

# VALORES REPRESENTATIVOS PARA SU USO EN LAS VERIFICACIONES DE ESTADOS LÍMITE EN EL MARCO DEL FUTURO EUROCÓDIGO 7

## Representative values for use in the verification of limit states in the frame of the future Eurocode 7

Jose Estaire <sup>a</sup>, Timo Schweckendiek <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Laborarorio de Geotecnia-CEDEX, Madrid (España).

<sup>b</sup> Deltares, unit Geo-engineering; Delft University of Technology

**RESUMEN** –El objetivo de este trabajo es explicar los conceptos detrás de los diferentes términos involucrados en la determinación de las propiedades del terreno en el marco de los Eurocódigos. El proceso comienza con todos los diferentes términos que aparecen en las fases de investigación y monitorización del terreno: valores históricos, valores estimados, valores de ensayo, valores monitorizados y valores derivados. Continúa con la determinación del “valor representativo” que es el valor que incide en la ocurrencia de los estados límite. Este valor se afecta por el factor parcial de materiales para obtener el “valor de proyecto” que será utilizado en la verificación de los diferentes estados límite último y de servicio de las estructuras geotécnicas utilizando el “Método de los Factores Parciales”. El futuro Eurocódigo 7 establece dos posibles formas de determinar dicho “valor representativo” de una propiedad del terreno: seleccionando el valor basándose en el juicio ingenieril y la experiencia comparable en casos similares, denominándose en este caso como “valor nominal”; o evaluar el valor por métodos estadísticos, denominándose en este caso “valor característico”. Además, el artículo ofrece un breve resumen del método estadístico para determinar el valor característico de una propiedad del terreno y un ejemplo del procedimiento a utilizar.

**SYNOPSIS** – The aim of this paper is to explain the concepts behind the different terms involved in the determination of ground properties in the frame of the Eurocodes. The process begins with all the different terms that appear in the ground investigation and monitoring phases: historical, assessed, test, monitored and derived values. It continues with the determination of the “representative value” that is the value that affects the occurrence of the limit state. This value is factored by the material factor to obtain the “design value” that will be used in the verification of the different ultimate and serviceability limit states of the geotechnical structures using the “Partial Factor Method”. The future Eurocode 7 establishes two possible ways to determine such “representative value” of a ground property: selecting the value by engineering judgment and comparable experience in similar cases, being in this case termed as “nominal value”; or evaluating the value by statistical methods, being in this case termed as “characteristic value”. Additionally, the paper gives a brief outline of the statistical method to determine the characteristic value of a ground property and an example to show how it can be used.

**Palabras Clave** – Valor representativo, Eurocódigo 7, Método de los Factores Parciales.

**Keywords** – Representative value, Eurocode 7, Partial Factor Method.

---

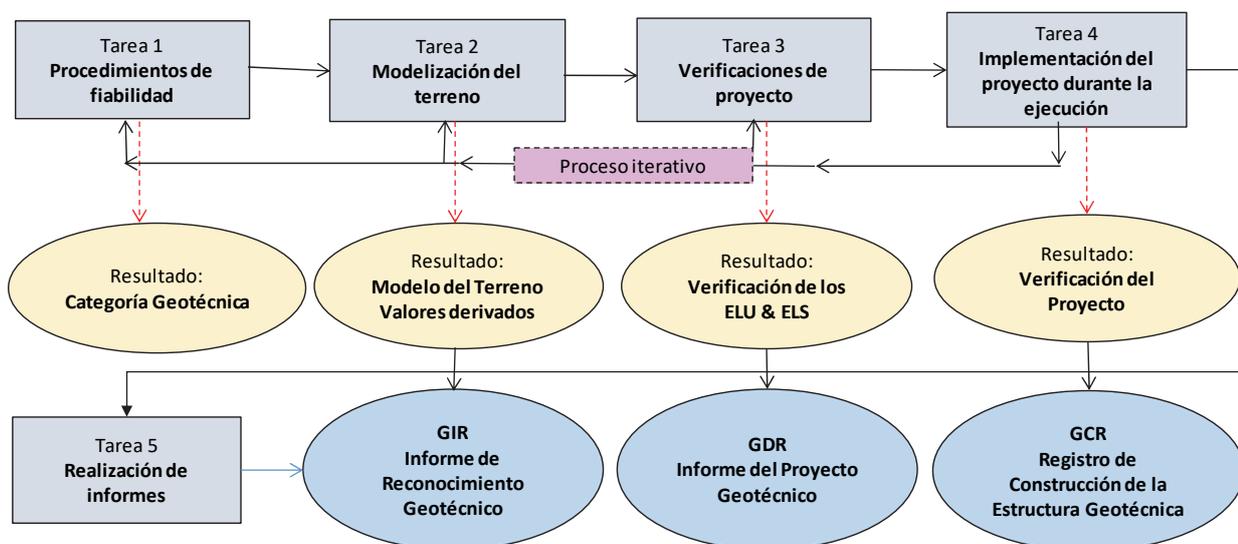
E-mails: jose.estaire@cedex.es (J. Estaire); Timo.Schweckendiek@deltares.nl (T. Schweckendiek)

ORCID: [orcid.org/0000-0002-96066180](https://orcid.org/0000-0002-96066180)

