

Gonzalo Aiassa
Pedro Arrua
Marcelo Eberhardt

Hermenéutica del CIRSOC 401

Una mirada contextualizada del
Reglamento Argentino
de
Estudios Geotécnicos

Hermenéutica del CIRSOC 401

***Una mirada contextualizada del Reglamento
Argentino de Estudios Geotécnicos***

Gonzalo AIASSA

Pedro ARRÚA

Marcelo G. EBERHARDT

edUTecNe

Córdoba, 2019

Aiassa Martínez, Gonzalo Martín; Arrúa, Pedro Ariel ; Eberhardt, Marcelo G.

Hermenéutica del CIRSOC 401 : una mirada contextualizada del Reglamento Argentino de Estudios Geotécnicos / Gonzalo Martín Aiassa Martínez ; Pedro Ariel Arrúa ; Marcelo G. Eberhardt ; editado por Fernando Cejas. - 1a ed. - Ciudad Autónoma de Buenos Aires : edUTecNe, 2019.

Libro digital, PDF

Archivo Digital: descarga y online

ISBN 978-987-4998-37-8

1. Reglamentación. 2. Ingeniería Civil. 3. Estructura. I. Arrúa, Pedro Ariel II. Eberhardt, Marcelo G. III. Cejas, Fernando, ed. IV. Título.

Diseño de interior y tapas: Fernando Cejas



Universidad Tecnológica Nacional – República Argentina

Rector: Ing. Héctor Eduardo **Aiassa**

Vicerrector: Ing. Haroldo **Avetta**

Secretaria Académica: Ing. Liliana Raquel **Cuenca Pletsch**



Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Córdoba

Decano: Ing. Rubén **Soro**

Vicedecano: Ing. Jorge **Abet**

Director Departamento Ingeniería Civil: Dr. Gonzalo **Aiassa**



edUTecNe – Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional

Coordinador General a cargo: Fernando H. **Cejas**

Área de edición y publicación en papel: Carlos **Busqued**

Colección Energías Renovables, Uso Racional de Energía, Ambiente: Dr. Jaime **Moragues**.

Queda hecho el depósito que marca la Ley Nº 11.723

© **edUTecNe, 2018**

Sarmiento 440, Piso 6 (C1041AAJ) Buenos Aires,

República Argentina

Publicado Argentina – Published in Argentina



ISBN 978-987-4998-37-8



Reservados todos los derechos. No se permite la reproducción total o parcial de esta obra, ni su incorporación a un sistema informático, ni su transmisión en cualquier forma o por cualquier medio (electrónico, mecánico, fotocopia, grabación u otros) sin autorización previa y por escrito de los titulares del copyright. La infracción de dichos derechos puede constituir un delito contra la propiedad intelectual.

Sin lugar a duda, una de las grandes deudas pendientes de nuestro sistema reglamentario nacional para la seguridad de las obras civiles, radicaba en una serie de reglamentos destinada a la geotecnia y cimentaciones de estructuras. En respuesta a esto, el Centro de Investigación de los Reglamentos Nacionales de Seguridad para las Obras Civiles – CIRSOC – crea el Área 400. Ésta se compone de una serie de reglamentos destinados a estudios de suelos, proyectos geotécnicos, muros de sostenimiento y cimentaciones. El primer reglamento de esta serie es el 401, y se refiere a los estudios geotécnicos. Sobre él, nos ocuparemos en este trabajo.

Este ensayo fue preparado con motivo de una *Conferencia* que brindamos en el Colegio de Ingenieros Civiles de Córdoba, denominada: “*Estudios Geotécnicos para Obras Civiles. Análisis y Aplicación del CIRSOC 401/2018*”, realizada el día 7 de noviembre de 2019, en la sede de Avellaneda 292, Ciudad de Córdoba.

El objetivo de este libro es “acercar” el reglamento CIRSOC 401 a profesionales y estudiantes de la especialidad. Con esto, no pretendemos evitar la lectura del reglamento, sino todo lo contrario, buscamos incentivarla, pero reduciendo la aridez que muchas veces presentan los textos reglamentarios, producto de su naturaleza narrativa. Entendemos por “acercar”, hacerlo accesible, facilitarlo, resaltar los aspectos que hemos considerado más relevantes e interpretarlos. Esperamos no habernos olvidado de alguno.

A lo largo del trabajo, hemos tomado y transcritos párrafos en forma “textual” del CIRSOC 401, sobre los que luego efectuamos nuestra interpretación, explicación, punto de vista, comentarios, y contrastación con la práctica habitual en la ejecución de estudios geotécnicos. En este último punto, proponemos un análisis situado, principalmente, en la Provincia de Córdoba. En general, hemos procurado utilizar un lenguaje simple y habitual, típico de una charla de “café entre ingenieros”. A esto, es lo que hemos denominado: “Hermenéutica del CIRSOC 401”. Esperamos haberlo logrado, al menos parcialmente.

Los Autores

Ciudad de Córdoba, 2 de diciembre 2019

Introducción	5
Contexto Internacional	6
Paquete Reglamentario Nacional	9
Hermenéutica del CIRSOC 401	12
Requisitos Generales	12
Planificación de la Investigación Geotécnica.....	13
Investigación Geotécnica.....	16
Excavaciones, Perforaciones y Muestreo	23
Ensayos de Campo.....	26
Ensayos de Laboratorio	31
Informe Técnico.....	33
Reflexiones Finales	35
Bibliografía.....	36

El Reglamento CIRSOC 401 ha sido puesto en vigencia por Resolución 30/2019 (Ciudad de Buenos Aires, 25/06/2019) del Ministerio del Interior, Obras Públicas y Vivienda, publicada el 28/06/2019. Esto significa que su aplicación es de carácter obligatorio en toda obra pública nacional, por parte de las autoridades responsables de su proyecto, ejecución y control. Para las obras públicas y/o privadas de carácter provincial o municipal, serán las autoridades provinciales competentes las encargadas del cumplimiento de dichas normas. Así, en el artículo 2º, se invita a todas las Provincias y Municipios a adherir a esta Reglamentación Nacional, y a actualizar sus reglamentos técnicos, a fin de poner el mismo en vigencia, en el ámbito de sus respectivas jurisdicciones, tanto para sus obras públicas como para sus obras particulares (RESOL-2019-30-APN-SPTYCOP#MI).

En la Provincia de Córdoba, La legislatura sancionó la ley 10.575 en octubre de 2018, expresando la adopción de reglamentos desarrollados por CIRSOC e INPRES, con aplicación al proyecto y construcción de todas las obras públicas de carácter provincial y privadas, en lo que fuere aplicable. Esta ley, denominada “ley de seguridad estructural”, fue impulsada por el Colegio de Ingenieros Civiles de la Provincia de Córdoba y marcó un hecho histórico en la ingeniería de Córdoba. Actualmente, diferentes municipios de la provincia ya han adherido a la misma.

El reglamento CIRSOC 401 puesto en vigencia en el año 2019, corresponde a la edición de julio 2018. Este documento, es el resultado de un extenso proceso de análisis, discusión y debates, iniciados allá por mayo de 2006, a partir de la presentación de un Anteproyecto de Reglamento. Durante este período de discusión, el texto original progresó significativamente, gracias al valioso aporte de organismos y profesionales expertos en la materia. En este punto, queremos mencionar especialmente la enorme contribución de la Sociedad Argentina de Ingeniería Geotécnica (SAIG).

Consideramos que éste reglamento era necesario. Es fundamental que la ejecución de estudios geotécnicos sea obligatoria en todo el país. Para todo tipo de proyecto, y basado en ciertos estándares mínimos de referencia. Es un primer paso en la mejora de la práctica profesional de la especialidad. En un futuro, será complementado con los reglamentos 402 sobre “estructuras de fundación”, y 403 sobre “movimientos de suelo y estructuras de contención”. Ambos reglamentos se encuentran en preparación. Los creemos tan necesarios como al 401.

CONTEXTO INTERNACIONAL

¿En otros países también hay reglamentos, códigos, manuales para la ejecución de estudios geotécnicos? Realicemos una revisión, de documentos destinados a estudios geotécnicos en diferentes lugares del mundo. No pretendemos aquí abarcar todos los países del mundo y entrar en detalles específicos. Sólo efectuamos una revisión general, y resaltar algunos aspectos que hemos considerado principales. Empezaremos nuestro recorrido por Europa, seguiremos por América del Norte, Central y, finalmente, nos detendremos en nuestros vecinos países de América del Sur.

Los Eurocódigos estructurales, constituyen un conjunto de normas redactadas por el Comité Europeo de Normalización “CEN” que pueden ser utilizados en los países europeos. La lista de Eurocódigos va de 0 a 9 para diferentes tópicos estructurales, y es el número 7 el dedicado específicamente al “Diseño Geotécnico”. El Eurocódigo 7, se divide en 3 partes: reglas generales, ensayos de laboratorio y ensayos de campo. El código reconoce diferentes tipos de estudios geotécnicos, a los que establece alcances y objetivos específicos: (1) Estudios preliminares o de anteproyecto, (2) Estudios de proyecto y construcción, y (3) Estudios de control. Los últimos son de seguimiento durante la construcción, y consisten en la inspección de excavaciones, estudios complementarios, corroboraciones de perfiles y propiedades de los suelos, control de nivel de agua subterránea, monitoreo del comportamiento de construcciones próximas y de la propia construcción.

