

Nota general		El nivel de investigación está relacionado con el nivel del diseño, al tamaño y tipo de estructura, al tamaño del sitio, además de otros factores que dependen del sitio (geometría del edificio y estructura) y del alcance del trabajo según establezca el informe geotécnico. Por lo tanto, éstas son "guías" y no son reglas invariables; lo único que debe cumplirse es que la investigación provea la información que se requiere según el alcance del informe geotécnico. Depende del perfil que se necesita obtener, lo cual depende de la condición del subsuelo y la ubicación de las estructuras.		El fin de la investigación debe ser obtener información confiable del subsuelo. La investigación usualmente se realiza mediante barrenos con muestreo tipo SPT (Standard Penetration Test) o sondeos tipo CPT (Cone Penetrometer Test). En el caso de barrenos SPT, el geotécnico deberá diseñar la caracterización del subsuelo mediante ensayos a muestras inalteradas, pruebas de consolidación y límites de Atterberg; se sugiere tomar muestras y SPTs en forma continua en vez de cada cinco pies. El CPT permite obtener un registro continuo de muchos de estos datos mediante correlaciones. También se debe considerar hacer pruebas dentro de perforaciones, tales como veleta de corte (shear vane). Finalmente, un proyecto tipo design-build pudiera tener otros requisitos que uno convencional tipo design-bid-build. Nota: En la mayoría de los proyectos se hace necesario determinar el nivel de agua. Esto usualmente requiere instalación de pozos de observación que deberán ser leídos por algún tiempo. El ingeniero deberá asegurarse de notificar al cliente sobre la importancia de obtener este nivel de agua. Tenga en mente que pueden existir varios niveles de agua al existir diferentes mantos en varias capas.	
Tipo de estructura	Nivel de estudio o tipo de cimentación anticipada	Densidad de investigación: Sugerencias para ubicación o densidad de sondeos o líneas de geofísica (duplicar para taludes)	Sugerencias para profundidad de la investigación		
1	Estudio preliminar	Cada 15,000 p ² , mínimo 5 sondeos, aproximadamente un sondeo cada 2 cuerdas, espaciamiento máximo 300 pies	Al menos uno de los sondeos llevado a 10 veces el ancho anticipado de zapatas o pilotes (en esta etapa es difícil de precisar); el resto a 4 veces dicha distancia (medido desde el nivel final de zapatas). Si se anticipan pilotes, la profundidad de todos los sondeos deberá ser 10 diámetros de pilote por debajo de la punta de pilotes.		
	En zapatas, final	Cada 2,500 a 7,000 p ² , espaciamiento típico de 60-100 pies en cada dirección, 4 esquinas y al centro, 3 a 4 sondeos por cuerda. En algunos sitios, considerar trincheras para sustituir algunos sondeos.	Llevar los sondeos a 3 veces el ancho anticipado de zapatas (medido desde el nivel final de zapatas), excepto en situaciones específicas tales como análisis de rellenos que puedan inducir asentamientos, los cuales requerirán sondeos más profundos. En formaciones de karst pudiera requerir exploración supletoria.		
	En pilotes, final	Cada 4,000 a 9,000 p ² , espaciamiento típico de 80-140 pies en cada dirección, 4 esquinas y al centro, 3 a 4 sondeos por cuerda.	Los sondeos deberán sobrepasar el largo estimado del pilote por al menos 10 veces el diámetro o ancho del pilote.		
2	Preliminar	Un sondeo por edificio - depende, en gran medida, de la geometría del edificio y condición del sitio. Estructuras en taludes requieren mayor densidad de investigación y deben hacerse perfiles	El sondeo deberá llevarse a una profundidad al menos igual a dos veces el ancho del edificio. Cualquier espesor adicional de relleno inducirá asentamientos que afectarán los requisitos investigación.		
	Final	Tres barrenos a lo largo o diagonal, con al menos un barreno cada 2,500 p ² , espaciamiento máximo de 70 pies; igual que para estudios preliminares (ver arriba) depende de la geometría del edificio y condiciones topográficas. Estructuras en taludes requieren mayor densidad de investigación y perfiles.	La profundidad final de los sondeos depende de las condiciones al barrenar y la geometría de cualquier relleno. Para pilotes, los sondeos deben llevarse 10 diámetros por debajo de la punta. Para zapatas, típicamente serán de 3 a 5 veces el ancho de las zapatas individuales, con al menos un sondeo a profundidad similar al ancho del edificio.		