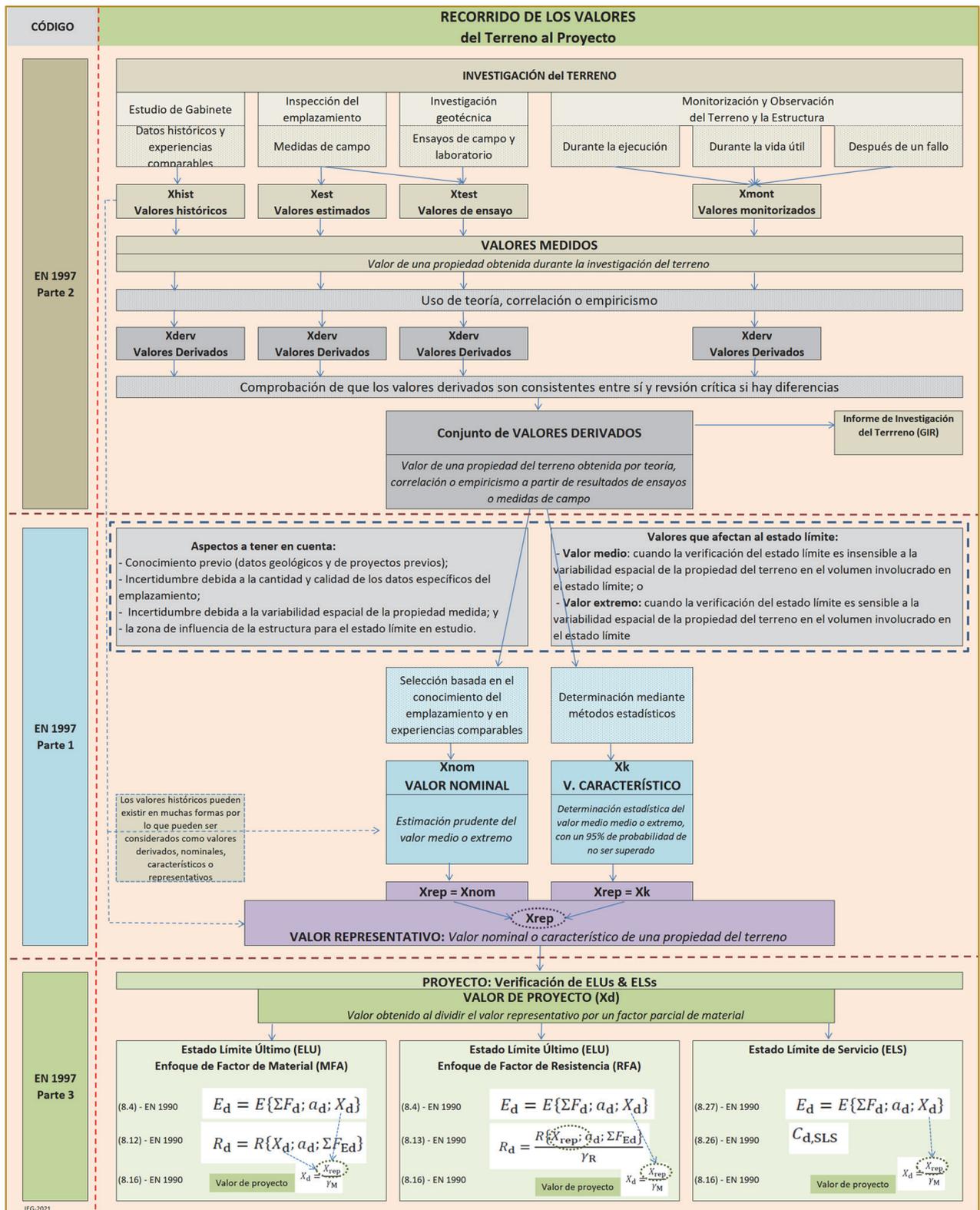
# 1 – INTRODUCCIÓN: TAREAS EN EL PROYECTO DE UNA ESTRUCTURA GEOTÉCNICA

El proyecto de una estructura geotécnica, según el futuro Eurocódigo 7 (EC7) desarrollado en la norma CEN prEN1997 (CEN, 2021), comprende cinco tareas principales, como se muestra en la Figura 1 (Estaire y Bond, 2020):

- *Procedimientos de fiabilidad*: consistente en una serie de clasificaciones relativas a la estructura y al terreno que se combinan entre sí para determinar la “Categoría Geotécnica” de la estructura geotécnica en estudio.
- *Modelización del terreno*: cuya principal función es la representación del terreno y del agua existente en el emplazamiento, en el denominado “Modelo del Terreno” (Ground model, en su acepción inglesa), y la obtención de los “valores derivados” de los parámetros geotécnicos de las distintas unidades geotécnicas.
- *Verificaciones de proyecto*: cubre todos los procedimientos que se deben utilizar para verificar que no se exceden los estados límites en ninguna situación de proyecto (design situation, en su acepción inglesa) a la que pueda estar sometida la estructura durante su vida útil.
- *Implementación del proyecto*: en el proyecto se deben incluir algunos planes (Plan de Supervisión, Inspección, Auscultación y Mantenimiento) que deben cumplirse durante los trabajos de ejecución de la estructura geotécnica con el objetivo de conseguir que el diseño, la ejecución y el mantenimiento de cualquier estructura geotécnica sean parte de un proyecto, considerado como una entidad.
- *Realización de informes*: todos los trabajos llevados a cabo durante la redacción del proyecto y de la ejecución de las obras se deben documentar mediante la realización de los siguientes informes:
  - Informe de Reconocimiento Geotécnico (GIR – Geotechnical Investigation Report, en su acepción inglesa),
  - Informe del Proyecto Geotécnico (GDR – Geotechnical Design Report, en su acepción inglesa) y
  - Registro de la construcción de la estructura geotécnica (GCR – Geotechnical Construction Record, en su acepción inglesa).



**Fig. 1** – Tareas a realizar en el proyecto de una estructura geotécnica.



**Fig. 2** – Camino a recorrer por un valor de una propiedad del terreno durante el proyecto de una estructura geotécnica.

Paralelamente a estas diferentes tareas, existe un conjunto de conceptos, conectados entre sí, relativos a los valores de las propiedades del terreno que aparecen en el proceso de proyecto que reciben los siguientes nombres:

Valores medidos => Valores derivados => Valor nominal // Valor característico =>  
Valor representativo => Valor de proyecto

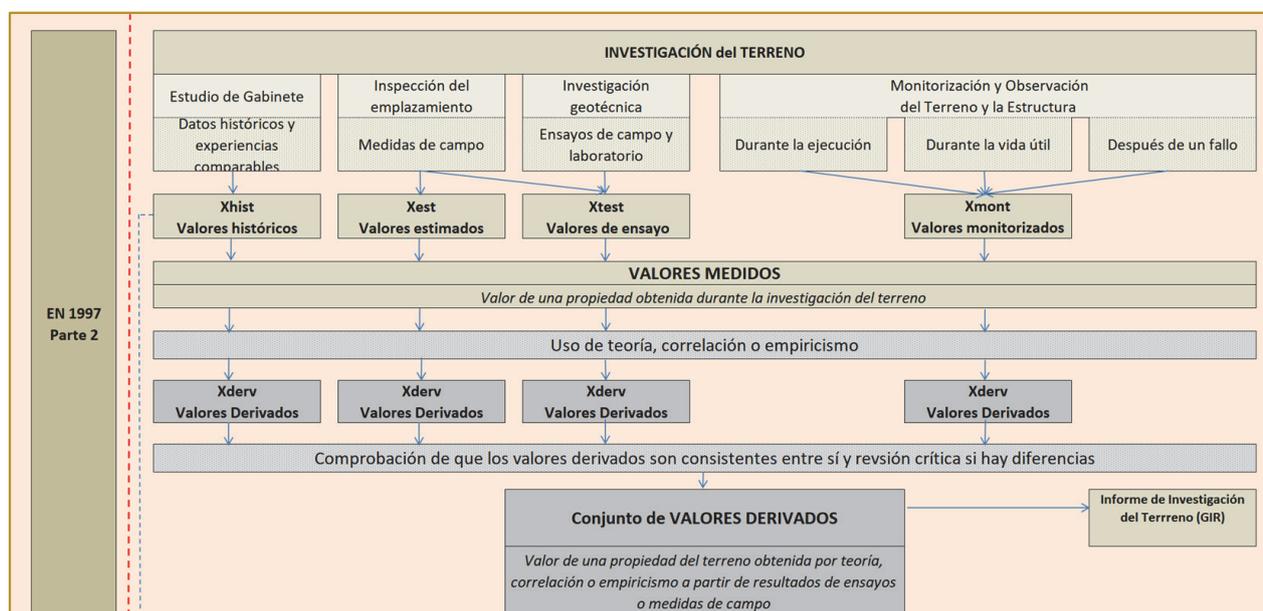
Este artículo muestra los vínculos y relaciones entre dichos nombres y conceptos que, de alguna manera, están encadenados a lo largo del proceso del proyecto. A este respecto, la Figura 2, explicada en las secciones posteriores, muestra el camino que debe recorrer un valor de una propiedad del terreno desde el momento en que se obtiene durante la investigación del terreno hasta el momento en que se utiliza en un modelo de cálculo para verificar un estado límite, ya sea último (ELU) o de servicio (ELS). Las definiciones de los diferentes términos también se incluyen en dicha figura.

## 2 – OBTENCIÓN DE LOS VALORES MEDIDOS Y DERIVADOS DURANTE LA INVESTIGACIÓN DEL TERRENO

### 2.1 – Tareas de la investigación del terreno y valores obtenidos

La Parte 2 del futuro Eurocódigo 7 (CEN, 2021) desarrolla la Investigación del Terreno (Ground Investigation, en su acepción inglesa) a realizar para el proyecto de una estructura geotécnica, que comprende las siguientes tareas: a) Estudios de gabinete (Desk Study, en su acepción inglesa); b) Inspección del emplazamiento; c) Realización de ensayos de campo y de laboratorio; y d) Monitorización geotécnica.

La Figura 3 muestra los diferentes tipos de valores que se pueden obtener durante las diferentes tareas que componen la Investigación del Terreno: “valores históricos”, “valores estimados”, “valores de ensayo” y “valores monitorizados”. Todos ellos constituyen los denominados “valores medidos”.