En particular, el Reino Unido cuenta con un código propio sobre investigaciones geotécnicas. Se trata de la BS 5930:2015. En la versión del año 2015, revisa y actualiza su versión original de 1981, y adecúa criterios al Eurocódigo 7. Este código de práctica británico, se ocupa de la investigación de sitios con el propósito de evaluar su idoneidad para la construcción, e identificar características que afecten el diseño y proceso constructivo del proyecto. Considera también, cuestiones vinculadas al medio ambiente y la seguridad de propiedades adyacentes.

En Canadá, la Sociedad Canadiense de Geotecnia publicó el *Canadian Foundation Engineering Manual* bajo el auspicio de *National Research Council of Canada Associate Committee on the National Building Code*. El borrador de este manual, fue publicado el 1975. El mismo evolucionó hasta cuarta edición, finalmente publicada en 2006. El manual se compone de 27 capítulos y casi 500 páginas. Incluye desde la clasificación de suelos, investigación de sitios, exploraciones, diseño de fundaciones, muros de sostenimiento y excavaciones. El contenido está en sintonía con el *National Building Code of Canada* “NBCC”. En su prefacio, plantea una reflexión interesante. Vamos a intentar realizar una traducción, aunque no seamos expertos en ello. Nos quedaría algo así: “la ingeniería de fundaciones no es una ciencia exacta, sino que depende en gran medida de experiencia y criterio.” Gran frase, da para pensar y reflexionar sobre ella. Sobre el concepto que transmite volveremos más adelante.

Estados Unidos, cuenta con amplios paquetes de manuales que cubren proyectos de geotecnia y fundaciones. Vamos a mencionar los que, a nuestro criterio, son los más relevantes. En primer lugar, tenemos los *Design Manuals* de la *Naval Facilities Engineering Command* “NAVFAC” en donde se destacan las series 7.01, 7.02 y 7.03. Estos manuales se dedican a mecánica de suelos, diseño de fundaciones, estructuras de sostenimiento y dinámica de suelos. En segundo lugar, incluiremos en nuestra mención a los *Engineer Manuals* del *US Army Corps of Engineers* “USACE”. Aquí, en el EM 1110-1-1804, se establecen criterios y presenta una guía para las investigaciones geotécnicas durante las etapas de desarrollo para proyectos civiles y militares.

La República Dominicana, cuenta con un Reglamento para estudios geotécnicos en edificaciones, de la Dirección General de Reglamentos y Sistemas “DGRS”. El mismo se estructura en 9 artículos, y abarca aspectos de investigación del subsuelo, criterios de seguridad, disposiciones para cimentaciones, obras de contención, taludes, y evaluación del potencial de licuación de suelos. En el reglamento, se regulan los requisitos mínimos a cumplir para la realización de estudios geotécnicos para el diseño de sistemas de fundaciones de edificaciones.

En Colombia, el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 es el encargado de regular las construcciones. El mismo, destina el “Título H” a los estudios geotécnicos. Éste Título, se compone de 10 capítulos, y establece los criterios para realizar estudios geotécnicos de edificaciones, con el propósito de formular recomendaciones geotécnicas de diseño y construcción de excavaciones, muros de sostenimiento, fundaciones, rehabilitaciones y refuerzos de construcciones existentes, así como las consideraciones de efectos sísmicos.

En Perú, por Resolución del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, en noviembre 2018, se establece la Norma Técnica E.050 “Suelos y Cimentaciones”, aplicable a proyectos de inversión pública y privada. Esta Norma establece los requisitos mínimos para la ejecución de estudios de suelo para cimentaciones de edificios y otros tipos de obras.

En Chile, el Instituto Nacional de Normalización “INN” ha establecido la Norma Chilena NCh 1508 de Geotecnia “Estudio de mecánica de suelo”, que, en su tercera edición del año 2014, establece los procedimientos mínimos a cumplir en un estudio de suelos para proyecto u obra de ingeniería. En el preámbulo destaca que la misma ha sido elaborada contemplando la experiencia chilena y la práctica internacional.

Para finalizar este breve recorrido internacional sobre códigos y manuales de estudios geotécnicos, mencionaremos el caso de Brasil. La *Associação Brasileira de Normas Técnicas* “ABNT” dispone la Norma NBR 8044 para estudios geotécnicos. Esta NBR fue actualizada en noviembre 2018, a partir de versión previa de 1983. Aquí, fija los aspectos generales para los estudios, y se enlaza con otras normas complementarias, como la NBR 8036, en donde define el número, la ubicación y la profundidad de los sondeos.

Podríamos seguir con más países y mayor detalle en las especificaciones. Pero con lo que hemos presentado, es suficiente para advertir la abundancia en materia de códigos, reglamentos y manuales de aplicación, disponibles en diferentes países para la ejecución de estudios de suelo. También, orientados al diseño y proyecto de fundaciones y estructuras geotécnicas. Por otro lado, observemos las fechas en la que fueron escritos y publicados. En general, todos estos documentos ya han sido actualizados. Van por su segunda, o posteriores ediciones. Las ediciones originales, en algunos casos, ya tienen más de 30 años de antigüedad.

PAQUETE REGLAMENTARIO NACIONAL

¿Qué es un reglamento?, la RAE define la palabra como: “Colección ordenada de reglas o preceptos, que por la autoridad competente se da para la ejecución de una ley o para el régimen de una corporación, una dependencia o un servicio.”

En Argentina, es el Centro de Investigación de los Reglamentos Nacionales de Seguridad para las Obras Civiles “CIRSOC”, dependiente del Instituto Nacional de Tecnología Industrial “INTI”, quien se encarga de elaborar y actualizar los reglamentos de seguridad estructural, referidos a los proyectos y la construcción de estructuras. En los casos que resultan pertinentes, la actividad se realiza en equipo con el Instituto Nacional de Prevención Sísmica “INPRES”. Los Reglamentos son de aplicación obligatoria en todas las obras públicas con fondos del Estado Nacional. Las provincias adhieren a ese marco.

Estos organismos, se encuentran bajo la órbita del Ministerio del Interior, Obras Públicas y Vivienda de la Nación, quien, mediante resoluciones, pone en vigencia a nuevos reglamentos o actualizaciones de los ya existentes.

Los Reglamentos, se clasifican por Área, y se componen por una serie de documentos asociados a una temática. Actualmente, el paquete reglamentario vigente se compone de la siguiente manera:

ÁREA 100: Cargas, Acciones y Sobrecargas

- CIRSOC 101 “Reglamento Argentino de Cargas Permanentes y Sobrecargas Mínimas de Diseño para Edificios y otras Estructuras”
- CIRSOC 102 “Reglamento Argentino de Acción del Viento sobre las Construcciones”
- INPRES-CIRSOC 103 “Reglamento Argentino para Construcciones Sismorresistentes” Parte I: Construcciones en General. Parte II: Construcciones de Hormigón Armado. Parte III: Construcciones de Mampostería. Parte IV: Construcciones de Acero. Parte V: Estructuras de Acero Sismorresistente.
- CIRSOC 104 “Reglamento Argentino de Acción de la Nieve y del Hielo sobre las Construcciones”
- CIRSOC 108 “Reglamento Argentino de Cargas de Diseño para las Estructuras durante su Construcción”

ÁREA 200: Estructuras de Hormigón

- CIRSOC 201 “Reglamento Argentino de Estructuras de Hormigón”

ÁREA 300: Estructuras de Acero

- CIRSOC 301 “Reglamento Argentino de Estructuras de Acero para Edificios”
- CIRSOC 302 “Reglamento Argentino de Elementos Estructurales de Tubos de Acero para Edificios”
- CIRSOC 303 “Reglamento Argentino de Elementos Estructurales de Acero de Sección Abierta Conformados en Frío”
- CIRSOC 304 “Reglamento Argentino para la Soldadura de Estructuras en Acero”
- CIRSOC 305 “Recomendación para Uniones Estructurales con Bulones de Alta Resistencia”
- CIRSOC 306 “Reglamento Argentino de Estructuras de Acero para Antenas”
- CIRSOC 307 “Guía para la Construcción de Estructuras de Acero para Edificios”
- CIRSOC 308 “Reglamento Argentino de Estructuras Livianas para Edificios con Barras de Acero de Sección Circular”

ÁREA 400: Estructuras de Cimentaciones y Geotecnia

- ***CIRSOC 401 “Reglamento Argentino de Estudios Geotécnicos”***

ÁREA 500: Estructuras de Mampostería

- CIRSOC 501 “Reglamento Argentino de Estructuras de Mampostería”
- CIRSOC 501-E “Reglamento Empírico para Construcciones de Mampostería de Bajo Compromiso Estructural”

ÁREA 600: Estructuras de Madera

- CIRSOC 601 “Reglamento Argentino de Estructuras de Madera”
- CIRSOC 601 “Manual de Aplicaciones de los Criterios de Diseño Adoptados en el Reglamento Argentino de Estructuras de Madera”
- CIRSOC 601 “Guía para el Proyecto de Estructuras de Madera de Bajo Compromiso Estructural”

ÁREA 700: Estructuras de Aluminio

- CIRSOC 701 “Reglamento Argentino de Estructuras de Aluminio”
- CIRSOC 704 “Reglamento Argentino para la Soldadura de Estructuras en Aluminio”

Existe un Área 800 dedicada a “Puentes Carreteros”. Dentro de esta serie, hay reglamentos en elaboración (803: Puentes de Acero) y otros en trámite de aprobación (801: Proyecto General y Análisis Estructural, 802: Puentes de Hormigón, 804: Defensas y Barandas). Así también, se encuentra en discusión pública nacional, el Proyecto de Reglamento INPRES-CIRSOC 103-Parte VI: Reglamento Argentino para Construcciones Sismorresistentes - Puentes de Hormigón Armado, que completa el conjunto CIRSOC e INPRES-CIRSOC de Puentes.

