma parte de los alcances de este trabajo.

En las obras de gran magnitud o extensión, intervienen grupos interdisciplinarios de profesionistas y las decisiones y responsabilidades se entrelazan y comparten, sin embargo la ocurrencia de fallas no es privativa de las grandes obras, las obras pequeñas no están exentas de los riesgos que implica la construcción geotécnica.

Existe por parte de algunos ingenieros la idea de que la Ingeniería Forense debe ser parte de una especialización dentro de la Ingeniería, en la que se estudien las implicaciones legales que tienen las incidencias y fallas de las obras y en la que los estudios legales formen parte de esta especialización.

Estas consideraciones responden a una similitud con la Medicina Forense, sin embargo el autor de este trabajo considera que no se requiere de tal especialidad, pues en general, en el caso de las fallas, se hace necesario hacer un trabajo minucioso de las causas de las mismas y esto se logra a través de la participación de ingenieros expertos que actúen como peritos, que tengan experiencia en la ingeniería geotécnica, que elaboren su dictamen técnico con profundidad, veracidad y ética profesional, pero lo más importante es lo que me decía un amigo abogado: que no dicten sentencia, ese es trabajo propio de los jueces y abogados, para ello están las instancias legales y la especialidad jurídica que debe aplicarse en los casos que sea necesario.

Planteadas las ideas y los conceptos que corresponden a los objetivos de este trabajo, a continuación se describen algunas de las fallas que han ocurrido en el pasado, la mayoría de ellas relacionadas con las obras del Metro de la Ciudad de México, en las que el autor ha participado.

4. DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE ALGUNAS FALLAS

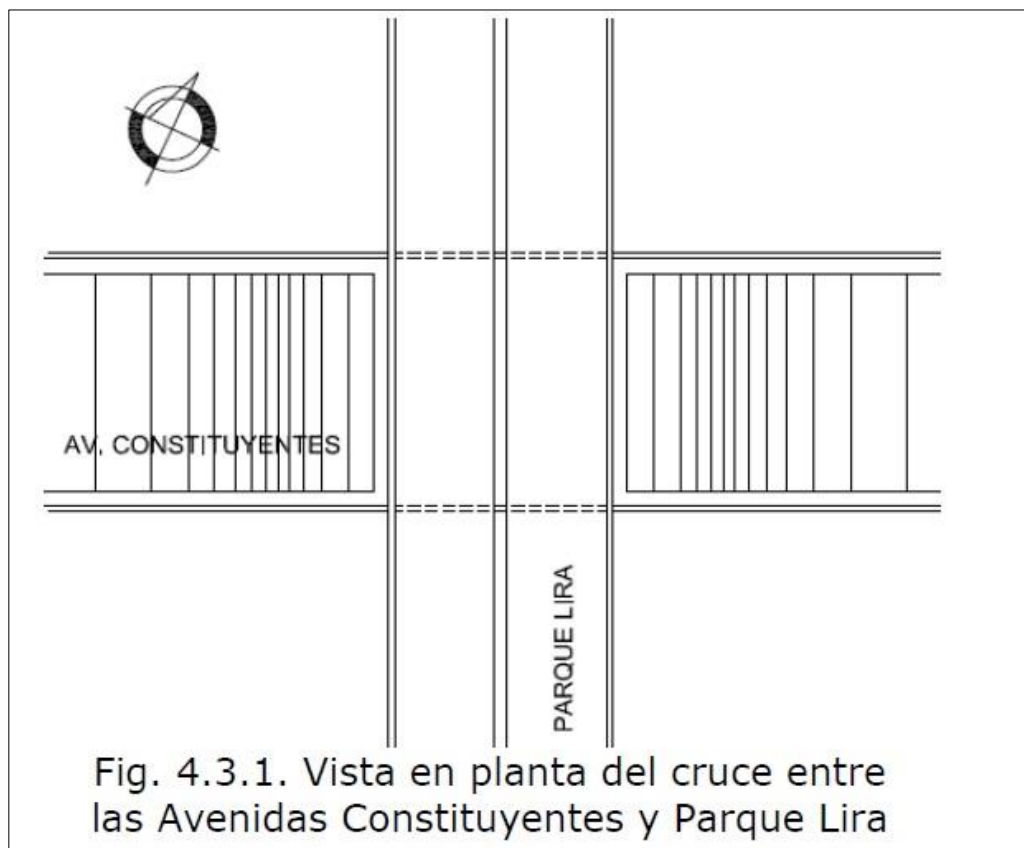
A continuación se reseñan algunas fallas relacionadas con la construcción geotécnica, describiendo la obra, el procedimiento constructivo, la falla, el análisis geotécnico de la falla y las Lecciones Aprendidas.

