



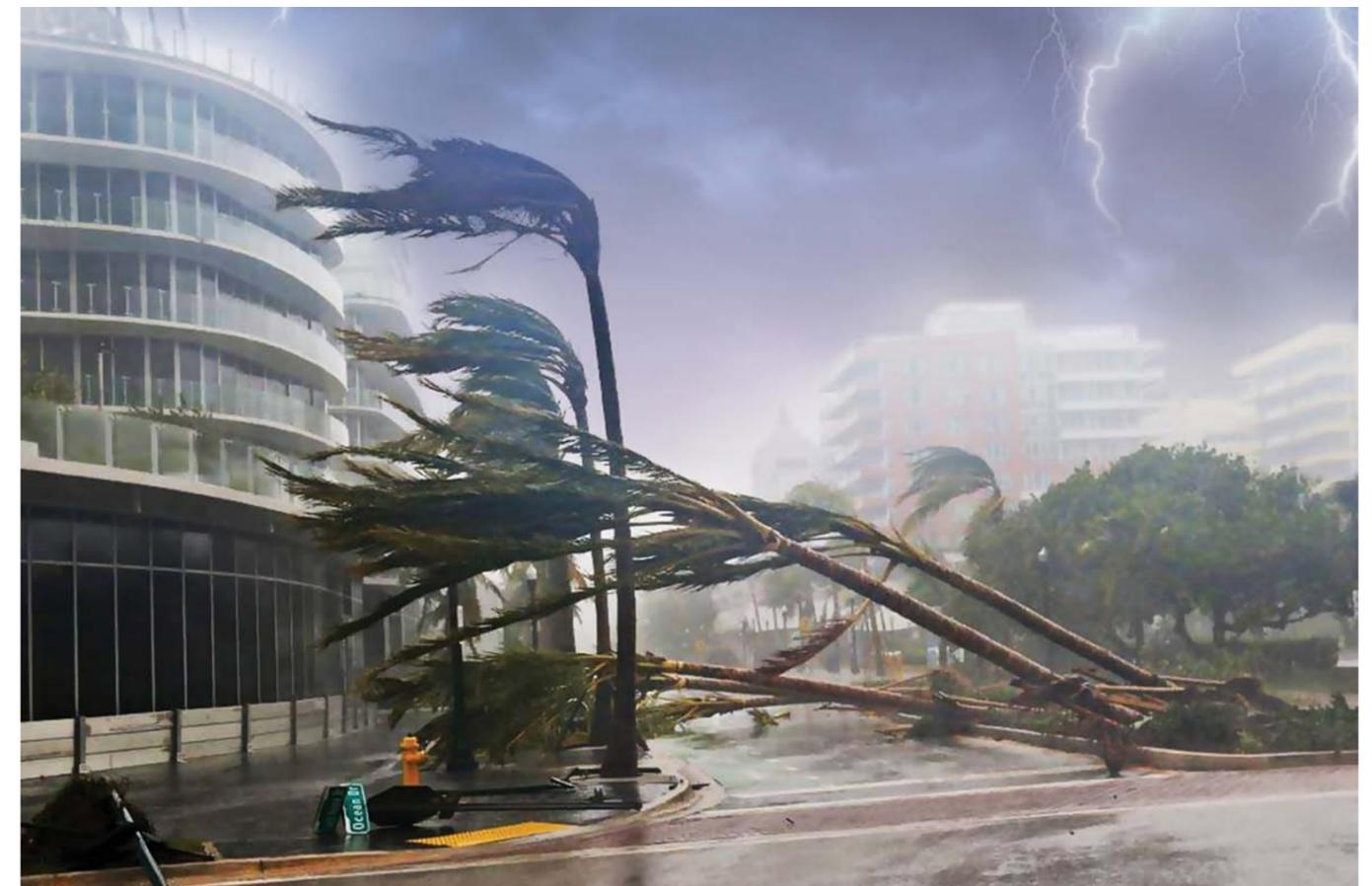
LOS HURACANES, LA INGENIERÍA Y EL ESTUDIO DE LOS SUELOS

Autor: Dr. Bernardo Castellanos, Doctorado en Ingeniería Civil con concentración en Ingeniería Geotécnica de la Universidad de Virginia Tech. Investigador y Director de los laboratorios de mecánica de suelos de la Universidad de Virginia Tech. Consultor de varias empresas, tanto en Estados Unidos como en el país. Email: bernardo.castellanos@gmail.com