**Fig. 3** – Obtención del conjunto de valores derivados durante la Investigación del Terreno

Adicionalmente a lo mostrado en la Figura 3, se pueden destacar las siguientes ideas:

- en el estudio de gabinete, los valores se obtienen mediante el análisis de la información previa y de los informes existentes sobre el emplazamiento específico, su entorno o sobre casos comparables; los valores de las propiedades del terreno así obtenidos se han denominado, en este texto, como "valores históricos";

- en la inspección del emplazamiento, se pueden realizar algunas mediciones de campo y se pueden evaluar algunos valores de otras propiedades. Un ejemplo muy claro de esta categoría son todos los valores utilizados en los esquemas de clasificación de la Ingeniería de Rocas que, además por otro lado, suelen ser más cualitativos que cuantitativos; en este texto, se han denominado como “valores estimados”.
- en los ensayos de campo o de laboratorio, los resultados de los ensayos se obtienen mediante mediciones que se realizan durante la ejecución de los propios ensayos; estos valores se han denominado como "valores de ensayo".
- en la monitorización geotécnica, los valores se obtienen mediante la monitorización u observación del terreno o la estructura, durante su ejecución, vida útil o incluso después de un fallo; estos valores se han denominado en este texto como "valores monitorizados".

En la Tabla 1 se recogen algunos ejemplos de diferentes valores obtenidos durante la Investigación del Terreno para distintas estructuras geotécnicas.

**Tabla 1** – Valores obtenidos durante la Investigación del Terreno para distintas estructuras geotécnicas

Tipo de valor	Ejemplos / (Propiedades a determinar)		
	Terraplén sobre suelo blando	Cimentación superficial	Talud rocoso
	<i>Propiedades de la capa blanda: <math>E</math> y <math>c_v</math></i>	<i>Propiedades del terreno de cimentación: <math>c</math> y <math>\phi</math></i>	<i>Propiedades de las discontinuidades: <math>c</math>, <math>\phi</math>, <math>\beta</math>, buzamiento y dirección de buzamiento</i>
<b>Valores históricos</b>	Resultados de ensayos obtenidos en campañas de investigación previas	Resultados de ensayos obtenidos en campañas de investigación previas	Datos de roturas previas o inventario de taludes cercanos
<b>Valores estimados</b>	No aplicable	No aplicable	Valores para los esquemas de clasificación
<b>Valores de ensayo</b>	Resultados de ensayos edométricos ( $E_{oed}$ and $c_v$ ) o de ensayos CPTU ( $E$ and $c_r$ )	Resultados de ensayos triaxiales o de corte directo o de ensayos presiométricos	Resultados de ensayos sobre juntas, tilt tests o PLT
<b>Valores Monitorizados</b>	Resultados de un terraplén de prueba	Resultado de alguna prueba de carga (siempre difícil de realizar)	Nivel piezométricos tomados durante la vida útil.

## 2.2 – Los valores derivados

Una vez que se dispone de todos los valores obtenidos en la Investigación del Terreno (los denominados “valores medidos” en la Figura 3) el siguiente paso es la interpretación de dichos valores para obtener los "valores derivados". A este respecto, el futuro EC7 define "valor derivado" como un "*valor de una propiedad del terreno obtenido por teoría, correlación o empirismo a partir de resultados de ensayos o mediciones de campo*".

Siguiendo la definición, normalmente la mayoría de los "valores derivados" se obtendrán de la interpretación de los resultados de los ensayos de campo y de laboratorio utilizando las teorías de

la Mecánica de Suelos o Rocas o mediante correlaciones empíricas. Sin embargo, los valores derivados también se pueden obtener directamente del análisis de la documentación previa disponible, realizado en el estudio de gabinete. Otra fuente de valores derivados es la interpretación de los resultados de la monitorización de las estructuras geotécnicas en cualquiera de sus etapas (ejecución, vida útil o, incluso, en una situación de fallo; piénsese, por ejemplo, las propiedades obtenidas de los análisis retrospectivos de estabilidad).

Llegados a este punto, se considera conveniente que el equipo que está realizando la Investigación del Terreno realice un último paso consistente en comparar todos los “valores derivados” disponibles relativos a una única propiedad del terreno de cada unidad geotécnica para verificar la consistencia de los valores y, en caso de que haya diferencias, realizar una revisión crítica de los mismos

Una vez hecha dicha revisión, se tiene el conjunto de "valores derivados" para todas las propiedades del terreno de cada unidad geotécnica. Estos conjuntos de valores derivados se utilizarán en la siguiente fase de proyecto para determinar el "valor representativo" de cada propiedad del terreno de cada unidad geotécnica.

### 2.3 – El “Modelo del Terreno”

Por otro lado y de forma complementaria a lo dicho anteriormente, el futuro EC7 requiere que, como resultado de las tareas ejecutadas durante la Investigación de Terreno, se desarrolle un “Modelo de Terreno” que se constituye como el resultado final de dicha investigación y que, por tanto, debe incluir:

- Un esquema de la disposición de las unidades geotécnicas que forman el terreno del emplazamiento de la estructura geotécnica y de su zona de influencia. En este contexto, una unidad geotécnica es, según el futuro EC7, *"una capa de terreno que se considera formada por un solo material"*, por lo que cada unidad tiene un conjunto único de propiedades.
- Un análisis de las condiciones del agua del terreno en el emplazamiento y sus alrededores.
- La recopilación de los denominados "valores derivados" de las diferentes propiedades geotécnicas de todas las unidades geotécnicas que forman el "Modelo de Terreno".

Por último se debe indicar que el EC7 impone como requisito que todas las tareas y procesos queden informados documentalmente, por lo que toda esta información debe incluirse en el Informe de Investigación del Terreno (GIR, acrónimo de su acepción inglesa).

## 3 – DETERMINACIÓN DE VALORES REPRESENTATIVOS A PARTIR DE VALORES DERIVADOS

### 3.1 – Ideas básicas

El “valor representativo” de una propiedad geotécnica de una unidad geotécnica se debe determinar, por parte del proyectista, a partir del conjunto de “valores derivados” de esa propiedad obtenidos durante la investigación del terreno y recopilados en el Informe de Investigación del Terreno.

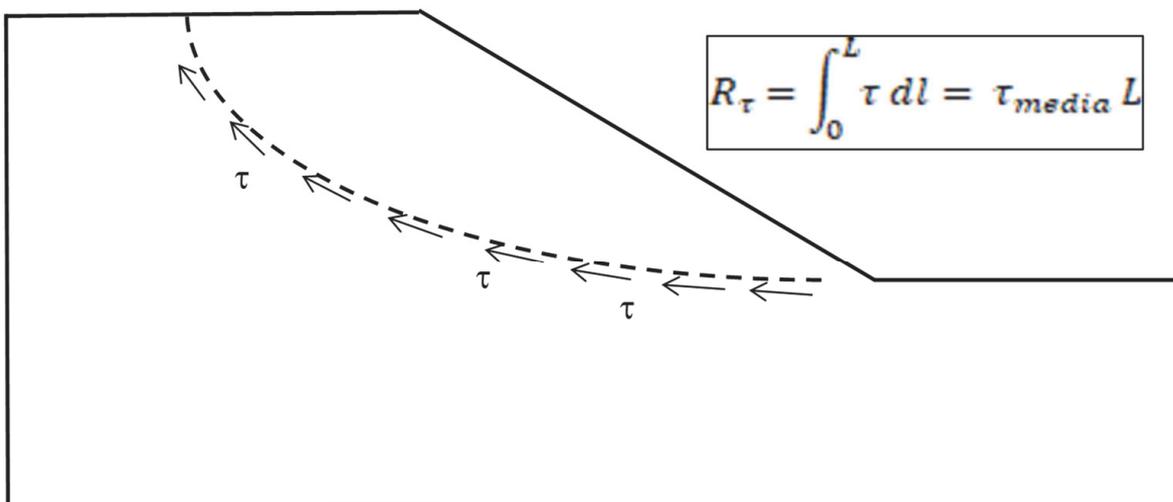
Puede ocurrir que la propiedad geotécnica necesaria para la verificación de los estados límite no haya sido directamente obtenida durante la Investigación del Terreno, por lo que no existen valores derivados de ella. En ese caso, el proyectista deberá determinar los valores derivados de esa propiedad a partir de valores derivados de otras propiedades.

