

## Especificación geométrica de producto (GPS)

### Calidad superficial: Método del perfil

### Parte 2: Términos, definiciones y parámetros de la calidad superficial

### (ISO 21920-2:2021, Versión corregida 2022-06)

Esta norma ha sido elaborada por el comité técnico CTN-UNE 82 *Metrología y calibración*, cuya secretaría desempeña CEM.



UNE-EN ISO 21920-2

Especificación geométrica de producto (GPS)

Calidad superficial: Método del perfil

Parte 2: Términos, definiciones y parámetros de la calidad superficial  
(ISO 21920-2:2021, Versión corregida 2022-06)

*Geometrical product specifications (GPS). Surface texture: Profile. Part 2: Terms, definitions and surface texture parameters (ISO 21920-2:2021, Corrected version 2022-06).*

*Spécification géométrique des produits (GPS). État de surface: Méthode du profil. Partie 2: Termes, définitions et paramètres d'état de surface (ISO 21920-2:2021, Version corrigée 2022-06).*

Esta norma es la versión oficial, en español, de la Norma Europea EN ISO 21920-2:2022, que a su vez adopta la Norma Internacional ISO 21920-2:2021.

Esta norma anula y sustituye a las Normas UNE-EN ISO 4287:1999, UNE-EN ISO 4287:1999/A1:2010, UNE-EN ISO 4287:1999/AC:2010, UNE-EN ISO 13565-2:1998 y UNE-EN ISO 13565-3:2001.

Las observaciones a este documento han de dirigirse a:

## Asociación Española de Normalización

Génova, 6  
28004 MADRID-España  
Tel.: 915 294 900  
info@une.org  
www.une.org

© UNE 2023

Prohibida la reproducción sin el consentimiento de UNE.

Todos los derechos de propiedad intelectual de la presente norma son titularidad de UNE.

ICS 01.040.17; 17.040.40

Sustituye a EN ISO 13565-2:1997,  
EN ISO 13565-3:2000, EN ISO 4287:1998

Versión en español

**Especificación geométrica de producto (GPS)**  
**Calidad superficial: Método del perfil**  
**Parte 2: Términos, definiciones y parámetros de la calidad superficial**  
**(ISO 21920-2:2021, Versión corregida 2022-06)**

Geometrical product specifications  
(GPS). Surface texture: Profile. Part 2:  
Terms, definitions and surface texture  
parameters (ISO 21920-2:2021,  
Corrected version 2022-06).

Spécification géométrique des produits  
(GPS). État de surface: Méthode du  
profil. Partie 2: Termes, définitions et  
paramètres d'état de surface  
(ISO 21920-2:2021, Version corrigée  
2022-06).

Geometrische Produktspezifikation  
(GPS). Oberflächenbeschaffenheit:  
Profil. Teil 2: Begriffe und Parameter  
für die Oberflächenbeschaffenheit  
(ISO 21920-2:2021, korrigierte Fassung  
2022-06).

Esta norma europea ha sido aprobada por CEN el 2021-11-27.

Esta norma europea ha sido corregida y reeditada por el Centro de Gestión de CEN/CENELEC el 2022-07-20.

Los miembros de CEN están sometidos al Reglamento Interior de CEN/CENELEC que define las condiciones dentro de las cuales debe adoptarse, sin modificación, la norma europea como norma nacional. Las correspondientes listas actualizadas y las referencias bibliográficas relativas a estas normas nacionales pueden obtenerse en el Centro de Gestión de CEN/CENELEC, o a través de sus miembros.

Esta norma europea existe en tres versiones oficiales (alemán, francés e inglés). Una versión en otra lengua realizada bajo la responsabilidad de un miembro de CEN en su idioma nacional, y notificada al Centro de Gestión de CEN/CENELEC, tiene el mismo rango que aquéllas.

Los miembros de CEN son los organismos nacionales de normalización de los países siguientes: Alemania, Austria, Bélgica, Bulgaria, Chipre, Croacia, Dinamarca, Eslovaquia, Eslovenia, España, Estonia, Finlandia, Francia, Grecia, Hungría, Irlanda, Islandia, Italia, Letonia, Lituania, Luxemburgo, Malta, Noruega, Países Bajos, Polonia, Portugal, Reino Unido, República Checa, República de Macedonia del Norte, Rumanía, Serbia, Suecia, Suiza y Turquía.



COMITÉ EUROPEO DE NORMALIZACIÓN  
European Committee for Standardization  
Comité Européen de Normalisation  
Europäisches Komitee für Normung

**CENTRO DE GESTIÓN: Rue de la Science, 23, B-1040 Brussels, Belgium**

© 2022 CEN. Derechos de reproducción reservados a los Miembros de CEN.

## Índice

Prólogo europeo .....	6
Declaración.....	6
Prólogo .....	7
0      Introducción.....	9
1      Objeto y campo de aplicación.....	9
2      Normas para consulta .....	9
3      Términos y definiciones.....	9
3.1    Términos generales.....	10
3.2    Términos relativos a parámetros geométricos .....	21
3.3    Términos relativos a los elementos geométricos .....	24
4      Parámetros de campo .....	32
4.1    Generalidades.....	32
4.2    Parámetros de altura .....	32
4.2.1   Generalidades.....	32
4.2.2   Altura media aritmética.....	32
4.2.3   Altura media cuadrática .....	33
4.2.4   Asimetría .....	33
4.2.5   Aplastamiento.....	33
4.2.6   Altura total.....	33
4.2.7   Altura máxima por sección .....	34
4.3    Parámetros de espaciamiento .....	35
4.3.1   Generalidades.....	35
4.3.2   Longitud de autocorrelación.....	35
4.3.3   Longitud de onda espacial dominante.....	35
4.4    Parámetros híbridos .....	35
4.4.1   Generalidades.....	35
4.4.2   Gradiente cuadrático medio.....	35
4.4.3   Media aritmética del gradiente absoluto.....	36
4.4.4   Gradiente absoluto máximo .....	36
4.4.5   Longitud desarrollada .....	36
4.4.6   Tasa de longitud desarrollada .....	36
4.5    Funciones de tasa portante y parámetros relacionados.....	37
4.5.1   Funciones de tasa portante.....	37
4.5.2   Parámetros de tasa portante.....	42
4.5.3   Parámetros para superficies estratificadas utilizando la curva de tasa portante .....	44
4.5.4   Parámetros para superficies estratificadas utilizando la curva de probabilidad de longitud portante .....	47
4.5.5   Parámetros de volumen.....	48
5      Parámetros de elementos.....	50
5.1    Parámetros basados en la altura de picos y la profundidad de hoyos.....	50
5.1.1   Generalidades.....	50

5.1.2	Altura de pico máxima.....	51
5.1.3	Altura de pico media .....	51
5.1.4	Profundidad de hoyo máxima.....	52
5.1.5	Profundidad de hoyo media .....	52
5.1.6	Altura máxima .....	52
5.2	Parámetros basados en elementos de perfil .....	53
5.2.1	Generalidades.....	53
5.2.2	Espaciamiento medio del elemento de perfil.....	55
5.2.3	Espaciamiento máximo del elemento de perfil .....	55
5.2.4	Desviación típica de los espaciamientos del elemento de perfil.....	55
5.2.5	Altura media del elemento de perfil.....	55
5.2.6	Altura máxima del elemento de perfil .....	55
5.2.7	Desviación típica de las alturas del elemento de perfil.....	56
5.2.8	Número de picos .....	56
5.3	Parámetros basados en la caracterización del elemento .....	56
5.3.1	Generalidades.....	56
5.3.2	Parámetros de elementos designados.....	56
Anexo A (Informativo)	Determinación de la primera y segunda derivadas .....	59
Anexo B (Informativo)	Determinación de la curvatura local .....	63
Anexo C (Normativo)	Determinación de la curva de tasa portante.....	64
Anexo D (Normativo)	Determinación de los parámetros de perfil para superficies estratificadas.....	66
Anexo E (Normativo)	Segmentación por cruce de línea para determinar los elementos del perfil .....	75
Anexo F (Normativo)	Caracterización del elemento.....	81
Anexo G (Informativo)	Resumen de los parámetros y funciones de la calidad superficial de perfil .....	86
Anexo H (Informativo)	Flujo de análisis de la especificación .....	89
Anexo I (Informativo)	Cambios respecto a anteriores normas ISO de perfil .....	91
Anexo J (Informativo)	Visión general de las normas de perfil y de área en el modelo de matriz GPS.....	92
Anexo K (Informativo)	Relación con el modelo de matriz GPS.....	93
Bibliografía .....		96

## Prólogo europeo

El texto de la Norma EN ISO 21920-2:2022 ha sido elaborado por el Comité Técnico ISO/TC 213 *Especificación dimensional y geométrica de los productos y su verificación* en colaboración con el Comité Técnico CEN/TC 290 *Especificación dimensional y geométrica de los productos y su verificación*, cuya Secretaría desempeña AFNOR.

Esta norma europea debe recibir el rango de norma nacional mediante la publicación de un texto idéntico a ella o mediante ratificación antes de finales de julio de 2022, y todas las normas nacionales técnicamente divergentes deben anularse antes de finales de julio de 2022.

Se llama la atención sobre la posibilidad de que algunos de los elementos de este documento estén sujetos a derechos de patente. CEN no es responsable de la identificación de dichos derechos de patente.

Esta norma anula y sustituye a las Normas EN ISO 4287:1998, EN ISO 13565-2:1997 y EN ISO 13565-3:2000.

Cualquier comentario o pregunta sobre este documento deberían dirigirse al organismo nacional de normalización del usuario. En la web de CEN se puede encontrar un listado completo de estos organismos.

De acuerdo con el Reglamento Interior de CEN/CENELEC, están obligados a adoptar esta norma europea los organismos de normalización de los siguientes países: Alemania, Austria, Bélgica, Bulgaria, Chipre, Croacia, Dinamarca, Eslovaquia, Eslovenia, España, Estonia, Finlandia, Francia, Grecia, Hungría, Irlanda, Islandia, Italia, Letonia, Lituania, Luxemburgo, Malta, Noruega, Países Bajos, Polonia, Portugal, Reino Unido, República Checa, República de Macedonia del Norte, Rumanía, Serbia, Suecia, Suiza y Turquía.

## Declaración

El texto de la Norma ISO 21920-2:2021, Versión corregida 2022-06 ha sido aprobado por CEN como Norma EN ISO 21920-2:2022 sin ninguna modificación.

## Prólogo

ISO (Organización Internacional de Normalización) es una federación mundial de organismos nacionales de normalización (organismos miembros de ISO). El trabajo de elaboración de las Normas Internacionales se lleva a cabo normalmente a través de los comités técnicos de ISO. Cada organismo miembro interesado en una materia para la cual se haya establecido un comité técnico, tiene el derecho de estar representado en dicho comité. Las organizaciones internacionales, gubernamentales y no gubernamentales, vinculadas con ISO, también participan en el trabajo. ISO colabora estrechamente con la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) en todos los temas de normalización electrotécnica.

En la Parte 1 de las Directivas ISO/IEC se describen los procedimientos utilizados para desarrollar este documento y aquellos previstos para su mantenimiento posterior. En particular debería tomarse nota de los diferentes criterios de aprobación necesarios para los distintos tipos de documentos ISO. Este documento ha sido redactado de acuerdo con las reglas editoriales de la Parte 2 de las Directivas ISO/IEC (véase [www.iso.org/directives](http://www.iso.org/directives)).

Se llama la atención sobre la posibilidad de que algunos de los elementos de este documento puedan estar sujetos a derechos de patente. ISO no asume la responsabilidad por la identificación de alguno o todos los derechos de patente. Los detalles sobre cualquier derecho de patente identificado durante el desarrollo de este documento se indicarán en la Introducción y/o en la lista ISO de declaraciones de patente recibidas (véase [www.iso.org/patents](http://www.iso.org/patents)).

Cualquier nombre comercial utilizado en este documento es información que se proporciona para comodidad del usuario y no constituye una recomendación.

Para una explicación de la naturaleza voluntaria de las normas, el significado de los términos específicos de ISO y las expresiones relacionadas con la evaluación de la conformidad, así como la información acerca de la adhesión de ISO a los principios de la Organización Mundial del Comercio (OMC) respecto a los Obstáculos Técnicos al Comercio (OTC), véase [www.iso.org/iso/foreword.html](http://www.iso.org/iso/foreword.html).

Este documento ha sido preparado por el Comité Técnico ISO/TC 213, *Especificación dimensional y geométrica de los productos y su verificación*, en colaboración con el Comité Europeo de Normalización (CEN) Comité Técnico CEN/TC 290, *Especificación dimensional y geométrica de los productos y su verificación*, conforme al acuerdo de cooperación técnica entre ISO y CEN (Acuerdo de Viena).

Esta primera edición de la Norma ISO 21920-2 anula y sustituye las Normas ISO 4287:1997, ISO 13565-2:1996 e ISO 13565-3:1998, que se han revisado técnicamente.

También incorpora la Modificación ISO 4287:1997/Amd 1:2009 y los Corrigenda Técnicos ISO 4287:1997/Cor 1:1998, ISO 4287:1997/Cor 2:2005 e ISO 13565-2:1996/Cor 1:1998.

Los principales cambios se refieren a la Norma ISO 4287 y son los siguientes:

- todos los parámetros de campo se refieren ahora a la longitud de evaluación;
- evaluación no ambigua de los elementos del perfil;
- definición de nuevos parámetros, en particular los basados en la transformación de la línea de separación de vertientes.

En el sitio web de ISO se puede encontrar un listado de todas las partes de la serie de Normas ISO 21920.

Cualquier comentario o pregunta sobre este documento deberían dirigirse al organismo nacional de normalización del usuario. En [www.iso.org/members.html](http://www.iso.org/members.html) se puede encontrar un listado completo de estos organismos.

Esta versión corregida de la Norma ISO 21920-2:2021 incorpora las siguientes correcciones:

- Las Normas ISO 12085:1996 e ISO 12085:1996/Cor 1:1998 se han eliminado de la lista de documentos a los que este documento sustituye, al haber sido reestablecidos.



## 0 Introducción

Este documento es una norma sobre especificación geométrica de productos (GPS) y tiene que considerarse como una norma GPS general (véase la Norma ISO 14638). Afecta al eslabón B de la cadena de normas sobre calidad superficial de perfil.

El modelo de matriz ISO/GPS dada en la Norma ISO 14638 proporciona una visión general del sistema ISO GPS, del que este documento forma parte. Las reglas fundamentales del sistema ISO GPS dadas en la Norma ISO 8015 se aplican a este documento y las reglas de decisión por defecto dadas en la Norma ISO 14253-1 se aplican a las especificaciones realizadas de acuerdo con este documento, a menos que se indique lo contrario.

Para una información más detallada sobre la relación de este documento con otras normas y con el modelo de matriz GPS, véase el anexo K.

Este documento desarrolla la terminología, los conceptos y los parámetros aplicables al estado superficial de perfil.

A lo largo de este documento, los parámetros se escriben como abreviaturas con sufijos en minúsculas (como en  $R_q$ ) cuando se utilizan en una frase, y como símbolos con subíndices (como en  $R_q$ ) cuando se utilizan en fórmulas, para evitar interpretaciones erróneas de letras compuestas como una indicación de multiplicación entre magnitudes en las fórmulas. Los parámetros con sufijos en minúsculas se utilizan en la documentación del producto, los dibujos y las fichas técnicas.

## 1 Objeto y campo de aplicación

Este documento especifica los términos, definiciones y parámetros para la determinación de la calidad superficial mediante los métodos del perfil.

NOTA 1 Los principales cambios respecto a los anteriores documentos ISO se describen en el anexo I.

NOTA 2 En el anexo J se da una visión general de las normas sobre perfiles y áreas en el modelo de matriz GPS.

NOTA 3 La relación de este documento con el modelo de matriz GPS se da en el anexo K.

## 2 Normas para consulta

En el texto se hace referencia a los siguientes documentos de manera que parte o la totalidad de su contenido constituyen requisitos de este documento. Para las referencias con fecha, solo se aplica la edición citada. Para las referencias sin fecha se aplica la última edición (incluida cualquier modificación de esta).

ISO 16610-1:2015, *Especificación geométrica de productos (GPS). Filtración. Parte 1: Perspectiva general y conceptos de básicos*.

## 3 Términos y definiciones

Para los fines de este documento, se aplican los términos y definiciones incluidos en la Norma ISO 16610-1 además de los siguientes:

ISO e IEC mantienen bases de datos terminológicas para su utilización en normalización en las siguientes direcciones:

- Plataforma de búsqueda en línea de ISO: disponible en <http://www.iso.org/obp>
- Electropedia de IEC: disponible en <http://www.electropedia.org/>

### 3.1 Términos generales

#### 3.1.1 modelo de superficie no ideal; *skin model*:

<de una pieza> Modelo de intersección física de la pieza con su entorno.

[FUENTE: ISO 17450-1:2011, 3.2.2]

#### 3.1.2 calidad superficial:

Irregularidades geométricas contenidas en un perfil de escala limitada.

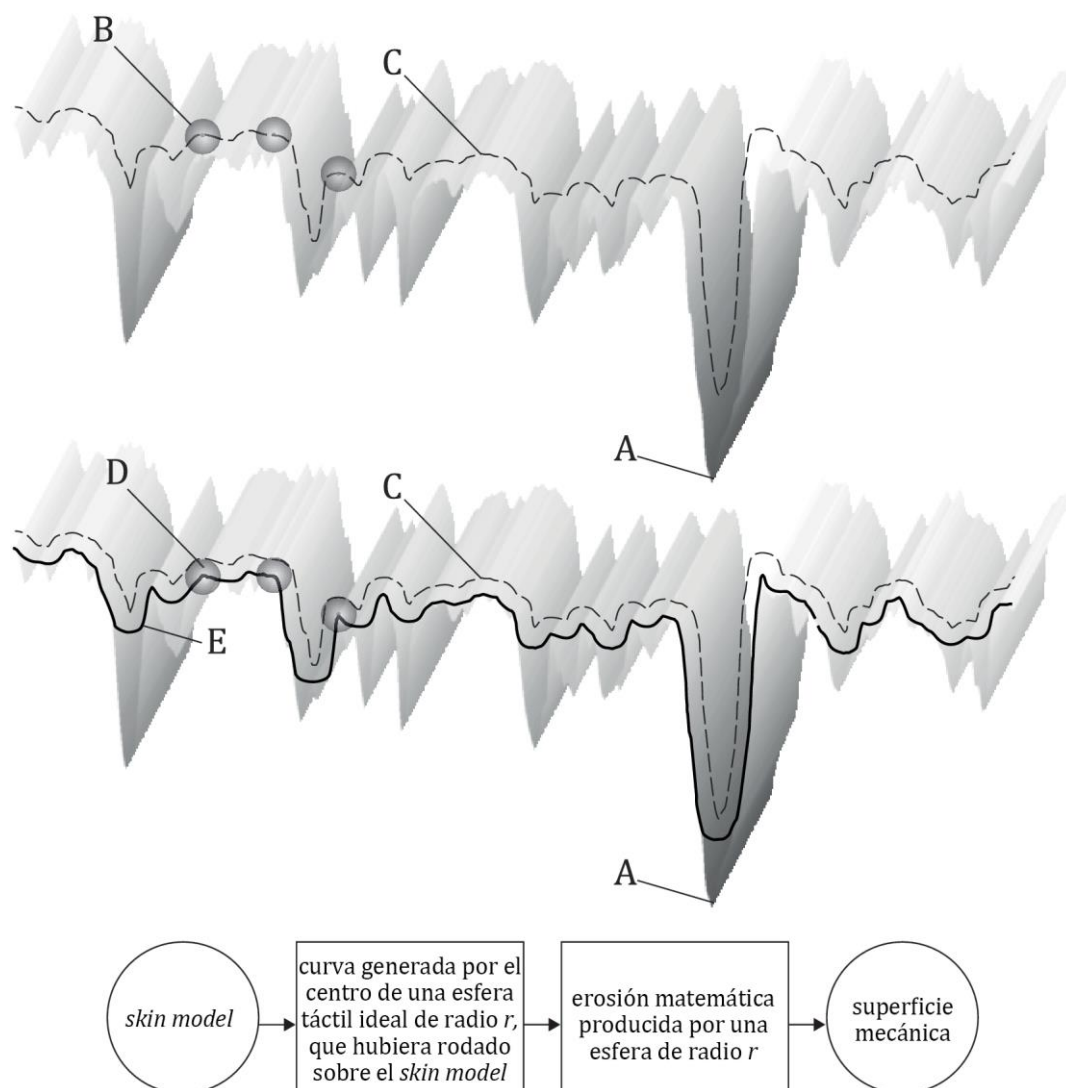
NOTA 1 La calidad superficial no incluye las irregularidades geométricas que contribuyen a la forma o contorno del perfil.

#### 3.1.3 superficie mecánica:

Límite de la erosión matemática, producida por una esfera de radio  $r$ , que siguiera la curva generada por el centro de una esfera táctil ideal, también de radio  $r$ , que hubiera rodado sobre el *skin model* de una pieza.

NOTA 1 La figura 1 es un ejemplo para mostrar el efecto de un filtrado mecánico y no está relacionada con una superficie medida real.

[FUENTE: ISO 14406:2010, 3.1.1, modificado. Notas reemplazadas]



Leyenda

- A *Skin model*
- B Esfera táctil ideal de radio  $r$
- C Curva generada por el centro de una esfera táctil ideal B que hubiera rodado sobre el *skin model*
- D Esfera de radio  $r$
- E Superficie mecánica: límite (borde) de la erosión matemática producida por la esfera D, al seguir la curva C

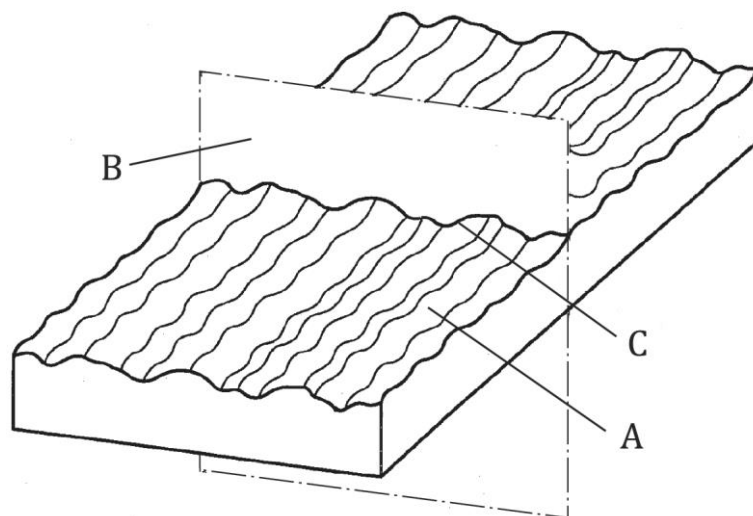
**Figura 1 – Superficie mecánica**

**3.1.4 traza de perfil:**

Intersección del *skin model* con un plano perpendicular a él, en una dirección específica.

NOTA 1 Véase la figura 2.

NOTA 2 Véase el apartado 4.3 de la Norma ISO 21920-3:2021.

**Leyenda**

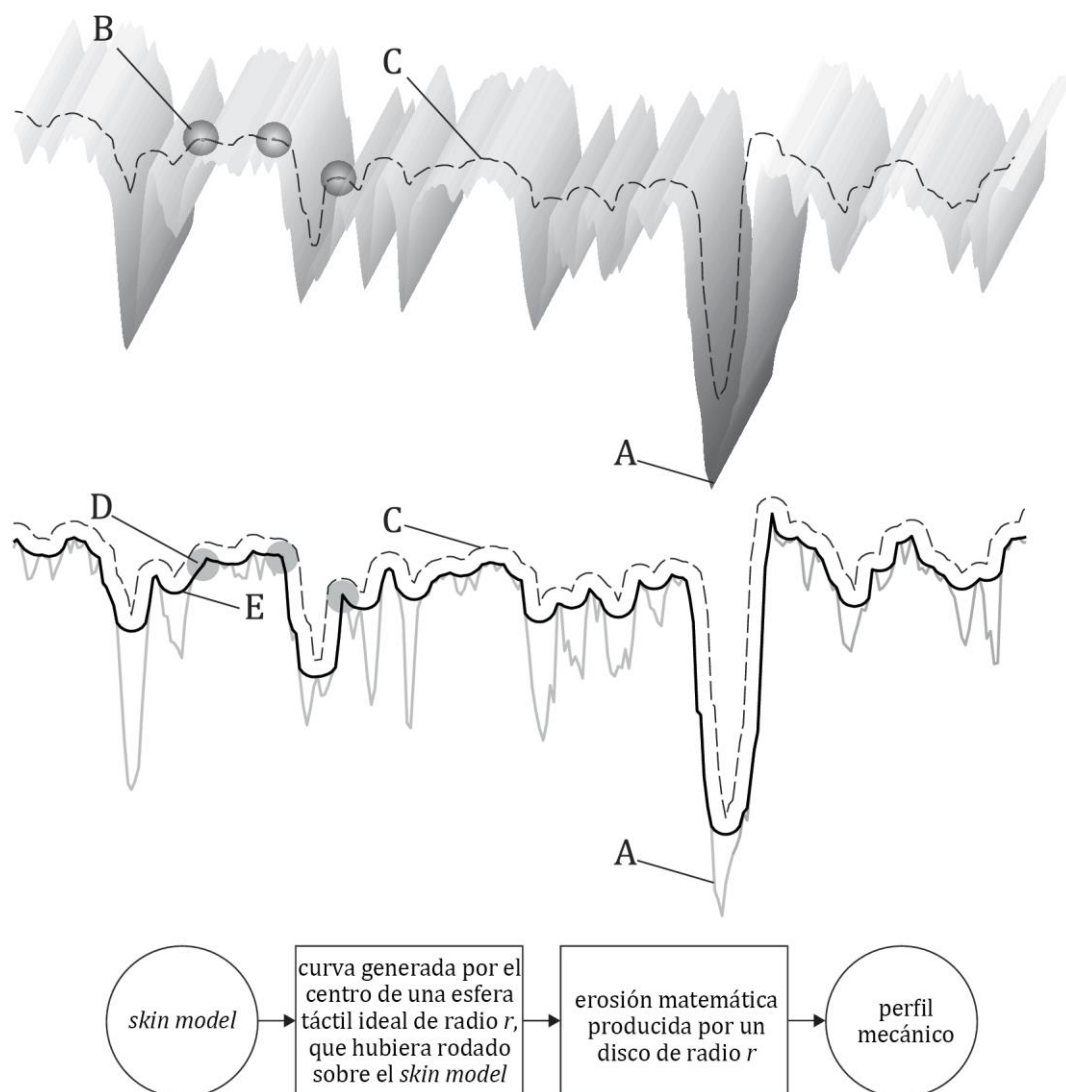
- A *Skin model*
- B Plano de intersección
- C Trazo de perfil

**Figura 2 – Trazo de perfil****3.1.5 perfil mecánico:**

Límite de la erosión matemática, producida por un disco circular de radio  $r$ , que siguiera la curva generada por el centro de una esfera táctil ideal, también de radio  $r$ , que hubiera rodado a lo largo de una traza de perfil, sobre el *skin model* de una pieza.