Los huracanes son el fenómeno natural que ha causado más pérdidas humanas y económicas en la República Dominicana. De acuerdo con una publicación realizada en el periódico Diario Libre el 7 de septiembre del año 2017, nuestro país había sido afectado por 24 fenómenos atmosféricos, causando grandes pérdidas humanas y económicas, en los 20 años anteriores a esa fecha. Según datos en esta publicación, los huracanes que más daños causaron en ese periodo de tiempo fueron el huracán Georges en el año 1998, cuyas pérdidas fueron

estimadas en \$35,000 millones de pesos y 250 muertos y el huracán Jeanne en el año 2004, con pérdidas estimadas en \$9,647 millones de pesos y 11 muertos.

Esta publicación solo cubre la historia reciente de huracanes en el país, pero aún queda en la memoria de algunos los huracanes San Zenón en el año 1930 y David en el año 1979, los cuales se estiman generaron 8 mil y 2 mil personas muertas, respectivamente.





El cambio climático ha causado que la frecuencia y la intensidad de los huracanes se hayan incrementado en los últimos años. Desde el año 1924 se han registrado 33 huracanes categoría 5 en el Océano Atlántico, a razón de uno cada más o menos 3 años y en el año 2017 solamente, se registraron dos y uno en el año 2016. Los daños causados por el huracán Irma, también categoría 5 en su paso por el Caribe, se estiman en unos \$101 mil millones de dólares y 134 muertos, uno de los más costosos de la historia.

Los huracanes se clasifican de acuerdo a la velocidad de sus vientos utilizando la escala Saffir-Simpson. En un huracán categoría 5, los vientos alcanzan velocidades superiores a los 250 Km/hr, lo cual ejerce una fuerza significativa sobre los edificios. La fuerza causada por el viento en estructuras verticales, es proporcional al área lateral de la misma. Es decir, que esta fuerza incrementa a medida que aumenta la altura y/o el ancho del edificio. Específicamente en estructuras muy altas, estas fuerzas deben ser especialmente tomadas en cuenta, ya que pueden causar desplazamientos significativos y el potencial fallo de las mismas.

Toda fuerza a la que es sometida un edificio, se transmite de una forma u otra al suelo, incrementando los esfuerzos sobre el mismo. Por esta razón una buena caracterización del suelo

desde el punto de vista geotécnico, es de vital importancia para asegurar el buen desempeño de estas estructuras durante cualquier estado de cargas, pero sobre todo, durante eventos extremos como terremotos y huracanes. Las cargas producidas en los edificios por los vientos de los huracanes van a ser transmitidas al suelo, causando un incremento en el esfuerzo a compresión transmitido al suelo, pero también en los esfuerzos laterales que la fundación transmite al suelo. Estos últimos, en particular, son muy importantes al momento de hablar de huracanes y pueden controlar el diseño de la fundación.

El estudio de suelo es uno de los aspectos más importantes de la etapa inicial de un proyecto de ingeniería y aun así es muy común observar en los proyectos de ingeniería la práctica de no querer invertir en estudios geotécnicos detallados, como una forma de reducir costos. Esta práctica es un grave error que puede tener consecuencias fatales sobre la seguridad de incrementar el costo de la obra. Un buen estudio de suelos debe iniciar con un estudio geofísico o con la revisión del mapa geológico del área en donde se construirá la estructura, ya que esta información puede ser vital para determinar la cantidad, distribución y la profundidad de los sondeos necesarios, dependiendo de la estructura que se va a construir.