Se supone que se consigue el nivel de fiabilidad requerido por el Eurocódigo 0 (EC0) (CEN, 2020), si el proyectista tiene en cuenta los siguientes aspectos, al determinar el valor representativo:

- los conocimientos previos existentes sobre el emplazamiento y la tipología de estructura geotécnica a proyectar que pueden incluir información geológica y datos de proyectos anteriores comparables;
- la incertidumbre debida a la cantidad y calidad de los datos específicos del emplazamiento;
- la incertidumbre debida a la variabilidad espacial de la propiedad medida; y
- el volumen de terreno involucrado en la ocurrencia del estado límite que se está considerando, concepto que define la “zona de influencia” de la estructura geotécnica.

El valor representativo de una propiedad del terreno ( $X_{rep}$ ) es el valor de la propiedad del terreno relacionado con la posible aparición del estado límite que se está estudiando. Esto implica que el proyectista debe decidir si la ocurrencia del estado límite es insensible o sensible a la variabilidad espacial de la propiedad del terreno en el volumen involucrado en el estado límite. Si es insensible, el valor representativo debe corresponder a un valor medio, mientras que si es sensible el valor representativo debería ser un valor local de la propiedad del terreno.

Hay que destacar que en la mayoría de los casos de la Ingeniería Geotécnica, el valor representativo debe corresponder a una estimación prudente del valor medio ya que es el valor que generalmente condiciona la posible aparición de un estado límite. Un ejemplo muy claro de este hecho es el caso de la estabilidad de un talud o de una cimentación superficial a lo largo de una superficie de rotura. En ambos casos, el valor de la resistencia al corte total a lo largo de dicha superficie es la suma de las resistencias al corte individuales en cada porción de la superficie, lo que es equivalente al valor medio multiplicado por la longitud  $L$  de la superficie de rotura, como se ve en el esquema de la Figura 4.



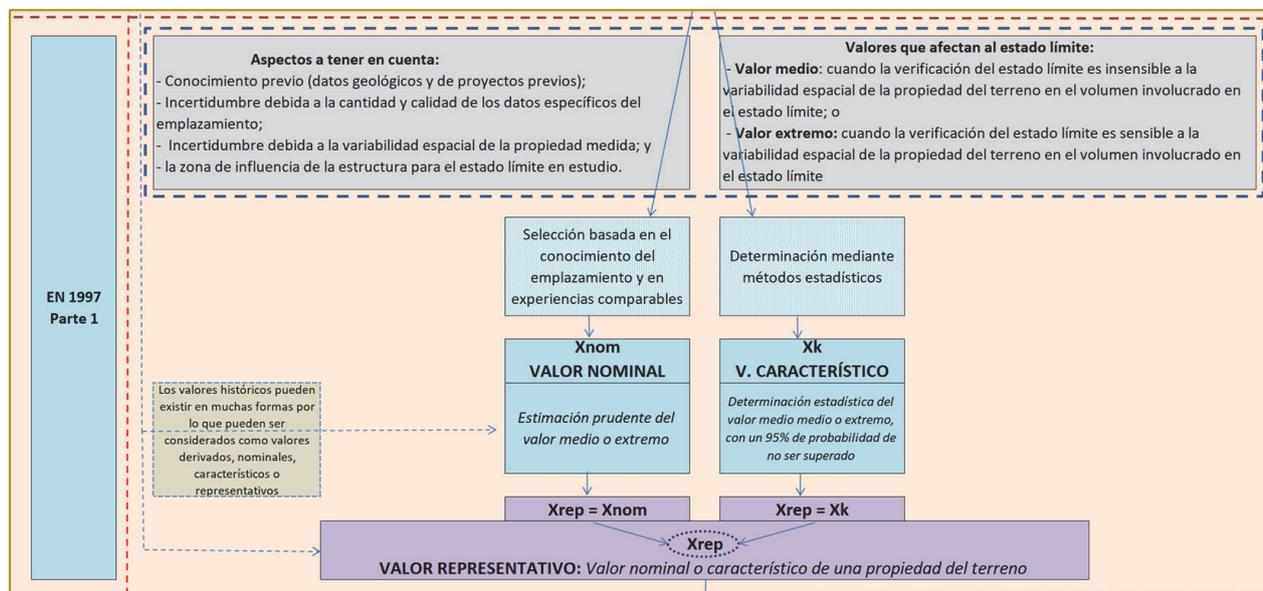
**Fig. 4** – Valor medio como valor representativo de la estabilidad de un talud

Sin embargo, cabría argumentar que en aquellas situaciones en las que los volúmenes de terreno involucrados no son muy grandes, habrá poca variabilidad espacial por lo que el valor representativo debería ser un valor intermedio entre el valor medio y el valor local. Este aspecto debe decidirlo el proyectista, aunque se debe hacer notar que el futuro EC7 no hace ninguna indicación directa a este respecto.

Una vez deducido el valor de la propiedad del terreno que está relacionado con la aparición del estado límite (un valor medio o un valor local), hay dos formas posibles de determinar el valor representativo de dicha propiedad, como se muestra en la Figura 5:

- seleccionando un valor basándose en el juicio ingenieril del proyectista, su posible conocimiento del emplazamiento y su experiencia en casos comparables;
- determinando el valor utilizando métodos estadísticos.

Estos dos procedimientos son claramente diferentes y deben distinguirse en todo momento durante el proceso de determinación de los valores representativos.



**Fig. 5 – Determinación del valor representativo a partir de los valores derivados**

Antes de seguir adelante, merece la pena destacar que el nuevo concepto de valor representativo, aquí presentado, es equivalente al concepto de valor característico en el EC7 actualmente vigente, emitido por CEN en 2004. El cambio de nomenclatura se ha hecho para dejar claramente establecido la existencia de las dos formas diferentes de determinar el valor representativo, indicadas anteriormente: mediante juicio ingenieril o mediante análisis estadísticos.

### 3.2 – Valor nominal

Al seleccionar el valor representativo mediante juicio ingenieril, basándose en el conocimiento del emplazamiento y la experiencia en casos comparables, el proyectista hará una “estimación prudente del valor de la propiedad del terreno que afecta a la ocurrencia del estado límite”, ya sea un valor medio, al tener en cuenta la variabilidad espacial, o un valor local. Al hacerlo así, el valor obtenido se denominará “valor nominal”.

Conviene destacar que este valor tiene una cierta carga subjetiva puesto que depende de toda la experiencia del proyectista en casos similares. Esto hace que, de un mismo conjunto de valores derivados de una propiedad geotécnica, diferentes proyectistas pudieran seleccionar distintos valores representativos de dicha propiedad geotécnica.

### 3.3 – Valor característico

Al evaluar el valor representativo por métodos estadísticos, como se explica más adelante, el valor se denominará como “valor característico”.

Esta evaluación estadística hace que el futuro EC7 esté más alineado con la definición dada en el futuro EC0 que relaciona el valor característico claramente con un enfoque estadístico: "valor de la propiedad de un material que tiene una probabilidad prescrita de no ser alcanzada en una serie ilimitada e hipotética de pruebas o ensayos"

### 3.4 – Valor representativo

El último paso de este procedimiento es elegir el valor representativo. A este respecto, el valor representativo será el “valor nominal”, seleccionado como estimación prudente, o el “valor característico”, determinado por métodos estadísticos. El proyectista deberá elegir entre esos dos valores si ha determinado ambos.