NOTA 1 La figura 3 es un ejemplo para mostrar el efecto de un filtrado mecánico y no está relacionada con un perfil medido real.

NOTA 2 El tratamiento de los puntos no medidos y espurios es parte del proceso de extracción (véase el apartado 8.1.3 de la Norma ISO 17450-1:2011) y no se considera en este documento.



#### Leyenda

- A *Skin model*
- B Esfera táctil ideal de radio  $r$
- C Curva generada por el centro de una esfera táctil ideal que hubiera rodado sobre el *skin model*
- D Disco circular de radio  $r$
- E Perfil mecánico: límite (borde) de la erosión matemática producida por el disco circular D, al seguir la curva C

**Figura 3 – Perfil mecánico**

#### 3.1.6 superficie electromagnética:

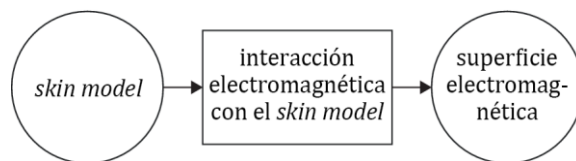
Superficie obtenida por la interacción electromagnética con el *skin model* de una pieza.

NOTA 1 Véase la figura 4.

NOTA 2 La superficie electromagnética es una característica inherente del *skin model* de una pieza.

NOTA 3 Las superficies electromagnéticas dependen del principio de medición óptica utilizado para la extracción.

[FUENTE: ISO 14406:2010, 3.1.2, modificado. Notas reemplazadas]



**Figura 4 – Superficie electromagnética**

### 3.1.7 perfil electromagnético:

Perfil obtenido por la interacción electromagnética con el *skin model* de una pieza.

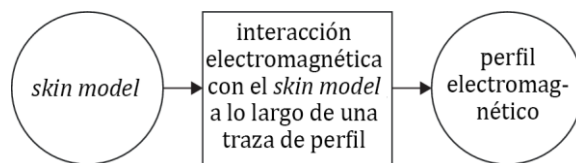
NOTA 1 Véase la figura 5.

NOTA 2 El perfil electromagnético es una característica inherente del *skin model* de una pieza.

NOTA 3 Los perfiles electromagnéticos dependen del principio de medición óptica utilizado para la extracción.

NOTA 4 En la mayoría de los casos, la traza del perfil resulta de la intersección del *skin model* por un plano de intersección perpendicular al *skin model* (3.1.1) y una dirección especificada (véase la Norma ISO 21920-3).

NOTA 5 El tratamiento de los puntos no medidos y espurios es parte del proceso de extracción y no se considera en este documento.



**Figura 5 – Perfil electromagnético**

### 3.1.8 superficie auxiliar:

Superficie obtenida por una interacción, distinta de la mecánica o electromagnética, con el *skin model* (3.1.1) de una pieza.

NOTA 1 Un patrón de software es un ejemplo de superficie auxiliar. Otros principios de medición física que difieren de una superficie mecánica o electromagnética, como la microscopía de efecto túnel o la microscopía de fuerza atómica, también pueden servir de superficie auxiliar. Véase la figura 6.

### 3.1.9 perfil auxiliar:

Perfil obtenido por una interacción, distinta a la mecánica o electromagnética, con el *skin model* (3.1.1) de una pieza.

NOTA 1 Un patrón de software es un ejemplo de perfil auxiliar. Otros principios de medición física que difieren de un perfil mecánico o electromagnético, como la microscopía de efecto túnel o la microscopía de fuerza atómica, pueden servir también de perfil auxiliar. Véanse la figura 6 y el anexo H.

### 3.1.10 sistema de coordenadas de la especificación:

Sistema de coordenadas en el que se especifican los parámetros de calidad superficial.

NOTA 1 Si la superficie nominal es un plano (o una porción de un plano), es práctica común utilizar un sistema ortogonal de coordenadas cartesianas de sentido directo, en el que los ejes *x* e *y* también están en el plano de la superficie nominal, y el eje *z* apunta hacia el exterior (desde el material hacia el medio que lo rodea). Esta convención se adopta a lo largo del documento.

### 3.1.11 índice de anidamiento, $N_{is}$ , $N_{ic}$ , $N_{if}$ :

Número o conjunto de números que indican el nivel relativo de anidamiento de un modelo matemático primario particular.

NOTA 1 La longitud de onda de corte (*cut-off*) del filtro gaussiano es un ejemplo de índice de anidamiento.

NOTA 2 Los diferentes índices de anidamiento permiten extraer componentes laterales, de escala específica, de un perfil de escala limitada.

[FUENTE: ISO 16610-1:2015, 3.2.1, modificado. Definición y notas revisadas.]

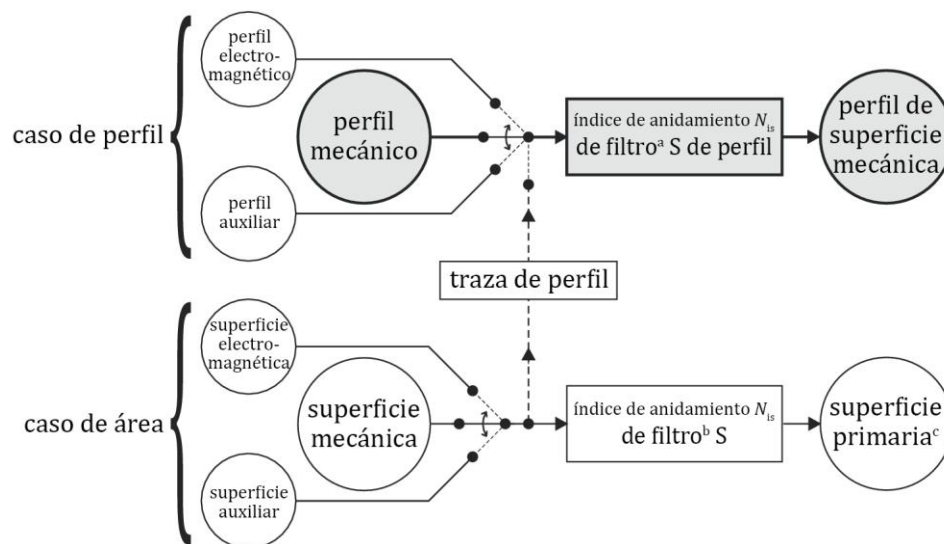
### 3.1.12 perfil de superficie primaria:

Traza de perfil de superficie obtenida cuando esta se representa en forma de modelo matemático primario especificado con un índice de anidamiento especificado  $N_{is}$ .

NOTA 1 En la serie de Normas ISO 21920, se utiliza un filtro S de perfil para calcular el perfil de superficie primaria a partir de una traza de perfil (por ejemplo, perfil mecánico). Véanse la figura 6 y el anexo H.

NOTA 2 Para algunas aplicaciones no se usa el filtro S de perfil. En tales casos, por ejemplo, para un análisis multiescala, el índice de anidamiento es igual a “cero”.

NOTA 3 En la mayor parte de los casos, el perfil de la superficie primaria puede calcularse con suficiente exactitud a partir de la superficie mecánica (la elección por defecto), la superficie electromagnética o la superficie auxiliar, utilizando un plano de intersección perpendicular al tipo de superficie escogido, y en una dirección especificada. Véase la figura 6.



NOTA La cadena de evaluación para el caso por defecto se indica con el color de relleno gris.

Leyenda

a Véase el apartado 3.1.13.1 para el filtro S de perfil.

b Véase el apartado 3.1.6.1 de la Norma ISO 25178-2:2021 para el filtro S.

c Véase el 3.1.5 de la Norma ISO 25178-2:2021, para la superficie primaria.

**Figura 6 – Definición de la superficie primaria y del perfil de superficie primaria**

**3.1.13 filtro de perfil:**

Operador de filtrado aplicado a un perfil.

**3.1.13.1 filtro S de perfil:**

Filtro de perfil que elimina las componentes laterales de pequeña escala de un perfil.

NOTA 1 Véase la figura 7.

**3.1.13.2 filtro L de perfil:**

Filtro de perfil que elimina las componentes laterales de gran escala de un perfil.

NOTA 1 Algunos filtros L de perfil son sensibles a la forma y requieren previamente la operación F de perfil, como prefiltro antes de su aplicación.

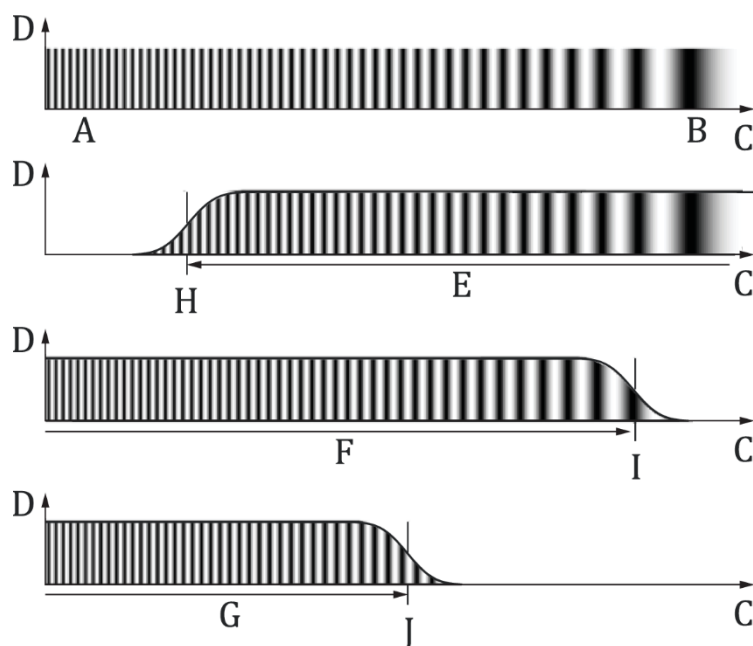
NOTA 2 Véase la figura 7.

**3.1.13.3 operación F de perfil:**

Operación que elimina la forma del perfil.

NOTA 1 Véase la figura 7.





#### Leyenda

- A Escala lateral pequeña (por ejemplo, longitudes de onda cortas)
- B Escala lateral grande (por ejemplo, longitudes de onda largas)
- C Eje de escala
- D Eje de amplitud
- E Componente de escala lateral extraída por el filtro S de perfil
- F Componente de escala lateral extraída por la operación F de perfil
- G Componente de escala lateral extraída por el filtro L de perfil
- H Índice de anidamiento  $N_{is}$  de filtro S de perfil
- I Índice de anidamiento  $N_{if}$  de la operación F de perfil
- J Índice de anidamiento  $N_{ic}$  de filtro L de perfil

**Figura 7 – Relaciones entre el filtro S, el filtro L y la operación F**

#### 3.1.14 perfil de escala limitada:

Componentes de escala, de estructura de perfil, entre los índices de anidamiento especificados.

**EJEMPLO** Un perfil es de escala limitada después de aplicar un filtro de perfil con un índice de anidamiento especificado.

##### 3.1.14.1 perfil primario, perfil P:

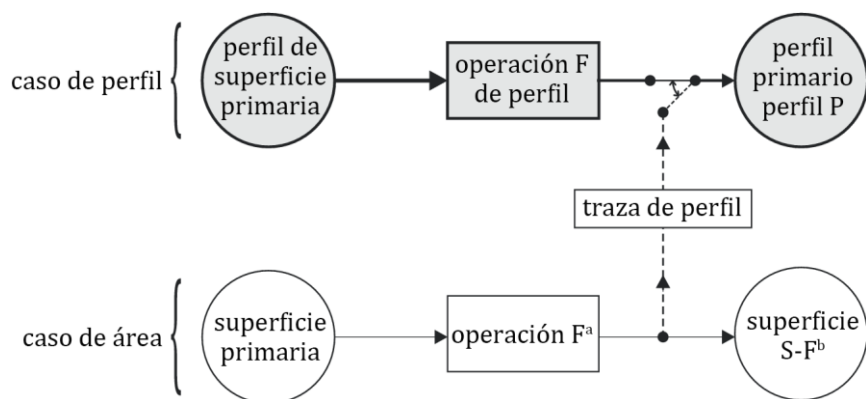
Perfil de escala limitada en cualquier posición  $x$ , calculado a partir del perfil de superficie primaria por eliminación de la forma mediante una operación F de perfil con índice de anidamiento  $N_{if}$ .

**NOTA 1** En la mayoría de los casos, el perfil primario puede calcularse con suficiente exactitud a partir de la superficie S-F utilizando un plano de intersección perpendicular a la superficie S-F y en una dirección especificada. Véase la figura 8.

**NOTA 2** El perfil primario es la base para la evaluación de los *parámetros P* (3.2.5). Véanse las figuras 9 y 10.

**NOTA 3** La operación F de perfil puede realizarse como operación multietapa, por ejemplo, una combinación de ajuste total por mínimos cuadrados y un filtro L de perfil.

**NOTA 4** Véase el anexo H para información adicional.



NOTA La cadena de evaluación para el caso por defecto se indica con el color de relleno gris.

Leyenda

a Véase el apartado 3.1.6.3 de la Norma ISO 25178-2:2021 para la operación F.

b Véase el apartado 3.1.7 de la Norma ISO 25178-2:2021 para la superficie S-F.

**Figura 8 – Perfil primario calculado a partir del perfil de superficie primaria (por defecto) o de una superficie S-F**

### 3.1.14.2 perfil de ondulación; perfil W:

Perfil de escala limitada en cualquier posición  $x$ , calculado a partir del perfil primario por eliminación de las componentes laterales de pequeña escala mediante un tipo específico de filtro S de perfil con un índice de anidamiento  $N_{ic}$ .

NOTA 1 El perfil de ondulación es la base para la evaluación de los *parámetros W* (3.2.6). Véanse las figuras 9 y 10.

NOTA 2 La elección de los ajustes de filtrado para los *parámetros W* depende fuertemente de los requisitos funcionales. Esta es la razón por la que no existen tablas por defecto para los *parámetros W* en la Norma ISO 21920-3.

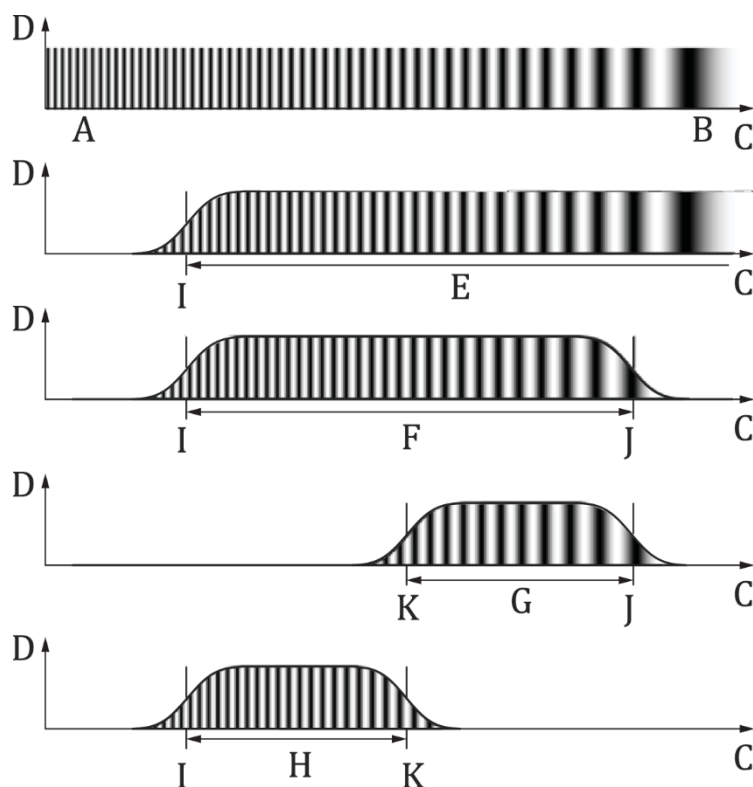
NOTA 3 Véase el anexo H para información adicional.

### 3.1.14.3 perfil de rugosidad; perfil R:

Perfil de escala limitada en cualquier posición  $x$ , calculado a partir del perfil primario por eliminación de las componentes laterales de gran escala mediante un tipo específico de filtro L de perfil con índice de anidamiento  $N_{ic}$ .

NOTA 1 El perfil de rugosidad es la base para la evaluación de los *parámetros R* (3.2.7). Véanse las figuras 9 y 10.

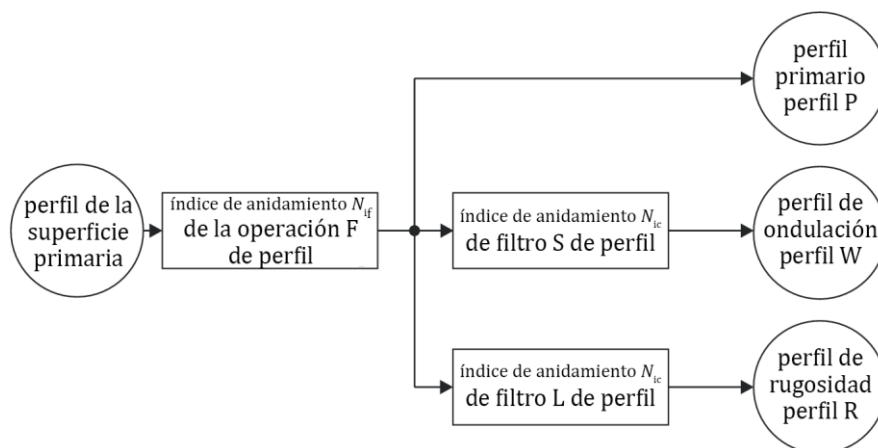
NOTA 2 Véase el anexo H para información adicional.



#### Leyenda

- A Escala lateral pequeña
- B Escala lateral grande
- C Eje de escala
- D Eje de amplitud
- E Componente de escala lateral del perfil de la superficie primaria
- F Componente de escala lateral del perfil P
- G Componente de escala lateral del perfil W
- H Componente de escala lateral del perfil R
- I Índice de anidamiento  $N_{is}$  de filtro S de perfil
- J Índice de anidamiento  $N_{if}$  de la operación F de perfil
- K Índice de anidamiento  $N_{ic}$  de filtro L de perfil

**Figura 9 – Relaciones entre el perfil de la superficie primaria, el perfil P, el perfil W y el perfil R**



**Figura 10 – Cadena de medida para determinar el perfil P, el perfil W y el perfil R**

### 3.1.15 línea de referencia:

Línea correspondiente a una componente lateral de gran escala específica.

NOTA 1 El eje  $x$  del sistema de coordenadas de la especificación (3.1.10) coincide con la línea de referencia del perfil evaluado, y el eje  $z$  apunta hacia el exterior (desde el material hacia el medio que lo rodea). Esta convención es la adoptada a lo largo de este documento.

NOTA 2 La línea de referencia para el perfil primario y el perfil de ondulación es la componente lateral de gran escala del perfil de la superficie primaria eliminada por la operación F de perfil.

NOTA 3 La línea de referencia para el perfil de rugosidad es la componente del perfil primario eliminada por el filtro L de perfil.

### 3.1.16 longitud de evaluación, $l_e$ :

Longitud en la dirección del eje  $x$  utilizada para identificar las estructuras geométricas que caracterizan el perfil de escala limitada.

NOTA 1 La longitud recorrida es mayor que la longitud de evaluación.

NOTA 2 Véase el apartado 3.2.3 para los parámetros basados en la longitud de evaluación.

NOTA 3 En la Norma ISO 4287, la longitud de evaluación venía dada por  $l_n$ .

### 3.1.17 longitud de sección, $l_{sc}$ :

Longitud en la dirección del eje  $x$  utilizada para obtener *parámetros de longitud de sección* (3.2.4).

NOTA 1 Los valores por defecto de  $l_{sc}$  se encuentran en la Norma ISO 21920-3.

### 3.1.18 número de secciones, $n_{sc}$ :

Número entero utilizado para obtener *parámetros de longitud de sección* (3.2.4).

NOTA 1 Los valores por defecto de  $n_{sc}$  se encuentran en la Norma ISO 21920-3.

## 3.2 Términos relativos a parámetros geométricos

NOTA Los símbolos de los parámetros se escriben con subíndices (por ejemplo,  $R_q$ ) cuando se utilizan en fórmulas para evitar interpretaciones erróneas de letras compuestas, como la indicación de multiplicación entre magnitudes en las fórmulas. Los símbolos de los parámetros se escriben con sufijos en minúscula (por ejemplo,  $R_q$ ) cuando se utilizan en la documentación del producto, los dibujos y las fichas técnicas.

### 3.2.1 parámetro de campo:

Parámetro definido a partir de todos los puntos de un perfil de escala limitada.

### 3.2.2 parámetro de elemento:

Parámetro definido a partir de un subconjunto de elementos topográficos predefinidos tomados de un perfil de escala limitada.

NOTA 1 Para parámetros de elementos, véase el capítulo 5.

### 3.2.3 parámetro de longitud de evaluación:

Parámetro definido sobre la longitud de evaluación.

NOTA 1 Para los parámetros de longitud de evaluación véanse el capítulo 4, apartados 5.2 y 5.3.

### 3.2.4 parámetro de longitud de sección:

Parámetro definido sobre un conjunto de longitudes de secciones.

NOTA 1 Para los parámetros de longitud de sección véase el apartado 5.1.

### 3.2.5 parámetro P:

Parámetro determinado a partir del perfil primario.

### 3.2.6 parámetro W:

Parámetro determinado a partir del perfil de ondulación.

### 3.2.7 parámetro R:

Parámetro determinado a partir del perfil de rugosidad.

NOTA 1 A título de ejemplo, se dan fórmulas para la definición de los parámetros R. Los parámetros P y W se definen de forma similar, reemplazando los parámetros relativos al perfil R por los relativos al perfil P o al perfil W. Los operadores de especificación por defecto para los distintos tipos de definiciones de los parámetros se pueden encontrar en la Norma ISO 21920-3.

### 3.2.8 altura:

Distancia perpendicular, con signo, comprendida entre la línea de referencia y el perfil de escala limitada.

NOTA 1 Cuando el perfil de escala limitada se encuentra por debajo de la línea de referencia, la altura tiene un valor negativo.

NOTA 2 Esta definición, como coordenada absoluta, se aplica cuando el término "altura" se utiliza solo. Otros términos que figuran más adelante en este documento incluyen la palabra "altura" o "profundidad" en su nombre, como la *altura máxima*  $R_z$  (véase 5.1.6) o la *profundidad local de valle* (3.3.18). Las definiciones de algunos de estos otros términos utilizan un punto de referencia alternativo y/o se refieren a una distancia sin signo, en una dirección específica, a partir del punto de referencia. Véanse esas definiciones para más detalles.

**3.2.9 profundidad:**

Altura multiplicada por menos uno.

NOTA 1 Cuando el perfil de escala limitada está por encima de la línea de referencia, la profundidad tiene un valor negativo.

NOTA 2 Esta definición, como coordenada absoluta, se aplica cuando el término "profundidad" se utiliza solo. Otros términos que figuran más adelante en este documento incluyen la palabra "altura" o "profundidad" en su nombre, como la *altura máxima*  $R_z$  (véase 5.1.6) o la *profundidad local de valle* (3.3.18). Las definiciones de algunos de estos otros términos utilizan un punto de referencia alternativo y/o se refieren a una distancia sin signo, en una dirección específica, a partir del punto de referencia. Véanse esas definiciones para más detalles.

**3.2.10 ordenada,  $z(x)$ :**

Altura del perfil de escala limitada evaluado.

**3.2.11 gradiente local,  $dz(x)/dx$ :**

Primera derivada del perfil de escala limitada  $z$  respecto a la posición  $x$ .

NOTA 1 Véase el anexo A para la determinación del gradiente.

NOTA 2 El gradiente local también se denomina pendiente.

**3.2.12 curvatura local,  $\kappa(x)$ :**

Curvatura del perfil de escala limitada  $z$  respecto a la posición  $x$ .

$$\kappa(x) = \frac{d^2 z(x)/dx^2}{\left(1 + (dz(x)/dx)^2\right)^{\frac{3}{2}}} \quad (1)$$

NOTA 1 Véanse los anexos A y B para la determinación de la curvatura.

NOTA 2 Para la mayoría de las superficies técnicas, el gradiente local (pendiente) es pequeño, permitiendo una buena aproximación de la curvatura local mediante la segunda derivada  $\kappa(x) \equiv (d^2 z(x))/(dx^2)$ .