3	En zapatas	Cada 2,500 p ² , mínimo 5 sondeos según la geometría (ejemplo, esquinas y centro). Distancia entre sondeos deberá ser de 50 a 100 pies.	Al menos uno de los sondeos deberá llevarse a 10 veces el ancho anticipado de zapata; el resto a 4 veces el ancho anticipado de zapata (medido desde el nivel final de zapata)		
	En pilotes	Cada 5,000 p ² , mínimo 5 sondeos según la geometría (esquinas y centro). Distancia entre sondeos deberá ser de 100 a 150 pies.	Los sondeos deberán sobrepasar el largo estimado del pilote por al menos 10 veces el diámetro o ancho del pilote.		
4	Zapatas o plateas	Para un estudio preliminar, debe hacerse un sondeo por cada 20,000 p ² de solar, o uno cada 10,000 p ² de huella de estructura si se conoce. Para un estudio final, dependiendo del suelo, haga un sondeo cada 2,000 a 5,000 p ² de área de piso, con un mínimo de 5 perforaciones SPT o sondeos "CPT" o combinación. La separación típica entre sondeos no debe exceder 65 a 100 pies. En adición, cargas puntualizadas deben recibir mayor atención, dependiendo de la huella.	Para un estudio preliminar, llevar al menos uno de los sondeos a 10 veces el ancho anticipado de zapata, o 3 veces el ancho de la platea. Para un estudio final, 3 veces el ancho de la platea o 4 veces el ancho de las zapatas. Si no se lleva a cabo estudio preliminar, el estudio final deberá incluir los sondeos profundos especificados para los estudios preliminares.		
	Pilotes	Para un estudio preliminar, hacer un sondeo cada 10,000 p ² de huella del edificio. Para un estudio final, un sondeo cada 5,000 p ² , mínimo 5 sondeos, 80 a 120 pies separación máxima. Si se utilizan pilotes taladrados, siga las recomendaciones del FHWA: un barreno o sondeo si el diámetro (φ) es mayor de 1.83 m; un barreno o sondeo cada 2 pilotes con f de 1.22 m a 1.83 m; un barreno cada 4 pilotes taladrados con φ < 1.22 m.	La profundidad de los sondeos deberá exceder el largo anticipado de los pilotes por al menos 10 a 20 diámetros del ancho del pilote. Aunque la densidad de investigación pudiera ser menor que con zapatas, cuidado con expectativas falsas de seguridad usando pilotes.		
5	Conceptual	Un barreno cada 3 a 9 cuerdas; si el sitio ha sido rellenado anteriormente, deberá considerar otros sondeos con muestreo continuo en sitios específicos.	La profundidad necesaria es la que conteste las interrogantes al inicio del diseño o antes de comenzar el diseño. Asentamientos y excavabilidad son usualmente factores importantes.		
	Anteproyecto	Un barreno cada 2 a 4 cuerdas	Una vez se complete el diseño de rasantes o se determine la huella de los edificios, se utilizarán las pautas contenidas en otras secciones de esta tabla. Por ejemplo, para proyectos de vivienda, vea #6; para proyectos industriales, vea #10.		
6	Preliminar	Un sondeo SPT o CPT cada 3 cuerdas, o cada 40-50 casas, mínimo 4 sondeos. Espaciamiento aproximado 100 a 200 metros. En zonas cársticas, hacer al menos una línea geofísica, L=100M, cada 10 cuerdas.	Para urbanizaciones, el ancho y espesor del relleno son determinantes. Los sondeos deberán extenderse por debajo de cualquier capa de material compresible o zonas de cavidades. Llevar los sondeos a una profundidad de 15 veces el ancho anticipado de las zapatas, o 4 veces el ancho de la casa o estructura (medido del fondo de zapatas).		