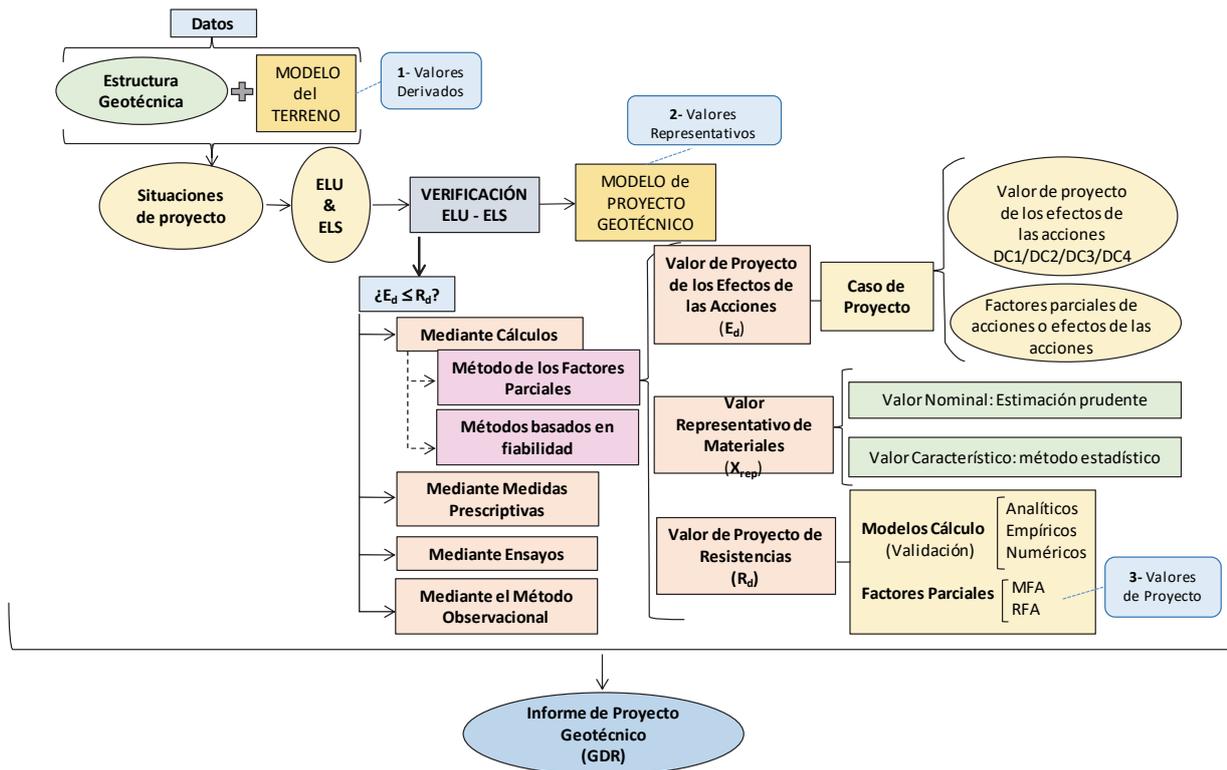
Teniendo en cuenta estas ideas, el procedimiento que se recomienda en este texto para obtener el valor representativo es utilizar los dos posibles métodos indicados anteriormente, de tal manera que, a partir del conjunto de valores derivados:

- Primeramente, el proyectista, usando su juicio ingenieril y su experiencia en casos comparables seleccionará el “valor nominal”, como una estimación prudente;
- Posteriormente, usando la estadística como una herramienta de cálculo, el proyectista determinará el “valor característico”. Esto puede hacerse muy fácilmente con ayuda de hojas de cálculo en el que se implementen las expresiones estadísticas correspondientes recogidas en la Sección 5 de este texto, aunque también existen multitud de técnicas estadísticas más avanzadas cuyo uso EC7 permite igualmente (ISSMGE, 2021).  
A este respecto hay que recordar que, cuando se están calculando los valores característicos, el proyectista no está haciendo un análisis estadístico, sino que está utilizando la Estadística como una herramienta para obtener el valor que mejor representa la propiedad del terreno que se está analizando.
- Por último, el proyectista debe comparar ambos valores (normal y característico) y revisarlos críticamente
  - Si ambos valores son similares, la confianza en la selección del valor se incrementa claramente.
  - Si ambos valores son diferentes, el proyectista debe sopesar las razones que han hecho que su “valor nominal” haya sido tan diferente del valor ofrecido por el método estadístico. Una vez realizada esta revisión crítica, el proyectista puede reafirmarse en que la elección de su valor nominal como estimación prudente es suficientemente adecuada o, en caso contrario, puede seleccionar otro valor nominal más parecido al valor característico o incluso el propio valor característico.

## 4 – UTILIZACIÓN DE LOS VALORES REPRESENTATIVOS EN LAS VERIFICACIONES DE ESTADO LÍMITE

Los valores representativos se utilizan para realizar las verificaciones de los estados límite último (ELU) y de servicio (ELS). Esta tarea, que es parte de las *Verificaciones de Proyecto* (como se mostraba en la Figura 1), debe comenzar con un análisis del Modelo de Terreno y los correspondientes valores derivados, y un estudio de las condiciones bajo las cuales la estructura debe cumplir con sus requisitos, como muestra la Figura 6.

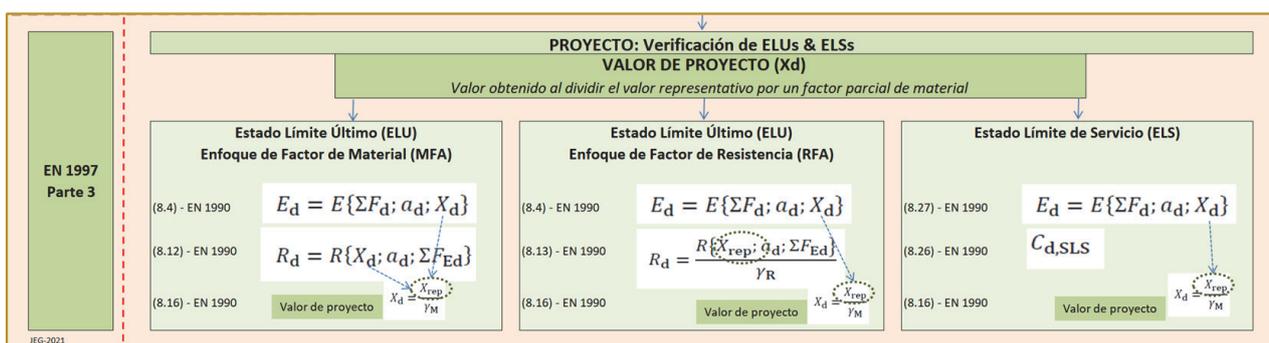
El objetivo de este primer paso es: a) definir las situaciones de proyecto que describen “las condiciones físicas que podrían ocurrir durante un cierto periodo de tiempo para el cual se debe demostrar, con la suficiente fiabilidad, que no se supera ningún estado límite” y b) desarrollar un “Modelo de Proyecto Geotécnico”, que es un modelo derivado del Modelo de Terreno para su utilización en verificaciones de proyecto, desarrollado para una situación de proyecto particular y un estado límite específico; en dicho modelo el proyectista debe determinar los valores representativos de las propiedades del terreno relevantes para el estado límite en estudio, para todas las unidades geotécnicas involucradas.



**Fig. 6** – Procedimiento para la verificación ELU / ELS por el Método de los Factores Parciales

Las situaciones de proyecto, que se clasifican como persistentes, transitorias, accidentales, sísmicas y de fatiga, están asociadas con una serie de ELUs y ELSs que deben verificarse.

La verificación de que las estructuras geotécnicas no superan los estados límite puede realizarse mediante uno o más de los siguientes métodos: a) mediante cálculo aplicando el Método de los Factores Parciales o cualquier otro método basado en fiabilidad; b) utilizando medidas prescriptivas de proyecto; c) mediante ensayos y d) mediante la aplicación del Método Observacional. El cálculo por el Método de los Factores Parciales es el más habitual por lo que merece la pena prestarle especial atención, tal como se muestra en la Figura 7.