4.3. Falla del muro del Paso Vial en Av. Constituyentes

4.3.1. Descripción de la obra

En la intersección de las Avenidas Parque Lira y Constituyentes, se construyó un paso Vial deprimiendo Constituyentes y dejando Parque Lira a nivel [Figura 4.3.1].

La excavación para este paso vial se realizó a cielo abierto entre taludes laterales con muy poca inclinación aprovechando el tipo de suelo que se presenta en esa zona de la ciudad caracterizado con una alta resistencia a los esfuerzos cortantes.



4.3.2. Estratigrafía de la zona

El paso vial está ubicado en la zona de Lomas de la Ciudad de México, constituida por limos arenosos cementados que fueron depositados por vía eólica producto de las nubes ardientes volcánicas que arrojaron los volcanes de la periferia del Valle de México. Estos suelos se caracterizan por estar en algunos casos cementados y algunas veces tener un alto contenido de arena. Su resistencia al corte es alta en comparación con el resto de los suelos del Valle y no existe la presencia del nivel freático. También estas zonas se caracterizan por la presencia de cavernas que se construyeron en los 40's para la explotación de las arenas azules que sirvieron para las construcciones de esa época y que dejaron oquedades que pueden ser causantes de fallas en las cimentaciones.

4.3.3. Procedimiento constructivo

El procedimiento constructivo desarrollado para la construcción del paso vial consistió en excavar en todo el ancho de la Av. Constituyentes, en etapas de 30 m de longitud como máximo entre taludes laterales inclinados 0.15:1 desviando previamente las obras inducidas de tuberías de agua potable, atarjeas y colectores.

Alcanzada la profundidad de excavación se coló la losa de fondo de concreto reforzado y se dejaron las preparaciones en el armado para ligar los muros laterales del paso. Estos muros se construyeron por tableros con una cimbra la cual se retiraba una vez alcanzada la resistencia especificada del concreto, posteriormente se colocaba el relleno en el respaldo del muro, por capas con un material areno limoso [tepetate] compactado.

Las curvas de nivel en esa zona crecen hacia el poniente de constituyentes por lo que hay una pendiente del terreno en el sentido oriente poniente del orden del 3% que baja hacia el oriente de Constituyentes.

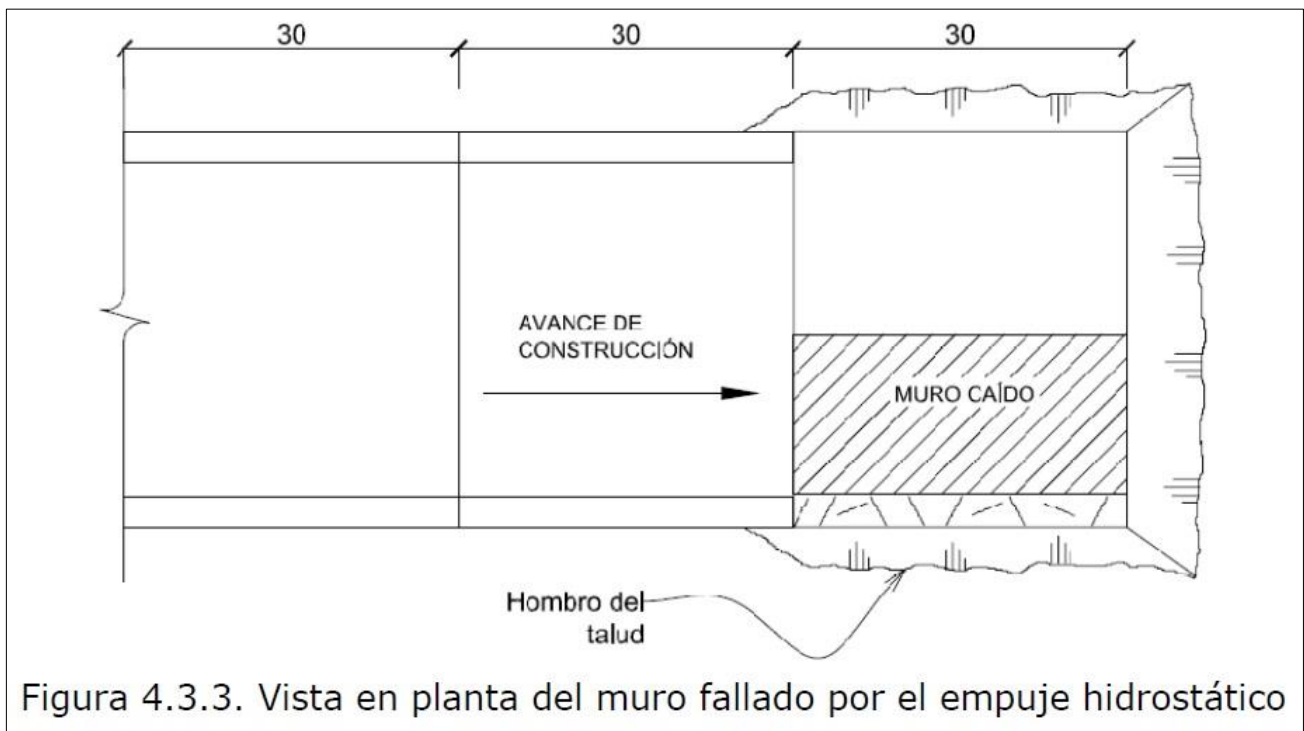
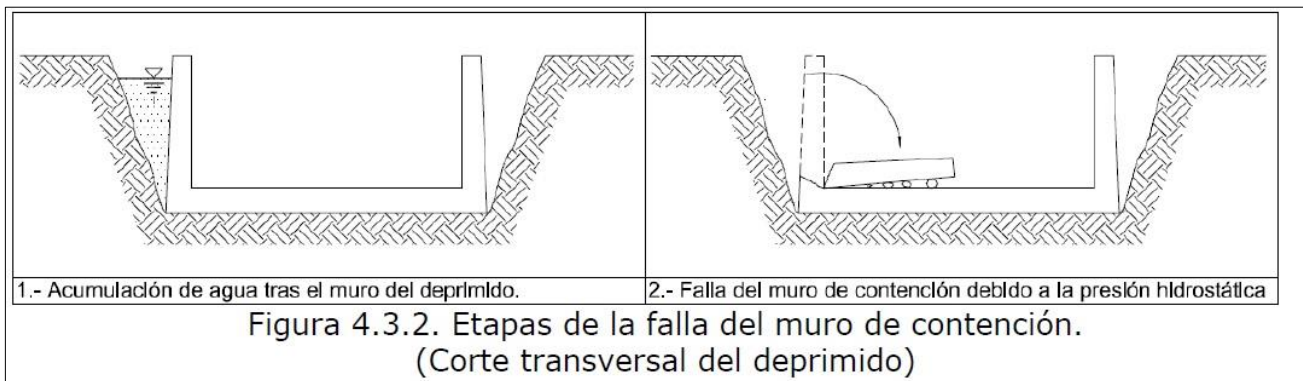
4.3.4. Presentación de la falla