**3.2.13 función de autocorrelación,  $f_{ACF}(t_x)$ :**

Función que describe la correlación entre un perfil de escala limitada  $z$  y el mismo perfil trasladado un valor  $t_x$ .

$$f_{ACF}(t_x) = \frac{\frac{1}{l_e - |t_x|} \int_{l_0}^{l_e} (z(x) - \bar{z})(z(x + t_x) - \bar{z}) dx}{\frac{1}{l_e} \int_0^{l_e} (z(x) - \bar{z})^2 dx} \quad (2)$$

donde

$\bar{z}$  es la media aritmética del perfil  $z(x)$  sobre la longitud de evaluación  $l_e$ ;

$l_0 = \{x \in \mathbf{R} \mid \text{máx. } (0, -t_x) \leq x \leq \text{mín. } (l_e, l_e - t_x)\}$  es el intervalo de solapamiento;

$|t_x| < l_e$  es el valor de la traslación.

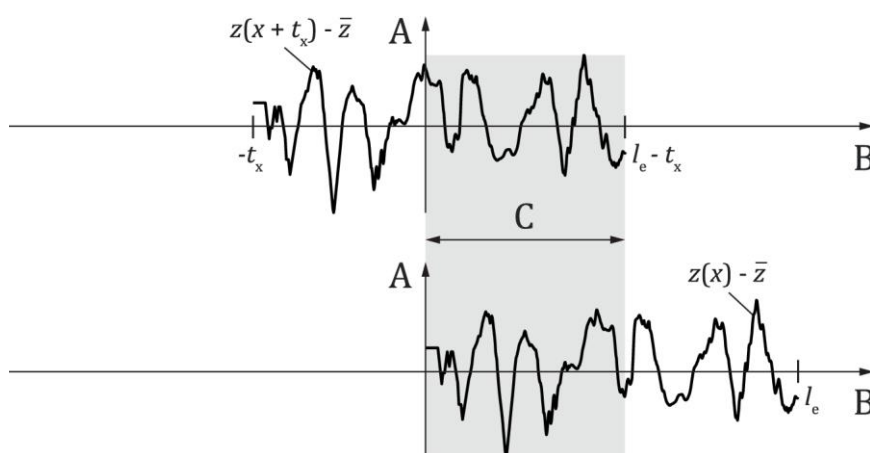
NOTA 1 Véase la figura 11 para una ilustración del intervalo de solapamiento.

NOTA 2 La función de autocorrelación es simétrica en  $t_x$ , es decir,  $f_{ACF}(t_x) = f_{ACF}(-t_x)$ .

NOTA 3 La fórmula (2) es un estimador insesgado para la función de autocorrelación.

NOTA 4 Algunas disciplinas utilizan un coeficiente de correlación de Pearson dependiente de la traslación en lugar de la función de autocorrelación. Este coeficiente se define en la fórmula (3).

$$\rho_{XX}(t_x) = \frac{\int_{l_0} (z(x) - \bar{z})(z(x+t_x) - \bar{z}) dx}{\sqrt{\int_{l_0} (z(x) - \bar{z})^2 dx \cdot \int_{l_0} (z(x+t_x) - \bar{z})^2 dx}} \quad \text{con } -1 \leq \rho_{XX}(t_x) \leq 1 \quad (3)$$



Leyenda

A Altura

B Eje x (línea de referencia)

C Longitud de solapamiento  $l_0$

**Figura 11 – Ilustración del intervalo de solapamiento  $l_0$**

### 3.2.14 transformación de Fourier, $F(p)$ :

Operador que transforma el perfil de escala limitada  $z$  en un espacio de Fourier.

$$F(p) = \int_0^{l_e} z(x) e^{-i2\pi p x} dx \quad (4)$$

donde

$i$  es la unidad imaginaria  $i^2 = -1$ ;

$p$  es la frecuencia espacial.

**3.2.15 densidad espectral de amplitud,  $f_{ASD}(p)$ :**

Valor absoluto de la transformación de Fourier del perfil de escala limitada  $z$ .

$$f_{ASD}(p) = |F(p)| \quad (5)$$

donde

$F(p)$  es la transformación de Fourier del perfil de escala limitada  $z$ ;

$p$  es la frecuencia espacial.

**3.2.16 densidad espectral de potencia,  $f_{PSD}(p)$ :**

Función que describe la potencia de un perfil de escala limitada  $z$  en el espacio de Fourier.

$$f_{PSD}(p) = \frac{|F(p)|^2}{l_e} \quad (6)$$

donde

$F(p)$  es la transformación de Fourier del perfil de escala limitada  $z$ ;

$p$  es la frecuencia espacial.

NOTA 1 La densidad espectral de potencia cumple la fórmula (7):

$$\frac{1}{l_e} \int_0^{l_e} z^2(x) dx = \int_{-\infty}^{\infty} f_{PSD}(p) dp \quad (7)$$

**3.3 Términos relativos a los elementos geométricos****3.3.1 segmentación:**

Método que divide un perfil de escala limitada en distintos elementos.

NOTA 1 Existen tres tipos de segmentación:

- para los parámetros basados en alturas de picos y profundidades de hoyos (véase 5.1), la segmentación se realiza mediante la identificación de las *colinas* (3.3.11) y de los *valles* (3.3.17), determinando las posiciones en las que los valores de la ordenada cambian su signo o son iguales a cero;
- para los parámetros basados en elementos del perfil (véase 5.2), la segmentación se realiza a partir del cruce de línea observado. Véase *segmentación por cruce de línea* (3.3.2);
- para los parámetros basados en la caracterización del elemento (véase 5.3), la segmentación se realiza por *segmentación por vertientes* (3.3.3).

**3.3.2 segmentación por cruce de línea:**

Operación basada en los cruces de la línea de referencia por un perfil de escala limitada, junto con un algoritmo de combinación, para obtener un conjunto de segmentos significativos.



NOTA 1 Véase el anexo E para la determinación de la segmentación por cruce de línea.

NOTA 2 La segmentación por cruce de línea requiere *discriminación de altura* (3.3.31).

### **3.3.3 segmentación por vertientes:**

Operación de filtrado que descompone espacialmente un perfil en porciones mutuamente excluyentes de ese perfil.

### **3.3.4 pico:**

<segmentación por vertientes> Punto de un perfil que es más alto que todos los otros puntos situados en su vecindad.

NOTA 1 En teoría, es posible la existencia de una meseta. En este caso, el pico es el único punto medio de dicha meseta.

### **3.3.5 pico:**

<línea de referencia> Punto más alto de una *colina* (3.3.11).

NOTA 1 En teoría, es posible la existencia de una meseta. En este caso, el pico es el único punto medio de dicha meseta.

### **3.3.6 número de picos, $n_p$ :**

Número entero que contabiliza el número de picos significativos dentro de la longitud de evaluación.

NOTA 1 El número de picos significativos depende del método de segmentación.

### **3.3.7 hoyo:**

<segmentación por vertientes> Punto de un perfil que es más bajo que todos los otros puntos situados en su vecindad.

NOTA 1 En teoría, es posible la existencia de una meseta. En este caso, el hoyo es el único punto medio de dicha meseta.

### **3.3.8 hoyo:**

<línea de referencia> Punto más bajo de un *valle* (3.3.17).

NOTA 1 En teoría, es posible la existencia de una meseta. En este caso, el hoyo es el único punto medio de dicha meseta.

### **3.3.9 número de hoyos, $n_v$ :**

Número entero que contabiliza el número de hoyos significativos dentro de la longitud de evaluación.

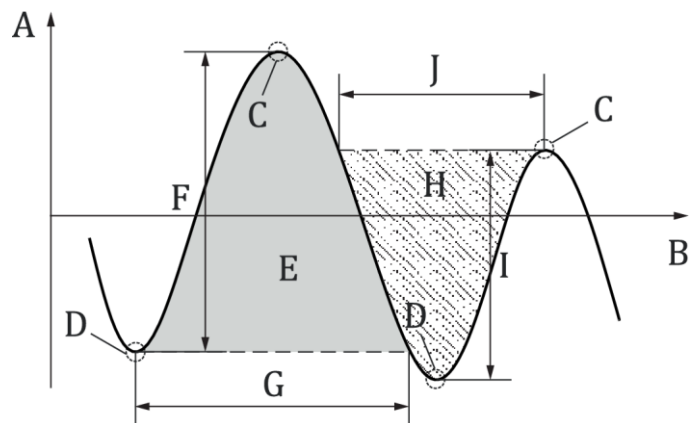
NOTA 1 El número de hoyos significativos depende del método de segmentación.

### **3.3.10 colina:**

<segmentación por vertientes> Región en torno a un pico, tal que todas las trayectorias ascendentes máximas terminan en ese pico.

NOTA 1 Esta definición se usa para los parámetros basados en la caracterización del elemento (véase 5.3).

NOTA 2 Véase la figura 12.



Leyenda

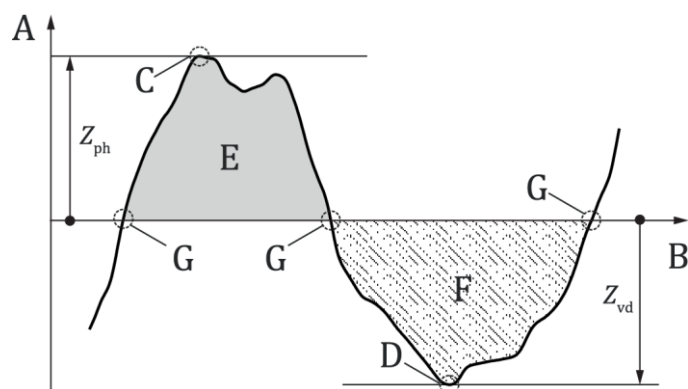
A	Altura	F	Altura local de colina
B	Eje x (línea de referencia)	G	Anchura local de colina
C	Pico	H	Valle/volumen local de valle (zona rayada)
D	Hoyo	I	Profundidad local de valle
E	Colina/volumen local de colina (color de relleno gris)	J	Anchura local de valle

**Figura 12 – Altura local de colina, profundidad local de valle, anchura local de colina, anchura local de valle, volumen local de colina y volumen local de valle (segmentación por vertientes)**

**3.3.11 colina:**  
<línea de referencia> Porción contigua dirigida hacia el exterior (desde el material hacia al entorno que lo rodea) del perfil de escala limitada, sobre la línea de referencia, delimitada por dos puntos adyacentes en los que los valores de la ordenada cambian de signo.

NOTA 1 Esta definición se utiliza para los parámetros basados en alturas de picos y profundidades de hoyos (véase 5.1) y para los parámetros basados en elementos de perfil (véase 5.2).

NOTA 2 Véase la figura 13.



**Leyenda**

A	Altura	F	Valle
B	Eje x (línea de referencia)	G	Cambio de signo de los valores de la ordenada
C	Pico	$Z_{ph}$	Altura de pico
D	Hoyo	$Z_{vd}$	Profundidad de hoyo
E	Colina		

**Figura 13 – Altura de pico y profundidad de hoyo (línea de referencia)**

**3.3.12 altura local de colina:**

Diferencia de altura entre un pico y el hoyo más alto conectado a ese pico.

NOTA 1 Véase la figura 12.

**3.3.13 anchura local de colina:**

Longitud de la línea que corta una colina a la altura correspondiente al hoyo más alto conectado a esa colina.

NOTA 1 Véase la figura 12.

**3.3.14 volumen local de colina:**

Relación entre el área de la colina, por encima del hoyo más alto conectado a esa colina, y la longitud de evaluación.

NOTA 1 Véase el área rellena en color gris en la figura 12.

NOTA 2 El volumen se expresa en mililitros por metro cuadrado (ml/m<sup>2</sup>).

NOTA 3 En superficies anisótropas, los parámetros de volumen de área y de perfil están altamente correlacionados.

**3.3.15 altura de pico,  $Z_{ph}$ :**

Diferencia de altura entre un pico y la línea de referencia.

NOTA 1 Véase la figura 13.

**3.3.16 valle:**

<segmentación por vertientes> Región en torno a un hoyo, tal que todas las trayectorias descendentes máximas terminan en ese hoyo.

NOTA 1 Esta definición se usa para los parámetros basados en la caracterización del elemento (véase 5.3).

NOTA 2 Véase la figura 12.

### **3.3.17 valle:**

<línea de referencia> Porción contigua dirigida hacia el interior (desde el entorno que lo rodea hacia el material) del perfil de escala limitada, bajo la línea de referencia, delimitada por dos puntos adyacentes en los que los valores de la ordenada cambian de signo.

NOTA 1 Esta definición se utiliza para los parámetros basados en alturas de picos y profundidades de hoyos (véase 5.1) y para los parámetros basados en elementos de perfil (véase 5.2).

NOTA 2 Véase la figura 13.

### **3.3.18 profundidad local de valle:**

Diferencia de altura entre un hoyo y el pico más bajo conectado a ese hoyo.

NOTA 1 Véase la figura 12.

### **3.3.19 anchura local de valle:**

Longitud de la línea que corta un valle a la altura correspondiente al pico más bajo conectado a ese valle.

NOTA 1 Véase la figura 12.

### **3.3.20 volumen local de valle:**

Relación entre el área del valle, por debajo del pico más bajo conectado a ese valle, y la longitud de evaluación.

NOTA 1 Véase zona rayada en la figura 12.

NOTA 2 El volumen se expresa en mililitros por metro cuadrado (ml/m<sup>2</sup>).

NOTA 3 En superficies anisótropas, los parámetros de volumen de área y de perfil están altamente correlacionados.

### **3.3.21 profundidad de hoyo, $Z_{vd}$ :**

Diferencia de profundidad entre un hoyo y la línea de referencia.

NOTA 1 Véase la figura 13.

### **3.3.22 motivo:**

Colina o valle definido mediante segmentación por vertientes.

NOTA 1 El término motivo se utiliza para designar un elemento obtenido por segmentación.

NOTA 2 En un perfil, una colina (o valle) se encuentra entre dos hoyos (o picos).

### **3.3.23 elemento topográfico:**

Elemento tipo línea o tipo punto sobre un perfil de escala limitada.

### **3.3.24 elemento tipo línea:**

Colina o valle.

### 3.3.25 elemento tipo punto:

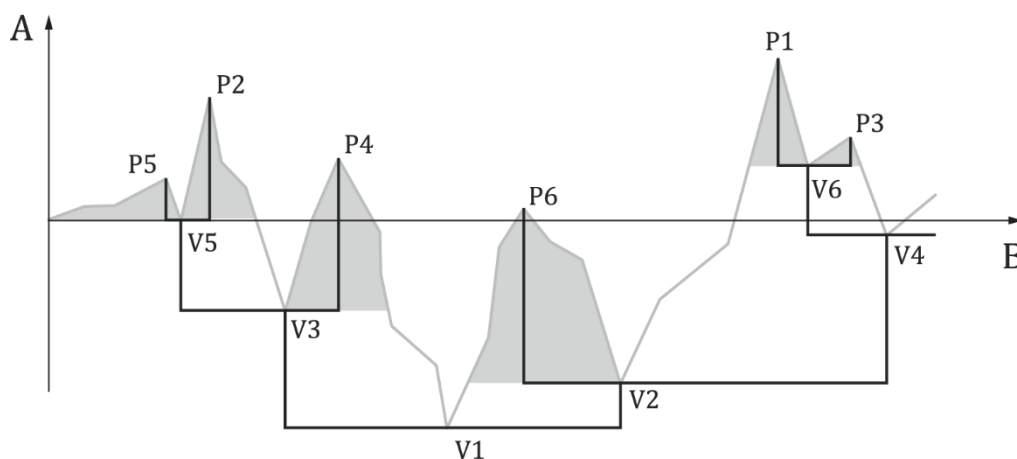
Pico u hoyo.

### 3.3.26 árbol de colinas:

Gráfico que muestra las relaciones entre picos y hoyos, clasificados por las alturas locales de las colinas.

NOTA 1 En un árbol de colinas, los picos se representan por extremos de líneas, y los hoyos por líneas de unión.

NOTA 2 Véase la figura 14.



Leyenda

- A Altura
- B Eje x (línea de referencia)
- P Pico
- V Hoyo

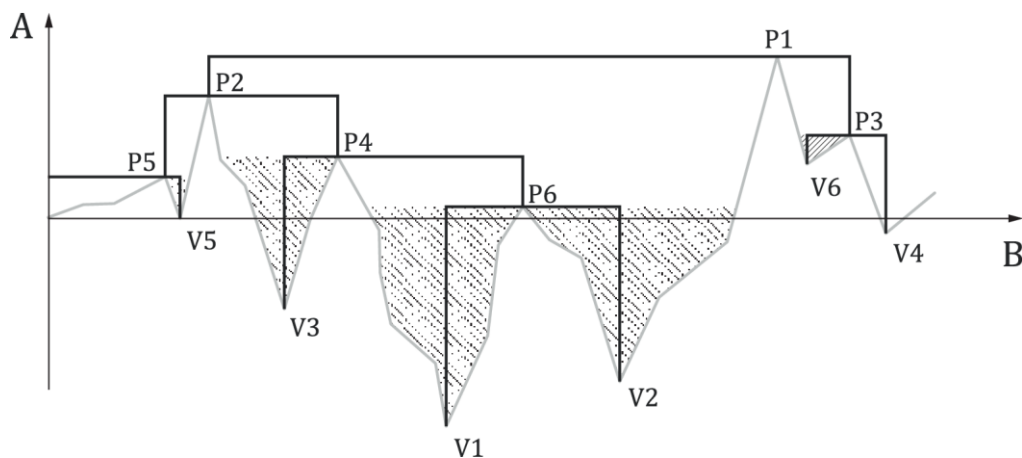
**Figura 14 – Árbol de colinas**

### 3.3.27 árbol de valles:

Gráfico que describe las relaciones entre hoyos y picos, clasificados por las profundidades locales de los valles.

NOTA 1 En un árbol de valles, los hoyos se representan por extremos de líneas, y los picos por líneas de unión.

NOTA 2 Véase la figura 15.



#### Leyenda

A	Altura
B	Eje x (línea de referencia)
P	Pico
V	Hoyo

**Figura 15 – Árbol de valles**

#### 3.3.28 poda:

Método para simplificar un árbol (de colinas o de valles) en el que se eliminan las líneas desde los picos (u hoyos) a sus hoyos (o picos) conectados.

#### 3.3.29 poda de Wolf:

Poda en la que se eliminan líneas de forma ordenada, desde el pico (u hoyo) con la menor altura local de colina (o profundidad local de valle) hasta el pico (u hoyo) con una altura local de colina (o profundidad local de valle) especificada.

NOTA 1 Las alturas locales de pico y las profundidades locales de hoyo cambiarán durante la poda de Wolf, dado que la supresión de líneas en el árbol eliminará también los hoyos y picos asociados, respectivamente.

#### 3.3.30 discriminación de altura:

<segmentación por vertientes> Altura local de colina o profundidad local de valle mínima del perfil de escala limitada.

NOTA 1 Esta definición se usa para los parámetros basados en la caracterización del elemento (véase 5.3).

#### 3.3.31 discriminación de altura:

<línea de referencia> Altura de pico o profundidad de hoyo mínima del perfil de escala limitada.

NOTA 1 Esta definición se usa para los parámetros basados en elementos del perfil (véase 5.2).

##### 3.3.31.1 discriminación de altura de pico:

Altura de pico mínima utilizada como umbral durante la segmentación.

NOTA 1 Esta definición se usa para los parámetros basados en elementos de perfil (véase 5.2).

### 3.3.31.2 discriminación de profundidad de hoyo:

Profundidad de hoyo mínima utilizada como umbral durante la segmentación.

NOTA 1 Esta definición se usa para los parámetros basados en elementos de perfil (véase 5.2).

### 3.3.32 elemento de perfil:

<línea de referencia> Colina seguida de un valle o valle seguido de una colina.

NOTA 1 Esta definición se usa para los parámetros basados en elementos de perfil (véase 5.2).

NOTA 2 Véanse las figuras 16 y 17.

### 3.3.33 altura de elemento de perfil, $Z_t$ :

Suma de la *altura de pico* (3.3.15) ( $Z_{ph}$ ) y la *profundidad de hoyo* (3.3.21) ( $Z_{vd}$ ) de un elemento de perfil.

$$Z_t = Z_{ph} + Z_{vd} \quad (8)$$

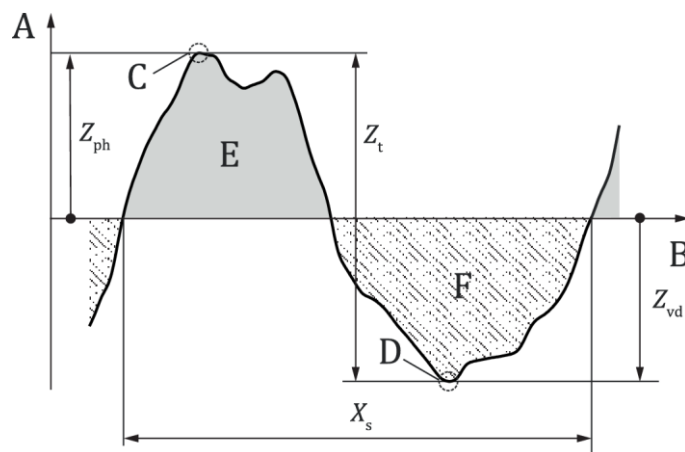
NOTA 1 Véanse las figuras 16 y 17.

### 3.3.34 espaciamiento de elemento de perfil, $X_s$ :

Distancia, sobre la línea de referencia, entre los comienzos de dos elementos de perfil adyacentes.

NOTA 1 Esta definición se usa para los parámetros basados en elementos del perfil (véase 5.2).

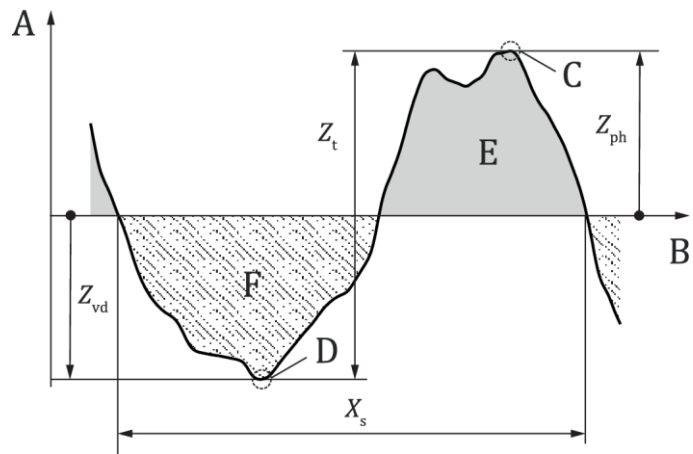
NOTA 2 Véanse las figuras 16 y 17.



#### Leyenda

A	Altura	F	Valle
B	Eje x (línea de referencia)	$X_s$	Espaciamiento de elemento de perfil
C	Pico	$Z_{ph}$	Altura de pico
D	Hoyo	$Z_t$	Altura de elemento de perfil
E	Colina	$Z_{vd}$	Profundidad de hoyo

**Figura 16 – Colina seguida de un valle**



Leyenda

A	Altura	F	Valle
B	Eje x (línea de referencia)	$X_s$	Espaciamiento de elemento de perfil
C	Pico	$Z_{ph}$	Altura de pico
D	Hoyo	$Z_t$	Altura de elemento de perfil
E	Colina	$Z_{vd}$	Profundidad de hoyo

Figura 17 – Valle seguido de una colina

## 4 Parámetros de campo

### 4.1 Generalidades

Los parámetros de campo están relacionados con la longitud de evaluación  $l_e$  sobre el perfil de escala limitada. Por ello, todos los parámetros de campo se clasifican como parámetros de longitud de evaluación. Un resumen de todos los parámetros de campo se ofrece en el anexo G.

NOTA 1 Las siguientes definiciones de parámetros suponen una representación continua del perfil. La mayoría de los instrumentos utilizan aproximaciones discretas a los operadores ideales dados.

NOTA 2 En algunas superficies rugosas pequeñas, como las de la fabricación aditiva, puede ser imposible planificar una traza de inspección cuya longitud de evaluación estará totalmente comprendida en la superficie física disponible. En este caso, la longitud de evaluación posible difiere de la longitud por defecto. Esto puede conducir a un incremento de la incertidumbre del parámetro.

### 4.2 Parámetros de altura

#### 4.2.1 Generalidades

Los parámetros de altura son un conjunto de parámetros basados en valores de la ordenada.

#### 4.2.2 Altura media aritmética

$P_a$ ,  $W_a$ ,  $R_a$

El parámetro 'altura media aritmética' es la media aritmética de los valores absolutos de las ordenadas. Se calcula según la fórmula (9).



$$R_a = \frac{1}{l_e} \int_0^{l_e} |z(x)| dx \quad (9)$$

#### 4.2.3 Altura media cuadrática

Pq, Wq, Rq

El parámetro 'altura media cuadrática' es la raíz cuadrada de la media aritmética de los cuadrados de los valores de las ordenadas. Se calcula según la fórmula (10).