En particular, el Área 400 cuenta con 2 Reglamentos que actualmente se encuentran en elaboración:

- CIRSOC 402 “Reglamento Argentino de Estructuras de Fundación”
- CIRSOC 403 “Reglamento Argentino de Movimientos de Suelo y Estructuras de Contención”

El desarrollo de estos últimos, junto al 401, abarcarán la problemática del proyecto geotécnico y fundaciones de forma integral. El desafío actual, radica en la elaboración, combinando la práctica de ingeniería local y los estándares internacionalmente aceptados.

Como podrá advertirse, el paquete reglamentario nacional tiene una permanente dinámica en la actualización de reglamentos existentes, así como en la creación de nuevos reglamentos y conjuntos de reglamentos en áreas específicas.

HERMENÉUTICA DEL CIRSOC 401

El Reglamento establece los elementos de mínima que deben contemplarse en todo estudio geotécnico. Se estructura en 7 capítulos, con un desarrollo que alcanza las 57 páginas. Se acompaña de un documento denominado “Comentarios al Reglamento”, que tiene el propósito de facilitar la lectura e interpretación. El detalle de los capítulos, es el siguiente:

- Capítulo 1: Requisitos Generales
- Capítulo 2: Planificación de la Investigación Geotécnica
- Capítulo 3: Investigación Geotécnica
- Capítulo 4: Excavaciones, Perforaciones y Muestreo
- Capítulo 5: Ensayos de Campo
- Capítulo 6: Ensayos de Laboratorio
- Capítulo 7: Informe Técnico

Comencemos nuestro recorrido “interpretado” por el CIRSOC 401. Para esto, vamos a transcribir frases y párrafos en forma textual, sobre los que efectuaremos nuestro análisis y discusión. Para ordenar nuestro trabajo, adoptaremos por subtítulos, los nombres del capítulo en análisis.

Requisitos Generales

Recorramos el primer capítulo del reglamento. Aparece aquí, el “Campo de Validez”, lo cual es relevante, ya que contextualiza la aplicación:

Este Reglamento es de aplicación, específicamente, a los estudios geotécnicos para viviendas, edificios, estructuras industriales, construcciones complementarias, puentes (hasta tanto no esté redactado el Reglamento Argentino para Puentes), obras portuarias, mástiles y líneas de transmisión eléctrica. También es de aplicación a otro tipo de construcciones, como caminos, canales, ferrocarriles, túneles, presas, estructuras costa afuera (offshore). (CIRSOC 401, pág. 15)

Deja algo en claro: los estudios geotécnicos deben realizarse en todo tipo de proyectos. Grandes o pequeños. No se limitan solamente a obras de gran envergadura. No obstante, establecerá criterios y especificaciones diferenciadas en cada tipo. Pero sobre esto...ya hablaremos más adelante.

Este Reglamento especifica las investigaciones a realizar en un predio o extensión de terreno con el fin de conocer sus características geotécnicas, determinar las condiciones de utilización para una determinada construcción y los recaudos de seguridad a adoptar en relación con los terrenos y construcciones adyacentes. (CIRSOC 401, pág. 15)

Es decir, el objeto del estudio no se limita, solamente, al terreno y construcción propios del proyecto. El objeto es “extensivo” a contemplar la afectación que podría generar en construcciones o terrenos próximos. De esta forma, se procura advertir riesgos, valorarlos, y tomar los recaudos necesarios para evitar situaciones indeseables, tales como: inestabilidades por excavaciones, descalce de cimentaciones, asentamientos no admisibles, entre otras consecuencias. Este aspecto, de particular importancia, debe estar presente no sólo en la etapa de anteproyecto y proyecto, sino también durante la etapa constructiva.

Planificación de la Investigación Geotécnica

Hemos llegado al capítulo 2 del reglamento. En primer lugar, nos define los propósitos para los cuales se puede planificar la investigación geotécnica:

a) Conveniencia: *determinar si un predio y su entorno resultan adecuados para realizar un determinado proyecto.*

b) Diseño: *permitir el desarrollo de un diseño seguro y económico, que cumpla con requisitos mínimos e indispensables conforme a las buenas reglas del arte.*

c) Construcción: *sugerir métodos constructivos para la obra a ejecutar; prever eventuales dificultades constructivas y riesgos existentes como consecuencia de las condiciones geotécnicas. Cuando corresponda, evaluar los materiales locales para su utilización en la construcción y seleccionar el predio para la disposición de materiales sobrantes o residuos.*

d) Efecto de los cambios: *determinar los cambios que se puedan originar en las condiciones del terreno y su entorno, ya sea por causas naturales o como resultado de los trabajos constructivos, y el efecto que dichos cambios puedan ocasionar en la construcción propiamente dicha, así como en los predios vecinos y en el entorno en general.*

e) Elección del predio: *indicar las opciones, si éstas existen, para la ubicación del proyecto, señalando cuál es la más conveniente o, en el caso de un único predio, qué sector es el más recomendable para realizar la construcción, desde el punto de vista geotécnico. (CIRSOC 401, pág. 17)*

Notemos la diversidad de propósitos que puede tener una investigación geotécnica. Habitualmente, estamos acostumbrados a que se realizan estudios de suelo para cumplir con los propósitos (b) y/o (c), mientras que son poco frecuentes estudios para establecer la conveniencia de un terreno. Incluso, rara vez, la elección de un predio o el lugar de emplazamiento de la construcción se definen por las características geotécnicas, sino que suelen ser otros los factores dominantes. A veces, la vista

paisajística define la ubicación del proyecto dentro de un predio, luego el consultor geotécnico debe ajustar su proyecto para garantizar el adecuado desempeño de la construcción. Los efectos sobre otras propiedades, también suele abordarse en estudios convencionales, aunque de manera secundaria. Lo importante, es definir claramente cuál es el propósito con el que el estudio se planifica, a fin de plantear actividades que procuren el cumplimiento del mismo.

Se distinguen distintos tipos de investigación geotécnica. Se diferencian predios en los que se dispone antecedentes de los que no. Si existen estudios previos, pueden proyectarse estudios complementarios que permitan confirmar y completar la información necesaria. En casos que no se disponga de antecedentes, el estudio deberá ser auto-contenido de información. Tenemos entonces:

TIPOS DE INVESTIGACIÓN GEOTÉCNICA: (a) En predios donde no se dispone de información geotécnica previa, (b) En predios donde se dispone de información geotécnica previa, (c) En predios donde ya ocurrió una falla en la construcción, (d) Seguridad de las construcciones aledañas (CIRSOC 401, pág. 18)

Cuando ya han ocurrido daños estéticos o estructurales, el estudio se deberá orientar a identificar las causas originarias. Una vez detectadas, se plantearán las acciones necesarias para que el problema cese, solucionando el vector que dio origen al fallo de la estructura. Paso seguido, se realizarán los estudios que permitan plantear acciones de remediación de la estabilidad y resistencia estructural. Nos referimos aquí a posibles recalces de cimentaciones, y eventuales refuerzos en el resto de los componentes de la estructura. Por último, se recomendarán las reparaciones estéticas que fueran necesarias. Siempre, previo a esta última actividad, es recomendable establecer un período de monitoreo, a fin de verificar el adecuado comportamiento de la solución adoptada. A este tipo de estudios, se los denomina de “patología estructural asociado a cimentaciones.”

La definición de la seguridad en construcciones aledañas tiene múltiples enfoques, en función de los diversos vectores potenciales de riesgo que se pueden presentar. Las excavaciones de subsuelo, por ejemplo, suelen ser uno de los principales vectores de riesgo a la hora de valorar posibles daños en construcciones adyacentes. Estos daños, pueden ocurrir por descalces de cimientos, asentamientos, o inestabilidad de taludes. En el estudio, debe pensarse en la geotecnia y estructuras adyacentes, y no sólo en las propias del sitio de nuestro proyecto. También debe incluirse en el análisis, el sistema estructural y constructivo de la obra que procuramos proteger. Otros vectores pueden ser: demoliciones, vibraciones, erosiones, entre otras posibilidades. Es prudente, en forma previa al inicio de la construcción objeto de nuestro estudio, efectuar un relevamiento de las propiedades adyacentes con el propósito de registrar daños menores o considerables que las mismas puedan presentar. De esta forma, evitamos futuros reclamos inapropiados.