	Final	En solares planos, un sondeo cada cuerda, o cada 10 a 25 casas (obviamente, depende del tamaño del solar). Mínimo de sondeos sugerido es 8 por proyecto. Proyectos con taludes ameritan consideración especial. Espaciamiento máximo entre sondeos aproximadamente 80-120 metros. En zonas cársticas, hacer además al menos una línea geofísica aproximadamente cada 5 cuerdas.	Igual que lo anterior, excepto que la profundidad de los sondeos pudiera reducirse si se conoce la geometría (ancho y espesor) del relleno. Cualquier zona de talud requerirá 2 a 3 sondeos perpendicular al talud, reemplazando grupos de barrenos cada 25 a 50 metros. Considerar estudios sísmicos en sondeos (cross-hole seismic refraction) para zonas cársticas.		
7	Preliminar	Un sondeo CPT o SPT, cada 3 a 6 módulos. Distancia entre sondeos no más de 400 pies, o tres barrenos cada 3 cuerdas	Profundizar los sondeos 1 a 3 veces el ancho del edificio, depende de dureza del subsuelo, espesor del relleno, licuación.		
	Final	Un sondeo cada 4,000 p ² y al menos 2 por edificio; espaciamiento deseado de 40 a 100 pies entre sondeos	Profundizar los sondeos a 2 veces el ancho del edificio. Edificios de menor altura con menor intensidad de cargas pudieran requerir menos sondeos profundos.		
8	Zapatas o pilotes	Al menos un sondeo por sitio (pudiera requerirse un sondeo en cada apoyo para estructuras de gran tamaño). Para casos como bancos angostos de transformadores, hacer un sondeo cada 30 a 60 pies del largo de platea. Hacer no menos de 2 sondeos por estructura, más o menos uno cada 2,500 p ² .	Para predios nuevos o desconocidos debe referirse al inciso "1". Pudiera requerir más de un sondeo, dependiendo de los resultados y los problemas de cimentación. A menos que se establezca que la capacidad de sustentación es suficiente, profundizar al menos 4 veces el ancho de la zapata por debajo del fondo de las zapatas, o hasta 10 veces el ancho del pilote, por debajo del largo de pilote anticipado. Considerar refracción sísmica o resistividad en cada sitio. Se recomienda hacer detallado reconocimiento geológico.		
9	En general	Para sumideros donde se inyectará agua, deben hacerse perforaciones que alcancen la profundidad anticipada de pozos de inyección. Se requieren no menos de 3 sondeos por sumidero, pero depende del tamaño y flujos de agua.	Suplementar la investigación con pruebas de resistividad, pruebas sísmicas (cross-hole seismic refraction), o pruebas de inyección a gran escala durante construcción del primer pozo de inyección. La profundidad de inyección depende del perfil del subsuelo y además de la presencia de estructuras cercanas, y típicamente sobrepasa 100 pies. Las perforaciones en roca fragmentada deben ser con broca de diamante, no con SPT.		
10	Estudio preliminar	Un sondeo cada 2 a 4 cuerdas (se ajustará la densidad de acuerdo a cualquier estudio para otras estructuras tales como almacenes); espaciamiento típico 150 metros	No menos de 30-40 pies dentro de cualquier estrato competente por debajo de un estrato compresible.		
	Estudio final	Dos sondeos por cuerda (Se ajustará la densidad de acuerdo a la necesidad de estudiar otras estructuras tales como almacenes que estén plenamente definidas.); espaciamiento típico 75 metros	No menos de 30 pies, incluyendo 20 pies dentro de cualquier estrato competente por debajo de un estrato compresible.		
11	En general	Ver recomendaciones para desarrollos industriales (#10) y para investigaciones de taludes (#21). La estabilidad de los taludes y el efecto de los asentamientos sobre la cubierta o posibles nuevas estructuras son temas vitales.	Para cálculos de asentamientos, debe llegar a roca. Para análisis hidrogeológicos, puede requerir mayor profundidad. La presencia de arcilla o la calidad de la roca subyacente serán factores determinantes para establecer la profundidad final de la exploración.		
12	Estudio preliminar	Un sondeo o barreno al centro, o cada 150 pies de distancia	Perforar a 3 veces el diámetro del tanque ó 20 pies en roca con RQD>40%. Considerar refracción sísmica o resistividad, dependiendo del tipo de formación geológica.		