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{l_e} \int_0^{l_e} z^2(x) dx} \quad (10)$$

#### 4.2.4 Asimetría

Psk, Wsk, Rsk

El parámetro 'asimetría' es el cociente entre el valor cúbico medio de los valores de las ordenadas y el cubo de Rq. Se calcula según la fórmula (11).

$$R_{sk} = \frac{1}{R_q^3} \frac{1}{l_e} \int_0^{l_e} z^3(x) dx \quad (11)$$

#### 4.2.5 Aplastamiento

Pku, Wku, Rku

El parámetro 'aplastamiento' es el cociente entre el valor cuadrático medio de los valores de las ordenadas y la cuarta potencia de Rq. Se calcula según la fórmula (12).

$$R_{ku} = \frac{1}{R_q^4} \frac{1}{l_e} \int_0^{l_e} z^4(x) dx \quad (12)$$

#### 4.2.6 Altura total

Pt, Wt, Rt

El parámetro 'altura total' es la suma de la mayor altura y la mayor profundidad. Se calcula según la fórmula (13).

$$R_t = \max_{x \in X} (z(x)) - \min_{x \in X} (z(x)) \quad (13)$$

donde

$$X = \{x \in \mathbf{R} \mid 0 \leq x \leq l_e\}$$

#### 4.2.7 Altura máxima por sección

$P_{zx}(l)$ ,  $W_{zx}(l)$ ,  $R_{zx}(l)$

El parámetro 'altura máxima por sección' es el valor máximo de la diferencia entre el mayor valor y el menor valor de ordenada, calculadas dentro de una sección de longitud  $l$  que se desplaza sobre la longitud de evaluación  $l_e$ . Se calcula según la fórmula (14). La especificación del valor de  $l$  no se requiere si se utiliza el valor por defecto.

$$R_{zx}(l) = \max_{l \leq x_0 \leq l_e} (\Delta z(x_0)) \quad \text{con} \quad \Delta z(x_0) = \max_{x \in X} (z(x)) - \min_{x \in X} (z(x)) \quad (14)$$

donde

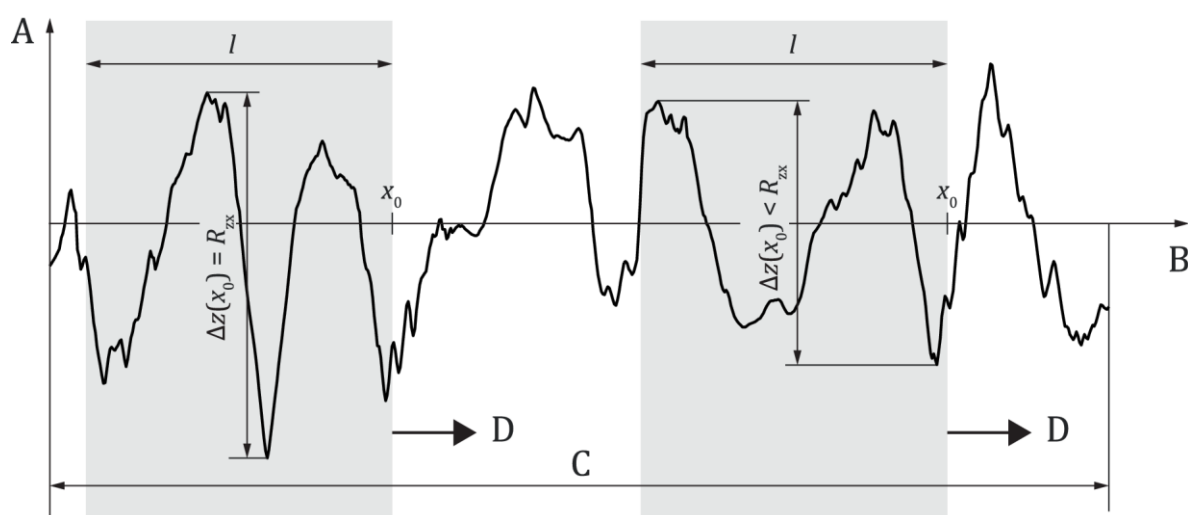
$x_0$  es la posición móvil del límite derecho de la sección considerada;

$\Delta z(x_0)$  es el valor máximo de la diferencia entre el mayor valor y el menor valor de ordenada, dentro de la sección considerada en la posición móvil  $x_0$ ;

$X = \{x \in \mathbf{R} \mid x_0 - l \leq x \leq x_0\}$  es el conjunto de valores  $x$  de la sección considerada, en la posición móvil  $x_0$ .

NOTA 1 Véase la figura 18.

NOTA 2 El valor por defecto de  $l$  para la sección móvil se encuentra en la tabla 7 de la Norma ISO 21920-3:2021.



Leyenda

A Altura

B Eje  $x$  (línea de referencia)

C Longitud de evaluación

D Sección móvil de longitud  $l$

**Figura 18 – Altura máxima por sección**

## 4.3 Parámetros de espaciamiento

### 4.3.1 Generalidades

Los parámetros de espaciamiento son un conjunto de parámetros basados en la relación espacial entre irregularidades geométricas.

### 4.3.2 Longitud de autocorrelación

Pal(s), Wal(s), Ral(s)

El parámetro 'longitud de autocorrelación' es la distancia horizontal en la que la función de autocorrelación  $f_{ACF}(t_x)$  decae a un valor especificado  $s$ , con  $0 \leq s < 1$ . Se calcula según la fórmula (15). La especificación del valor  $s$  no se requiere si se utiliza el valor por defecto.

$$R_{al}(s) = \min_{t_x \in T} (|t_x|) \quad (15)$$

donde

$$T = \{t_x \in \mathbf{R} \mid f_{ACF}(t_x) \leq s\}$$

NOTA 1 Véase el apartado 3.2.13 para la función de autocorrelación.

NOTA 2 El valor por defecto del decaimiento  $s$  se encuentra en la Norma ISO 21920-3.

### 4.3.3 Longitud de onda espacial dominante

Psw, Wsw, Rsw

El parámetro 'longitud de onda espacial dominante' es la longitud de onda que corresponde al mayor valor absoluto de la densidad espectral de amplitud. Se calcula según la fórmula (16).

$$R_{sw} = \frac{1}{\arg\max_p (f_{ASD}(p))} \quad (16)$$

NOTA 1 Véase el apartado 3.2.15 para la densidad espectral de amplitud.

NOTA 2 La longitud de onda espacial dominante puede no ser aplicable a perfiles sin fuerte periodicidad.

## 4.4 Parámetros híbridos

### 4.4.1 Generalidades

Los parámetros híbridos son un conjunto de parámetros basados en el gradiente local.

### 4.4.2 Gradiente cuadrático medio

Pdq, Wdq, Rdq

El parámetro 'gradiente cuadrático medio' es la raíz cuadrada de la media aritmética de los cuadrados del gradiente local de los valores de las ordenadas. Se calcula según la fórmula (17).

$$R_{dq} = \sqrt{\frac{1}{l_e} \int_0^{l_e} \left( \frac{dz(x)}{dx} \right)^2 dx} \quad (17)$$

#### 4.4.3 Media aritmética del gradiente absoluto

Pda, Wda, Rda

El parámetro 'media aritmética del gradiente absoluto' es la media aritmética de los valores absolutos del gradiente local de los valores de ordenada. Se calcula según la fórmula (18).

$$R_{da} = \frac{1}{l_e} \int_0^{l_e} \left| \frac{dz(x)}{dx} \right| dx \quad (18)$$

#### 4.4.4 Gradiente absoluto máximo

Pdt, Wdt, Rdt

El parámetro 'gradiente absoluto máximo' es el máximo de los valores absolutos del gradiente local de los valores de ordenada. Se calcula según la fórmula (19).

$$R_{dt} = \max_{x \in X} \left( \left| \frac{dz(x)}{dx} \right| \right) \quad (19)$$

donde

$$X = \{x \in \mathbf{R} \mid 0 \leq x \leq l_e\}$$

#### 4.4.5 Longitud desarrollada

Pdl, Wdl, Rdl

El parámetro 'longitud desarrollada' es la longitud de la trayectoria del perfil. Se calcula según la fórmula (20).

$$R_{dl} = \int_0^{l_e} \sqrt{1 + \left( \frac{dz(x)}{dx} \right)^2} dx \quad (20)$$

#### 4.4.6 Tasa de longitud desarrollada

Pdr, Wdr, Rdr

El parámetro 'tasa de longitud desarrollada' es el incremento fraccionario de la longitud de la trayectoria del perfil. Se calcula según la fórmula (21).

$$R_{dr} = \frac{R_{dl} - l_e}{l_e} \quad (21)$$

## 4.5 Funciones de tasa portante y parámetros relacionados

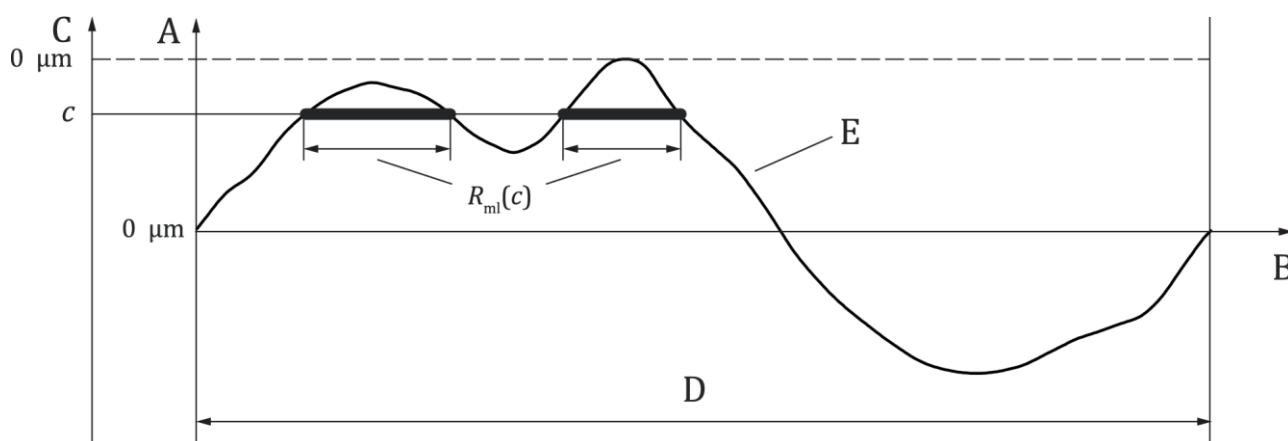
### 4.5.1 Funciones de tasa portante

#### 4.5.1.1 Longitud portante

$P_{ml}(c)$ ,  $W_{ml}(c)$ ,  $R_{ml}(c)$

La función 'longitud portante' es la longitud acumulada de porciones de perfil cortadas por una línea a un nivel  $c$ . La altura de referencia para el nivel  $c = 0 \mu\text{m}$  es la altura máxima del perfil de escala limitada dentro de la longitud de evaluación  $l_e$ .

NOTA Véase la figura 19.



Leyenda

- A Altura
- B Eje  $x$  (línea de referencia)
- C Eje para el nivel de corte  $c$
- D Longitud de evaluación
- E Perfil

**Figura 19 – Longitud portante**

#### 4.5.1.2 Tasa portante

$P_{mc}(c)$ ,  $W_{mc}(c)$ ,  $R_{mc}(c)$

La función 'tasa portante' es la relación entre el parámetro 'longitud portante' a un nivel de corte  $c$  dado y la longitud de evaluación  $l_e$ . Se calcula según la fórmula (22).

$$R_{mc}(c) = \frac{R_{ml}(c)}{l_e} \quad (22)$$

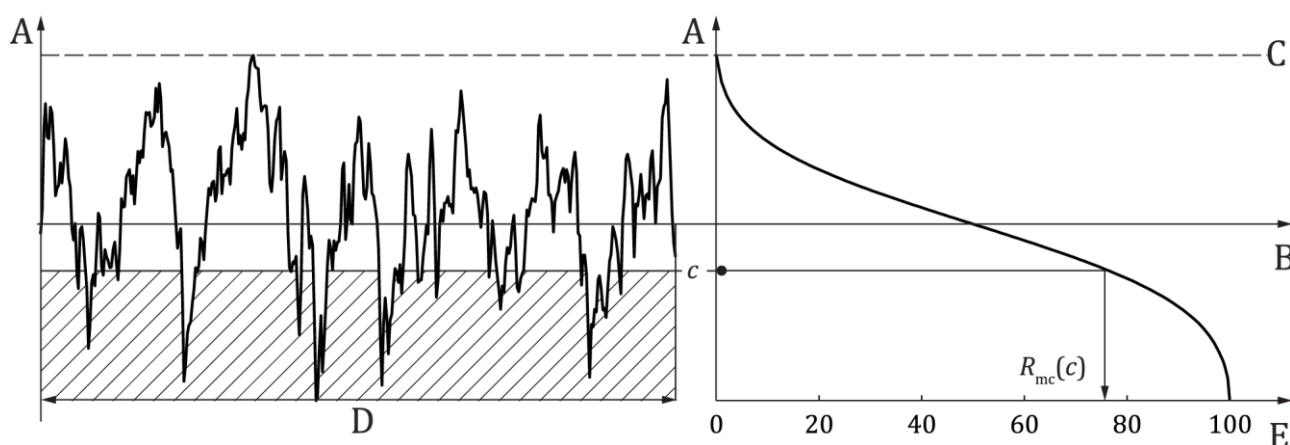
NOTA La tasa portante se expresa generalmente en porcentaje.

#### 4.5.1.3 Curva de tasa portante

La curva de tasa portante representa la tasa portante del perfil de escala limitada en función del nivel de corte  $c$ . La curva de tasa portante debe determinarse como se especifica en el anexo C.

NOTA 1 Véase la figura 20.

NOTA 2 La curva de tasa portante también se denomina curva de Abbott Firestone.



Leyenda

- A Altura
- B Eje  $x$  (línea de referencia)
- C Nivel  $c = 0 \mu\text{m}$
- D Longitud de evaluación
- E Tasa portante expresada en porcentaje

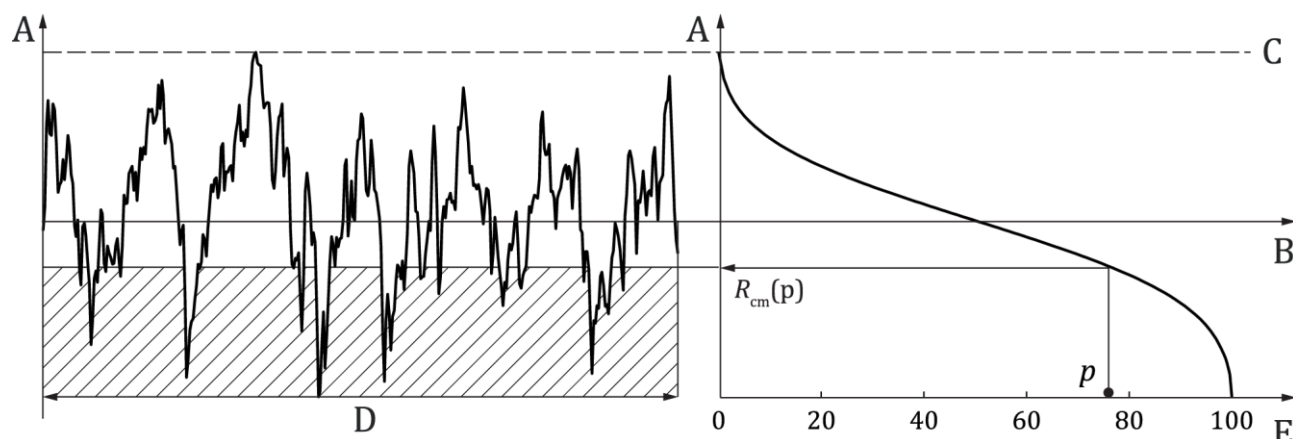
**Figura 20 – Curva de tasa portante de un perfil R**

#### 4.5.1.4 Altura de tasa de longitud portante

$P_{cm}(p)$ ,  $W_{cm}(p)$ ,  $R_{cm}(p)$

La función 'altura de tasa de longitud portante' es el nivel de corte que satisface una tasa portante  $p$  dada. La función 'altura de tasa de longitud portante' es  $0 \mu\text{m}$  para una tasa portante  $p = 0 \%$ . El nivel  $0 \mu\text{m}$  es la altura máxima del perfil de escala limitada, dentro de la longitud de evaluación  $l_e$ .

NOTA Véase la figura 21.



**Leyenda**

- A Altura
- B Eje x (línea de referencia)
- C Nivel 0  $\mu\text{m}$  para una tasa portante  $p = 0 \%$
- D Longitud de evaluación
- E Tasa portante expresada en porcentaje

**Figura 21 – Altura de tasa de longitud portante de un perfil R**

#### 4.5.1.5 Curva de tasa portante en forma de S

Una curva de tasa portante con un punto de inflexión, con tercera derivada negativa, se denomina curva en forma de S.

NOTA Véase la figura 20 para un ejemplo de curva de tasa portante en forma de S.

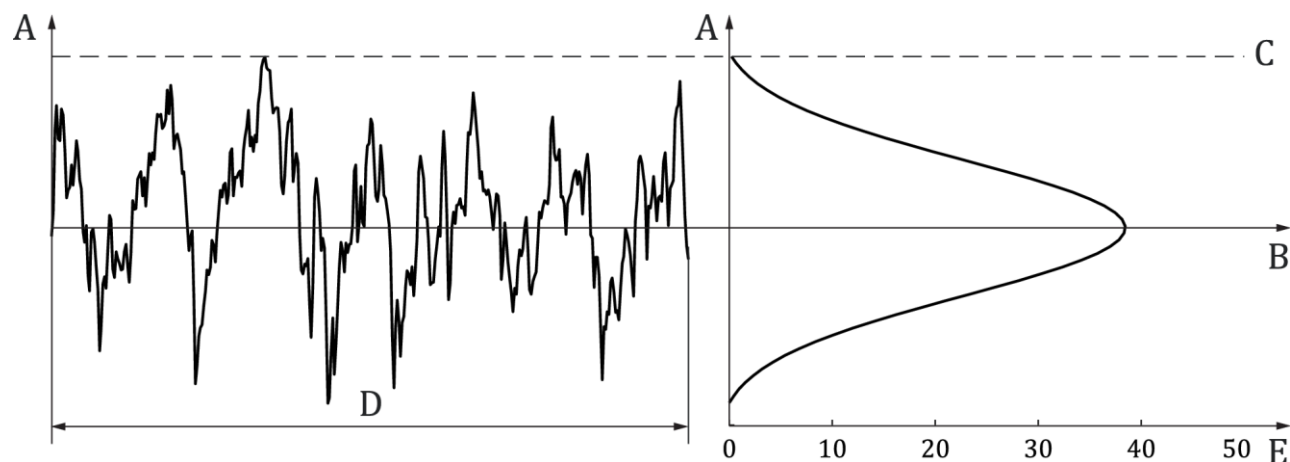
#### 4.5.1.6 Densidad de altura

$\text{Phd}(c)$ ,  $\text{Whd}(c)$ ,  $\text{Rhd}(c)$

La función 'densidad de altura' es la primera derivada de la 'altura de tasa de longitud portante'  $R_{mc}(c)$  a un nivel de corte dado  $c$ . Se calcula según la fórmula (23).

$$R_{hd}(c) = -\frac{dR_{mc}(c)}{dc} \quad (23)$$

NOTA Véase la figura 22.



#### Leyenda

- A Altura
- B Eje x (línea de referencia)
- C Nivel  $c = \mu\text{m}$
- D Longitud de evaluación
- E Densidad de altura expresada en porcentaje por unidad de amplitud

**Figura 22 – Densidad de altura de un perfil R**

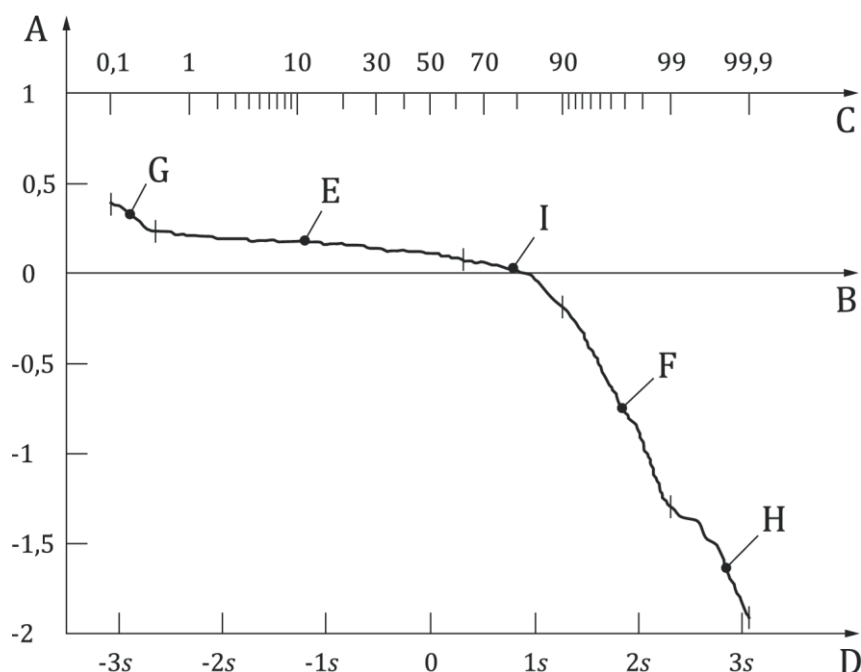
#### 4.5.1.7 Curva de probabilidad de longitud portante

La curva de probabilidad de longitud portante es una representación de la curva de tasa portante, en la que la tasa portante se expresa como probabilidad gaussiana, en valores de desviación típica, dibujada linealmente sobre el eje horizontal.

NOTA 1 Véase la figura 23.

NOTA 2 Esta escala se expresa linealmente en desviaciones típicas según la distribución gaussiana. En esta escala, la curva de tasa portante de una distribución gaussiana se convierte en una línea recta. Para superficies estratificadas compuestas por dos distribuciones gaussianas, por ejemplo, una superficie pulida como la mostrada en la figura 28, la curva de probabilidad de longitud portante mostrará dos regiones lineales (véanse leyendas E y F en la figura 23).





#### Leyenda

- A Altura
- B Línea de referencia
- C Tasa portante expresada como probabilidad gaussiana, en porcentaje
- D Tasa portante expresada como probabilidad gaussiana, en valores  $s$  de desviación típica
- E Meseta
- F Valle
- G Restos o colinas aisladas en los datos
- H Ranuras profundas o valles aislados en los datos
- I Región inestable (curvatura) en el punto de transición entre la meseta y el valle, resultante de la combinación de dos distribuciones

**Figura 23 – Curva de probabilidad de longitud portante**

#### 4.5.1.8 Volumen de material

$P_{vm}(p)$ ,  $W_{vm}(p)$ ,  $R_{vm}(p)$

La función 'volumen de material' es el volumen de material existente para una tasa portante  $p$ , determinado a partir de la curva de tasa portante. Se calcula según la fórmula (24).

$$R_{vm}(p) = K \int_0^p (R_{cm}(q) - R_{cm}(p)) dq \quad (24)$$

donde

$K$  es una constante para pasar a mililitros por metro cuadrado ( $ml/m^2$ ).

NOTA Véase la figura 24.

EJEMPLO  $K = 1/\mu\text{m}\cdot\text{ml}/\text{m}^2$  si la unidad del perfil de escala limitada es  $\mu\text{m}$ .

#### 4.5.1.9 Volumen de vacío

$P_{vv}(p)$ ,  $W_{vv}(p)$ ,  $R_{vv}(p)$

La función 'volumen de vacío' es el volumen de los vacíos existentes para una tasa portante  $p$ , determinado a partir de la curva de tasa portante. Se calcula según la fórmula (25).

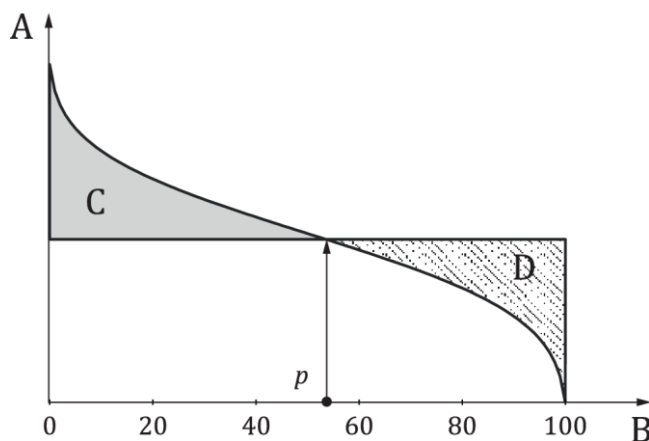
$$R_{vv}(p) = K \int_p^1 (R_{cm}(p) - R_{cm}(q)) dq \quad (25)$$

donde

$K$  es una constante para pasar a mililitros por metro cuadrado ( $\text{ml}/\text{m}^2$ ).

NOTA Véase la figura 24.

EJEMPLO  $K = 1/\mu\text{m}\cdot\text{ml}/\text{m}^2$  si la unidad del perfil de escala limitada es  $\mu\text{m}$ .



Leyenda

- A Altura
- B Tasa portante, expresada en porcentaje
- C Volumen de material
- D Volumen de vacío

**Figura 24 – Volumen de material y volumen de vacío**

#### 4.5.2 Parámetros de tasa portante

##### 4.5.2.1 Tasa portante relativa

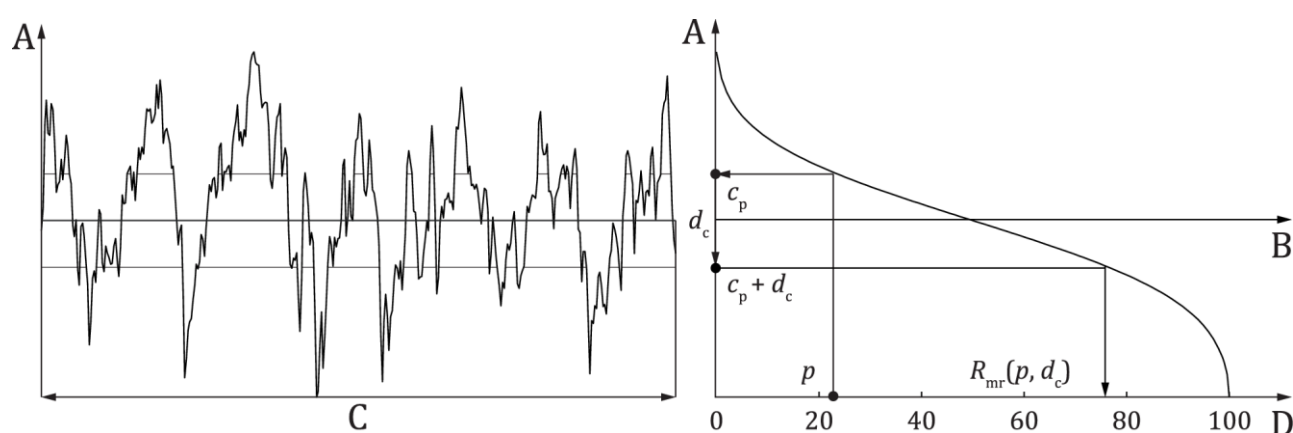
$P_{mr}(p, d_c)$ ,  $W_{mr}(p, d_c)$ ,  $R_{mr}(p, d_c)$

El parámetro 'tasa portante relativa' es la tasa portante determinada a un nivel  $c_p + d_c$  de corte, donde  $c_p$  es la altura de tasa de longitud portante a una tasa portante  $p$ , y  $d_c$  es un nivel relativo de corte. Se calcula según la fórmula (26). La especificación de la tasa portante  $p$  no se requiere si se utiliza el valor por defecto  $p = 0$  %.

$$R_{mr}(p, d_c) = R_{mc}(c_p + d_c) \quad \text{con} \quad c_p = R_{cm}(p) \quad (26)$$

NOTA 1 Véase la figura 25.