Una vez construidos el muro norte más cercano al cruce con parque Lira y antes de rellenarlo, existía un hueco donde debería colocarse el relleno en el respaldo del muro. La construcción se ejecutó durante la época de lluvias, por lo que después de una lluvia abundante, el agua reconoció hacia el respaldo del muro y provocó un empuje hidrostático en casi toda su altura, que no pudo ser resistido por éste provocando la falla del mismo y su caída hacia la losa de fondo. Figuras 4.3.2 y 4.3.3.

5. Recuperación de la obra

La falla que se relatan en este escrito se corrigió y hoy en día la obra donde se presentó tienen un comportamiento adecuado; a continuación se menciona brevemente el procedimiento que se usó para solucionar el problema.

Para recuperar la excavación se procedió a tapar los pozos de visita del colector que estaba en desuso, evitando así que el agua de lluvia no se introdujera nuevamente en el colector, se afinó la superficie del talud fallado, se retiró el material del fondo, se cubrió con un hule toda la superficie del talud con el fin de evitar que el agua de lluvia se introdujera en el cuerpo del mismo, se dio seguimiento estricto a las nivelaciones del hombro del talud y de las banquetas, y se prosiguió con la excavación.

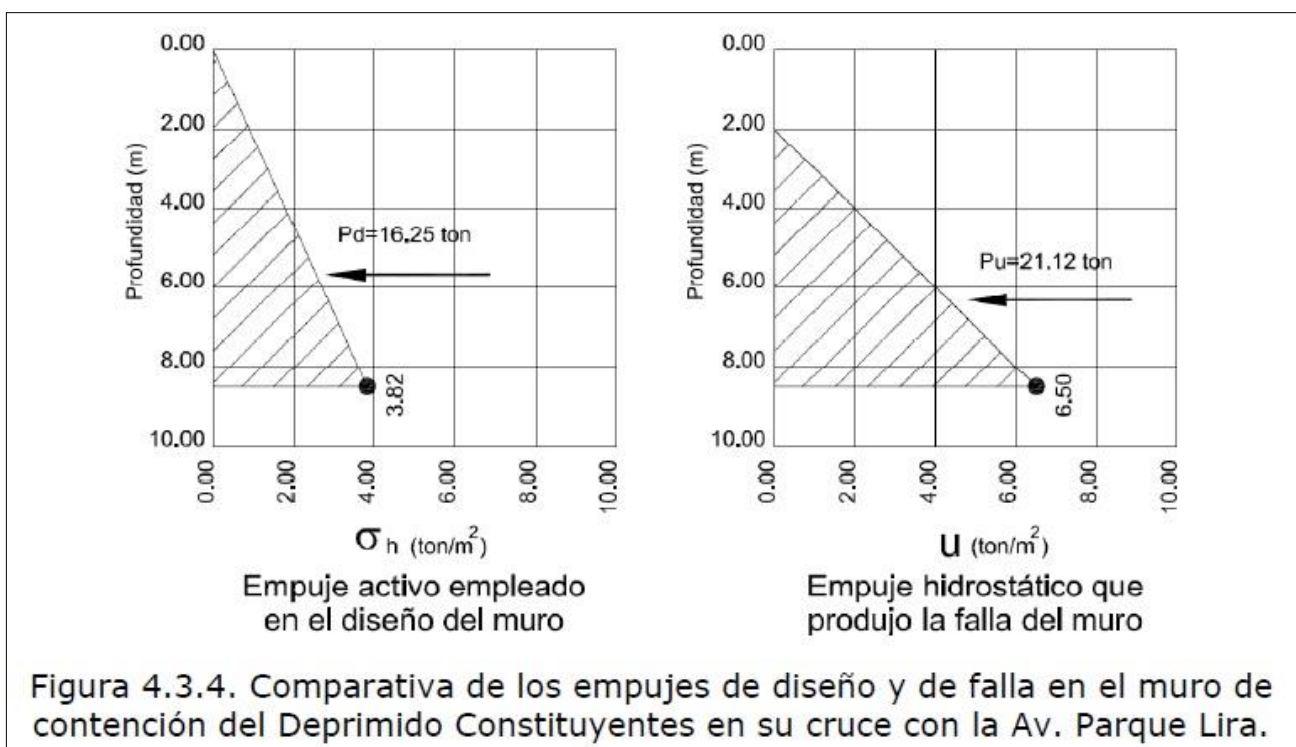


El muro no estaba diseñado para soportar el empuje hidrostático en toda la altura, y tampoco se habían diseñado drenes en su respaldo para drenar el agua que a futuro se pudiera infiltrar en el respaldo del muro.

El muro fallado se volvió a construir y se instalaron anclas en todos los muros ya construidos capaces de tomar una eventual presencia de agua en el respaldo de todos los muros.

4.3.5. Análisis de la falla

Se calculó el empuje hidrostático que produjo la lluvia del día anterior sobre el respaldo del muro y su valor fue mayor al empuje activo con el que se diseñó el muro, originando esta condición que el momento flexionante en la base del muro fuera mayor que el momento resistente produciendo la ruptura y el volcamiento del muro de contención. Los valores de los empujes de diseño e hidrostático se presentan en la figura 4.3.4.



4.3.6. Lecciones aprendidas

La lección aprendida es que durante la construcción de muros de este tipo, en los que el respaldo se debe rellenar con material areno limoso compactado por capas, entre el momento de la terminación del muro y la colocación del relleno se debe cuidar que el drenaje esté garantizado sobre todo si se construye durante la época de lluvias y si el muro no está diseñado para un empuje hidrostático.

El diseño de los muros, aunque no se tenga nivel freático, debe considerar una carga hidrostática o en su defecto debe considerar la instalación de un filtro en el respaldo y drenes en la base del muro que a largo plazo eviten la sobrecarga de una entrada eventual del agua y una posible falla.

5. Recuperación de la obra

La falla que se relatan en este escrito se corrigió y hoy en día la obra donde se presentó tienen un comportamiento adecuado; a continuación se menciona brevemente el procedimiento que se usó para solucionar el problema.

En este cruce, se procedió a demoler el muro fallado, se restituyó el acero de refuerzo en la zona de la conexión entre la zapata y el muro, y se procedió a colar nuevamente el muro. Se especificó que durante su construcción se instalaran bombas de emergencia provisionales por detrás del muro. Finalmente se colocó material areno limoso compactado en el respaldo como relleno. Los muros se reforzaron con anclajes para tomar algún eventual empuje hidrostático futuro, provocado por la rotura de alguna tubería o por la filtración de las lluvias. Estos anclajes se diseñaron con anclas pasivas y se colocaron a todo lo largo del paso vial, en los lados norte y sur, y se ubicaron en el tercio inferior de los muros.



T. 485-1540
Calle Leo 1180 P5, Los Olivos - Lima
informes@centrogeotecnico.com
www.centrogeotecnico.com