	Estudio final	Ubicar barrenos o sondeos al centro, perímetro y puntos intermedios (a medio diámetro, en medio de cuadrantes) de modo que la separación entre puntos de investigación sea no mayor de 100 pies en el perímetro. Densidad de investigación variará desde uno por 2,000 pies cuadrados en tanques pequeños hasta uno por 8,000 pies cuadrados en tanques de gran tamaño (diámetro ~300 pies o más).	La profundidad de la investigación depende del subsuelo y necesidad de cortes o de relleno, pero probablemente requerirá perforar a 3 veces el radio del tanque. Distribuya simétricamente dentro de la zona del estudio. Los barrenos perimetrales pudieran ser más cortos.		

13	Parques, canchas, pistas de correr, centros comunales	Estudio final	Hacer un sondeo cada 20,000 p ² del predio total o un sondeo por cada 2,500 pies cuadrados de estructura.	Generalmente se requieren sondeos muy cortos, alrededor de 15 pies, con un mínimo de 3 veces el ancho de las estructuras. Sin embargo, la profundidad también depende de otros factores, como espesor del relleno a colocar y la magnitud de asentamientos inducidos.
14	Tuberías de tamaño importante (aproximadamente mayor de 24"); tuberías cortas requieren análisis especial; atarjeas; bancadas eléctricas	Sobre "bedding", usando solamente sondeos o perforaciones	Cada 80 a 200 metros para estudios finales. Cada 500 metros para estudios preliminares. Añadir un sondeo en cada vértice; tratar de incluir un sondeo o calicata en cada registro.	Llevar los sondeos a 3 veces el ancho exterior de la tubería. Si la zona será cubierta con relleno, se deberá extender la investigación por debajo de cualquier estrato compresible.
		Sobre "bedding", pero con análisis de refracción sísmica y sondeos	Llevar a cabo una línea de refracción sísmica a lo largo de la tubería cada 75 a 200 mts. con sondeos cada 200 metros, dependiendo de la topografía. Añadir un sondeo en cada vértice más un sondeo por cada registro.	ídem
15	Túneles	Estudio preliminar	Cada 100 a 300 metros; la caracterización geológica del sitio - presencia de fallas, como ejemplo - será de gran importancia. Dependiendo del tamaño de la obra, considerar barrenos horizontales a lo largo del túnel.	Sondeos verticales deberán llevarse al menos un diámetro por debajo del piso del túnel.
		Estudio final	Cada 50 metros, a menos que se suplante con líneas de refracción sísmica desde la superficie o dentro de sondeos (<i>cross-hole seismic refraction</i>), o con barrenos horizontales	Los sondeos deberán llevarse al menos un diámetro por debajo del piso del túnel. Las líneas de refracción sísmica serán de gran utilidad. Considerar barrenos horizontales y túneles pilotos de investigación. El ancho del túnel impondrá requisitos adicionales.
16	Estaciones de bombeo, muelles secos	Usualmente quedan soterradas. Factores críticos son levantamiento o flotación, y excavación y desagüe.	Para un estudio preliminar, se sugiere un sondeo hacia el centro y/o en cada esquina, con espaciamiento mínimo de 100 pies. Para un estudio final, al menos dos sondeos por cada 2,500 p ² de piso, con espaciamiento máximo de 50 pies. Ver sugerencias para excavaciones (#17).	Es importante determinar nivel del fondo para sobrepasarlo en la investigación. Aún en roca, la investigación deberá alcanzar una profundidad suficiente para predecir patrones de flujo y métodos de excavación, aunque estos temas usualmente requerirán mayor análisis durante la construcción. Se sugiere llevar los sondeos a una profundidad correspondiente al nivel de fondo más la mitad del ancho de la estructura.
17	Diseños de excavaciones, obras de desagüe (pruebas de bombeo se consideran pruebas adicionales que dependen de la situación)	Excavaciones a cielo abierto	Un sondeo por cada 2,500 p ² para diseño preliminar, o cada 500 p ² para diseño final de excavación o desagüe; el área horizontal de la huella se medirá a nivel de superficie, incluyendo área adicional excavada por el desarrollo de taludes.	Los sondeos deben llevarse a una profundidad del fondo de la estructura más dos veces el ancho de la excavación. La necesidad de muestreo continuo surge de la necesidad de obtener mucha información para el diseño, y el efecto de capas finas sobre el diseño del desagüe. Para estimados preliminares de permeabilidad, se recomiendan pruebas de cabeza variable en sondeos (<i>falling head tests</i>). Para excavaciones y desagües importantes, se recomiendan, con énfasis, pruebas de bombeo en pozos.