NOTA 2 Generalmente se aplica  $d_c < 0$ .



Leyenda

- A Altura
- B Eje x (línea de referencia)
- C Longitud de evaluación
- D Tasa portante expresada en porcentaje

**Figura 25 – Tasa portante relativa de un perfil R ( $d_c < 0$ )**

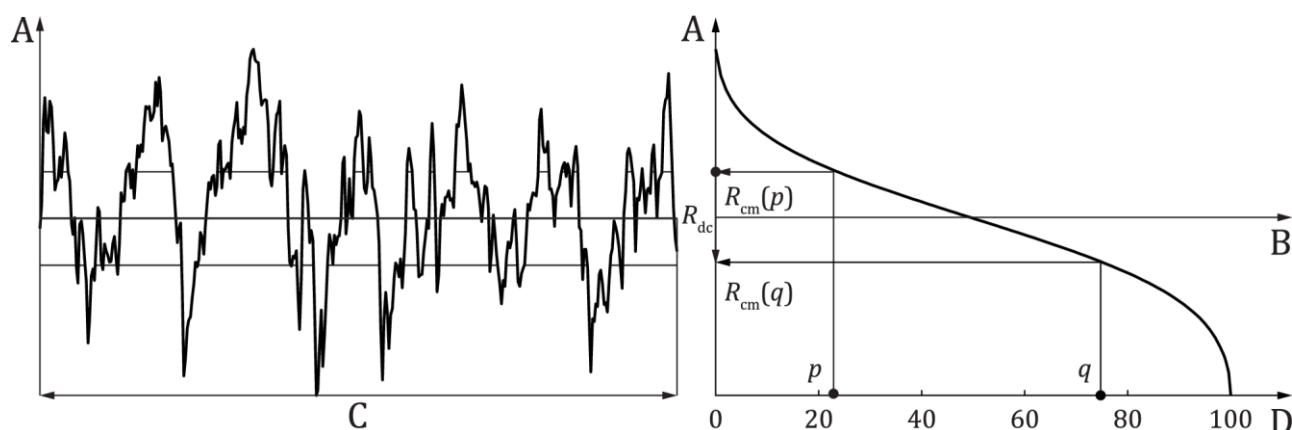
#### 4.5.2.2 Diferencia de altura de la tasa portante

$Pdc(p, q)$ ,  $Wdc(p, q)$ ,  $Rdc(p, q)$

El parámetro 'diferencia de altura de la tasa portante' es la diferencia entre dos niveles de corte,  $p$  y  $q$ , de una tasa portante dada. Se calcula según la fórmula (27). La especificación de la tasa portante  $p$  no se requiere si se utiliza el valor por defecto  $p = 0$  %.

$$R_{dc}(p, q) = R_{cm}(q) - R_{cm}(p), \quad p \leq q \quad (27)$$

NOTA Véase la figura 26.



Leyenda

A Altura

B Eje x (línea de referencia)

C Longitud de evaluación

D Tasa portante, expresada en porcentaje

**Figura 26 – Diferencia de altura de la tasa portante de un perfil R**

### 4.5.3 Parámetros para superficies estratificadas utilizando la curva de tasa portante

#### 4.5.3.1 Generalidades

Los parámetros definidos en este apartado representan la tasa portante de superficies estratificadas en función de la altura del perfil de escala limitada.

NOTA 1 Una superficie estratificada se caracteriza porque presenta diferentes propiedades estadísticas dependiendo de la altura del perfil. Por ejemplo, dos procesos secuenciales diferentes de mecanizado pueden conducir a una superficie estratificada<sup>[15]</sup>.

NOTA 2 En la mayoría de los casos, la curva de tasa portante para el perfil W no cumple el requisito de la curva en forma de S, es decir, los parámetros se definen únicamente para los perfiles P y R.

#### 4.5.3.2 Perfil del núcleo

El 'perfil del núcleo' es un perfil de escala limitada, del que se han excluido las colinas y los valles sobresalientes.

NOTA Véase la figura 27.

#### 4.5.3.3 Altura del núcleo

$P_k$ ,  $R_k$

El parámetro 'altura del núcleo' es la distancia entre los niveles más alto y más bajo del perfil del núcleo. El parámetro 'altura del núcleo' debe determinarse como se especifica en el anexo D.

NOTA Véase la figura 27 para una visualización de  $R_k$ .

#### 4.5.3.4 Altura de pico reducida

$P_{pk}$ ,  $R_{pk}$

El parámetro 'altura de pico reducida' es la altura de los picos que sobresalen por encima del perfil del núcleo después del proceso de reducción. El parámetro 'altura de pico reducida' debe determinarse como se especifica en el anexo D.

NOTA 1 Véase la figura 27 para una visualización de Rpk.

NOTA 2 El proceso de reducción definido en el anexo D reduce el efecto de los valores aberrantes sobre este parámetro.

#### 4.5.3.5 Profundidad de hoyo reducida

Pvk, Rvk

El parámetro 'profundidad de hoyo reducida' es la profundidad de los hoyos que sobresalen por debajo del perfil del núcleo después del proceso de reducción. El parámetro 'profundidad de hoyo reducida' debe determinarse como se especifica en el anexo D.

NOTA 1 Véase la figura 27 para una visualización de Rvk.

NOTA 2 El proceso de reducción definido en el anexo D reduce el efecto de los valores aberrantes sobre este parámetro.

#### 4.5.3.6 Altura de pico máxima

Ppkx, Rpkx

<tasa portante>

El parámetro 'altura de pico máxima' es la altura máxima de los picos que sobresalen por encima del perfil del núcleo antes del proceso de reducción. El parámetro 'altura de pico máxima' debe determinarse como se especifica en el anexo D.

NOTA Véase la figura 27 para una visualización de Rpkx.

#### 4.5.3.7 Profundidad de hoyo máxima

Pvkx, Rvkx

<tasa portante>

El parámetro 'profundidad de hoyo máxima' es la máxima profundidad de los hoyos que sobresalen por debajo del perfil del núcleo antes del proceso de reducción. El parámetro 'profundidad de hoyo máxima' debe determinarse como se especifica en el anexo D.

NOTA Véase la figura 27 para una visualización de Rvkx.

#### 4.5.3.8 Tasa portante de colinas

Pmrk1, Rmrk1

El parámetro 'tasa portante de colinas' es la tasa portante a la altura del corte que separa las colinas que sobresalen del perfil del núcleo. El parámetro 'tasa portante de colinas' debe determinarse como se especifica en el anexo D.

NOTA Pmrk1 y Rmrk1 se expresan generalmente en porcentaje.



## 4.5.4 Parámetros para superficies estratificadas utilizando la curva de probabilidad de longitud portante

### 4.5.4.1 Generalidades

Los parámetros definidos en este apartado representan la probabilidad de longitud portante de superficies estratificadas en función de la altura del perfil de escala limitada.

NOTA 1 Una superficie estratificada se caracteriza porque presenta diferentes propiedades estadísticas dependiendo de la altura del perfil. Por ejemplo, dos procesos secuenciales diferentes de mecanizado pueden conducir a una superficie estratificada<sup>[15]</sup>.

NOTA 2 Los parámetros de este apartado se definen solo si la superficie estratificada está caracterizada por dos componentes estadísticas verticales. El perfil W no puede caracterizarse, frecuentemente, por dos componentes estadísticas verticales debido a su componente de larga escala, es decir, que los parámetros de este apartado solo se definen para los perfiles P y R.

### 4.5.4.2 Desviación cuadrática media de la meseta

Ppq, Rpq

El parámetro 'desviación cuadrática media de la meseta' es la pendiente de la regresión lineal efectuada sobre la región de la meseta. El parámetro 'desviación cuadrática media de la meseta' debe determinarse como se especifica en el anexo D.

NOTA 1 Véase la figura 28.

NOTA 2 Ppq y Rpq pueden interpretarse entonces como los valores Pq y Rq, respectivamente, del proceso aleatorio que generó la componente meseta del perfil.

### 4.5.4.3 Desviación cuadrática media de valle

Pvq, Rvq

El parámetro 'desviación cuadrática media de valle' es la pendiente de la regresión lineal efectuada sobre la región del valle. El parámetro 'desviación cuadrática media de valle' debe determinarse como se especifica en el anexo D.

NOTA 1 Véase la figura 28.

NOTA 2 Pvq y Rvq pueden interpretarse entonces como los valores Pq y Rq respectivamente, del proceso aleatorio que generó la componente valle del perfil.

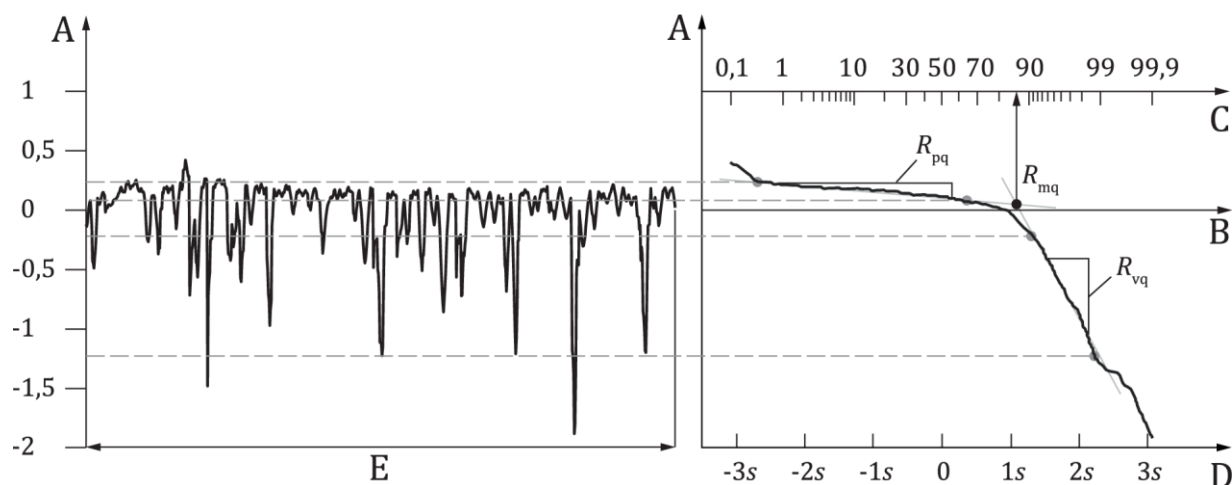
### 4.5.4.4 Tasa portante en el punto de transición de meseta a valle

Pmq, Rmq

El parámetro 'tasa portante en el punto de transición de meseta a valle' es la tasa portante en el punto de intersección de la regresión lineal efectuada sobre la región de la colina y la regresión lineal efectuada sobre la región del valle. El parámetro 'tasa portante en el punto de transición de meseta a valle' debe determinarse como se especifica en el anexo D.

NOTA 1 Véase la figura 28.

NOTA 2 Tasa portante expresada en porcentaje.



## Leyenda

- A Altura
- B Eje x (línea de referencia)
- C Tasa portante expresada como probabilidad gaussiana, en porcentaje
- D Tasa portante expresada como probabilidad gaussiana, en valores de desviación típica  $s$
- E Longitud de evaluación

**Figura 28 – Perfil con su curva de probabilidad de longitud portante correspondiente y las regiones utilizadas en la definición de los parámetros  $R_{mq}$ ,  $R_{pq}$  y  $R_{vq}$**

#### 4.5.5 Parámetros de volumen

##### 4.5.5.1 Generalidades

Para superficies anisótropas, el volumen de material o el volumen de vacío de una superficie, a una tasa portante  $p$  dada, puede estimarse utilizando una traza de perfil de la superficie. Por ejemplo, los parámetros de volumen de área y de perfil de una superficie torneada están fuertemente correlacionados.

##### 4.5.5.2 Volumen de material de colina

$P_{vmp}(p)$ ,  $W_{vmp}(p)$ ,  $R_{vmp}(p)$

El parámetro 'volumen de material de colina' es el volumen de material para la tasa portante  $p$ . Se calcula según la fórmula (28). La especificación de la tasa portante  $p$  no se requiere si se utiliza el valor por defecto.

$$R_{vmp}(p) = R_{vm}(p) \quad (28)$$

NOTA 1 Véase la figura 29.

NOTA 2 El valor por defecto para  $p$  se encuentra en la Norma ISO 21920-3.



#### 4.5.5.3 Volumen de material del núcleo

$P_{vmc}(p,q)$ ,  $W_{vmc}(p,q)$ ,  $R_{vmc}(p,q)$

El parámetro 'volumen de material del núcleo' es la diferencia en volumen de material entre las tasas portante  $p$  y  $q$ . Se calcula según la fórmula (29). La especificación de las tasas portante  $p$  y  $q$  no se requiere si se utilizan los valores por defecto.

$$R_{vmc}(p,q) = R_{vm}(q) - R_{vm}(p), \quad p \leq q \quad (29)$$

NOTA 1 Véase la figura 29.

NOTA 2 Los valores por defecto para  $p$  y  $q$  se encuentran en la Norma ISO 21920-3.

#### 4.5.5.4 Volumen de vacío del núcleo

$P_{vvc}(p,q)$ ,  $W_{vvc}(p,q)$ ,  $R_{vvc}(p,q)$

El parámetro 'volumen de vacío del núcleo' es la diferencia de volumen de vacío entre las tasas portante  $p$  y  $q$ . Se calcula según la fórmula (30). La especificación de las tasas portantes  $p$  y  $q$  no se requiere si se utilizan los valores por defecto.

$$R_{vvc}(p,q) = R_{vv}(p) - R_{vv}(q), \quad p \leq q \quad (30)$$

NOTA 1 Véase la figura 29.

NOTA 2 Los valores por defecto para  $p$  y  $q$  se encuentran en la Norma ISO 21920-3.

#### 4.5.5.5 Volumen de vacío de los valles

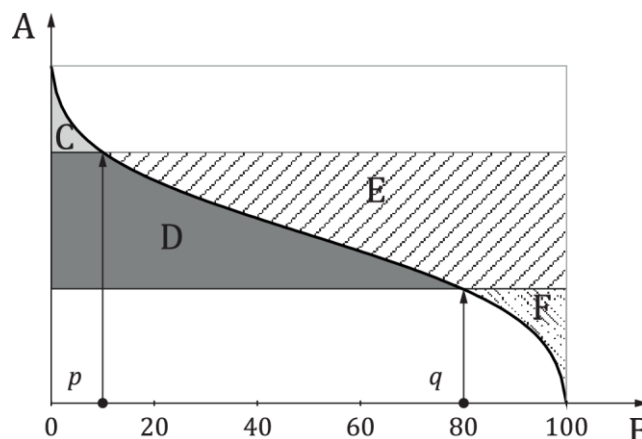
$P_{vvv}(q)$ ,  $W_{vvv}(q)$ ,  $R_{vvv}(q)$

El parámetro 'volumen de vacío de los valles' es el volumen del valle para la tasa portante  $q$ . Se calcula según la fórmula (31). La especificación de la tasa portante  $q$  no se requiere si se utiliza el valor por defecto.

$$R_{vvv}(q) = R_{vv}(q) \quad (31)$$

NOTA 1 Véase la figura 29.

NOTA 2 El valor por defecto para  $q$  se encuentra en la Norma ISO 21920-3.



#### Leyenda

- A Altura
- B Tasa portante, expresada en porcentaje
- C Volumen de material de colina
- D Volumen de material del núcleo
- E Volumen de vacío del núcleo
- F Volumen de vacío de los valles

**Figura 29 – Parámetros de volumen de vacío y volumen de material**

## 5 Parámetros de elementos

### 5.1 Parámetros basados en la altura de picos y la profundidad de hoyos

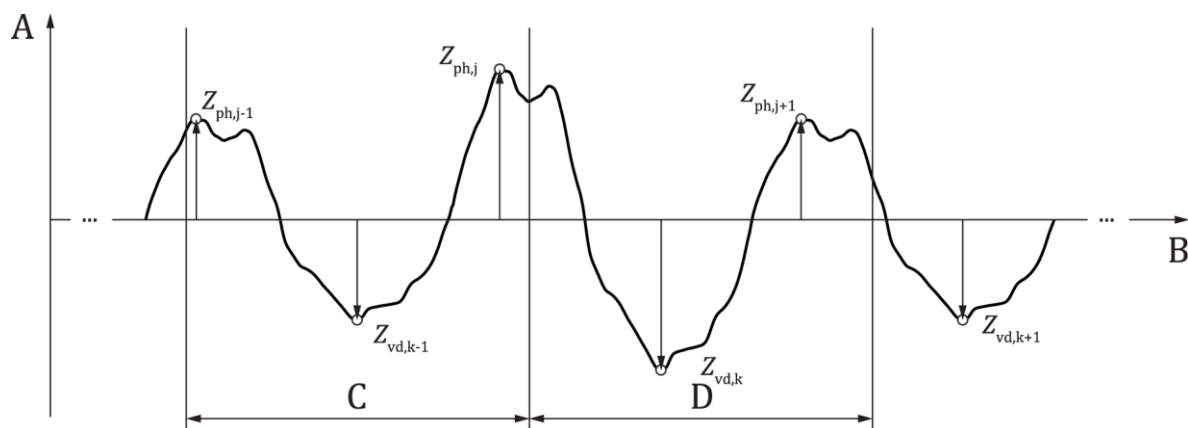
#### 5.1.1 Generalidades

Los parámetros basados en la altura de picos y la profundidad de hoyos están relacionados con la longitud de sección  $l_{sc}$  de un perfil de escala limitada. Por ello, los parámetros de elementos del apartado 5.1 se clasifican como parámetros de longitud de sección. El cálculo de las colinas y valles asociados se realiza observando simplemente los cambios de signo de los valores de la ordenada (véanse 3.3.11 y 3.3.17) sin ninguna discriminación de altura (véase 3.3.31). Para los parámetros definidos en este apartado, se utiliza la siguiente notación:

- $n_p$  es el número de picos dentro de la longitud de evaluación (véase 3.3.6);
- $n_v$  es el número de hoyos dentro de la longitud de evaluación (véase 3.3.9);
- $n_{sc}$  es el número de secciones dentro de la longitud de evaluación (véase 3.1.18);
- $l_{sc}$  es la longitud de sección (véase 3.1.17);
- $Z_{ph,j}$  es la altura de pico (véase 3.3.15) del pico  $j$ -ésimo;
- $Z_{vd,j}$  es la profundidad de hoyo (véase 3.3.21) del hoyo  $j$ -ésimo.

La porción positiva o negativa del perfil evaluado, al comienzo o al final de la longitud de evaluación, debe considerarse siempre como colina o como valle.

NOTA Las definiciones de los parámetros dadas en los apartados 5.1.3, 5.1.5 y 5.1.6 contienen expresiones matemáticas de la forma  $N_i = \{j = 1, 2, \dots, n_p \mid (i-1) l_{sc} \leq x_j < i l_{sc}\}$  con  $i = 1, 2, \dots, n_{sc}$ . Este ejemplo de expresión para  $N_i$  puede entenderse como sigue: A los picos de las colinas encontradas dentro de la longitud de evaluación se les asigna una identificación ID única, desde 1 a  $n_p$ . Esta lista de ID de picos es  $j = 1, 2, \dots, n_p$ . Cada pico tiene una posición lateral asociada  $x_j$ .  $N_i$  es un subconjunto de la lista de ID de picos que contiene solo los picos con una posición lateral  $x_j$  que se encuentran dentro de la  $i$ -ésima longitud de sección, a partir del extremo izquierdo de la longitud de evaluación (véase figura 30). La misma notación se aplica a los hoyos de los valles.



Leyenda

- A Altura
- B Eje x (línea de referencia)
- C  $(i-1)$ -ésima longitud de sección
- D  $i$ -ésima longitud de sección

**Figura 30 – Atribución de picos y hoyos a la longitud de sección**

### 5.1.2 Altura de pico máxima

Ppt, Wpt, Rpt

El parámetro 'altura de pico máxima' es la mayor altura de pico de todas las longitudes de sección. Se calcula según la fórmula (32).

$$R_{pt} = \max_{j=1, \dots, n_p} (Z_{ph,j}) \quad (32)$$

NOTA Ppt, Wpt o Rpt es cero si no existe perfil de colinas.

### 5.1.3 Altura de pico media

Pp, Wp, Rp

El parámetro 'altura de pico media' es el valor medio de las mayores alturas de pico de cada longitud de sección, considerando todas las longitudes de sección. Se calcula según la fórmula (33).

$$R_p = \frac{1}{n_{sc}} \sum_{i=1}^{n_{sc}} \max_{j \in N_i} (Z_{ph,j}) \quad (33)$$

donde

$$N_i = \{j = 1, 2, \dots, n_p \mid (i-1) l_{sc} \leq x_j < i l_{sc}\}$$

$x_j$  es la posición del pico  $j$ -ésimo de perfil sobre el eje  $x$ .

NOTA  $P_p$ ,  $W_p$  o  $R_p$  es cero si no existe perfil de colinas.

#### 5.1.4 Profundidad de hoyo máxima

$P_{vt}$ ,  $W_{vt}$ ,  $R_{vt}$

El parámetro 'profundidad de hoyo máxima' es la mayor profundidad de hoyo de todas las longitudes de sección. Se calcula según la fórmula (34).

$$R_{vt} = \max_{j=1, \dots, n_v} (Z_{vd,j}) \quad (34)$$

NOTA  $P_{vt}$ ,  $W_{vt}$  o  $R_{vt}$  es cero si no existe perfil de valles.

#### 5.1.5 Profundidad de hoyo media

$P_v$ ,  $W_v$ ,  $R_v$

El parámetro 'profundidad de hoyo media' es el valor medio de las mayores profundidades de hoyo de cada longitud de sección, considerando todas las longitudes de sección. Se calcula según la fórmula (35).

$$R_v = \frac{1}{n_{sc}} \sum_{i=1}^{n_{sc}} \max_{j \in N_i} (Z_{vd,j}) \quad (35)$$

donde

$$N_i = \{j = 1, 2, \dots, n_v \mid (i-1) l_{sc} \leq x_j < i l_{sc}\}$$

$x_j$  es la posición del hoyo  $j$ -ésimo de perfil sobre el eje  $x$ .

NOTA  $P_v$ ,  $W_v$  o  $R_v$  es cero si no existe perfil de valles.

#### 5.1.6 Altura máxima

$P_z$ ,  $W_z$ ,  $R_z$

El parámetro 'altura máxima' es el valor medio de la suma de la mayor altura de pico y la mayor profundidad de hoyo de cada sección, considerando todas las longitudes de sección. Se calcula según la fórmula (36).

$$R_z = \frac{1}{n_{sc}} \sum_{i=1}^{n_{sc}} \left( \max_{j \in N_{p,i}} (Z_{ph,j}) + \max_{k \in N_{v,i}} (Z_{vd,k}) \right) \quad (36)$$

donde

$$N_{p,i} = \{j = 1, 2, \dots, n_p \mid (i-1) l_{sc} \leq x_j < i l_{sc}\}$$

$$N_{v,i} = \{k = 1, 2, \dots, n_v \mid (i-1) l_{sc} \leq x_k < i l_{sc}\}$$

$x_j$  es la posición del pico  $j$ -ésimo de perfil sobre el eje  $x$ ;

$x_k$  es la posición del hoyo  $k$ -ésimo de perfil sobre el eje  $x$ .

NOTA Pz, Wz o Rz es cero si no existe perfil de colinas ni de valles.

## 5.2 Parámetros basados en elementos de perfil

### 5.2.1 Generalidades

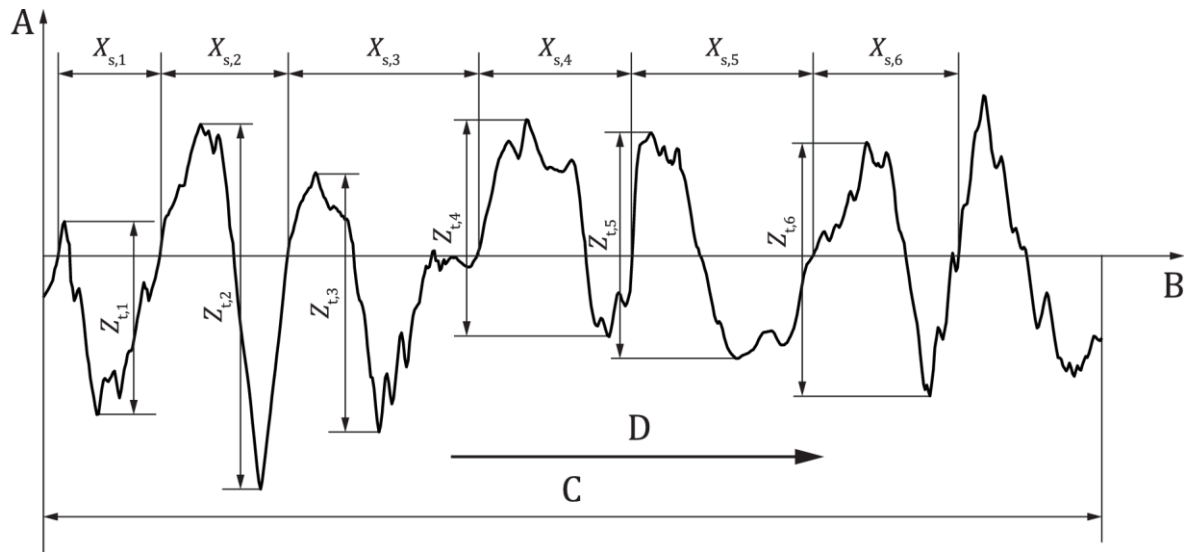
Los elementos de perfil se determinan utilizando la segmentación por cruce de línea (véase el anexo E) en conjunción con la discriminación de altura. Los elementos de perfil se evalúan desde el comienzo hasta el final de la longitud de evaluación, y viceversa, como muestran las figuras 31 y 32, calculando el valor medio. Para los parámetros definidos en este apartado, se utilizan las siguientes definiciones:

- $n_{pe}$  es el número total de elementos de perfil;
- $Z_{t,i}$  es la altura del  $i$ -ésimo elemento de perfil (véase 3.3.33);
- $X_{s,i}$  es el espaciamiento del  $i$ -ésimo elemento de perfil (véase 3.3.34).