Hablemos ahora de los procedimientos a utilizar. Vemos que nos dice el Reglamento al respecto:

*La **extensión de la investigación** estará regida, primordialmente, por la **magnitud y la naturaleza del proyecto a construir** y por las **características del predio**. La investigación de un predio se desarrollará, en términos generales, por **etapas sucesivas** y estará constituida, normalmente, por los estudios de gabinete, visita y reconocimiento del predio, relevamientos topográfico, batimétrico e hidrogeológico, investigación geotécnica, estudios especiales y **seguimiento de la obra durante la fase constructiva**. (CIRSOC 401, pág. 18)*

Podemos destacar el valor que se le asigna al seguimiento de obra durante su construcción. Claramente, se lo plantea como una etapa integrante del estudio. Debemos tener presente que la geotecnia “no es una ciencia exacta”, no hay certezas absolutas. Por lo tanto, el estudio geotécnico planteado como una acción integral sobre la obra, no debe terminar en un informe de proyecto. Debemos pensar el estudio como una actividad técnica continua a la luz de los acontecimientos que devengan de las excavaciones durante la etapa constructiva. Así, por ejemplo, podrán advertirse diferencias en las profundidades de surgimiento del manto de apoyo, dificultades de excavación no previstas, singularidades ocultas, entre otras circunstancias que pueden ocurrir.

Es necesario acompañar, con estudios y seguimiento, durante toda la etapa constructiva relevante a la geotecnia. Por ejemplo, si hablamos de un edificio, nos referimos, al menos, a la etapa de excavación de subsuelo, excavación de cimentaciones, construcción de muros de contención y construcción de cimentaciones con sus vigas de vinculación. Recién en este momento podemos decir que ha finalizado la etapa de “construcción geotécnica”. ¿Terminamos nuestra tarea? En general, podríamos decir que sí. Pero, sería deseable y provechoso incluir una etapa de monitoreo. Por ejemplo, mediante el seguimiento de asentamientos futuros.

¿Qué nos dice el Reglamento en relación a la vinculación geotecnia-estructura?

*Se considera necesaria la **participación conjunta del Profesional Responsable del estudio geotécnico y del Proyectista Estructural en el diseño de las fundaciones**, en forma previa a la emisión del informe geotécnico definitivo. (CIRSOC 401, pág. 18)*

Acá nos vamos a detener. Si el proyectista estructural resuelve las fundaciones de la estructura de manera unilateral, sin la debida consulta y participación del profesional responsable del estudio geotécnico, no cumple las condiciones reglamentarias y se expone a una fallida interpretación de los resultados y consideraciones del informe. Lo opuesto también es cierto, un informe geotécnico sin criterio estructural carece de valor para su propósito de proyectar cimentaciones. Es decir, “un buen informe geotécnico debe incluir criterio estructural”. No debemos

olvidar que la cimentación es un elemento estructural y, por lo tanto, el informe geotécnico debe considerar la interacción entre la estructura y el suelo. No termina en describir el suelo y sus propiedades. Es necesario establecer cómo se comporta el suelo frente a la estructura y viceversa. ¿Cómo se va a comportar la estructura bajo la recomendación geotécnica? Además, la cimentación es un elemento estructural pero que no está aislada del conjunto. Está vinculada a una estructura que debe ser compatible con el sistema propuesto. En conclusión: Suelo-Cimiento-Estructura no son elementos aislados que uno podría verificarlos y analizarlos de manera independiente. Éstos conforman un “sistema”. Un buen informe geotécnico debe contemplar y entender sobre el sistema y no sólo una de sus partes.

Para cerrar este capítulo del Reglamento, veremos que la historia del terreno reviste importancia técnica y legal. Es necesario investigar antiguos usos a fin de advertir, por ejemplo, rellenos ya que estos suelen dificultar la construcción e, incluso, la ejecución de los estudios. Viejos usos industriales, o la presencia de “servidumbres de paso”, suelen ser también aspectos a tener presente. Por otro lado, si se detectan en el subsuelo elementos de valor histórico, deberá ser informado a la autoridad de aplicación:

*Cuando se detecte la presencia de elementos con **valor paleontológico, arqueológico o histórico** para la comunidad, que estuviesen en el predio - ya sea descubiertos o enterrados - se deberá **dar aviso de inmediato a las autoridades competentes** (nacionales, provinciales y/o municipales) y a la Inspección o Dirección de Obra a cargo de los trabajos. (CIRSOC 401, pág. 20)*

Investigación Geotécnica

En este capítulo, el Reglamento detalla el procedimiento de la investigación geotécnica. Inicia con el objetivo, luego plantea una descripción y enumeración del personal involucrado, así como las diferentes actividades.

Objetivo: *El objetivo de la investigación geotécnica es la obtención de información geotécnica relevante para el proyecto bajo adecuadas pautas de **calidad, economía y seguridad**.*

Dirección y planeamiento: *La dirección y planeamiento de la investigación geotécnica estará a cargo de un **profesional universitario legalmente habilitado** con experiencia en la planificación y dirección de campañas geotécnicas, capacidad de interpretación de los resultados de la investigación y conocimiento de los procedimientos de diseño geotécnico asociados a los trabajos propuestos.*

Supervisión y ejecución de tareas de campo: *La supervisión de los trabajos de campo deberá ser ejecutada por un **técnico adecuadamente capacitado y con experiencia** suficiente en tareas similares a las que serán ejecutadas. El supervisor de campo será el responsable de registrar los datos obtenidos*

en el orden en que éstos fueron sucediendo. La información debe incluir una somera descripción de los materiales encontrados, el espesor de cada capa y la cronología de trabajo. Los partes de auscultación formarán parte del informe técnico.

Trabajos de laboratorio: *Los trabajos de laboratorio deberán estar bajo la responsabilidad de un profesional legalmente habilitado y deberán ser ejecutados por técnicos capacitados y con suficiente experiencia en los ensayos a realizar.*

Interpretación: *La redacción del informe técnico, incluyendo la recopilación de los registros de campo, de laboratorio, su análisis, interpretación, conclusiones, diseño geotécnico y recomendaciones, estará a cargo de un profesional universitario habilitado con experiencia en proyectos de importancia similar al que se investiga. (CIRSOC 401, pág. 21)*

Bueno, en este punto nos vamos a permitir, humildemente, disentir con lo planteado en el Reglamento. ¿Por qué? Hemos resaltado sobre el texto en “negrita” las frases principales. Nosotros consideramos que los trabajos de campo o “campaña” son una parte crucial del estudio. La importancia de esta actividad es, al menos, igual a la de trabajos de laboratorio. Creemos que reviste una importancia superlativa, por lo que no consideramos suficiente que la supervisión esté a cargo de un “técnico adecuadamente capacitado y con experiencia”. Al igual que en las otras actividades del estudio, manifestamos que la supervisión debería también estar a cargo de un “profesional universitario legalmente habilitado”.

Sobre los métodos de investigación, el Reglamento plantea lo siguiente;

*Las tareas primordiales consistirán en investigar y **determinar los perfiles geotécnicos**, las condiciones del agua subterránea, las características físicas, químicas, mecánicas e hidráulicas de los suelos y rocas y la existencia de riesgos geotécnicos particulares.*

*Los perfiles geotécnicos podrán ser determinados mediante el estudio de muestras obtenidas en perforaciones con sus correspondientes ensayos de laboratorio **y/o por métodos de representatividad equivalente** de acuerdo con el objeto de la investigación.*

*Las investigaciones deberán abarcar todo el predio y, principalmente, la **superficie de terreno donde se ha decidido construir**, donde se detecte que se pueda producir una modificación temporaria o permanente de las condiciones geotécnicas como consecuencia de los trabajos a realizar y **donde existan riesgos para las construcciones, para las personas o para terceros**. (CIRSOC 401, pág. 22)*

Es claro que el objeto principal de los métodos de investigación consiste en determinar perfiles geotécnicos. Ahora, en el segundo párrafo, admite la utilización de diversos métodos que permitan cumplir con el objetivo, no limitándose exclusivamente

al estudio de muestras de perforaciones. La ubicación de sondeos, si bien deben contemplar todo el predio, deberán densificarse en los sectores en los que se ubicará la construcción. Nuevamente, aparece la consideración de riesgos a otras construcciones y terceros. Se destaca la consideración de trabajos proyectados que puedan afectar el desempeño de estructuras existentes.

Veamos el siguiente párrafo,

*La totalidad de la investigación geotécnica deberá estar concluida con anterioridad a la finalización de la etapa de diseño. Pueden existir situaciones en las que se **requieren investigaciones geotécnicas complementarias una vez comenzada la fase constructiva.** (CIRSOC 401, pág. 22)*

Nuevamente, se insiste con los estudios durante la construcción. Es fundamental entender la geotecnia como una ciencia no exacta, donde la “realidad” que se encuentra durante la excavación, mientras se desarrolla la construcción, puede diferir de la prevista por los estudios. Ya lo hemos mencionado a esto, pero no importa, insistimos en la idea. ¿Podría evitarse? No, sólo puede disminuirse la probabilidad de que esto ocurra, incrementando la cantidad de sondeos y ubicándolos de manera estratégica. No obstante, la certeza absoluta nunca se va a tener. A menos que el estudio sea la excavación misma de la cimentación. Lo cual nos conduce a una paradoja.

