



LICUEFACCIÓN

LA TIERRA SE DESVANECE

■ El análisis de las características de licuefacción y un repaso gráfico con imágenes que muestran los serios daños que ocasionó este fenómeno en el centro-sur de nuestro país, a causa del terremoto del 27 de febrero.

RAMÓN VERDUGO
PROFESOR ADJUNTO, DPTO. INGENIERÍA CIVIL,
UNIVERSIDAD DE CHILE

GEO ENGINEERING EXTREME EVENTS
RECONNAISSANCE, GEER (*)



Detalles del fenómeno con eyecciones procedentes de las fisuras del suelo.

E L TÉRMINO “Licuefacción” (traducido como licuación o licuefacción) habría sido acuñado por el ingeniero

Allen Hazen en 1920 al referirse a la falla de la Presa Calaveras, ocurrida el 24 de marzo de 1918. Esta estructura, ubicada en California, Estados Unidos, se construía mediante el sistema de relleno hidráulico típico de esa época. De pronto, experimentó la falla del talud de aguas arriba sin que mediara ningún tipo de perturbación adicional a las propias de la construcción. De acuerdo a Hazen, la Presa falló repentinamente y aproximadamente 730 mil metros cúbicos de material se deslizaron a través de una distancia de unos 90 metros. De esta particular falla se destacan dos aspectos:

- El nivel de deformaciones observado fue extraordinariamente alto. De hecho, se podía asimilar más al flujo de un líquido viscoso que a la deformación de un material granular.

- El flujo del material ocurrió en forma repentina sin que mediara ninguna excitación externa perceptible por el hombre, sísmica o de otra índole.

Más antecedentes. Durante la ocurrencia de sismos severos se ha observado sistemáticamente que depósitos saturados de suelos no-cohesivos con deficiente grado de compactación sufren un significativo nivel de deformaciones, incompatible con la estabilidad de cualquier estructura. Comúnmente, este tipo de falla se asocia con afloramiento de agua en superficie y la aparición de “volcanes” de arena, que evidencian zonas relativamente superficiales que generan altas presiones en el agua intersticial del medio granular.



En el río Carampangue se observa la manifestación de licuefacción del suelo superficial desde más de 1.000 m de altura.

En terremotos como el de Nigata en 1964, Valdivia 1960, Valparaíso 1983, Filipinas 1990, Kobe 1995 y recientemente en el terremoto del Maule resulta significativa la cantidad de zonas constituidas por depósitos de suelos arenosos saturados y sueltos que han experimentado licuefacción. En estas áreas el nivel de deformaciones del terreno ha superado largamente al admisible de las estructuras, produciéndose la consiguiente falla y su colapso en numerosos casos.

Al analizar las características de estas fallas de suelo resulta claro que existen dos fenómenos, ambos asociados con una importante generación de presiones de poros. En el primer caso existe una pérdida de resistencia, y en el segundo pérdida de rigidez. En el primero no es necesaria la acción permanente de la perturbación en el momento de la falla, en cambio en el segundo sí se requiere la acción sísmica durante el desarrollo de las deformaciones. Para referirse a cada uno de es-



Por licuefacción del subsuelo, bloques de suelo superficial se trasladaron y rotaron, fenómeno conocido como desplazamiento lateral, lo cual es la evidencia más común de las capas del subsuelo con pérdida de resistencia a causa de licuefacción.

aplicación de una sollicitación cíclica. El profesor H. Bolton Seed junto a sus colaboradores fueron los pioneros en el desarrollo y utilización de ensayos cíclicos, los que mostraron en laboratorio que una sollicitación de naturaleza cíclica inducía un comportamiento con aumento gradual de presiones de poros y consiguiente disminución de las tensiones efectivas, asociado a lo cual, el elemento de suelo respondía con una gran deformación. La falla por licuefacción se definió por el número de ciclos necesarios para que un tren de carga y descarga provoque por primera vez un aumento de presión de poros del 100%. Para dar un carácter más práctico al criterio de falla por licuefacción, ésta se definió alternativamente por el número de ciclos en el cual un tren de cargas cíclico induce un nivel

tos fenómenos, el profesor Arturo Casagrande en 1975 propuso el uso de los términos: Licuefacción Verdadera y Movilidad Cíclica.