La altura  $Z_t$  y el espaciamiento  $X_s$  del elemento de perfil deben determinarse como se especifica en el anexo E.

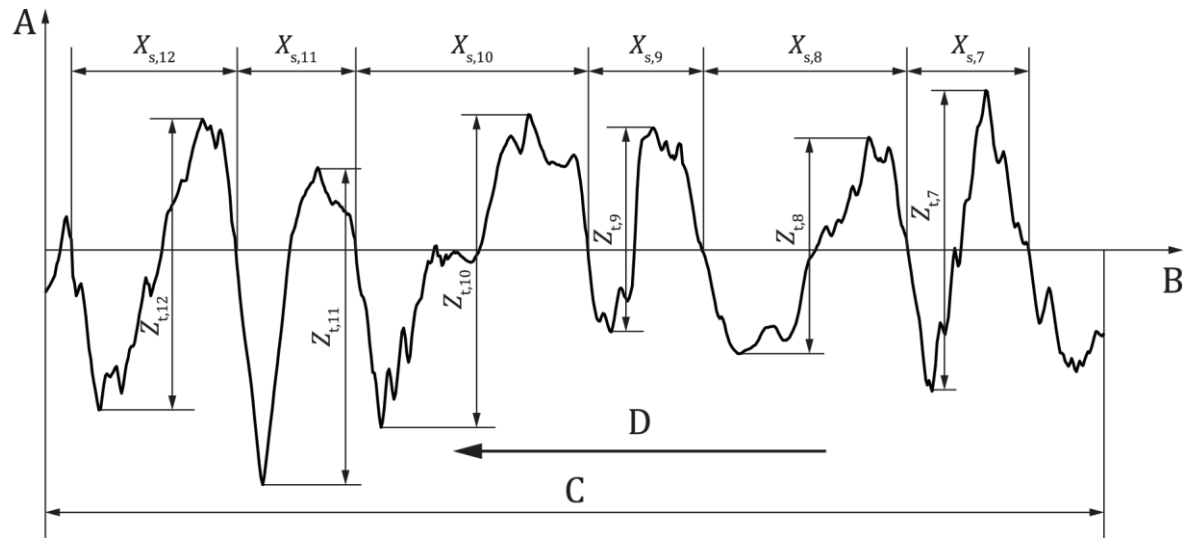
NOTA 1 Salvo que se indique lo contrario, los valores por defecto para la discriminación de la altura de pico y de la profundidad de hoyo se encuentran en el apartado 5.5 de la Norma ISO 21920-3:2021 (véase también el anexo E).

NOTA 2 Los parámetros se determinan sin discriminación por espaciamiento. Véase la referencia [20] para más detalles.



- Leyenda
- A Altura
  - B Eje x (línea de referencia)
  - C Longitud de evaluación
  - D Dirección de la evaluación

**Figura 31 – Determinación de elementos de perfil desde el comienzo hasta el final**



- Leyenda
- A Altura
  - B Eje x (línea de referencia)
  - C Longitud de evaluación
  - D Dirección de la evaluación

**Figura 32 – Determinación de elementos de perfil desde el final hasta el comienzo**

### 5.2.2 Espaciamiento medio del elemento de perfil

Psm, Wsm, Rsm

El parámetro 'espaciamiento medio del elemento de perfil' es el valor medio de los espaciamentos  $X_s$  del elemento de perfil. Se calcula según la fórmula (37).

$$R_{sm} = \frac{1}{n_{pe}} \sum_{i=1}^{n_{pe}} X_{s,i} \quad (37)$$

### 5.2.3 Espaciamiento máximo del elemento de perfil

Psmx, Wsmx, Rsmx

El parámetro 'espaciamiento máximo del elemento de perfil' es el valor máximo de los espaciamentos  $X_s$  del elemento de perfil. Se calcula según la fórmula (38).

$$R_{smx} = \max_{i=1, \dots, n_{pe}} X_{s,i} \quad (38)$$

### 5.2.4 Desviación típica de los espaciamentos del elemento de perfil

Psmq, Wsmq, Rsmq

El parámetro 'desviación típica de los espaciamentos del elemento de perfil' es la desviación típica de los espaciamentos  $X_s$  del elemento de perfil. Se calcula según la fórmula (39).

$$R_{smq} = \sqrt{\frac{1}{n_{pe}-1} \cdot \sum_{i=1}^{n_{pe}} (X_{s,i} - R_{sm})^2}, \quad n_{pe} > 1 \quad (39)$$

### 5.2.5 Altura media del elemento de perfil

Pc, Wc, Rc

El parámetro 'altura media del elemento de perfil' es el valor medio de las alturas  $Z_t$  del elemento de perfil. Se calcula según la fórmula (40).

$$R_c = \frac{1}{n_{pe}} \cdot \sum_{i=1}^{n_{pe}} Z_{t,i} \quad (40)$$

### 5.2.6 Altura máxima del elemento de perfil

Pcx, Wcx, Rcx

El parámetro 'altura máxima del elemento de perfil' es el valor máximo de las alturas  $Z_t$  del elemento de perfil. Se calcula según la fórmula (41).

$$R_{cx} = \max_{i=1, \dots, n_{pe}} Z_{t,i} \quad (41)$$

### 5.2.7 Desviación típica de las alturas del elemento de perfil

Pcq, Wcq, Rcq

El parámetro 'desviación típica de las alturas del elemento de perfil' es la desviación típica las alturas  $Z_t$  del elemento de perfil. Se calcula según la fórmula (42).

$$R_{cq} = \sqrt{\frac{1}{n_{pe} - 1} \cdot \sum_{i=1}^{n_{pe}} (Z_{t,i} - R_c)^2}, \quad n_{pe} > 1 \quad (42)$$

### 5.2.8 Número de picos

Ppc, Wpc, Rpc

El parámetro 'número de picos' es el número de espaciamentos medios de elementos de perfil por unidad de longitud  $L$ . Se calcula según la fórmula (43) con el espaciamiento medio del elemento de perfil  $R_{sm}$  (véase 5.2.2).

$$R_{pc} = \frac{L}{R_{sm}} \quad (43)$$

NOTA La unidad de longitud por defecto  $L$  y el nivel de discriminación de altura para determinar  $P_{sm}$ ,  $W_{sm}$  o  $R_{sm}$  pueden encontrarse en el apartado 5.5 de la Norma ISO 21920-3:2021.

## 5.3 Parámetros basados en la caracterización del elemento

### 5.3.1 Generalidades

Los parámetros definidos en este apartado se determinan utilizando la segmentación por vertientes sobre la longitud de evaluación  $l_e$ . El método de caracterización del elemento debe realizarse como se especifica en el anexo F.

### 5.3.2 Parámetros de elementos designados

#### 5.3.2.1 Densidad de picos

Ppd, Wpd, Rpd

El parámetro 'densidad de picos' es el número de picos por unidad de longitud. Corresponde a la siguiente especificación de elemento:

Rpd = FC; P; Wolfprune X; All; Count; Density

NOTA Si no se indica lo contrario, el valor por defecto de  $x$ , expresado en porcentaje, se encuentra en el apartado 5.5 de la Norma ISO 21920-3:2021.



### 5.3.2.2 Densidad de hoyos

Pvd, Wvd, Rvd

El parámetro 'densidad de hoyos' es el número de hoyos por unidad de longitud. Corresponde a la siguiente especificación de elemento:

$Rvd = FC; V; \text{Wolfprune } X; \text{All; Count; Density}$

NOTA Si no se indica lo contrario, el valor por defecto de  $x$ , expresado en porcentaje, se encuentra en el apartado 5.5 de la Norma ISO 21920-3:2021.

### 5.3.2.3 Curvatura media de los picos

Pmpc, Wmpc, Rmpc

El parámetro 'curvatura media de los picos' es la media aritmética de la curvatura media local de los picos. Corresponde a la siguiente especificación de elemento:

$Rmpc = FC; P; \text{Wolfprune } X; \text{All; Curvature; Mean}$

NOTA Si no se indica lo contrario, el valor por defecto de  $x$ , expresado en porcentaje, se encuentra en el apartado 5.5 de la Norma ISO 21920-3:2021.

### 5.3.2.4 Curvatura media de los hoyos

Pmvc, Wmvc, Rmvc

El parámetro 'curvatura media de los hoyos' es la media aritmética de la curvatura media local de los hoyos. Corresponde a la siguiente especificación de elemento:

$Rmvc = FC; V; \text{Wolfprune } X; \text{All; Curvature; Mean}$

NOTA Si no se indica lo contrario, el valor por defecto de  $x$ , expresado en porcentaje, se encuentra en el apartado 5.5 de la Norma ISO 21920-3:2021.

### 5.3.2.5 Altura sobre cinco picos

P5p, W5p, R5p

El parámetro 'altura sobre cinco picos' es la media aritmética de las cinco mayores alturas de pico. Corresponde a la siguiente especificación de elemento:

$R5p = FC; P; \text{Wolfprune } X; \text{Top 5; PVh; Mean}$

NOTA Si no se indica lo contrario, el valor por defecto de  $x$ , expresado en porcentaje, se encuentra en el apartado 5.5 de la Norma ISO 21920-3:2021.

### 5.3.2.6 Profundidad sobre cinco hoyos

P5v, W5v, R5v

El parámetro 'profundidad sobre cinco hoyos' es la media aritmética de las cinco mayores profundidades de hoyo. Corresponde a la siguiente especificación de elemento:

$R_{5v} = FC; V; \text{Wolfprune } X; \text{Bot } 5; PVh; \text{Mean}$

NOTA Si no se indica lo contrario, el valor por defecto de  $x$ , expresado en porcentaje, se encuentra en el apartado 5.5 de la Norma ISO 21920-3:2021.

### 5.3.2.7 Altura sobre diez puntos

$P_{10z}, W_{10z}, R_{10z}$

El parámetro 'altura sobre diez puntos' es la suma de la altura sobre cinco picos y de la profundidad sobre cinco hoyos. Se calcula según la fórmula (44).

$$R_{10z} = R_{5p} + R_{5v} \quad (44)$$

## Anexo A (Informativo)

### Determinación de la primera y segunda derivadas

#### A.1 Generalidades

La determinación de la primera y segunda derivadas se aplicará a un perfil uniformemente muestreado con la distancia de muestreo  $\Delta x = l/n$ , donde  $l$  es una longitud dada y  $n$  el número de muestras. Cada muestra se expresa por  $z_i = z(x_i)$  con  $x_i = i \Delta x$  e  $i=0,1,2,\dots,n-1$ .

#### A.2 Estimación de la primera derivada (gradiente local)

##### A.2.1 Polinomio de sexto grado

Región interior del perfil  $3 \leq i \leq n-4$ , véase la fórmula (A.1):

$$\left. \frac{dz(x)}{dx} \right|_{x=x_i} \approx \frac{(-z_{i-3} + 9z_{i-2} - 45z_{i-1} + 45z_{i+1} - 9z_{i+2} + z_{i+3})}{60\Delta x} \quad (\text{A.1})$$

Límite izquierdo del perfil ( $i = 0, 1, 2$ ), véanse las fórmulas (A.2) a (A.4):

$$\left. \frac{dz(x)}{dx} \right|_{x=x_0} \approx \frac{(-147z_0 + 360z_1 - 450z_2 + 400z_3 - 225z_4 + 72z_5 - 10z_6)}{60\Delta x} \quad (\text{A.2})$$

$$\left. \frac{dz(x)}{dx} \right|_{x=x_1} \approx \frac{(-10z_0 - 77z_1 + 150z_2 - 100z_3 + 50z_4 - 15z_5 + 2z_6)}{60\Delta x} \quad (\text{A.3})$$

$$\left. \frac{dz(x)}{dx} \right|_{x=x_2} \approx \frac{(2z_0 - 24z_1 - 35z_2 + 80z_3 - 30z_4 + 8z_5 - z_6)}{60\Delta x} \quad (\text{A.4})$$

Límite derecho del perfil ( $i = n-3, n-2, n-1$ ), véanse las fórmulas (A.5) a (A.7):

$$\left. \frac{dz(x)}{dx} \right|_{x=x_{n-3}} \approx \frac{(z_{n-7} - 8z_{n-6} + 30z_{n-5} - 80z_{n-4} + 35z_{n-3} + 24z_{n-2} - 2z_{n-1})}{60\Delta x} \quad (\text{A.5})$$

$$\left. \frac{dz(x)}{dx} \right|_{x=x_{n-2}} \approx \frac{(-2z_{n-7} + 15z_{n-6} - 50z_{n-5} + 100z_{n-4} - 150z_{n-3} + 77z_{n-2} + 10z_{n-1})}{60\Delta x} \quad (\text{A.6})$$

$$\left. \frac{dz(x)}{dx} \right|_{x=x_{n-1}} \approx \frac{(10z_{n-7} - 72z_{n-6} + 225z_{n-5} - 400z_{n-4} + 450z_{n-3} - 360z_{n-2} + 147z_{n-1})}{60\Delta x} \quad (\text{A.7})$$

NOTA Esta definición de gradiente local se da en la Norma ISO 4287 y se usa en la mayor parte de paquetes comerciales de *software*.

### A.2.2 *Spline* cúbica con condiciones de frontera naturales

El vector  $c$  de coeficientes proporcionales a las segundas derivadas en la posición  $x_i$  de una *spline* cúbica  $s(x)$  con condiciones de frontera naturales se resuelve mediante la matriz de la fórmula (A.8):

$$c = Q^{-1} \cdot P \cdot z \quad (\text{A.8})$$

con la matriz de la fórmula (A.9):

$$Q^{(n-2) \times (n-2)} = \begin{pmatrix} 4 & 1 & & & \\ 1 & 4 & 1 & & \\ & \ddots & \ddots & \ddots & \\ & & 1 & 4 & 1 \\ & & & 1 & 4 \end{pmatrix}, \quad P^{(n-2) \times n} = \begin{pmatrix} 3 & -6 & 3 & & & \\ & 3 & -6 & 3 & & \\ & & \ddots & \ddots & \ddots & \\ & & & 3 & -6 & 3 \\ & & & & 3 & -6 & 3 \end{pmatrix} \quad (\text{A.9})$$

y la fórmula (A.10):

$$c^{(n-2) \times 1} = \begin{pmatrix} c_1 \\ c_2 \\ \vdots \\ c_{n-2} \end{pmatrix}, \quad z^{n \times 1} = \begin{pmatrix} z_0 \\ z_1 \\ \vdots \\ z_{n-1} \end{pmatrix} \quad (\text{A.10})$$

donde

$n$  es el número de muestras;

$z$  es el vector de los valores de perfil muestreados  $z_i$ ;

$c$  es el vector de los coeficientes de la *spline* proporcionales a las segundas derivadas en la posición  $x_i$  de una *spline* cúbica  $s(x)$  con condiciones de frontera naturales ( $c_0 = 0$  y  $c_{n-1} = 0$ ).

Las primeras derivadas en la posición  $x_i$  vienen dadas por la fórmula (A.11):

$$\left. \frac{dz(x)}{dx} \right|_{x=x_i} \approx \left. \frac{ds(x)}{dx} \right|_{x=x_i} = \frac{1}{\Delta x} \begin{cases} z_1 - z_0 - \frac{1}{3}c_1 & i=0 \\ z_{i+1} - z_i - \frac{1}{3}(c_{i+1} + 2c_i) & i=1, \dots, n-2 \\ z_{N-1} - z_{N-2} + \frac{1}{3}c_{N-2} & i=n-1 \end{cases} \quad (\text{A.11})$$

### A.3 Estimación de la segunda derivada

#### A.3.1 Polinomio de sexto grado

Región interior del perfil  $3 \leq i \leq n-4$ , véase la fórmula (A.12):

$$\left. \frac{d^2z(x)}{dx^2} \right|_{x=x_i} \approx \frac{(2z_{i-3} - 27z_{i-2} + 270z_{i-1} - 490z_i + 270z_{i+1} - 27z_{i+2} + 2z_{i+3})}{180\Delta x^2} \quad (\text{A.12})$$

Límite izquierdo del perfil ( $i = 0, 1, 2$ ), véanse las fórmulas (A.13) a (A.15):

$$\left. \frac{d^2z(x)}{dx^2} \right|_{x=x_0} \approx \frac{(812z_0 - 3132z_1 + 5265z_2 - 5080z_3 + 2970z_4 - 972z_5 + 137z_6)}{180\Delta x^2} \quad (\text{A.13})$$

$$\left. \frac{d^2z(x)}{dx^2} \right|_{x=x_1} \approx \frac{(137z_0 - 147z_1 - 255z_2 + 470z_3 - 285z_4 + 93z_5 - 13z_6)}{180\Delta x^2} \quad (\text{A.14})$$

$$\left. \frac{d^2z(x)}{dx^2} \right|_{x=x_2} \approx \frac{(-13z_0 + 228z_1 - 420z_2 + 200z_3 + 15z_4 - 12z_5 + 2z_6)}{180\Delta x^2} \quad (\text{A.15})$$

Límite derecho del perfil ( $i = n-3, n-2, n-1$ ), véanse las fórmulas (A.16) a (A.18):

$$\left. \frac{d^2z(x)}{dx^2} \right|_{x=x_{n-3}} \approx \frac{(2z_{n-7} - 12z_{n-6} + 15z_{n-5} + 200z_{n-4} - 420z_{n-3} + 228z_{n-2} - 13z_{n-1})}{180\Delta x^2} \quad (\text{A.16})$$

$$\left. \frac{d^2z(x)}{dx^2} \right|_{x=x_{n-2}} \approx \frac{(-13z_{n-7} + 93z_{n-6} - 285z_{n-5} + 470z_{n-4} - 255z_{n-3} - 147z_{n-2} + 137z_{n-1})}{180\Delta x^2} \quad (\text{A.17})$$

$$\left. \frac{d^2 z(x)}{dx^2} \right|_{x=x_{n-1}} \approx \frac{(137z_{n-7} - 972z_{n-6} + 2970z_{n-5} - 5080z_{n-4} + 5265z_{n-3} - 3132z_{n-2} + 812z_{n-1})}{180\Delta x^2} \quad (\text{A.18})$$

### A.3.2 *Spline* cúbica con condiciones de frontera naturales

Las segundas derivadas en la posición  $x_i$  de una *spline* cúbica  $s(x)$  con condiciones de frontera naturales vienen dadas por la fórmula (A.19):

$$\left. \frac{d^2 s(x)}{dx^2} \right|_{x=x_i} = \frac{1}{\Delta x^2} \begin{cases} 0 & i=0 \\ 2c_i & i=1, \dots, n-2 \\ 0 & i=n-1 \end{cases} \quad (\text{A.19})$$

donde

$c_i$  es el coeficiente  $i$ -ésimo de la *spline*, calculado conforme a la fórmula (A.8).

## Anexo B (Informativo)

### Determinación de la curvatura local

La curvatura local del perfil de escala limitada se define según la fórmula (B.1):

$$\kappa(x)\big|_{x=x_i} = \frac{\frac{d^2z(x)}{dx^2}\big|_{x=x_i}}{\left(1 + \left(\frac{dz(x)}{dx}\big|_{x=x_i}\right)^2\right)^{\frac{3}{2}}} \quad (\text{B.1})$$

La primera y segunda derivadas pueden estimarse mediante un polinomio local de sexto grado, conforme a los apartados A.2.1 y A.3.1, o mediante una interpolación de *spline* cúbica según los apartados A.2.2 y A.3.2, respectivamente.

## Anexo C (Normativo)

### Determinación de la curva de tasa portante

Si no se indica lo contrario, la curva de tasa portante local debe estimarse ordenando el perfil uniformemente muestreado en orden decreciente. Sea  $\Delta x = l/n$  la distancia de muestreo, donde  $l$  es una longitud dada y  $n$  el número de muestras. Cada valor de perfil muestreado se expresa por  $z_i = z(x_i)$  con  $x_i = i \Delta x$  e  $i = 0, 1, 2, \dots, n-1$ . La curva de tasa portante viene dada por los pares de valores (los valores intermedios se determinan por interpolación), como se muestra en la fórmula (C.1):

$$\left( \frac{k}{n}, c_k \right), \quad k = 1, 2, \dots, n \quad (\text{C.1})$$

donde

$n$  es el número de muestras;

$C_k$  son los valores de perfil uniformemente muestreados, ordenados en orden decreciente  $c_1 \geq c_2 \geq \dots \geq c_n$ .

**EJEMPLO** Supongamos un perfil  $z(x) = \cos(2\pi/(1,6 \text{ mm})x) \mu\text{m}$  con una longitud de onda  $\lambda = 1,6 \text{ mm}$ . El perfil se extrae de una longitud  $l = 0,8 \text{ mm}$ , con  $n = 100$  muestras y una distancia de muestreo  $\Delta x = (0,8 \text{ mm})/100$ . Los valores ordenados  $z_i$  vienen dados por la fórmula (C.2):

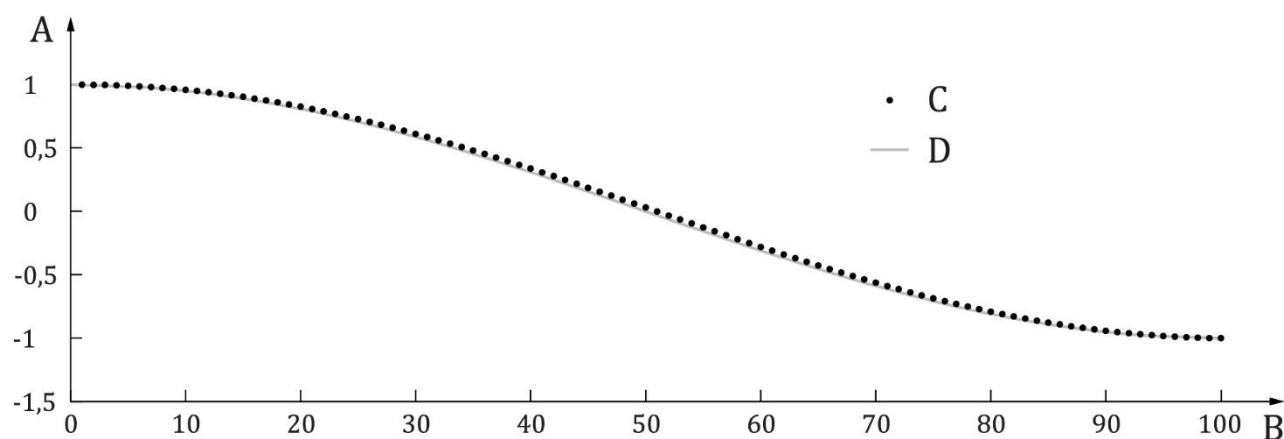
$$c_k = \{z(0 \Delta x), z(1 \Delta x), \dots, z(98 \Delta x), z(99 \Delta x)\}, \quad k = 1, \dots, n \quad (\text{C.2})$$

Para una distancia de muestreo infinitamente pequeña  $\Delta x$ , la curva de tasa portante viene dada por la fórmula (C.3):

$$p = \frac{1}{\pi} \arccos\left(\frac{z}{\mu\text{m}}\right), \quad -1 \mu\text{m} \leq z \leq 1 \mu\text{m} \quad (\text{C.3})$$

En la figura C.1 se muestra la tasa portante en función de la altura  $c_k$  y de  $z$  respectivamente.





Leyenda

A Altura

C Estimación ( $k/n, c_k$ )

B Tasa portante, expresada en porcentaje

D Valor teórico ( $p, z$ )

**Figura C.1 – Estimación de la curva de tasa portante de un perfil sinusoidal**

## Anexo D (Normativo)

### Determinación de los parámetros de perfil para superficies estratificadas

#### D.1 Generalidades

En el anexo D se incluyen, a modo de ejemplo, fórmulas para la determinación de los parámetros R. Los parámetros P se definen de forma similar, reemplazando los parámetros relativos al perfil R por los relativos al perfil P.

#### D.2 Determinación de la recta equivalente de mejor ajuste

La recta equivalente de mejor ajuste se determina para la región central de la curva de tasa portante, la cual incluye el 40 % de los puntos medidos sobre la superficie. Esta región central se sitúa en el lugar en que la secante de la curva de tasa portante, para el 40 % de la tasa portante, tiene el menor gradiente (véase la figura D.1). Esto se realiza moviendo una línea secante para  $\Delta p = 40 \%$  a lo largo de la curva de tasa portante, partiendo de la posición  $p = 0$ . La línea secante para  $\Delta p = 40 \%$  que tiene el menor gradiente establece la región central de la curva de tasa de longitud portante para la determinación de la equivalencia. Si hay múltiples regiones que tienen gradientes mínimos equivalentes, la primera región hallada es la región que se escoge. Se determina entonces, en esta región central, una línea recta que da la desviación de mínimos cuadrados en la dirección de las ordenadas de la superficie.

Para garantizar la validez de la curva de tasa portante, dicha curva debe determinarse como se describe en el anexo C.

NOTA Opcionalmente, la búsqueda de la región central puede hacerse ajustando una recta de mínimos cuadrados en lugar de una secante.