		Excavaciones entibadas	Un sondeo por cada 1,000 p ² para diseño preliminar, o cada 500 p ² para diseño final de excavación o desagüe; se mide la huella de la estructura.	
18	Tablestacas, estructuras de retención, muros de hormigón o tierra armada, anclajes en roca o en suelo ("soil nails")	Final	Cada 75 pies a lo largo con 2 ó 3 sondeos perpendicular al eje (el perfil debe extenderse para cubrir una longitud igual a 2 veces la profundidad del dragado o profundidad del canal o puerto)	Llevar los sondeos por debajo de cualquier zona de falla potencial. En casos de tablestacados, deberán llevarse al menos 20 pies por debajo de las tablestacas. Para muros anclados (anclajes activos y pasivos), la exploración debe incluir la zona de anclaje.
19	Terraplenes, puentes y viaductos en carreteras; vías de trenes	Terraplenes	Un sondeo cada 50 a 150 metros; para un viaducto o puente probablemente se requerirá al menos un sondeo por pilastra pero depende del ancho de la pilastra. Considerar la necesidad de secciones transversales, mínimo 3 sondeos por sección.	Los sondeos deben llevarse a una profundidad igual al ancho del terraplén más 50% (ancho x 1.5), al menos.
		Puentes y viaductos	Si se utilizan pilotes taladrados, siga las recomendaciones del FHWA: un barreno o sondeo si el diámetro (ϕ) es mayor de 1.83 m; un barreno o sondeo cada 2 pilotes con ϕ de 1.22 m a 1.83 m; un barreno cada 4 pilotes taladrados con $\phi < 1.22$ m.	Para pilastras, los sondeos deben llegar al menos 10 diámetros de pilote por debajo de la punta. Pilotes de gran capacidad requerirán sondeos adicionales, quizás hasta un sondeo por pilote. AASHTO requiere profundizar sondeos 20 pies debajo de punta de pilotes y 2 veces el largo de pilastras, por debajo del pilote.
		Cortes y taludes	En zonas de corte se requieren grupos de 3 sondeos a lo largo del corte para hacer perfiles transversales. Los perfiles deberán realizarse cada 30 a 50 metros.	Los sondeos se deben llevar a una profundidad por debajo del corte y de las potenciales superficies de falla.
20	Diques de tierra	Usualmente riberas de río o zonas bajas	Para estudio preliminar, ubicar barrenos cada 1,000 pies. Un estudio final requerirá espaciamientos no mayores de 100 a 300 pies. Debe tenerse en cuenta que riberas de ríos tendrán depósitos jóvenes muy heterogéneos. Los cambios son frecuentes y se requiere una investigación detallada, no importa la aparente homogeneidad que pueda mostrar inicialmente.	Para estudio de estructuras como puentes o atarjeas, ver otras secciones. Para análisis de estabilidad usualmente se requiere llegar a estratos competentes. La profundidad mínima de exploración debe ser mayor de tres veces el ancho del dique. Considerar exploraciones mixtas usando SPT y CPT.
21	Taludes (fallas de talud, investigaciones aisladas)	Emergencias	Se requiere un perfil longitudinal. El mínimo de investigación deberá ser grupos o alineaciones de 2 a 3 sondeos, cada 10 a 70 metros.	La profundidad de los sondeos depende del problema. Análisis de taludes requerirán sondeos al menos 1.5 veces la altura del talud. El análisis debe considerar inclinómetros, piezómetros y muestreo continuo.
22	Pistas de aterrizaje	En general	Se requiere un sondeo cada 2,500 pies cuadrados.	La profundidad de la investigación depende del subsuelo y necesidad de cortes o de relleno, si hay suelos compresibles o problemas de licuación. Considerar muestreo continuo con SPT o CPTs con cono sísmico.
23	Represas	Diseño conceptual	Para esta etapa, hacer una o dos perforaciones al centro o sitio de mayor profundidad, y en cada estribo. Temprano en la evaluación de sitios para represas de tierra, se requieren trincheras para obtener muestras en las probables minas de préstamo. Considere hacer 3 a 8 trincheras con pruebas de compactación y de clasificación.	Barrenar a profundidad que exceda ancho probable de la base por un factor de dos, o penetre la roca por 15 a 20 pies con RQD>50%.