**Fig. 7** – Utilización de los valores representativos en la verificación de los ELU y ELS por el Método de los Factores Parciales

Al verificar un ELU para una estructura geotécnica por el Método de los Factores Parciales, se debe satisfacer la desigualdad  $E_d \leq R_d$ , donde  $E_d$  es el valor de proyecto del efecto de las acciones y  $R_d$  es el valor de proyecto de la resistencia correspondiente. Para cada ELU, se deben identificar y determinar los valores representativos y de proyecto de las acciones, las propiedades de los materiales y las resistencias.

El valor de proyecto de una resistencia geotécnica ( $R_d$ ) debe calcularse utilizando modelos de cálculo analíticos o empíricos. El uso de modelos de cálculo debe realizarse mediante:

- el “Enfoque de Factor de Material” (MFA, acrónimo de su acepción inglesa), que aplica factores parciales a las propiedades de los materiales antes de su uso en el cálculo de la resistencia, como se muestra en la Ecuación (1), o
- el "Enfoque del Factor de Resistencia" (RFA), que aplica factores parciales directamente a las resistencias, como se muestra en la Ecuación (2).

Para cálculos basados en el  
Enfoque de Factor de Material =>

$$R_d = R\{X_d; a_d; \Sigma F_{Ed}\} \quad (1)$$

Para cálculos basados en el  
Enfoque de Factor de Resistencia=>

$$R_d = \frac{R\{X_{rep}; a_d; \Sigma F_{Ed}\}}{\gamma_R} \quad (2)$$

donde  $X_d$  son los valores de proyecto de las propiedades del material, obtenidos mediante la Ecuación 3;  $a_d$  son los valores de proyecto de las propiedades geométricas;  $F_{Ed}$  son los valores de proyecto de las acciones que se utilizan en el cálculo de  $R_d$ ;  $X_{rep}$  es el valor representativo de una propiedad del material;  $\gamma_M$  es un factor parcial de materiales que representa la incertidumbre en la determinación de la propiedad del material y  $\gamma_R$  es un factor parcial que representa la incertidumbre en la determinación de la resistencia.

$$X_d = X_{rep} / \gamma_M \quad (3)$$

## 5 – PROCEDIMIENTO ESTADÍSTICO PARA DETERMINAR VALORES CARACTERÍSTICOS

Esta sección describe el procedimiento para determinar el valor característico de una propiedad del terreno por métodos estadísticos. Estos métodos garantizan que la probabilidad de un valor peor que gobierne la ocurrencia del estado límite considerado no sea mayor del 5%, teniendo en cuenta la incertidumbre estadística. Los valores que se utilizarán para determinar el valor característico son los valores derivados de la propiedad del terreno obtenidos durante la Investigación del Terreno y que se recogen explícitamente en el Informe de Investigación del Terreno.

Antes de determinar el valor característico, el proyectista debe decidir si va a realizar una estimación del valor medio, teniendo en cuenta la variabilidad espacial, o una estimación de un valor local, como se indica en la sección 3.1 de este texto, en función del estado límite en estudio.

La determinación del valor característico de una propiedad del terreno, considerado como una estimación del valor medio [Caso A] o de un valor local [Caso B], debe realizarse mediante la Ecuación 4, que supone, en este caso, que los valores de las propiedades del suelo siguen una distribución Normal y no hay conocimiento previo sobre el valor medio. El futuro EC7 permite el uso de otras expresiones correspondientes a otras distribuciones estadísticas, entre las que destaca la distribución log-normal, muy habitual también en la Ingeniería Geotécnica.

$$X_k = X_{media}(1 \mp k_n V_x) = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} (1 \mp k_n V_x) \quad (4)$$

donde  $X_k$  es el valor característico de una propiedad del terreno  $X$ ;  $X_{media}$  es el valor medio de la propiedad del suelo  $X$  obtenida de un número ( $n$ ) de valores derivados de la muestra;  $k_n$  es un coeficiente que depende del número de valores derivados de la muestra ( $n$ ) utilizados para calcular el valor medio de  $X$ ;  $V_x$  el coeficiente de variación de la propiedad del suelo  $X$ ;  $\pm$  denota que  $k_n V_x$  debe sumarse cuando un valor inferior de  $X_k$  es crítico y restarse cuando un valor superior es crítico y  $x_i$  es el  $i$ -valor derivado utilizado para calcular  $X_{media}$ .

El procedimiento de determinación puede aplicarse a tres casos diferentes:

- Caso 1 - “ $V_x$  conocido”: cuando el coeficiente de variación de la propiedad del terreno que se está determinando se conoce de forma previa; como podría ocurrir en el caso de tener ensayos previos en situaciones comparables;
- Caso 2 - “ $V_x$  supuesto”: cuando el proyectista decide utilizar los valores indicativos dados en la Tabla 2 para diferentes propiedades del terreno y parámetros de ensayos; y
- Caso 3 - “ $V_x$  desconocido”: cuando se desconoce el coeficiente de variación de la propiedad del terreno que se está determinando. En este caso, el valor de  $V_x$  debe calcularse mediante la Ecuación (5).

$$V_x = \frac{s_x}{X_{media}} ; s_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - X_{media})^2}{n - 1}} \quad (5)$$

donde  $s_x$  es la desviación estándar de los valores derivados de la muestra.

Es importante señalar que el EC0 establece que, en la práctica, es preferible normalmente utilizar el Caso 2 - “ $V_x$  supuesto” junto con una estimación conservadora de  $V_x$ , en lugar de aplicar las reglas dadas para el Caso 3 - “ $V_x$  desconocido”.

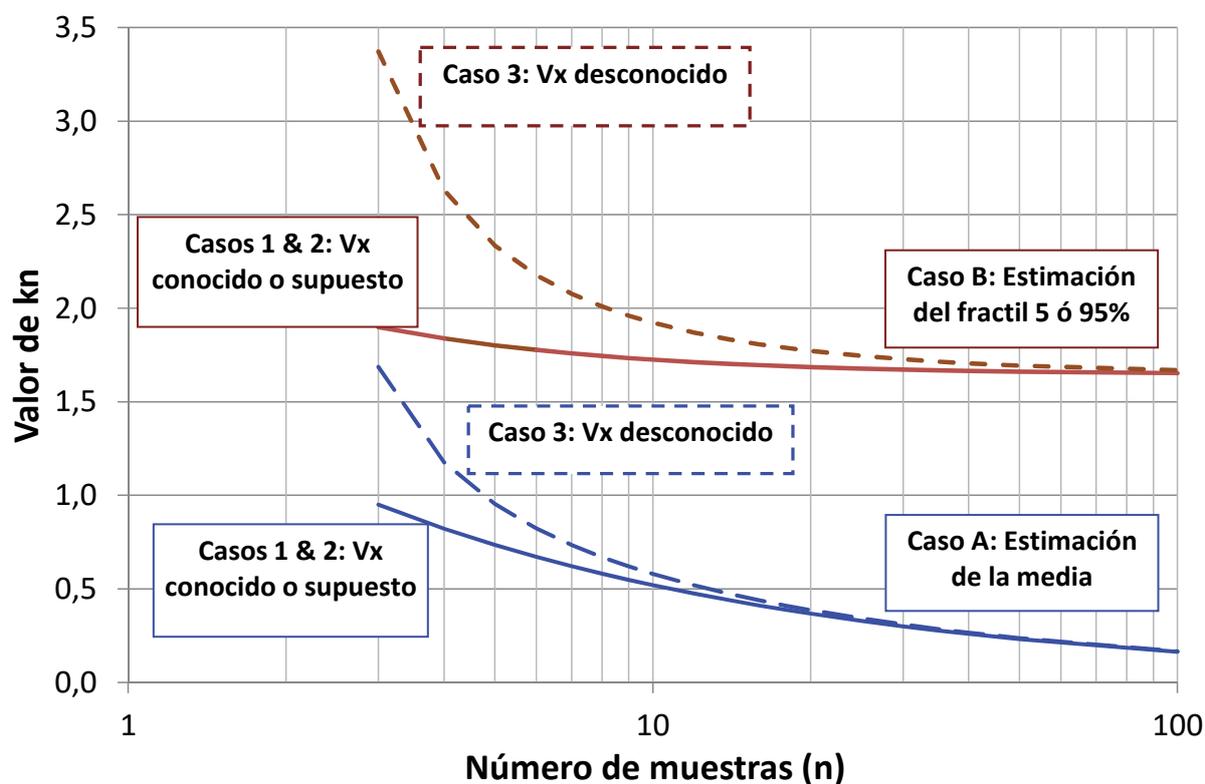
**Tabla 2:** Valores indicativos del coeficiente de variación para diferentes parámetros del terreno y parámetros de ensayo.