#### D.3 Determinación de los parámetros Rk, Rmrk1 y Rmrk2

La recta equivalente de mejor ajuste corta las líneas de 0 % y 100 % en el eje de la tasa portante (véase la figura D.1). Desde estos puntos se trazan dos líneas paralelas al eje x; las cuales determinan el perfil del núcleo por eliminación de las colinas y valles sobresalientes.

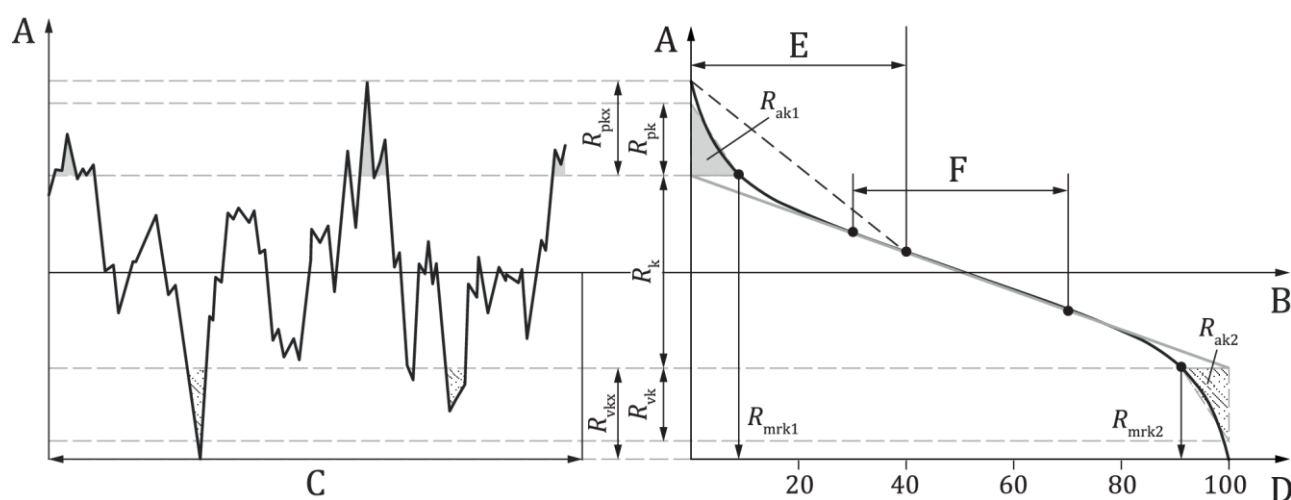
La distancia vertical entre estas alturas de corte es la altura del núcleo Rk. Sus intersecciones con la curva de tasa portante definen las tasas portantes Rmrk1 y Rmrk2.

#### D.4 Determinación de los parámetros Rpk, Rvk, Rpkx y Rvkx

Las áreas por encima y por debajo de la región de la curva de tasa portante que delimita la altura del núcleo Rk se muestran rellenas en color gris y rayada, respectivamente, en la figura D.1. Estas corresponden a las áreas de la sección transversal de las colinas y de los valles del perfil que sobresalen de la superficie recortada.

Cada uno de los parámetros  $R_{pk}$  y  $R_{vk}$  se determina como la altura del triángulo rectángulo construido para tener la misma área que el “área de colinas” o el “área de valles”, respectivamente (véase la figura D.1). El triángulo rectángulo correspondiente al área de colinas,  $R_{ak1}$ , tiene por base  $R_{mrk1}$ , y el correspondiente al área de valles,  $R_{ak2}$ , tiene por base 100 %  $R_{mrk2}$ .

Los parámetros  $R_k$ ,  $R_{pk}$ ,  $R_{vk}$ ,  $R_{mrk1}$  y  $R_{mrk2}$  deben determinarse solo si la curva de tasa portante tiene forma de S (véase 4.5.1.5), como muestra la figura D.1, teniendo así un único punto de inflexión. La experiencia ha mostrado que este es siempre el caso para las superficies lapeadas, rectificadas o pulidas. El parámetro  $R_{pkx}$  se determina como la diferencia de altura entre las tasas portantes 0 % y  $R_{mrk1}$ . El parámetro  $R_{vtx}$  se determina como la diferencia de altura entre las tasas portantes  $R_{mrk2}$  y 100 %.



#### Leyenda

- A Altura
- B Eje x (línea de referencia)
- C Longitud de evaluación
- D Tasa portante, expresada en porcentaje
- E Secante móvil sobre  $\Delta p = 40\%$  de la tasa portante
- F Recta de mejor ajuste  $\Delta p = 40\%$  asociada a la región central

**Figura D.1 – Determinación de  $R_k$ ,  $R_{pk}$ ,  $R_{vk}$ ,  $R_{pkx}$ ,  $R_{vtx}$ ,  $R_{mrk1}$ ,  $R_{mrk2}$ ,  $R_{ak1}$  y  $R_{ak2}$**

## D.5 Determinación de los parámetros $R_{pq}$ , $R_{vq}$ y $R_{mq}$

Tres efectos no lineales pueden estar presentes en la curva de probabilidad de tasa de longitud portante mostrada en la figura 23 (véase 4.5.1.7) para los datos del perfil medidos sobre una superficie obtenida tras dos procesos. Estos efectos deben eliminarse limitando las porciones ajustadas de la curva de probabilidad de longitud portante, utilizando solo las porciones gaussianas estadísticamente seguras, excluyendo un determinado número de influencias.

En la figura 23 (véase 4.5.1.7), los efectos no lineales tienen su origen en:

- los restos o colinas aisladas en los datos (perfil de escala limitada) (leyenda G);

- las ranuras profundas o valles aislados en los datos (perfil de escala limitada) (leyenda H);
- una región inestable (curvatura) introducida en el punto de transición entre la meseta y el valle, resultante de la combinación de dos distribuciones (leyenda I).

Estas exclusiones tienen por finalidad garantizar una mayor estabilidad de los parámetros en mediciones repetidas de una superficie dada.

La figura 28 (véase 4.5.4.4) muestra un perfil con su correspondiente curva de probabilidad de longitud portante y sus regiones de meseta y de valle, así como las partes del perfil que definen las dos regiones. El perfil tiene una colina que sobresale y la figura muestra cómo esto no influye en los parámetros. La figura 28 (véase 4.5.4.4) también muestra cómo las partes inferiores de los valles más profundos, que variarán significativamente dependiendo de dónde se realicen las mediciones sobre la superficie, no se tienen en cuenta en la determinación de los parámetros.

## D.6 Procedimiento para determinar los límites de las regiones lineales de la curva de probabilidad de longitud portante

### D.6.1 Generalidades

Los apartados D.6.2 a D.6.4 especifican los procedimientos para determinar el límite superior de la meseta, UPL, y el límite inferior del valle, LVL. Los apartados D.6.5 a D.6.7 especifican los procedimientos para determinar el límite inferior de la meseta, LPL, y el límite superior del valle, UVL. El apartado D.6.8 especifica el procedimiento para realizar la determinación de los parámetros.

### D.6.2 Ajuste cónico inicial

Inicialmente, se ajusta una sección cónica a la curva de probabilidad de longitud portante, dado que esta es una muy buena aproximación a la forma esperada de la curva de probabilidad de longitud portante en las superficies constituidas por dos componentes aleatorias verticales. Este ajuste cónico inicial proporciona un marco para las operaciones posteriores sobre la curva de probabilidad de longitud portante.

Se ajusta una sección cónica a la curva de probabilidad de longitud portante (véase la figura D.2). La representación implícita de la sección cónica viene dada por la fórmula (D.1):

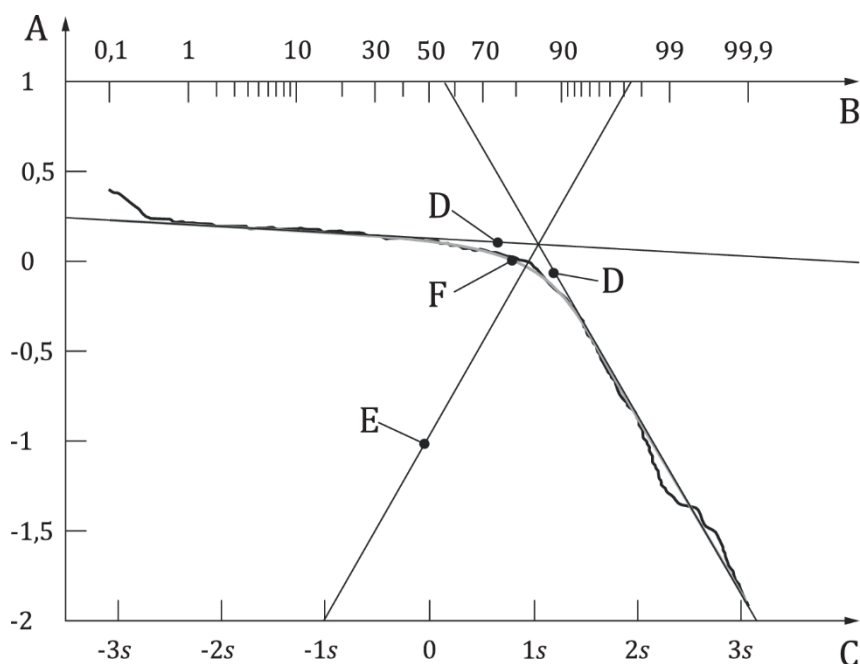
$$a \cdot x^2 + b \cdot x \cdot z_{cs} + c \cdot z_{cs}^2 + d \cdot x + e \cdot z_{cs} + f = 0 \quad (D.1)$$

donde

$x$  es la probabilidad de longitud portante, expresada en desviaciones típicas  $s$ ;

$z_{cs}$  es el valor de altura de la sección cónica ajustada;

$a, b, c, d, e$  y  $f$  son los parámetros de la sección cónica ajustada.



#### Leyenda

- A Altura
- B Tasa portante expresada como probabilidad gaussiana, en porcentaje
- C Tasa portante expresada como probabilidad gaussiana, en valores de desviación típica  $s$
- D Asíntotas de la sección cónica
- E Bisectriz de las asíntotas
- F Sección cónica ajustada

**Figura D.2 – Sección cónica basada en la curva completa de probabilidad de longitud portante**

### D.6.3 Estimación de la transición entre meseta y valle

Se determinan las asíntotas de la sección cónica (leyenda D en la figura D.2). Se traza la bisectriz de las asíntotas (leyenda E en la figura D.2). La intersección de esta línea con la sección cónica sirve como estimación inicial de la transición entre meseta y valle (véase la figura D.2).

NOTA Gráficamente, la bisectriz (leyenda E) podría parecer estar en un ángulo incorrecto (véase la figura D.2). Esto se debe a las diferentes escalas sobre los dos ejes en la figura D.2.

### D.6.4 Determinación de UPL y LVL

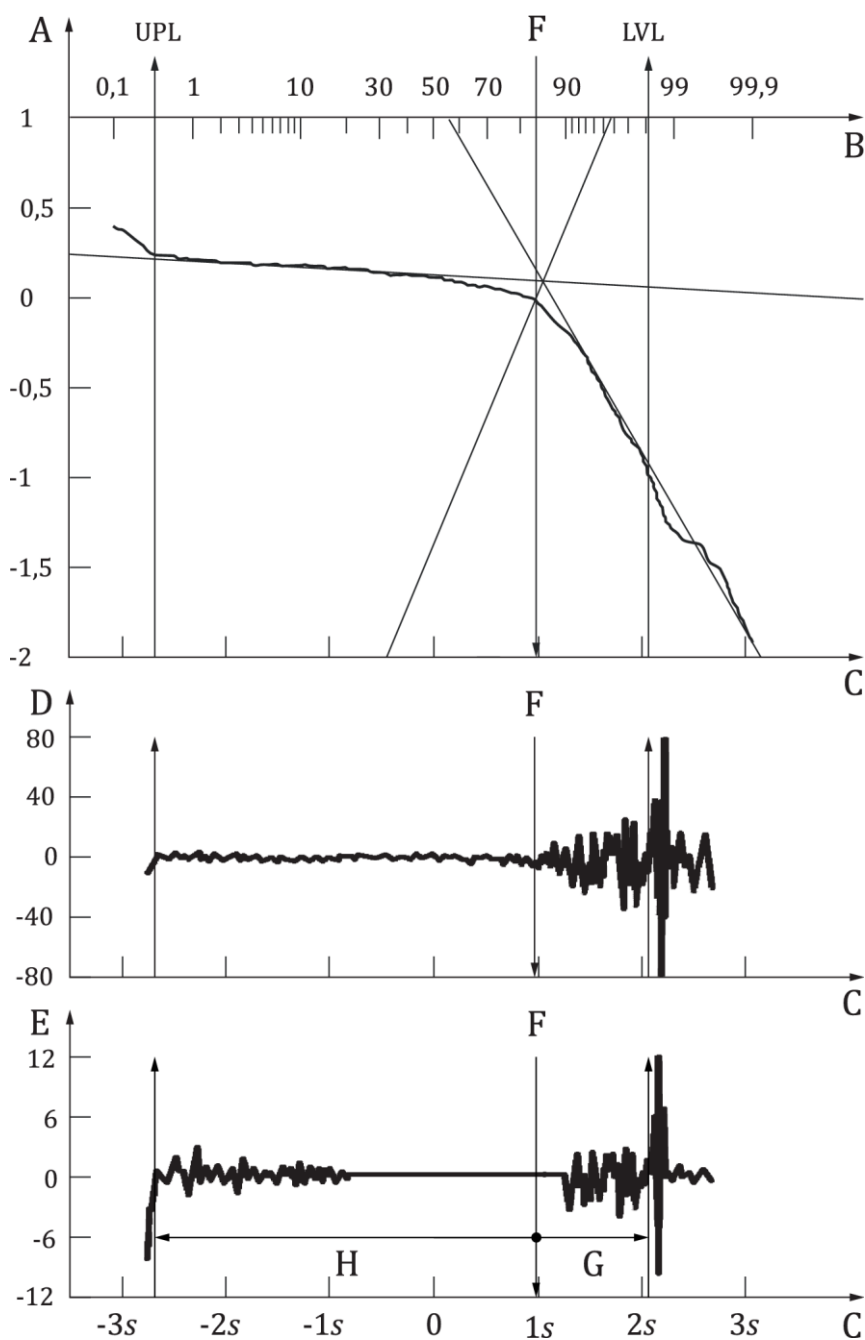
Se calcula la segunda derivada en cada punto de la curva de probabilidad de longitud portante, comenzando en el punto de transición (leyenda F) y procediendo en la dirección ascendente hacia la región de la meseta, y en dirección descendente hacia la región del valle.

Se calcula la segunda derivada en cada punto utilizando una “ventana” de 0,05 desviaciones típicas ( $\pm 0,025 s$  en torno al punto en el que hay que calcular la derivada). Véase el centro de la figura D.3.

Individualmente, para la región del valle y para la región de la meseta:

- se determina el 25 % del número de puntos situados de un lado del punto de transición (leyenda F) y se llama a este valor  $i$ ;
- a partir del punto de transición (leyenda F), se calcula la desviación típica  $s_i$  para los valores de las segundas derivadas utilizando los puntos  $i$  de un solo lado;
- se divide el valor de la segunda derivada en el punto siguiente  $d_{i+1}^2$  por la desviación típica  $s_i$  para obtener  $T = d_{i+1}^2 / s_i$ ;
- si  $T \leq 6$ , se incrementa  $i$  en 1 y se recalculan  $s_i$  y  $T$ ;
- si  $T > 6$ , el punto de datos  $i$  es el límite de esa región considerada (UPL para la región de la meseta y LVL para la región del valle, respectivamente). Véase también la figura D.3.

NOTA El número de puntos dentro de la ventana variará a medida que la ventana recorre la curva.



Leyenda

A	Altura	F	Punto de transición
B	Tasa portante, expresada en porcentaje	G	Búsqueda de valles
C	Tasa portante, expresada en valores de desviación típica $s$	H	Búsqueda de mesetas
D	Altura por desviación típica al cuadrado	UPL	Límite superior de meseta
E	Umbral $T$	LVL	Límite inferior de valle

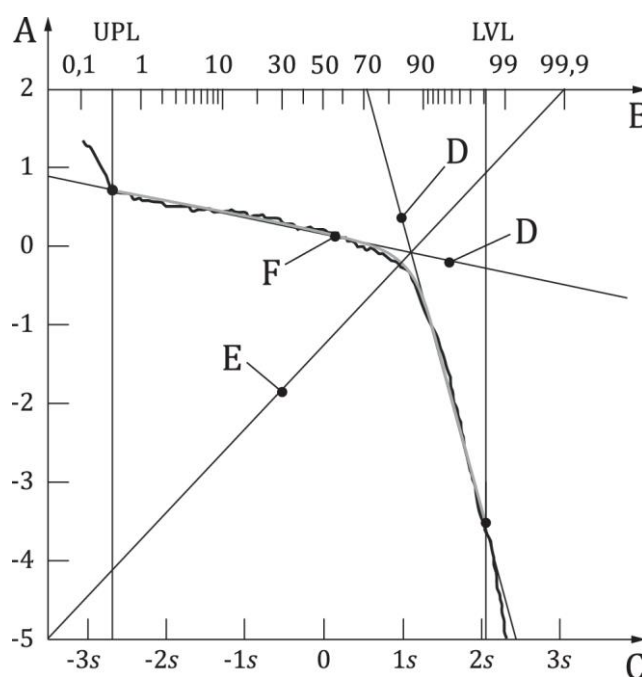
**Figura D.3 – La bisección de las asíntotas es el punto de transición inicial entre las dos regiones de la curva de probabilidad de longitud portante y las segundas derivadas correspondientes**

### D.6.5 Normalización de la región delimitada

El eje  $z$  de la curva de probabilidad de longitud portante se normaliza para que la región delimitada (región entre UPL y LVL) tenga forma “cuadrada”. Esto permite asegurar una bisección consistente de las asíntotas de la sección cónica (véase la figura D.4).

### D.6.6 Segundo ajuste de la sección cónica

Sobre la sección cónica se efectúa ahora una regresión, en la región entre UPL y LVL. Se trazan las asíntotas (véase la figura D.4).



#### Leyenda

- A Altura con eje normalizado (la longitud del eje horizontal y del vertical es la misma)
- B Tasa portante, expresada como probabilidad gaussiana en porcentaje
- C Tasa portante, expresada como probabilidad gaussiana en valores de desviación típica  $s$
- D Asíntotas de la sección cónica
- E Bisectriz de las asíntotas
- F Sección cónica ajustada
- UPL Límite superior de la meseta
- LVL Límite inferior del valle

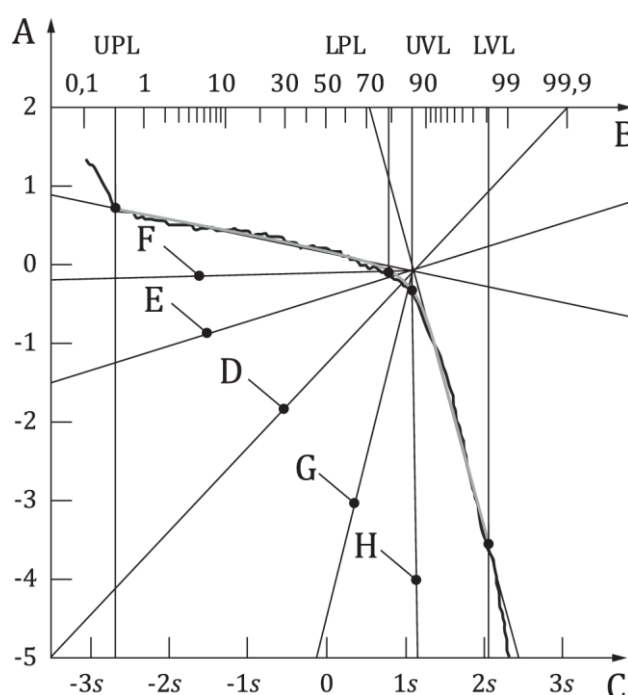
**Figura D.4 – Sección cónica determinada entre el límite superior de la meseta, UPL, y el límite inferior del valle, LVL. Curva de probabilidad de longitud portante normalizada**



### D.6.7 Determinación del LPL y UVL

Para determinar el límite inferior de la meseta, LPL, y el límite superior del valle, UVL, se trazan sucesivamente tres bisectrices entre las asíntotas (D: primera vez; P2 y V2: segunda vez; P3 y V3: tercera vez). La intersección de estas rectas (P3 y V3) con la sección cónica de la curva de probabilidad de longitud portante permite determinar el LPL y UVL (véase la figura D.5).

**NOTA NACIONAL** Se considera que la norma internacional incluye un error en el párrafo que antecede y el texto correcto debería ser: "Para determinar el límite inferior de la meseta, LPL, y el límite superior del valle, UVL, se trazan sucesivamente tres bisectrices entre las asíntotas (D: primera vez; E y G: segunda vez; F y H: tercera vez). La intersección de estas rectas (F y H) con la sección cónica de la curva de probabilidad de longitud portante permite determinar el LPL y UVL (véase la figura D.5)". Se ha comunicado al TC correspondiente, que lo tendrá en cuenta en la próxima revisión.



#### Leyenda

A	Altura con eje normalizado	G, H	Bisectrices sucesivas de asíntotas para el UVL
B	Tasa portante, expresada en porcentaje	UPL	Límite superior de la meseta
C	Tasa portante, expresada en valores de desviación típica $s$	LPL	Límite inferior de la meseta
D	Bisectriz de las asíntotas	UVL	Límite superior del valle
E, F	Bisectrices sucesivas de asíntotas para el LPL	LVL	Límite inferior del valle

**Figura D.5 – Determinación del límite inferior de la meseta, LPL, y del límite superior del valle, UVL. Curva de probabilidad de longitud portante normalizada**

### D.6.8 Determinación de los parámetros $R_{pq}$ , $R_{vq}$ y $R_{mq}$

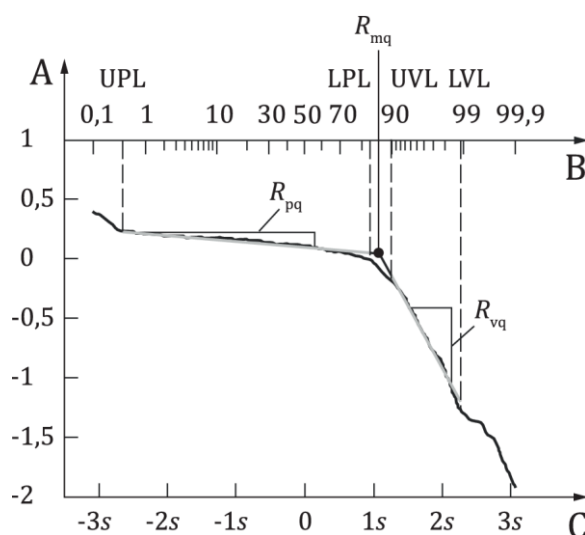
Se efectúa a continuación una regresión lineal dentro de cada región de la curva original no normalizada de probabilidad de longitud portante (véase la figura D.6).

$R_{pq}$  es la pendiente de la regresión lineal ( $z = m_p s + t_p$ ) efectuada sobre la región de la meseta.  $R_{pq}$  puede entonces interpretarse como el valor  $R_q$  del proceso aleatorio que ha generado la componente meseta del perfil.

$R_{vq}$  es la pendiente de la regresión lineal ( $z = m_v s + t_v$ ) efectuada sobre la región del valle.  $R_{vq}$  puede entonces interpretarse como el valor  $R_q$  del proceso aleatorio que ha generado la componente valle del perfil.

$R_{mq}$  es la relación de tasa portante en el punto de intersección entre la meseta y el valle, como muestra la fórmula (D.2):

$$R_{mq} = \frac{t_v - t_p}{m_p - m_v} \quad (D.2)$$



#### Leyenda

- A Altura
- B Tasa portante, expresada en porcentaje
- C Tasa portante, expresada en valores de desviación típica  $s$
- LPL Límite inferior de la meseta
- LVL Límite inferior del valle
- UPL Límite superior de la meseta
- UVL Límite superior del valle

**Figura D.6 – Regiones de meseta y de valle utilizadas para la linealización de la curva de probabilidad de longitud portante con sus parámetros**

## Anexo E (Normativo)

### Segmentación por cruce de línea para determinar los elementos del perfil

#### E.1 Generalidades

El anexo E define la determinación de elementos de perfil de los parámetros de elementos utilizando segmentación 'por cruce de línea'. La segmentación por cruce de línea consta de cuatro pasos:

- Paso 1: Determinación de colinas y valles dentro de la longitud de evaluación.
- Paso 2: Determinación de colinas y valles de perfil significativos.
- Paso 3: Fusión de colinas de perfil significativas adyacentes o de valles de perfil significativos adyacentes.
- Paso 4: Determinación de los elementos de perfil.

NOTA Se utilizan las siguientes variables:

- $n$  número de valores de perfil;
  - $x_k$  posición sobre el eje  $x$  del valor de perfil  $z_k$  con  $k = 1, 2, \dots, n$ ;
  - $z_k$  valor de perfil con  $k = 1, 2, \dots, n$ ;
  - $n_{HD}$  número total de colinas de perfil y valles de perfil;
  - $HD_k$  colina de perfil o valle de perfil con  $k = 1, 2, \dots, n_{HD}$
- $HD_k$  tiene cuatro miembros:
- $HD.t \in -1, 0, 1$  para indicar un valle, un elemento cero o una colina;
  - $HD.h$  altura de pico o profundidad de hoyo;
  - $HD.i_l$  índice del límite izquierdo  $x_{HD.i_l}$  de una colina de perfil o un valle de perfil;
  - $HD.i_r$  índice del límite derecho  $x_{HD.i_r}$  de una colina de perfil o un valle de perfil;
- $x_i, x_j$  puntos de intersección con la línea de referencia;
  - $H_u$  discriminación de la altura de pico  $\in \mathbb{R}_0^+$ ;
  - $H_l$  discriminación de la profundidad de hoyo  $\in \mathbb{R}_0^+$ ;
  - $O_H$  umbral de supresión del ruido numérico  $\in \mathbb{R}_0^+$  (dirigido hacia el exterior);
  - $O_D$  umbral de supresión del ruido numérico  $\in \mathbb{R}_0^+$  (dirigido hacia el interior);
  - $n_{pe}$  número total de elementos de perfil;
  - $X_{s,m}$  espaciamiento de un elemento de perfil, con  $m = 1, 2, \dots, n_{pe}$ ;
  - $Z_{t,m}$  altura de un elemento de perfil, con  $m = 1, 2, \dots, n_{pe}$ .