		Preliminar o 30%	Para represas de tierra u hormigón o de hormigón compactado (<i>roller compacted concrete</i>), haga al menos tres barrenos o sondeos cada 100 metros a lo largo del eje principal. También se requerirán sondeos en los espaldones y en los estribos. Es necesario hacer sondeos y calicatas en las minas de préstamo.	Al menos 40 pies dentro de roca con RQD>50%. Requiere muestreo continuo hacia la superficie y para detallar zonas de flujo o zonas blandas o licuables. La profundidad de la pantalla o núcleo impermeable afectará la profundidad de la investigación.
		Diseño final	Depende del tipo de presa y los problemas potenciales: Represas de tierra requerirán mayor investigación hacia los espaldones. El estudio final pudiera requerir al menos 3 sondeos cada 50 a 100 metros a lo largo del eje principal. Para efectos del presupuesto, el número final de sondeos será aproximadamente 3 por cada 50 metros del eje principal, más numerosas calicatas. Considerar barrenos o sondeos según la huella, cada 2,000 m ² para presas de hormigón, y cada 5,000 a 10,000 m ² para presas de tierra.	Dependerá de los potenciales problemas de asentamiento, licuación, estabilidad o de flujo que se hayan identificado en la investigación preliminar. Las investigaciones geofísicas serán de gran utilidad en esta fase. Deben hacerse numerosas calicatas o trincheras de prueba en zonas de potenciales minas de préstamo.
24	Remodelaciones y adiciones a estructuras existentes	En general	Los requisitos para densidad de investigación excederán por mucho las sugerencias de densidad de investigación que aquí se han presentado debido a la necesidad de considerar asentamientos diferenciales entre la estructura existente y la nueva, y preocupación sobre la calidad de diseño y construcción anterior.	Para la profundidad de exploración, seguir sugerencias anteriores. Los honorarios por ingeniería serán significativamente mayores que el costo de la investigación.
25	Canteras	En general	Considerar refracción sísmica. Perforaciones o trincheras pudieran ser necesarias para definir espesor de cubierta de tierra. Fragmentación de roca importante; perforar con brocas de diamante. Colocar barrenos cada 200 pies de pared, con al menos otra línea detrás.	Llevar perforaciones por debajo del nivel de corte. Para refracción sísmica, el largo de las líneas deberá sobrepasar 3 a 4 veces la profundidad de excavación.
26	Zonas de estacionamiento, sólo pavimento	Pavimento	Un sondeo cada 25,000 pies cuadrados, dependiendo de condiciones específicas del sitio.	Depende del efecto de los asentamientos sobre el sistema de drenaje pluvial. Coteje ancho y espesor de futuro relleno.
27	Análisis de zonas anteriormente rellenadas sin controles de ingeniería	Revisión para utilización del sitio	Para estudio preliminar, ubicar barrenos cada 150 pies. Un estudio final requerirá espaciamientos no mayores de 50 pies.	Las profundidades dependerán de la profundidad del relleno y el tipo de suelo subyacente. Use muestreo continuo a todo lo alto del barreno. Verifique ancho y altura de cualquier zona de relleno para determinar probabilidad y magnitud de asentamientos.
28	Marinas	En general	Depende del ancho y largo de los muelles y las cargas de pilotes. Debe hacerse un barreno o sondeo cada 75 a 150 pies de distancia.	La profundidad dependerá de las cargas que se anticipan y el perfil del suelo. La investigación deberá llevarse 20 a 30 pies por debajo de la elevación que se anticipa para los pilotes. Una investigación minuciosa pudiera reducir los requisitos subsiguientes de pruebas de carga.

Nota: En la mayoría de los casos, proyectos en zonas cársticas probablemente requerirán el doble de la densidad de investigación que se recomienda.

Otras referencias:

FHWA General Engineering Circular No. 4, Ground Anchors and Anchored Systems, June 1999
FHWA Standard Specifications for Highways and Bridges, 17th Edition, 2002
FHWA Manual for Design and Construction Monitoring of Soil Nail Walls, October 1998
Drilled Shafts: Construction Procedures and Design Methods, by Michael W. O'Neill and Lyman C. Reese
FHWA Publication IF-99-025, August 1999