MOVILIDAD Y LICUEFACCIÓN

El término movilidad cíclica fue acuñado por Casagrande para identificar la continua degradación de rigidez asociada al incremento de presión de poros, observado durante la

Falla lateral sobre un terreno próximo a la ciudad de Concepción.



preestablecido de deformación, el cual se ha manejado entre un 2,5% a un 10% de deformación en doble amplitud.

Consecuentemente, la resistencia a la licuefacción, entendida como movilidad cíclica, se define como la razón de tensiones cíclicas (corte cíclico/confinamiento efectivo inicial) que produce 100% de presión de poros, o algún nivel de deformación, en un determinado número de ciclos de carga y descarga.

Por otra parte, el término licuefacción verdadera (true liquefaction) se refiere al fenómeno

the co.

Llegar a ser el número uno no era lo más importante. Pero alguien tenía que hacerlo.

DecoCenter: Avda Nueva Costanera 3996, Vitacura.
Fábrica: Avda Einstein 678, Recoleta.
Y RED DE DISTRIBUIDORES EN TODO CHILE.
www.carpenter.cl

CARPENTER

Más que una marca, una filosofía.

En el centro de Concepción, en el borde suroccidental de la Laguna Las Tres Pascualas, se observó licuefacción de suelos y desplazamiento lateral. Ésta se produjo en un pequeño parque y continuó a través de un espacio abierto hacia el sur, destruyendo viviendas en un barrio modesto.



asociado a una pérdida repentina de resistencia y en el que la masa de suelos fluye, asemejándose a un fluido viscoso. También se le ha denominado falla de flujo o falla fluida (flow failure), enfatizando así el aspecto relativo al flujo de la masa de suelos. Existen interesantes casos donde ha ocurrido tras una sollicitación sísmica, como el reportado en la falla del Dique N° 2 de Relaves de la mina de oro japonesa Mochikoshi, la cual sobrevino 24 horas después del sismo del 14 de Enero de 1978.

Una falla de flujo puede ser "gatillada" por un sismo si el esfuerzo de corte permanente es mayor que la resistencia última no-drenada del material. Esta falla responde a una situación de inestabilidad y su ocurrencia dependerá de la amplitud y duración de la perturbación rápida, que induce la respuesta no-drenada de la masa de suelos.

Luego, una masa de suelos no-cohesiva sólo puede desarrollar falla fluida si se cumplen las dos siguientes condiciones:

- El estado inicial de tensiones y densidad de la masa de suelos es tal que su comportamiento volumétrico resulta con una tendencia totalmente contractiva, de modo que la rela-



En puentes, la observación más común fue la falla en los rellenos de accesos a causa de los movimientos sísmicos. Hubo numerosos asentamientos de rellenos de acceso por las vibraciones sísmicas. En la foto se aprecia el impacto de la licuefacción y el desplazamiento lateral en el tramo norte del Puente de Mataquito.



ción tensión-deformación bajo carga no-drenada sea con una resistencia peak, seguida de una pérdida de resistencia.

- Las tensiones de corte estáticas, o permanentes, existentes en la masa de suelos y alcantilladas bajo un régimen de carga drenado, son superiores a la resistencia última no-drenada.

Es importante hacer notar que la falla de flujo necesita de un agente perturbador externo que "gatille" la respuesta no-drenada, pero éste no requiere estar presente al momento de la falla. En ese instante sólo importa la magnitud de la sollicitación permanente respecto de la resistencia última no-drenada.



Destrucción del pavimento producto de la licuefacción y deformación lateral del terreno en la ribera norte del río Bío Bío.

La carretera Panamericana cruza numerosos ríos, canales y zanjas en la región central de Chile. Allí, los daños más frecuentes se observaron por falencias en la construcción de alcantarilla.



LICUEFACCIÓN EN CHILE

Tras conocer las causas y efectos de la licuefacción, vamos a terreno. El equipo GEER hizo un reconocimiento terrestre y aéreo de la zona afectada por el terremoto, a comienzos de marzo. Hay que recordar que la catástrofe se extendió por 600 km de largo y 150 km de ancho, cubriendo áreas con fuerte presencia de ríos. Los sedimentos de estas corrientes contribuyeron a la generación de licuefacción. Este fenómeno y las deformaciones posteriores impactaron principalmente en estructuras asociadas a transporte, causando daños a carreteras y puentes que atraviesan los sistemas fluviales.