La fase constructiva “complementa” el estudio geotécnico de proyecto. Aquí, podrán advertirse divergencias con lo estimado preliminarmente en sondeos puntuales. La propia reglamentación prevé esta posibilidad. Por lo tanto, la ocurrencia de diferencias entre lo detectado y lo previsto en el informe geotécnico de diseño, no debe ser interpretada como una falla del informe original, sino como una falta de inversión en un “estudio geotécnico integral” que incluya el acompañamiento durante el desarrollo constructivo de las obras que involucra. De esta manera, se podrán advertir situaciones imprevistas, analizar y solucionar en la acción, bajo la concepción del proyecto como un “sistema”, y no como simples partes aisladas.

¿Cuántos sondeos realizar? ¿A qué profundidad? ¿Qué tipo de sondeo? ¿Cuál es la separación entre sondeos? Estas son algunas de las típicas preguntas que el profesional responsable del proyecto le realiza al profesional a cargo del estudio geotécnico. En general, la respuesta está dada en función de la naturaleza del proyecto, las características generales del sitio de emplazamiento, guías o manuales referentes de la especialidad y la experiencia del profesional. En este sentido, el Reglamento plantea elementos mínimos a tener en cuenta en funciones del tipo de estudio a realizar. Veamos que dice;

*El presente Reglamento establece disposiciones mínimas acerca de la **cantidad de prospecciones, su distribución, profundidad a investigar, determinaciones y ensayos de campo, muestreo, ensayos de laboratorio y elaboración de los respectivos Informes Geotécnicos.** (CIRSOC 401, pág. 23)*

Estas especificaciones resultarán variables en función de las características del proyecto, de los suelos, y, fundamentalmente, del tipo de estudio geotécnico. El Reglamento distingue, básicamente, 3 (tres) tipos de estudios, con diferentes alcances. Los indicaremos a continuación, como estudios Tipo I, Tipo II y Tipo III. Esta designación es nuestra, ya que el reglamento sólo especifica la designación de cada tipo. Los indicamos a continuación, sobre la base del CIRSOC 401, pero en este caso no como cita textual, debido a que hemos modificado la redacción e incorporado designación que no está escrita taxativamente en el Reglamento. No obstante, aclaramos que algunas definiciones también son tomadas de forma textual. Aquí va:

Tipo I: Estudios para factibilidad. Tienen por objeto conocer el perfil del subsuelo y determinar sus propiedades geotécnicas. Cantidad de prospecciones: al menos, el 20% de las indicadas en los estudios para proyecto. Los resultados de este estudio, podrán ser empleados en etapa de anteproyecto.

Tipo II: Estudios para proyecto. Tienen por objeto el diseño geotécnico de las obras. Se determinarán las propiedades físicas, químicas, mecánicas e hidráulicas de los depósitos y rellenos del predio investigado. Se estudiarán las condiciones del agua subterránea a fin de evaluar su influencia sobre las obras. La densidad mínima de puntos de prospección y su ubicación, se presentan en las Tabla 1 y 2.

En la versión de la Tabla 1 del Reglamento, se repite dos veces la Clase C-7. Para Puentes y Construcciones complementarias. Aquí, hemos agrupado los puentes bajo designación C-8, y hemos dejado el C-7 exclusivamente para las Construcciones complementarias.

La distancia máxima entre puntos de prospección (L), para estudios Tipo II es,

$$L = C \times Lo$$

C = Coeficiente de Tabla 1 en función del tipo de construcción

Lo = Coeficiente de Tabla 2 en función del tipo de terreno

Tipo III: Estudios durante la construcción. Tienen el objeto de completar la Información geotécnica obtenida en los estudios Tipo I y II, y de estudiar anomalías no detectadas durante los mismos. Si se los requiere, serán proyectados y ejecutados de acuerdo a las necesidades específicas de la obra.

La profundidad de investigación, también es un aspecto que el Reglamento establece:

*La profundidad de investigación será tal que permita **identificar los riesgos de origen geotécnico y determinar los parámetros del comportamiento del terreno relevantes para el proyecto de las obras.** Entre otros factores, dependerá del tipo de obra, del tamaño de las estructuras en contacto, del*

*nivel de **tensiones aplicado**, de las características geotécnicas del predio y de la información geotécnica disponible.*

*Para **Fundaciones de estructuras**, será mayor o igual al máximo entre:*

- *seis metros (6 m).*
- *La profundidad del plano de fundación más **dos (2) veces** el ancho de la mayor zapata individual o del grupo de pilotes, o **diez (10) veces** el diámetro del pilote aislado.*
- *La profundidad a la que el incremento de tensión efectiva vertical debido a la carga actuante sobre la fundación sea igual al **10% de la presión efectiva** de tapada, para suelos cohesivos.*
- *La profundidad a la que el incremento de tensión efectiva vertical debido a la carga actuante sobre la fundación sea igual al **20% de la presión efectiva** de tapada, para suelos granulares.*

*La profundidad de investigación puede **adaptarse en función de los resultados preliminares** de las prospecciones ejecutadas y de la **experiencia local**.*

*Cuando la profundidad de investigación atraviese **estratos de características geotécnicas conocidas y favorables** para el objeto de la investigación (por ejemplo, zapatas de poco compromiso estructural fundadas sobre rocas competentes, gravas compactas, etc.), la profundidad de investigación **se podrá limitar a la detección fehaciente del contacto** entre el estrato competente y el inmediato superior. (CIRSOC 401, pág. 26)*

Al definir la profundidad de exploración necesaria, el Reglamento expresa criterios cuantitativos explícitos. No obstante, al final, libera y deja abierta la posibilidad de participación del “criterio” profesional quien, en base a sus antecedentes y experiencia, podrá limitar la profundidad de las prospecciones. Esto, creemos que es positivo. Un Reglamento de geotecnia debe contener cierta flexibilidad en algunos aspectos y, éste, es uno de ellos.

Por otro lado, los criterios indicados son específicamente para fundaciones de estructuras. Para otros tipos de obras, propone que la profundidad acompañe la necesidad a evaluar. Para muros de sostenimiento, excavaciones, y obras lineales, se deberá contemplar el análisis de superficies potenciales de falla y deslizamientos de taludes, así como la determinación de todos los parámetros necesarios para el diseño de estas obras y sus accesorios (ej: anclajes). En conclusión, la profundidad del sondeo y los parámetros a determinar a partir de ensayos, deben ser los suficientes y necesarios para resolver el problema estructural objeto del estudio. Otra vez la necesidad del “sistema” que hemos definido, y el “especial valor” de que el profesional geotécnico sea también experto en estructuras, y viceversa. Si bien se puede pensar en un

estructuralista no experto en geotecnia que se maneje a través de un asesor, en nuestra opinión, consideramos que geotecnia y estructura no deberían estar desacopladas en los campos de experticia.

Para redondear estas ideas, nosotros entendemos que, para la formulación integral de una planificación y ejecución de estudios geotécnicos, es también necesario entender sobre proyecto, construcción, dirección de obras y contar con sólidos conocimientos en estructuras civiles.

Clase	Descripción de las tipologías estructurales	Cantidad mínima de prospecciones	Coefficiente distancia máxima entre prospecciones
C-1	Viviendas unifamiliares de dos plantas con una superficie máxima en planta de 250m ² en condiciones geotécnicas conocidas	2	1,0
C-2	Edificios para vivienda o industriales hasta 2 plantas	3	1,0
C-3	Edificios para vivienda o industriales, de hasta 4 plantas sin muros de carga, con estructura y cerramiento independiente	3	1,0
C-4	Edificios de viviendas u oficinas de 4 a 10 plantas o que, teniendo hasta 4 plantas, no cumplen las condiciones anteriores	3	0,8
C-5	Edificios de viviendas u oficinas de 11 a 20 plantas; silos y tanques de almacenamiento	3	0,7
C-6	Edificios de carácter monumental o singular, o con más de 20 plantas. (Serán objeto de un reconocimiento especial cumpliendo, al menos, las condiciones que corresponden a la Clase C-5)	3	0,6
C-7	Construcciones complementarias con un área de fundación menor a 50 m ²	1	1,0
C-8	Puentes con luces de hasta 35 m	1 en cada pila o estribo	-
C-8	Puentes con luces mayores de 35 m y/o con calzadas separadas (tableros paralelos)	2 en cada pila o estribo	-
C-9	Obras portuarias discontinuas	1 en cada estructura	1,0
C-10	Líneas de transmisión eléctrica	1 en cada torre	-
C-11	Obras lineales	3 ó 1 c/50 m	-
C-12	Estructuras tipo péndulo invertido	2	-

Tabla 1: Elementos para el cálculo de la distancia máxima entre puntos de prospección (CIRSCOC 401, pág. 25)

Las condiciones del subsuelo y el propósito o alcance del estudio, influyen en la selección de un método de investigación. Se incluye aquí la técnica de exploración, muestreo y ensayos in-situ a realizar. En este sentido, el reglamento plantea que;

El tipo de investigación geotécnica será seleccionado por un profesional universitario de acuerdo con los propósitos y alcances de la investigación y el tipo de terreno a investigar. (CIRSOC 401, pág. 28)

Las diferentes técnicas de exploración permiten obtener muestras de diferente calidad. En función de la calidad de la muestra, son los tipos de ensayos que con ella se podrán ejecutar. La Tabla 3, presenta una clasificación de las muestras por calidad de suelos y rocas, y los ensayos que pueden realizarse en cada caso.