Tipo de terreno	Propiedades del terreno	Símbolo	Coefficiente de variación $V_x$ (%)
Todos los suelos y rocas	Peso específico	$\rho$	5-10
Suelos de grano fino	Resistencia al corte no drenada	$c_u$	30-50
Todos los suelos y rocas	Cohesión	$c$	30-50
Todos los suelos y rocas	Ángulo de rozamiento	$\varphi$	5-15
Todos los suelos y rocas	Resistencia al corte no lineal	$\tau$	15-25
Todos los suelos y rocas	Resistencia a la compresión no confinada	$q_u$	20-80
Todos los suelos	Módulo de deformabilidad (cualquiera)	$E // G$	20-70
Suelos de grano fino	Coefficiente de consolidación vertical u horizontal	$c_v // c_h$	30-70
Todos los suelos	Coefficiente en reposo "in situ"	$K_0$	20-100
Todos los suelos	Conductividad hidráulica <sup>(1)</sup>	$k$	70-250

**Tabla 2:** (continuación)

Tipo de terreno	Parámetros de ensayo	Símbolo	Coefficiente de variación $V_x$ (%)
Suelos gruesos	SPT	$N_{SPT}$	15-45
Todos los suelos	Presión límite del presiómetro	$p_l$	5-15
Todos los suelos	Resistencia del cono (CPT)	$q_c$	5-15
Todos los suelos	Fricción de fuste (CPT)	$f_s$	5-15

Nota<sup>(1)</sup>: Dado el alto valor de  $V_x$ , este procedimiento no debe usarse para esta propiedad



**Fig. 8** – Valores de  $k_n$  para los diferentes casos definidos

**Tabla 3:** Valores de  $k_n$  para los diferentes casos definidos

CASOS	Caso 1 - “ $V_x$ conocido” y Caso 2 - “ $V_x$ supuesto”	Caso 3 – “ $V_x$ desconocido”
<b>Caso A:</b> Estimación del valor medio	$k_n = N_{95} \sqrt{\frac{1}{n}}$	$k_n = t_{95,n-1} \sqrt{\frac{1}{n}}$
<b>Caso B</b> Estimación del valor inferior o superior (fractil 5 ó 95%)	$k_n = N_{95} \sqrt{1 + \frac{1}{n}}$	$k_n = t_{95,n-1} \sqrt{1 + \frac{1}{n}}$

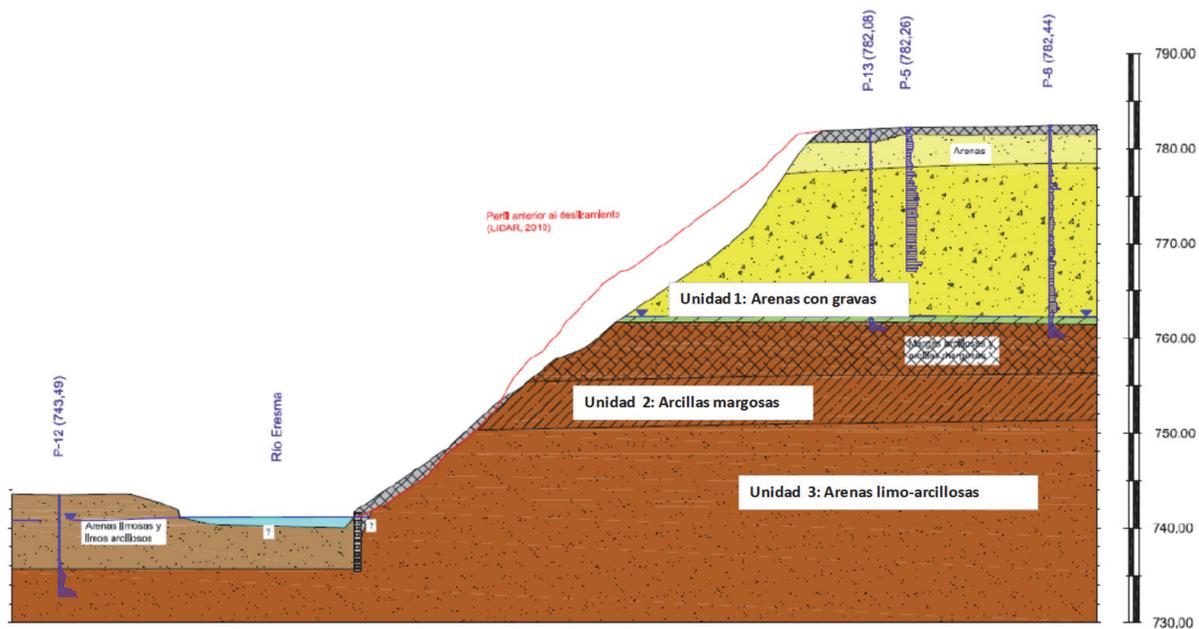
Los valores de  $k_n$  se pueden obtener de la Tabla 3 ó de la Figura 8 para los casos definidos anteriormente, donde:  $N_{95}$  representa la distribución standard Normal, evaluada para un nivel de confianza del 95% e infinitos grados de libertad;  $t_{95, n-1}$  representa la distribución t de Student, evaluada para un nivel de confianza del 95% y n-1 grados de libertad, siendo  $n$  el número de valores derivados de la muestra.

## 6 – EJEMPLO

### 6.1 – Descripción de la estructura geotécnica en estudio

En esta sección se desarrolla un ejemplo de determinación de valores representativos de una propiedad del terreno de una unidad geotécnica. La estructura geotécnica que se analiza es una ladera natural para la que se debe verificar el ELU de estabilidad global para una situación de proyecto persistente. Para ello, es necesario realizar algún cálculo de estabilidad al deslizamiento por lo que se deben determinar las características resistentes de las unidades geotécnicas.

La Figura 9 muestra el Modelo del Terreno de la ladera en la que se aprecian signos de inestabilidad. La línea roja representa la superficie del terreno previa al último deslizamiento cuyo origen es la socavación del pie debido al agua circulante en el río. De arriba a abajo, se distinguen las siguientes unidades geotécnicas: Unidad 1- arenas con gravas (en amarillo); Unidad 2- arcillas margosas (en marrón con rayas) y Unidad 3– arenas limo-arcillosas (en rojo). Para este ejemplo, únicamente se determinarán los valores característicos y representativos de la Unidad 3.