| Categoría | Velocidad del viento (Km/h) | Daño en tierra | Marea de tormenta (pies) |
|--------------------------|-----------------------------|---------------------|--------------------------|
| Tormenta Tropical | 63 - 118 | NINGUNO | Estándar |
| 1 | 120 - 153 | MINIMO | 4-5 |
| 2 | 154 - 177 | MODERADO | 6-8 |
| 3 | 178 - 209 | EXTENSO | 9-12 |
| 4 | 210 - 250 | EXTREMO | 13-18 |
| 5 | Más de 250 | CATASTROFICO | 19+ |



El manual R-024 publicado por el Ministerio De Obras Publicas y Comunicaciones titulado "Reglamento para Estudios Geotécnicos en Edificaciones", contiene estipulaciones mínimas sobre la cantidad y profundidad de los sondeos que se deben hacer, basadas en condiciones de terreno y tamaño de la estructura, pero no define claramente la cantidad de sondeos mínimos a realizar, cuando estos se combinan con métodos geofísicos o cuando tenemos zonas cavernosas. Es bueno resaltar, que los requisitos presentados en este manual son requisitos mínimos y queda al criterio del Ingeniero Geotécnico decidir, si estos son suficientes o si el proyecto y/o la zona, amerita hacer un estudio de suelo más exhaustivo.

El estudio de suelo debe ser complementado con ensayos de laboratorio que le permitan al Ingeniero Geotécnico, poder caracterizar las propiedades geomecánicas del suelo. Estas propiedades incluyen, pero no se limitan a, la plasticidad, ángulo de fricción, resistencia no drenada, módulos de elasticidad y propiedades de consolidación del suelo, entre otras. Estas propiedades ayudaran al Ingeniero Geotécnico a poder estimar la capacidad portante y lateral de los suelos, así como los asentamientos totales y diferenciales y el comportamiento del suelo cuando es expuesto a humedades excesivas producto de las lluvias.



Estos análisis son necesarios para poder hacer recomendaciones de mejoras de suelo, si son necesarias y el sistema de fundación a utilizar. Los ensayos de laboratorio deben ser realizados utilizando normas internacionales como las publicadas por ASTM International, AASHTO, la Organización Internacional para Estandarización (ISO por sus siglas en inglés) o cualquier otro organismo regulador y por un laboratorio con un personal capacitado, con el equipo adecuado que se adapta al estándar utilizado y con la experiencia necesaria para producir resultados confiables.

Otro aspecto de vital importancia es que las recomendaciones en el informe geotécnico sean realizadas por un Ingeniero Geotécnico, es decir, una persona con estudios superiores a nivel de maestría o doctorado en el área en cuestión, que tenga la experiencia y las certificaciones necesarias para poder hacer este tipo de recomendaciones.

Una de las ventajas de realizar un estudio de suelo detallado, que contenga una buena cantidad de sondeos, que vayan a la profundidad adecuada, que se hagan pruebas de laboratorios



avanzadas y de verificación durante la construcción, etc., es que reduce la incertidumbre y el Ingeniero Geotécnico puede asignar parámetros un poco más agresivos, lo cual reduciría los costos del sistema de fundación a utilizar. Otra ventaja está proporcionada directamente por el Manual R-024, ya que, en fundaciones profundas, el mismo permite utilizar factores de seguridad que varían entre 2 y 3 dependiendo del tipo de ensayos de verificación que se hagan durante la construcción. Esta diferencia de factor de seguridad, puede resultar en ahorros significativos en comparación con la inversión, dependiendo la magnitud del proyecto.

Es muy común ver en algunos proyectos de ingeniería, como se hacen análisis utilizando métodos numéricos muy avanzados como elementos finitos o diferencia finitas, basados en propiedades que fueron obtenidas mediante ensayos de calidad dudosa o por medio de correlaciones. Aunque estos métodos numéricos son muy precisos y versátiles, dependen totalmente de la calidad de los parámetros suministrados. Por esto, debemos enfatizar y verificar la calidad de los ensayos de laboratorio que realizamos, ya que estos son el corazón de nuestros análisis.