Grupo	Distancia	Ejemplos
T-1: Variabilidad baja	Lo = 30 a 40 m	Grandes llanuras loésicas
T-2: Variabilidad media	Lo = 20 a 30 m	Coladas basálticas
T-3: Variabilidad alta	Lo = 20 m	Antiguas llanuras de inundación de ríos divagantes

Tabla 2: Distancias máximas entre puntos de reconocimiento según tipo de terreno (CIRSCOC 401, pág. 26)

Calidad	Suelos	Rocas	
	Propiedad	Método	Propiedad
Clase 1	Clasificación, humedad natural, pesos unitarios, parámetros de resistencia, rigidez y consolidación	Bloques, sacatestigos dobles o superior	Clasificación petrográfica y mineralógica, densidad, absorción, porosidad, resistencia triaxial, módulo de deformación.
Clase 2	Clasificación, humedad natural y pesos unitarios	Sacatestigos simples	Clasificación petrográfica y mineralógica, densidad, absorción, porosidad, resistencia a la compresión simple.
Clase 3	Clasificación y humedad natural	Testigos fracturados	Clasificación petrográfica y mineralógica, densidad, absorción. Ensayo de carga puntual.
Clase 4	Clasificación	Muestras disturbadas	Clasificación petrográfica y mineralógica.
Clase 5	Ninguna. Únicamente para determinar la secuencia estratigráfica	---	---

Tabla 3: Calidad de muestra y propiedad que puede determinarse de manera confiable en suelos y rocas (CIRSCOC 401, pág. 36)

A continuación, veamos un resumen de las recomendaciones que propone el reglamento sobre calidad de muestra obtenida, en función de las técnicas de exploración sugeridas para diferentes tipos de suelo:

Suelos friables con bloques y gravas: *Excavación directa en seco (calicatas, pozos profundos, trincheras, etc.). Clase 4. Ensayo de penetración dinámica.*

Arenas: *Perforaciones a rotación o percusión con ejecución simultánea de ensayos SPT. Puede ser necesario camisa o lodo para estabilizar las paredes. Clase 4 o 5.*

Limos: *Perforaciones a rotación o percusión con ejecución simultánea de ensayos SPT (Clase 3). También pozos y calicatas a cielo abierto (Clase 1 o 2).*

Arcillas: *Perforaciones a rotación o percusión con ejecución simultánea de ensayos SPT (Clase 3). También pozos y calicatas a cielo abierto (Clase 1).*

Suelos cohesivos que contienen bloques y grava: *excavaciones y pozos a cielo abierto (Clase 3 a Clase 1). (CIRSCOC 401, pág. 29)*

Interesa evaluar ciertas características especiales de los suelos, tales como la susceptibilidad de los mismos a: colapso (limosos), expansión (arcillosos) y licuación (arenosos). Los dos primeros, será mediante ensayos de laboratorio tipo compresión confinada, denominados edómetros o doble edómetro, mientras que la licuación se podrá evaluar a través de ensayos de penetración dinámica.

El agua subterránea siempre debe estar señalada en el perfil geotécnico. La misma, interviene en la capacidad de carga y es un factor determinante en la selección del sistema de fundación. La presencia de agua libre en el suelo genera serias dificultades en la excavación. Complica, incluso hace imposible, lograr limpieza en la perforación previo al colado de hormigón. Además, es importante tener presente que el agua puede contener elementos que resulten agresivos para la estructura. Para evaluar esta posibilidad, es necesario realizar ensayos físico-químicos en suelos y agua, a fin de advertir la presencia de estos agentes. El Reglamento lo plantea claramente;

*En ciertas localidades el **agua subterránea**, el suelo y las rocas pueden tener constituyentes agresivos al hormigón y al acero. Estos constituyentes son, principalmente, sulfatos y cloruros, medio ácido y contaminantes industriales. (CIRSCOC 401, pág. 32)*

Excavaciones, Perforaciones y Muestreo

Presentemos un resumen de los métodos propuestos:

- **Excavaciones:** calicatas, y/o pozos de exploración mecánicos y manuales. Se advierte la necesidad de elementos de protección lateral, si el suelo fuera inestable, y especial atención en la seguridad del personal (Figura 1, 2, 3).

- **Perforaciones:** manual con barreno, equipo manual, barreno hélice continua, equipo de rotación y percusión (Figura 4).

Sobre las técnicas de muestreo, tenemos:

*La selección de la **técnica de muestreo** está regida por el **objeto de la investigación**, los requisitos en la **calidad de la muestra** a recuperar y por las **características propias del material** a investigar. (CIRSCOC 401, pág. 35)*

Las cuatro técnicas principales para la obtención de muestras son:

*(a) **recuperación** del detrito producido por la perforación. Clase 3 a 5*

*(b) obtención de la muestra por **penetración de un sacatestigo** de extremo abierto (Clase 3 para SPT, Clase 1 o 2 para tubos de pared delgada) o de tubo partido (Clase 3 o 4) por **hinca** estática o dinámica.*

*(c) muestreo mediante **corona sacatestigo** hueca que avanza por **rotación** mientras el testigo penetra dentro del cuerpo.*

*(d) extracción de una **dama perfilada** dentro de una calicata, pozo o galería. Clase 1.*

Luego de obtenida la muestra, es importante su “custodia” hasta que llegue a laboratorio. Incluimos aquí: identificación, protección, transporte y almacenamiento. Se menciona también, la recolección de muestras de agua subterránea para análisis, en general tipo físico-químicos.

Una pregunta habitual es; ¿Con qué frecuencia muestreamos? Es decir, cada que profundidad hacemos extracción de muestras. Veamos que nos dice el Reglamento:

*La **frecuencia de muestreo y de ensayo dentro de una perforación** estará **condicionada por la necesidad de información**, así como por la **disponibilidad de información geotécnica previa del predio en cuestión**.*

*El **tipo y la frecuencia del muestreo** estarán condicionados por las **características del terreno**; razón por la cual las tareas de campo de una investigación geotécnica deberán ser **ajustadas durante la marcha de los trabajos**.*

*En términos generales, el **muestreo** deberá ser realizado en correspondencia con cada **metro de avance** de la perforación o en cada cambio de **estrato**. (CIRSCOC 401, pág. 39)*

Ya hemos mencionado la importancia de que la supervisión de campaña esté a cargo de “un profesional legalmente habilitado”. Creemos que aquí, nuevamente, se pone de manifiesto esta necesidad.



Figura 1: Calicata de exploración realizada con pala mecánica retroexcavadora



Figura 2: Exploración de corte abierto



Figura 3: Excavadora rotativa – Pilotera, muestras Clase 3. (Cortesía: GEF Geotecnia, Estructuras y Fundaciones)

Ensayos de Campo

Los ensayos de campo son fundamentales para establecer recomendaciones de proyecto estructural. Esto queda de manifiesto en el Reglamento, al inicio de este capítulo:

Las propiedades de los suelos y las rocas en el terreno pueden diferir de las propiedades de sus materiales constituyentes determinadas en ensayos de laboratorio. (CIRSCOC 401, pág. 41)

Para la ejecución de los ensayos de campo, el Reglamento no establece exclusividad en la adopción de una norma determinada que defina los procedimientos.

Deja abierto la posibilidad de adoptar diferentes organismos reconocidos. Incluso, posibilita la utilización de una “metodología de ensayo de uso habitual.”

¿Qué alternativas de ensayo presenta?, veamos:

- Ensayos de penetración
- Ensayos en perforaciones
- Ensayos de densidad in-situ
- Ensayos de carga en placa
- Ensayos geofísicos
- Ensayos de permeabilidad

Para cada caso, presenta alternativas y una breve descripción. Dentro de los ensayos de penetración, tenemos:

Ensayo normal de penetración (ENP - SPT): se obtiene información discontinua del perfil del terreno. Es utilizado como medida de compacidad de los suelos y para inferir sus parámetros mecánicos. Permite la extracción de muestras Clase 3 o 4.

Ensayo de penetración estática de cono (CPT): permite determinar la compacidad de los suelos mediante la penetración estática de un cono. Brinda información continua del perfil del terreno. Resultados: resistencia a la penetración de la punta, fricción lateral y presión neutra. No se extraen muestras.