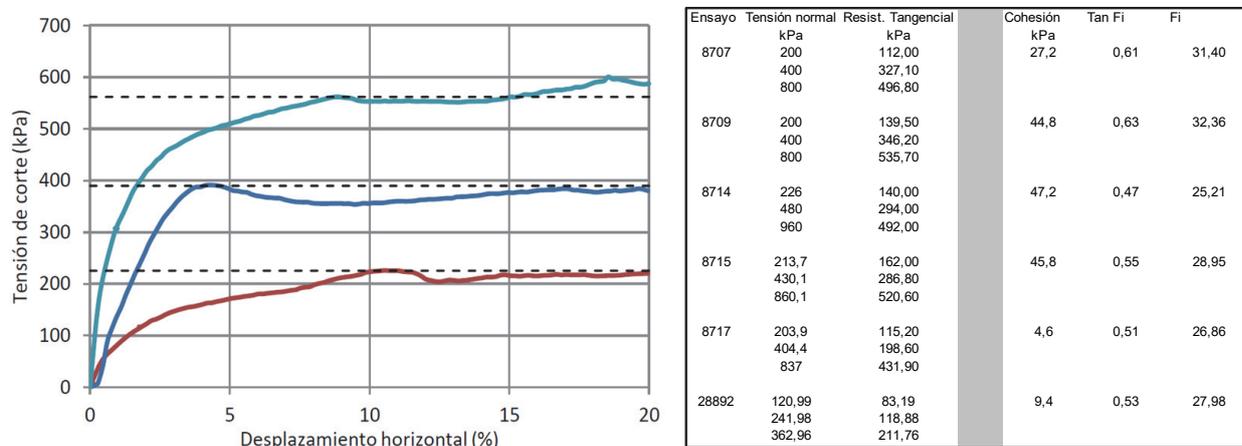


**Fig. 9:** Modelo del terreno de la ladera natural en estudio

### 6.2 – Determinación del valor representativo de las propiedades resistentes

Para determinar las características resistentes de la Unidad 3 formada por arenas limo-arcillosas, se realizaron seis ensayos de corte directo cuyas curvas desplazamiento horizontal-tensión tangencial pueden ser consideradas como los “valores medidos” a partir de las cuales se obtienen los “valores derivados” relativos a la cohesión y ángulo de rozamiento, como se muestra en la Figura 10.

Las tensiones normales utilizadas en estos ensayos estuvieron comprendidas en el rango entre 120 y 960 kPa mientras que las resistencias tangenciales obtenidas oscilaron entre 100 y 550 kPa. La interpretación de los valores medidos en los seis ensayos de corte directo, usando el modelo de Mohr-Coulomb, permitieron obtener los valores derivados relativos a la cohesión ( $c$ ) y al ángulo de rozamiento ( $\phi$ ), considerados como propiedades independientes, desde el punto de vista estadístico, al no tener en cuenta la correlación entre ellos derivada del modelo de Mohr-Coulomb.



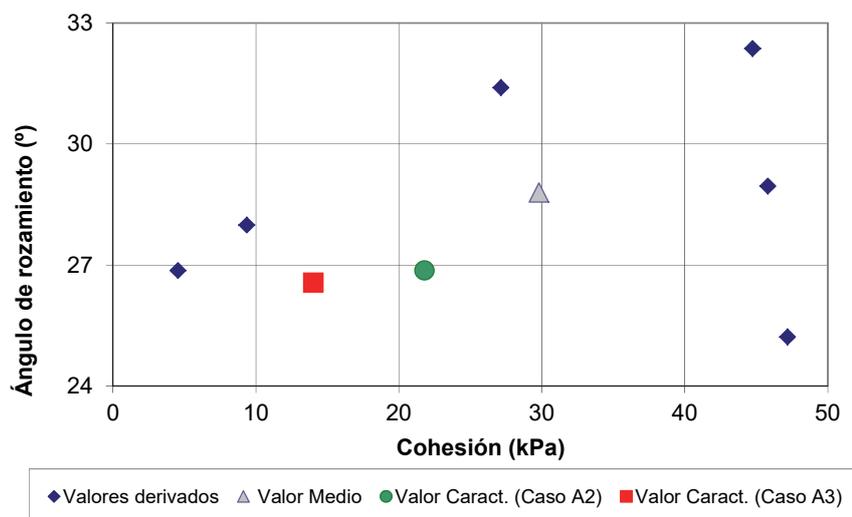
**Fig. 10:** Curva desplazamiento horizontal-tensión tangencial de uno de los ensayos de corte directo, que se puede considerar como “valor medido” y tabla de valores derivados

De acuerdo al ELU en verificación, los valores representativos deben corresponder al valor medio de la propiedad del material en el volumen afectado por el estado límite, por lo que los cálculos deben hacerse utilizando el Caso A “Estimación del valor medio”, definido en la Tabla 2, con las dos alternativas referentes al Caso 2 “ $V_x$  supuesto” y al Caso 3 “ $V_x$  desconocido”.

La Tabla 4 y la Figura 11 muestran los valores de los parámetros estadísticos usados en los cálculos y los valores característicos obtenidos. Entre los dos valores representativos obtenidos para los Casos A2 y A3, el proyectista debe escoger cuál usar en los cálculos, aunque dicha elección queda fuera del ámbito de este artículo.

**Tabla 4:** Valores estadísticos para la determinación de los valores característicos de  $c$  y  $\phi$

Parámetro	Cohesión (kPa)		Ángulo de rozamiento (°)	
Número de datos (n)	6		6	
$X_{media}$	29,81		28,79	
Desviación Standard	19,20		2,71	
Caso	<i>Caso A2</i> <i>Vx supuesto</i>	<i>Caso A3</i> <i>Vx desconocido</i>	<i>Caso A2</i> <i>Vx supuesto</i>	<i>Caso A3</i> <i>Vx desconocido</i>
$N_{95} // t_{95, n-1}$	1,645	2,02	1,645	2,02
$V_x$	0,40	0,64	0,10	0,09
$k_n$	0,67	0,82	0,67	0,82
$X_k$	21,82	14,01	26,86	26,56



**Fig 11:** Valores derivados y característicos de la Unidad 3

## 7 – CONSIDERACIONES FINALES

Este artículo explica los diferentes nombres y conceptos aplicados a los valores de las propiedades del terreno, de acuerdo al futuro Eurocódigo 7, documento con fecha de publicación prevista alrededor de 2025. Estos nombres cubren el período desde que los valores se obtienen durante la Investigación del Terreno hasta el momento en el que los valores son usados en un modelo de cálculo para verificar un estado límite, ya sea último (ELU) o de servicio (ELS). La cadena de nombres aplicados a los valores son: “Medidos – Derivados – Nominal o característico – Representativo – de Proyecto”.

Adicionalmente se describe el procedimiento estadístico incluido en el futuro Eurocódigo 7 para obtener los valores característicos de una propiedad del terreno de una unidad geotécnica a partir de un conjunto de valores derivados.

## 8 – AGRADECIMIENTOS

El autor quiere agradecer a los colegas del Equipo de Proyecto SC7-TC6 (Sébastien Burlon, Andrew Bond, Gunilla Franzén, Guido Nuijten, Guisepe Scarpelli & Adriaan van Seters) los comentarios críticos recibidos durante la elaboración de este texto.

## 9 – REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CEN (2020). Eurocode - Basis of structural and geotechnical design. prEN 1990-Sept-2020-Draft
- CEN (2021). Eurocode 7: Geotechnical design — Part 1: General rules. CEN-TC250-SC7\_N1504\_prEN\_1997-1\_MASTER\_v202119\_Submission
- CEN (2021). Eurocode 7: Geotechnical design — Part 2: Ground properties. CEN-TC250-SC7\_N1506\_prEN\_1997-2\_MASTER\_v202111\_Submission.
- Estaire, J.; Bond, A. (2020). Proyecto de estructuras geotécnicas de acuerdo al futuro Eurocódigo 7. Revista Geotecnia, nº 149 – July 2020 (pp. 45-65).
- ISSMGE, (2021). State of the Art: Review on geotechnical property variability and model uncertainty. ([http://140.112.12.21/issmge/2021/SOA\\_Review\\_on\\_geotechnical\\_property\\_variability\\_and\\_model\\_uncertainty.pdf](http://140.112.12.21/issmge/2021/SOA_Review_on_geotechnical_property_variability_and_model_uncertainty.pdf))