El uso de correlaciones aunque es una práctica común y de cierta forma aceptada, debe ser reducido al mínimo

dentro de las posibilidades del proyecto. En caso de usar este tipo de herramientas, debemos tratar de verificar que la(s) correlación(es) que vamos a utilizar se adaptan al proyecto que estamos evaluando. Esto quiere decir, que los materiales y los métodos que se usaron para su desarrollo se adaptan a nuestro proyecto. En caso de usar correlaciones, es buena práctica utilizar más de una correlación para el mismo parámetro, utilizar intervalos de confianza, verificar la variabilidad de la data y de las diferentes correlaciones y sobre todo utilizar el criterio y la experiencia del Ingeniero Geotécnico para asignar los parámetros de diseño.

Otros problemas que los huracanes pueden causar en estructuras civiles son generados por las lluvias. En el caso de los edificios, la lluvia causada por los huracanes satura los suelos, disminuyendo su capacidad portante y haciendo que cierto tipo de suelos, como las arcillas de alta plasticidad, se expandan, causando daños graves a las estructuras civiles. Esto es algo que puede ser tomando en cuenta durante la etapa de diseño, haciendo ensayos de resistencia a los suelos saturados, midiendo la presión de hinchamiento, el coeficiente de expansión del suelo y las características de plasticidad del suelo, para citar algunos ejemplos. El Ingeniero Geotécnico encargado del proyecto debe anticipar cuales son las condiciones críticas de la estructura, asignar los ensayos de



laboratorio para abarcar esos casos y tomarlos en cuenta en la etapa de diseño.

Las lluvias también pueden causar deslizamiento de tierra en taludes compactados y naturales. Esto puede ser causado por varios factores, erosión de parte del talud y/o saturación de los taludes. Las lluvias pueden causar erosiones en el talud modificando su geometría e incrementando los esfuerzos desestabilizadores, lo cual puede causar fallas. La saturación de los taludes reduce el esfuerzo efectivo en el suelo, lo cual reduce la resistencia al corte. Si la resistencia baja lo suficiente esto puede causar deslizamientos. El caso de la erosión puede ser prevenido utilizando métodos mecánicos como geosintéticos para prevenir la erosión, construyendo drenajes superficiales para canalizar las aguas o utilizando suelos que sean menos susceptibles a este fenómeno. El caso de saturación de los taludes puede ser tomado en cuenta en el diseño, utilizando un nivel freático apropiado en los análisis y parámetros del suelo obtenidos en el laboratorio, usando ensayos que reflejen esta condición.

Aunque un poco fuera del tema de la geotecnia, es bueno mencionar que la mayoría de los daños causados por huracanes en nuestro país, son producto del desbordamiento de los cuerpos de aguas existentes en el mismo. Estos

desbordamientos arrastran viviendas y destruyen cosechas y obras civiles a su paso. Los desbordamientos son controlables con estructuras de control que se construyen para contener el agua, cuando alcanza niveles más altos de los normales. Algunas de estas estructuras son diques o muros de contención.

Los problemas causados por huracanes en estructuras civiles pueden ser prevenidos si se toman las medidas necesarias durante la etapa de investigación del substrato de suelo y en la etapa de diseño y se utilizan materiales adecuados en la construcción. Una inversión temprana en una investigación geotécnica acompañada de un equipo de diseñadores, con la capacitación y la experiencia para embarcarse en el proyecto requerido, incrementaran las probabilidades de que el proyecto no presente problemas a largo plazo.

La investigación geotécnica no deber ser una de las partidas utilizadas en el proceso de reducción de costos, ya que esta es el corazón del soporte de la estructura. No importa lo avanzado de los análisis que hagamos, ni que utilicemos los mejores materiales para la estructura, si el suelo en el que vamos a fundar nuestra obra no está bien caracterizado, pues todos los esfuerzos que se hagan después pueden ser en vano.