Ensayo de penetración dinámica DP: permite determinar la compacidad de los suelos mediante la hincada dinámica de un cono ciego. Brinda información continua del perfil del terreno. El resultado del ensayo se denomina “Resistencia a la Penetración Dinámica DP”, y es utilizado como medida de compacidad de los suelos y para inferir sus parámetros mecánicos. Puede ser ejecutado en todos los tipos de suelos. No se extraen muestras. (CIRSOC 401, pág. 42)

Notemos que se especifican ensayos de penetración dinámica “en general”. No se establecen condiciones de cono, energía o dispositivo. Esto, permite la utilización de diferentes tipos de equipos de penetración, con diversas geometrías y energías, siempre que se encuentren debidamente calibrados y probados (Figura 4 y 5).

En el caso de los ensayos en perforaciones, se mencionan la veleta o molinete de torsión, el presiómetro y el dilatómetro. Todos éstos, ensayos especiales que puede resultar necesario aplicar en medianos o grandes proyectos. Sobre superficie de apoyo, también puede efectuarse ensayos de carga en placa.



Figura 4: Hincadora dinámica – Micropilotea, muestras Clase 3 o 2. (Cortesía: GEF Geotecnia, Estructuras y Fundaciones)



Figura 5: Penetrómetro Dinámico Liviano (PDL), automático. (Cortesía: GEF Geotecnia, Estructuras y Fundaciones)

Para determinar la densidad in-situ, se menciona la posibilidad de utilizar ensayos directos o indirectos. Los habitualmente utilizados son los métodos directos.

Entre estos, el método del cono de arena es el de mayor empleo en nuestro medio (Figura 6). Se establece un criterio de “mínimos” sobre la cantidad de puntos de control:

La cantidad de determinaciones a realizar dependerá de la importancia de la obra y la heterogeneidad de los materiales empleados. Los valores indicados son orientativos y deben respetarse los mínimos exigidos en cada caso.

Para obras lineales se deberá realizar una determinación de densidad in situ con una separación mínima de 100 m, y una separación máxima de 500 m, con un mínimo de 3 (tres) determinaciones por cada tramo u obra a controlar.

Para obras superficiales la separación mínima entre determinaciones será de cada 200 m² y como máximo de 600 m², con un mínimo de 3 (tres) determinaciones por cada predio, sector, u obra a controlar. (CIRSCOC 401, pág. 43)



Figura 6: Equipo cono de arena para medir peso unitario in-situ.
(Cortesía: CIGEF, UTN-FRC)

El Reglamento prevé la ejecución de ensayos geofísicos. Estos, en general, constituyen una alternativa no destructiva que permite obtener abundante información, y a grandes profundidades. Destacaremos aquí la resistividad eléctrica, por ser, quizás, el de mayor empleo en nuestro medio. Aplicaciones generales:

a) Evaluación del perfil geotécnico del subsuelo hasta profundidades generalmente menores que 100 m, ajustándose a correlaciones con perforaciones o cateos directos.

b) Localización de inclusiones, anomalías o discontinuidades.

c) Determinación de la velocidad de propagación de la onda de corte.

d) Aplicaciones geoambientales. (CIRSCOC 401, pág. 43)

El último de los ensayos in-situ presentados en el reglamento, es el de permeabilidad:

Los ensayos para determinar la permeabilidad in situ se basan en medir el caudal de infiltración o de extracción de agua del terreno. Se pueden dividir en ensayos de insumisión de agua y ensayos de bombeo o extracción de agua. (CIRSCOC 401, pág. 45).

Ensayo de insumisión a carga variable: en este ensayo se procede al llenado con agua de una perforación y se mide el descenso de la columna de agua a intervalos de tiempo preestablecidos.

Ensayo de insumisión a carga constante: en este ensayo se procede al llenado de una perforación con agua y se mide el caudal necesario para mantener constante el nivel de agua durante un tiempo establecido.

Ensayo Lugeon: Es un ensayo que permite determinar la admisión de agua en macizos rocosos y suelos cementados bajo diferentes rangos de presión de agua. Con las determinaciones se estima la permeabilidad secundaria del macizo.

Ensayos de bombeo: En estos ensayos se extrae agua del suelo mediante una bomba colocada dentro de una perforación. Se determina el caudal extraído en un tiempo establecido, midiendo la variación del nivel de agua. De acuerdo con el método empleado esta variación puede medirse dentro de la perforación utilizada para el bombeo o mediante perforaciones adicionales ubicadas en proximidad de la primera. (CIRSCOC 401, pág. 45)



Figura 7: Equipo doble anillo para medir infiltración.
(Cortesía: CIGEF, UTN-FRC)

Cada uno de estos métodos lleva un registro de campo, el cual es posteriormente procesado en gabinete. La interpretación de los resultados, junto con las ecuaciones características, permiten la determinación del parámetro buscado (Figura 7).

Ensayos de Laboratorio

El Reglamento plantea lo siguiente;

Los ensayos de laboratorio sobre muestras de suelos y rocas permiten:

(a) identificar y clasificar las muestras.

(b) obtener los parámetros geotécnicos relevantes para el diseño del proyecto.

El programa de ensayos de laboratorio deberá ser establecido por un profesional con competencia en geotecnia. (CIRSCOC 401, pág. 47)

Al igual que en el caso de los ensayos de campo, para los ensayos de laboratorio el Reglamento no establece exclusividad en la adopción de una norma determinada que defina los procedimientos. Deja abierto la posibilidad de adoptar diferentes organismos reconocidos. Incluso, posibilita la utilización de una “metodología de ensayo de uso habitual.”

El Laboratorio deberá contar con un Director Técnico, con competencias profesionales en el área de geotecnia. Las instalaciones de laboratorio deberán tener los elementos necesarios para el mantenimiento y conservación de las muestras y permitir la ejecución de los ensayos de acuerdo a las normas correspondientes. Se deberá mantener un programa de calibración y contrastación del instrumental de laboratorio. Los instrumentos deberán tener su registro de calibración vigente. (CIRSCOC 401, pág. 48)

Los ensayos propuestos por el reglamento son los habitualmente reconocidos por la mecánica de suelos clásica. Las Tablas 4 y 5 resume los tipos en suelos y rocas.

Categoría	Ensayo
Clasificación y propiedades índice	Contenido de humedad Límite líquido Límite plástico Límite de contracción Peso unitario Tamizado vía seca y/o húmeda Sedimentometría
Contenidos de sustancias químicas	Materia orgánica total Sulfatos totales y solubles pH Contenido de CaCO ₃ Contenido de cloruros
Compactación	Proctor Estándar o Modificado
Diseño de pavimentos	CBR
Resistencia	Compresión triaxial Compresión no confinada Corte directo
Deformación	Consolidación (edómetro) Consolidación (triaxial)
Permeabilidad	Carga constante Carga variable

Tabla 4: Principales ensayos de laboratorio en muestras de suelo (CIRSCOC 401, pág. 50)

Categoría	Ensayo
Clasificación	Contenido de humedad de saturación Contenido de humedad Densidad y porosidad Corte delgado Carbonatación Hinchamiento
Dinámico	Módulo dinámico
Resistencia	Carga puntual Compresión uniaxial Tracción por compresión diametral Compresión triaxial Corte Directo
Deformación	Módulo elástico estático, Creep
Permeabilidad	Celda triaxial, Centrífuga, Radial

Tabla 5: Principales ensayos de laboratorio en muestras de roca (CIRSCOC 401, pág. 50)

Informe Técnico

El informe geotécnico deberá contener la información obtenida durante las tareas de campaña, laboratorio y gabinete. En forma clara se deberá resumir toda la información recabada, los análisis y determinaciones realizados y las recomendaciones del Consultor Geotécnico. (CIRSCOC 401, pág. 53)

El informe debe estar compuesto por 3 partes:

- **Parte I: Descriptiva.** Aquí debe indicarse el tipo de estudio que se realizó (I, II o III) y su objetivo. Descripción general del predio, y de la obra:

*El informe deberá incluir las **características de la obra**, el **tipo de estructura**, sus dimensiones y la etapa del proyecto a la que se aplica (prefactibilidad, anteproyecto, proyecto, construcción, control, etc). (CIRSCOC 401, pág. 53)*

También, se deberán consignar: ubicación de las prospecciones, trabajos de campo, laboratorio y gabinete, descripción del perfil geotécnico. Para este último podrán incluirse los resultados de ensayos que se consideren necesarios. Se deberá indicar el procedimiento adoptado en cada ensayo.

- **Parte II: Análisis de Resultados.**

*Se efectuará una evaluación de las propiedades geotécnicas relevantes para la obra y la **determinación de los parámetros** a utilizar en el **diseño geotécnico de las obras**.*

*Se **explicitarán las hipótesis y métodos** utilizados para la elaboración de las conclusiones y recomendaciones técnicas. (CIRSCOC 401, pág. 53)*

- **Parte III. Recomendaciones geotécnicas.**

Se efectuarán recomendaciones geotécnicas para el proyecto de las obras, sus aspectos constructivos o afectaciones ambientales. Se detallan algunos ejemplos (CIRSCOC 401, pág. 55):

***Fundaciones superficiales:** estrato de fundación; alternativas de fundación; parámetros para el diseño geotécnico.*

***Fundaciones profundas:** estrato de fundación; métodos constructivos aptos; parámetros para el diseño geotécnico.*

***Estructuras de contención:** diagramas de empuje para entibaciones y estructuras definitivas; métodos constructivos aptos; parámetros para el diseño geotécnico.*

***Estructuras vecinas:** incidencia de excavaciones, depresión de agua subterránea y acciones de las construcciones propias sobre las obras vecinas.*

Patología de fundaciones: naturaleza y dimensiones de las fundaciones existentes; identificación de la causa de la falla y eventual medición del asentamiento asociado, predicción del asentamiento futuro; medición de vibraciones y sus efectos; remediación propuesta.