Está claro: Hubo licuefacción en Chile, y en amplias zonas.

El tamaño de partícula y la densidad relativa de los suelos granulares desempeñaron un papel importante en la ocurrencia del fenómeno. El exceso de presiones de poros que resultan en la pérdida de resistencia y generación de deformaciones puede sostenerse mucho más fácilmente en un material granular fino que en un material granular grueso, esto por la permeabilidad del material con respecto a la velocidad de aplicación de la carga. Además, un entorno de mayor energía también dará lugar a un material más denso, menos susceptible al comportamiento contractivo que produce el exceso de presiones de poros. Las dunas y arenas de la playa casi no mostraron evidencia de licuefacción. Estos terrenos son más densos y



Desplazamientos laterales del suelo en las cercanías del embalse Tutuvén. También hubo deformaciones por licuefacción aguas arriba del reservorio, pero éstas no representan un riesgo para el embalse ni para el dique de tierra, construido en la década del 40.



Abajo: Numerosos silos y tanques industriales sufrieron daños debido a la fuerte sollicitación sísmica con alto contenido de periodos largos. Existen varios casos reportados donde la falla fue causada por licuefacción del terreno de fundación.

por tanto menos susceptibles a responder en forma contractiva.

En las imágenes que acompañan al texto, captadas durante las observaciones aéreas y terrestres del equipo de expertos, se aprecian los daños ocasionados por este fenómeno en el centro-sur de nuestro país, tras el terremoto. Por el ejemplo, durante el reconocimiento aéreo, se comprobó la manifestación de licuefacción del suelo superficial en las siguientes cuencas de norte a sur: Río Maipo, Río Rapel, Estero Nilahue, Lago Vichuquén, Río Mataquito, Río Maule, Río Itata, Río Bío Bío, y Río Carampangue, entre otros. Además, en las observaciones terrestres se detectaron los daños que este fenómeno originó en viviendas, puentes y carreteras.

En particular en el pueblo de Retiro se ob-



Falla del primer apoyo (lado Concepción) del puente Juan Pablo II debido al desplazamiento horizontal del terreno producto de la licuefacción de éste.

servó la ocurrencia de licuefacción en varios sectores, uno de cuyos efectos evidenciaron la deformación del suelo y de los pavimentos de la vereda. Una situación similar, pero de mayor extensión y deformación lateral, ocurrió en gran parte de la ribera norte del río Bío Bío. Probablemente el caso de mayor efecto social se dio en el Hospital de Curanilahue, donde el edificio más alto sufrió la licuefacción de parte del terreno de fundación, produciéndose asentamiento y giro de la estructura, lo cual dejó inhabilitada esta parte del hospital. La falla del puente Juan Pablo II también es atribuible al fenómeno de licuefacción, resultando evidente la falla del primer apoyo del estribo de Concepción producto del desplazamiento lateral del terreno inducido por este fenómeno.

En resumen, la licuefacción fue ampliamente observada en la región afectada por el terremoto. Este fenómeno se manifestó principalmente en sedimentos fluviales saturados y sueltos, los que abundan en los lechos de ríos del Chile Centro-Sur. Desde vuelos de reconocimiento se observó una gran cantidad de evidencia de licuefacción en terreno libre (sin construcciones). También sufrieron sus efectos fundaciones de edificios, estructuras enterradas, tranques de relaves, instalaciones portuarias y carreteras. El impacto más significativo de la licuefacción en este terremoto está asociado a los altos costos de reparar los rellenos de accesos y secciones de carreteras dañadas, entre otras estructuras. Como en la mayoría de los terremotos, la licuefacción no necesariamente se reflejó en fallas de grandes proporciones, pero sí en daños importantes localizados en una gran área. ■

(*). Geo Engineering Extreme Events Reconnaissance, GEER, (Geo Ingeniería de Reconocimiento de Eventos Extremos) realizó la investigación Geo-Engineering Reconnaissance of the February 27, 2010 Maule, Chile, de la cual se extraen las observaciones y las imágenes. El estudio completo se puede consultar en: http://www.geerassociation.org/GEER_Post%20EQ%20Reports/Maule_Chile_2010/Maule_Chile_2010_index.html

BAUTEK

EXTIENDE LA VIDA DE SU OBRA

www.bautek.cl