A nuestro entender, la Parte III, sobre recomendaciones geotécnicas, expresan en claro lo importante de manejar conceptos de proyecto, métodos de construcción, comportamiento y cálculo de estructuras, a fin de posibilitar una comprensión integral del problema que se propone resolver. Recordamos aquí la idea de “sistema”, que ya hemos trabajado a lo largo de este documento, y le incorporamos la necesidad de conocer sobre el proyecto y técnicas de construcción de obras.

REFLEXIONES FINALES

Hemos llegado al final de nuestro recorrido por el flamante Reglamento Argentino de Estudios Geotécnicos. Sin duda, cada capítulo y cada tema, es una materia en sí misma, pero estamos satisfechos de haber logrado una revisión generalista interpretada que, esperamos, facilite y acompañe en la lectura a estudiantes y profesionales vinculados a la geotecnia. A esta etapa de análisis, nos animamos a plantear algunas reflexiones:

Puntos a favor

- El Reglamento 401, y la serie 400 en general, era necesario para incrementar la seguridad de las obras civiles.
- Se establece la obligatoriedad de realizar estudios geotécnicos.
- Se proponen diferentes tipos de estudios en función del alcance, objetivo y etapa de utilización: Tipo I, II, y III.
- Se plantean requisitos mínimos a cumplir.
- No es rígido. Reserva cierta flexibilidad en la planificación: participa el criterio, antecedentes y experiencia del profesional experto.
- Tal como lo plantea CIRSOC, el Área 400 debe continuar su crecimiento con los nuevos reglamentos 402 y 403.

Puntos a mejorar

- Posiblemente, deberían redactarse reglamentos para diferentes tipos de obra. Es muy amplio, en un mismo documento, plantear estudios geotécnicos para construir una vivienda y para proyectar una presa.

Estamos convencidos de que mejorar la seguridad de las obras civiles es un compromiso de todos. En particular, en lo que a geotecnia se refiere, consideramos altamente beneficioso que las terminales de investigación y desarrollo de nuestro país, tales como Centros, Grupos y Laboratorios de Universidades, Organismos CyT, etc., lleven adelante proyectos orientados a generar instrumentos prácticos que permitan mejorar, ampliar y actualizar los reglamentos del Área 400, contemplando las particularidades locales. Cuando hablamos de particularidades locales nos referimos a la naturaleza de los suelos, pero también a la disponibilidad tecnológica y realidad económica. En los tres aspectos, nuestro país tiene diferencias con respecto al contexto internacional. Pero, además, dentro de nuestro país existen fuertes diferencias regionales, que, creemos, no pueden ser ajenas a la Reglamentación. Tenemos mucho trabajo por delante. La sociedad necesita que aprovechemos todo nuestro potencial científico y tecnológico para su beneficio. No sólo en su mediano y largo plazo, sino en el inmediato también.

BIBLIOGRAFÍA

ABNT NBR 8036:1983. Programação de sondagens de simples reconhecimento do solos para fundações de edifícios - Procedimento. ABNT/CB-002 Construção Civil. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2018.

ABNT NBR 8044:2018. Projeto geotécnico – Procedimento. ABNT/CB-002 Construção Civil. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2018.

BS 5930:2015. Code of practice for ground investigations. British Standards Institution, 2015.

Canadian Foundation Engineering Manual. 4th Ed., 2006. Canadian Geotechnical Society.

CIRSOC 401. Comentarios al Reglamento Argentino de Estudios Geotécnicos. Julio 2018. Ministerio del Interior, Obras Públicas y Vivienda, 2019.

CIRSOC 401. Reglamento Argentino de Estudios Geotécnicos. Julio 2018. Ministerio del Interior, Obras Públicas y Vivienda, 2019.

DGRS R-024. Reglamento para Estudios Geotécnicos en Edificaciones. Decreto No. 577-06. República Dominicana, 2006.

Eurocode 7. Geotechnical design. CEN: European Committee for Standardization.

Ley: 10575. Legislatura de la Provincia de Córdoba. Fecha: 3 de octubre 2018.

NAVFAC DM 7.01. Soil Mechanics. Naval Facilities Engineering Command, 1986.

NAVFAC DM 7.02. Foundations & Earth Structures. Naval Facilities Engineering Command, 1986.

NAVFAC DM 7.03. Soil Dynamics and Special Design Aspects. Naval Facilities Engineering Command, 1983.

NCh 1508:2014. Geotecnia – Estudio de mecánica de suelos. Tercera edición. Instituto Nacional de Normalización, INN, 2014.

Norma Técnica E.050 “Suelos y Cimentaciones”. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, República del Perú, 2018.

NSR-10. Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente. Título H: Estudios Geotécnicos. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, República de Colombia, 2010.

RAE. Real Academia Española, Diccionario de la lengua española, <https://dle.rae.es/>

RESOL-2019-30-APN-SPTYCOP#MI. Resolución 30/2019. MINISTERIO DEL INTERIOR, OBRAS PÚBLICAS Y VIVIENDA. SECRETARÍA DE PLANIFICACIÓN TERRITORIAL Y COORDINACIÓN DE OBRA PÚBLICA. Buenos Aires, Fecha de publicación 28/06/2019.

USACE EM 1110-1-1804. Geotechnical Investigations, 2001.

Sin lugar a duda, una de las grandes deudas pendientes de nuestro sistema reglamentario nacional para la seguridad de las obras civiles, radicaba en una serie de reglamentos destinada a la geotecnia y cimentaciones de estructuras. En respuesta a esto, el Centro de Investigación de los Reglamentos Nacionales de Seguridad para las Obras Civiles – CIRSOC – crea el Área 400. Ésta se compone de una serie de reglamentos destinados a estudios de suelos, proyectos geotécnicos, muros de sostenimiento y cimentaciones. El primer reglamento de esta serie es el 401, y se refiere a los estudios geotécnicos. Sobre él, nos ocuparemos en este trabajo.

Por esa razón queremos “acercar” el reglamento CIRSOC 401 a profesionales y estudiantes de la especialidad. Con esto, no pretendemos evitar la lectura del reglamento, sino todo lo contrario, buscamos incentivarla, pero reduciendo la aridez que muchas veces presentan los textos reglamentarios, producto de su naturaleza narrativa. Entendemos por “acercar”, hacerlo accesible, facilitarlo, resaltar los aspectos que hemos considerado más relevantes e interpretarlos.

Los autores

Gonzalo M. Aiassa

Doctor en Ciencias de la Ingeniería (UNC), Magíster en Ciencias de la Ingeniería Mención en Estructuras y Geotecnia (UNC), Especialista en Docencia Universitaria (UTN), Ingeniero Civil (UTN).

Profesor de Cimentaciones en el Departamento de Ingeniería Civil de la UTN-FRC. Profesor del Departamento Ciencias Básicas de la UTN-FRC.

Director del Centro de Investigación y Desarrollo en Geotecnia, Estructuras y Fundaciones (CIGEF), y del Departamento de Ingeniería Civil (UTN-FRC).

Consultor en Geotecnia, Mecánica de Suelos, Fundaciones y Estructuras, en proyectos y construcciones.

Pedro A. Arrúa

Doctor en Ciencias de la Ingeniería (UNC), Magíster en Ciencias de la Ingeniería Mención en Estructuras y Geotecnia (UNC), Especialista en Docencia Universitaria (UTN), Ingeniero Civil (UTN).

Profesor de Geotecnia en el Departamento de Ingeniería Civil de la UTN-FRC. Profesor del Departamento Ciencias Básicas de la UTN-FRC.

Vicedirector del Centro de Investigación y Desarrollo en Geotecnia, Estructuras y Fundaciones (CIGEF).

Contratista e ingeniero en jefe de construcción de Pilotes, Micropilotes, Inyecciones y sistemas alternativos de cimentación y recalce. Consultor en Geotecnia, Mecánica de Suelos, Fundaciones y Estructuras.

Marcelo G. Eberhardt

Master en Mecánica de Suelos e Ingeniería de Cimentaciones (CEDEX, España), Ingeniero Civil (UTN).

Profesor de Geotopografía en el Departamento de Ingeniería Civil de la UTN-FRC. Profesor del Departamento Ciencias Básicas de la UTN-FRC.

Investigador del Centro de Investigación y Desarrollo en Geotecnia, Estructuras y Fundaciones (CIGEF).

Contratista e ingeniero en jefe de construcción de Pilotes, Micropilotes, Inyecciones y sistemas alternativos de cimentación y recalce.