## E.2 Función signo modificada

Función para determinar el signo de un número real  $z$ , en función de números reales positivos  $u$  y  $l$ , véase la fórmula (E.1):

$$\text{sgm}(z, l, u) = \begin{cases} 1 & \text{si } z \geq u \\ -1 & \text{si } z \leq -l \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases} \quad (\text{E.1})$$

## E.3 Función raíz

Función para determinar la intersección del perfil evaluado con la línea de referencia mediante interpolación lineal, véase la fórmula (E.2):

$$\text{root}(x_a, z_a, x_b, z_b) = \begin{cases} (x_a + x_b)/2 & \text{si } z_a = z_b \\ \text{mín.}(\text{máx.}((x_a z_b - x_b z_a)/(z_b - z_a), x_a), x_b) & \text{en otro caso} \end{cases} \quad (\text{E.2})$$

donde  $x_a, z_a \in \mathbb{R}$  y  $x_b, z_b \in \mathbb{R}$  son las coordenadas del perfil cuya conexión lineal corta la línea de referencia.

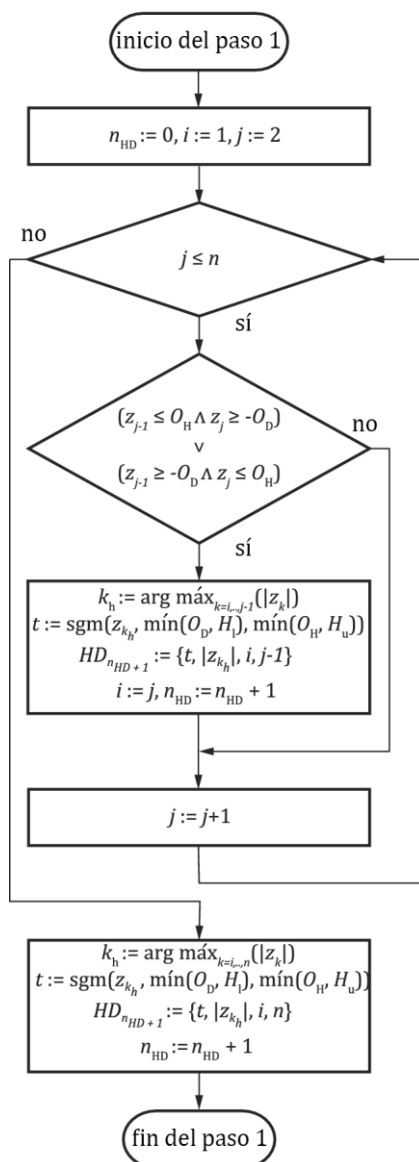
NOTA Si el punto de intersección se encuentra fuera del intervalo  $[x_a, x_b]$ , se utiliza el límite de intervalo asociado en lugar del punto de intersección.

## E.4 Paso 1: Determinación de colinas y valles dentro de la longitud de evaluación

Este paso define un algoritmo para detectar colinas y valles con una altura y una profundidad arbitrarias dentro de la longitud de evaluación. El resultado es una secuencia *HD* de colinas y valles.

NOTA 1 Véase la figura E.1.

NOTA 2 Si no se indica lo contrario, los valores por defecto de  $O_H$  y  $O_D$  para los umbrales de supresión de ruido numérico se encuentran en el apartado 5.5 de la Norma ISO 21920-3:2021.



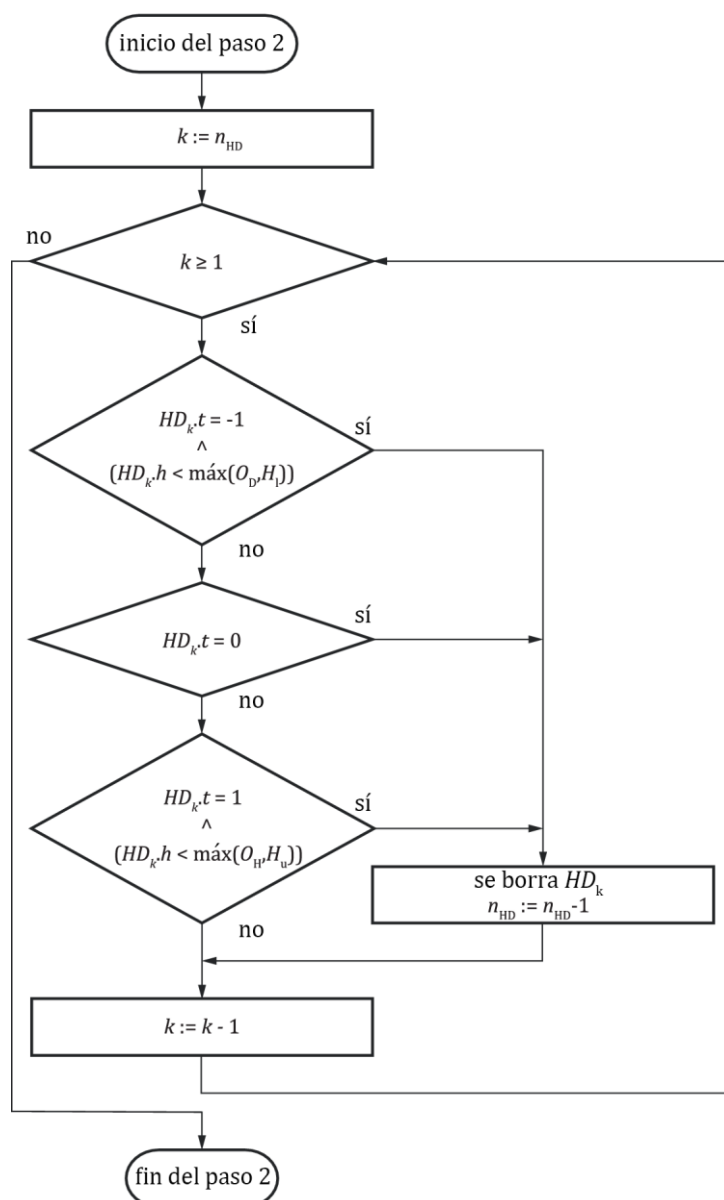
**Figura E.1 – Paso 1: Determinación de colinas y valles dentro de la longitud de evaluación**

## E.5 Paso 2: Determinación de colinas y valles de perfil significativos

Este paso define un algoritmo para eliminar colinas y valles no significativos aplicando las discriminaciones de altura de pico y de profundidad de hoyo.

NOTA 1 Véase la figura E.2.

NOTA 2 Si no se indica lo contrario, los valores por defecto para la discriminación de altura de pico  $H_u$  y para la discriminación de profundidad de hoyo  $H_l$  se encuentran en el apartado 5.5 de la Norma ISO 21920-3:2021.



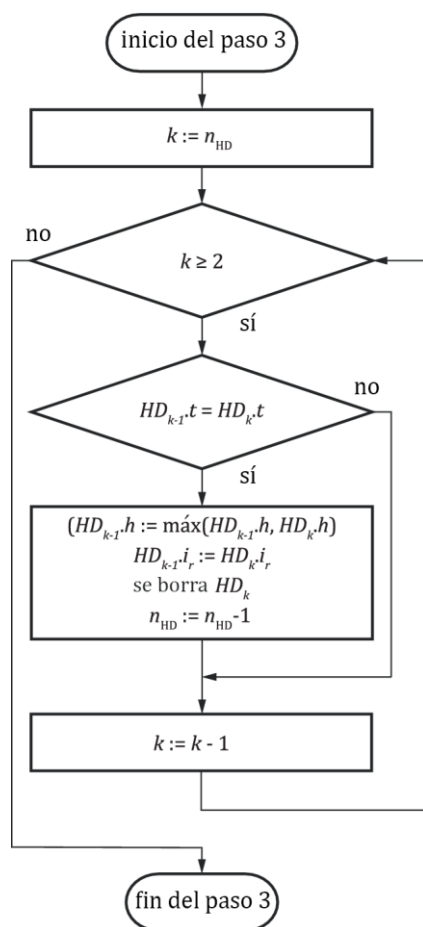
**Figura E.2 – Paso 2: Determinación de colinas y valles de perfil significativos**

### E.6 Paso 3: Fusión de colinas de perfil significativas adyacentes o de valles de perfil significativos adyacentes

Este paso define un algoritmo para fusionar colinas adyacentes o valles adyacentes después de aplicar la discriminación de altura de pico para las colinas de perfil y la discriminación de profundidad de hoyo para los valles de perfil. El resultado es una secuencia  $HD$  de colinas y valles adyacentes o de valles y colinas adyacentes.

NOTA 1 Véase la figura E.3.

NOTA 2 Si  $O_H$  y  $O_D$  son constantes, es necesario el operador máximo entre  $H_u$  y  $O_H$ , así como entre  $H_l$  y  $O_D$ .

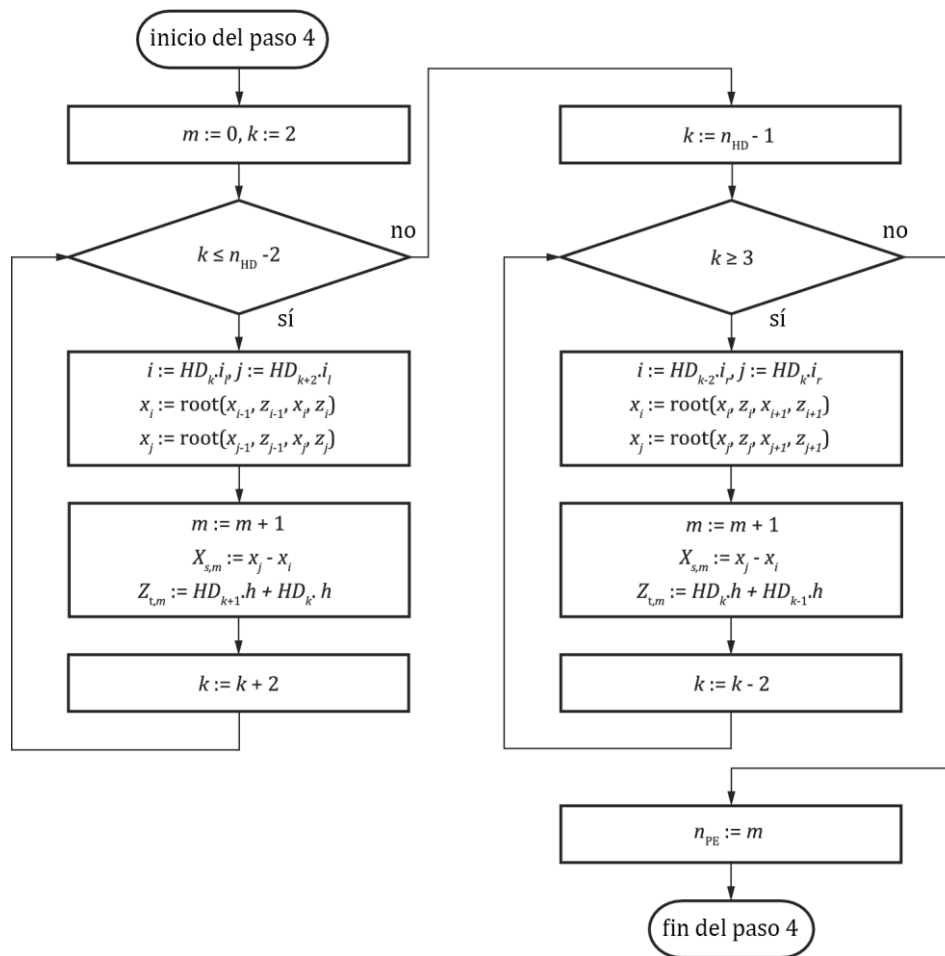


### Figura E.3 – Paso 3: Fusión de colinas o valles adyacentes

## E.7 Paso 4: Determinación de los elementos de perfil

Este paso determina el espaciamiento individual  $X_{s,i}$  y la altura  $Z_{t,i}$  de los elementos de perfil. Los elementos de perfil se determinan de comienzo a fin de la longitud de evaluación y viceversa.

NOTA Véase la figura E.4.



**Figura E.4 – Paso 4: Determinación de elementos de perfil**



## Anexo F (Normativo)

### Caracterización del elemento

#### F.1 Generalidades

La caracterización del elemento se basa en una herramienta basada en técnicas de reconocimiento de patrones, que pueden utilizarse para caracterizar elementos de interés sobre un perfil. La caracterización del elemento consta de cinco fases:

- selección del tipo de elemento de textura (véase la tabla F.1);
- segmentación (véase la tabla F.2 para la selección de criterios de tamaño);
- determinación de elementos significativos (véase la tabla F.3);
- selección de atributos de los elementos (véase la tabla F.4);
- cuantificación estadística de los atributos de los elementos (véase la tabla F.5).

#### F.2 Tipo de elemento de textura

La tabla F.1 ofrece una visión general de los tipos de elementos de textura. Es importante seleccionar el tipo de elemento de textura apropiado a la función del perfil bajo examen.

**Tabla F.1 – Tipos de elementos de textura**

Clase de elemento	Tipo de elemento de textura	Designación
Línea	Colina	H
	Valle	D
Punto	Pico	P
	Hoyo	V

#### F.3 Segmentación

La segmentación, definida en el apartado 3.3.1, se utiliza para determinar las regiones del perfil de escala limitada que definen los elementos topográficos. El proceso de segmentación comienza localizando todas las colinas y valles sobre el perfil. Esto conduce generalmente a una sobresegmentación del perfil. Por ello, deben "podarse" los elementos "más pequeños", a fin de lograr una segmentación útil del perfil. Algunos criterios de tamaño para establecer el umbral de poda de los elementos "más pequeños" se dan en la tabla F.2.

**Tabla F.2 – Criterios de tamaño para la segmentación**

<b>Criterios de dimensión para la segmentación</b>	<b>Designación</b>	<b>Umbral</b>
Altura local de colina o profundidad local de valle (poda de Wolf)	Wolfprune	Altura o profundidad especificada, o un porcentaje de Rz
Volumen de colina o de valle	VolS	Volumen especificado
Anchura de colina o de valle	Width	Longitud especificada o un porcentaje de la longitud del perfil
Longitud desarrollada de colina o de valle	DevLength	Longitud especificada

#### F.4 Determinación de elementos significativos

El elemento “Función” no interacciona con todos los elementos de la misma forma; los diferentes elementos interactúan de forma diferente. Por ello, es esencial separar los elementos funcionalmente significativos de los no significativos. Es necesario definir un método para todas las funciones especificadas del perfil que permita la clasificación de los elementos segmentados en elementos significativos y no significativos. Los elementos significativos se utilizan para caracterizaciones posteriores. Los métodos para la determinación de los elementos significativos se dan en la tabla F.3.

**Tabla F.3 – Método para la determinación de los elementos significativos**

<b>Clase de elemento</b>	<b>Método para la determinación de los elementos significativos</b>	<b>Designación</b>	<b>Unidad del parámetro</b>
Línea	Una colina es significativa si el hoyo asociado más alto está por debajo de la altura umbral	Closed <i>c</i>	La altura se define a partir de una tasa portante o de una altura absoluta
	Una colina es significativa si el hoyo asociado más alto está por encima de la altura umbral	Open <i>c</i>	La altura se define a partir de una tasa portante o de una altura absoluta
	Un valle es significativo si el pico asociado más bajo está por encima de la altura umbral	Closed <i>c</i>	La altura se define a partir de una tasa portante o de una altura absoluta
	Un valle es significativo si el pico asociado más bajo está por debajo de la altura umbral	Open <i>c</i>	La altura se define a partir de una tasa portante o de una altura absoluta
Punto	Un pico es significativo si es una de las máximas alturas de pico <i>N</i>	Top	<i>N</i> es un número entero
	Un hoyo es significativo si es una de las máximas profundidades de hoyo <i>N</i>	Bot	<i>N</i> es un número entero
Línea, punto	Se utilizan todos los elementos	All	—

## F.5 Sección de atributos del elemento

Una vez determinado el conjunto de elementos significativos, es necesario seleccionar los atributos apropiados para la caracterización de los elementos. La mayor parte de los atributos son una medición del tamaño del elemento, por ejemplo, la altura, la anchura o el volumen. Algunos atributos del elemento se indican en la tabla F.4.

**Tabla F.4 – Atributos del elemento**

Clase de elemento	Atributos del elemento	Designación
Línea	Altura local de colina o profundidad local de valle	HDh
	Volumen local de colina o volumen local de valle	HDv
	Anchura local de colina o anchura local de valle	HDw
	Longitud desarrollada del perfil, dentro de una colina o un valle	HDI
Punto	Altura de pico o profundidad de hoyo	PVh
	Curvatura local en el punto	Curvature
Línea, punto	El atributo toma el valor uno	Count

## F.6 Variables estadísticas de los atributos

La determinación de una variable estadística adecuada de los atributos de los elementos significativos, de un parámetro de elemento o, alternativamente, de un histograma de los valores de los atributos, constituye la parte final de la caracterización del elemento. Variables estadísticas de los atributos se dan en la tabla F.5.

**Tabla F.5 – Variables estadísticas de los atributos**

Variables estadísticas de los atributos	Designación	Umbral
Media aritmética de los valores de los atributos	Mean	—
Valor máximo del atributo	Max	—
Valor mínimo del atributo	Min	—
Desviación típica	StdDev	—
Porcentaje por encima de un valor especificado	Perc	Valor del umbral en unidades de atributo
Histograma	Hist	—
Suma de los valores de atributos	Sum	—
Suma de todos los valores de los atributos, dividida por la longitud de evaluación	Density	—
NOTA En futuras ediciones de este documento se prevé proporcionar métodos normalizados para designar variables estadísticas de atributos particulares.		

### F.7 Convención para la caracterización del elemento

Para registrar la caracterización del elemento, es necesario indicar la herramienta particular utilizada en cada uno de los cinco pasos. Esto se hace utilizando la siguiente convención:

- El proceso comienza utilizando las letras FC para indicar que se trata de una caracterización de elemento.
- En cada uno de los pasos, se utiliza la designación de la tabla correspondiente para indicar la herramienta requerida.
- Algunas herramientas empleadas en algunos de los pasos requieren valores adicionales para un registro completo. En tal caso, se utiliza el símbolo “;” para separar cada paso, y un espacio en blanco para separar cada subpaso.
- Si en este documento no se especifica una herramienta, puede utilizarse en su lugar una referencia a la definición de la herramienta.

EJEMPLO FC; D; Wolfprune 5 %; Closed 6,0 %; HDw; Hist.

### F.8 Parámetros de elementos adicionales

La tabla F.4 define numerosas características que pueden combinarse con los atributos estadísticos definidos en la tabla F.5. Para simplificar, se define un conjunto adicional de parámetros que puede utilizarse directamente en la especificación. Este conjunto de parámetros puede expresarse mediante la notación (dada a modo de ejemplo para el perfil R) con los marcadores de posición <a>, <b>, <c> y <d> dados en la tabla F.6.

**Tabla F.6 – Variables estadísticas de atributos**

Marcador de posición	Tabla asociada	Identificador	Designación
<a>	Tabla F.1	Hill	h
		Dale	d
<b>	Tabla F.3	Open	o
		Close	c
<c>	Tabla F.4	HDh	h
		HDw	w
		HDv	v
<d>	Tabla F.5	Mean	m
		Max	x
		StdDev	q

EJEMPLO Rdohm corresponde a la siguiente línea de especificación:

Rdohm(<c>) = FC; D; Wolfprune X; Open c; HDh; Mean

Muchos parámetros definidos en la Norma ISO 12085 tienen un parámetro equivalente dado en la tabla F.6. La tabla F.7 ofrece una visión general de la correlación entre estos parámetros<sup>[16]</sup>.

**Tabla F.7 – Comparación entre la Norma ISO 12085 y la tabla F.6 de este documento**

ISO 12085	Este documento
R/W	Rdohm
AR/AW	Rdowm
SR/SW <sup>a</sup>	Rdohq
SAR/SAW <sup>b</sup>	Rdowq
<p>a SR/SW es la desviación típica de las profundidades de los motivos de rugosidad/ondulación. Se utilizan en la práctica, pero no se definen en la Norma ISO 12085.</p> <p>b SAR/SAW es la desviación típica de los espaciamientos de los motivos de rugosidad/ondulación. Se utilizan en la práctica, pero no se definen en la Norma ISO 12085.</p>	

## Anexo G (Informativo)

### Resumen de los parámetros y funciones de la calidad superficial de perfil

#### G.1 Parámetros de campo

La tabla G.1 ofrece una visión general de los parámetros de campo y de las funciones definidas en este documento.

**Tabla G.1 – Lista de parámetros de campo**

<b>Parámetros de altura <sup>a</sup></b>		4.2
Pa, Wa, Ra	altura media aritmética	4.2.2
Pq, Wq, Rq	altura media cuadrática	4.2.3
Psk, Wsk, Rsk	asimetría	4.2.4
Pku, Wku, Rku	aplastamiento	4.2.5
Pt, Wt, Rt	altura total	4.2.6
Pzx( <i>l</i> ), Wzx( <i>l</i> ), Rzx( <i>l</i> )	altura máxima por sección	4.2.7
<b>Parámetros de espaciamiento <sup>a</sup></b>		4.3
Pal( <i>l</i> ), Wal( <i>l</i> ), Ral( <i>l</i> )	longitud de autocorrelación	4.3.2
Psw, Wsw, Rsw	longitud de onda espacial dominante	4.3.3
<b>Parámetros híbridos <sup>a</sup></b>		4.4
Pdq, Wdq, Rdq	gradiente cuadrático medio	4.4.2
Pda, Wda, Rda	media aritmética del gradiente absoluto	4.4.3
Pdt, Wdt, Rdt	gradiente absoluto máximo	4.4.4
Pdl, Wdl, Rdl	longitud desarrollada	4.4.5
Pdr, Wdr, Rdr	tasa de longitud desarrollada	4.4.6
<b>Funciones de tasa portante <sup>a</sup></b>		4.5.1
Pml( <i>c</i> ), Wml( <i>c</i> ), Rml( <i>c</i> )	longitud portante	4.5.1.1
Pmc( <i>c</i> ), Wmc( <i>c</i> ), Rmc( <i>c</i> )	tasa portante	4.5.1.2
Pcm( <i>p</i> ), Wcm( <i>p</i> ), Rcm( <i>p</i> )	altura de tasa de longitud portante	4.5.1.4
Phd( <i>c</i> ), Whd( <i>c</i> ), Rhd( <i>c</i> )	densidad de altura	4.5.1.6
Pvm( <i>p</i> ), Wvm( <i>p</i> ), Rvm( <i>p</i> )	volumen de material	4.5.1.8
Pvv( <i>p</i> ), Wvv( <i>p</i> ), Rvv( <i>p</i> )	volumen de vacío	4.5.1.9
<b>Parámetros de tasa portante <sup>a</sup></b>		4.5.2
Pmr( <i>p</i> , <i>d<sub>c</sub></i> ), Wmr( <i>p</i> , <i>d<sub>c</sub></i> ), Rmr( <i>p</i> , <i>d<sub>c</sub></i> )	tasa portante relativa	4.5.2.1
Pdc( <i>p</i> , <i>q</i> ), Wdc( <i>p</i> , <i>q</i> ), Rdc( <i>p</i> , <i>q</i> )	diferencia de altura de la tasa portante	4.5.2.2

<b>Parámetros para superficies estratificadas utilizando la curva de tasa portante <sup>a</sup></b>		4.5.3
Pk, Rk	altura del núcleo	4.5.3.3
Ppk, Rpk	altura de pico reducida	4.5.3.4
Pvk, Rvk	profundidad de hoyo reducida	4.5.3.5
Ppkx, Rpkx	altura máxima de pico	4.5.3.6
Pvkx, Rvkx	profundidad máxima de hoyo	4.5.3.7
Pmrk1, Rmrk1	tasa portante de colinas	4.5.3.8
Pmrk2, Rmrk2	tasa portante de valles	4.5.3.9
Pak1, Rak1	área de colinas	4.5.3.10
Pak2, Rak2	área de valles	4.5.3.11
<b>Parámetros para superficies estratificadas utilizando la curva de probabilidad de longitud portante <sup>a</sup></b>		4.5.4
Ppq, Rpq	desviación cuadrática media de la meseta	4.5.4.2
Pvq, Rvq	desviación cuadrática media de valle	4.5.4.3
Pmq, Rmq	tasa portante en el punto de transición de meseta a valle	4.5.4.4
<b>Parámetros de volumen <sup>a</sup></b>		4.5.5
Pvmp( <i>p</i> ), Wvmp( <i>p</i> ), Rvmp( <i>p</i> )	volumen de material de colina	4.5.5.2
Pvmc( <i>p,q</i> ), Wvmc( <i>p,q</i> ), Rvmc( <i>p,q</i> )	volumen de material del núcleo	4.5.5.3
Pvvc( <i>p,q</i> ), Wvvc( <i>p,q</i> ), Rvvc( <i>p,q</i> )	volumen de vacío del núcleo	4.5.5.4
Pvvv( <i>p</i> ), Wvvv( <i>p</i> ), Rvvv( <i>p</i> )	volumen de vacío de los valles	4.5.5.5
<sup>a</sup> Relativos a la longitud de evaluación <i>l<sub>e</sub></i> .		

## G.2 Parámetros de elementos

La tabla G.2 da una visión de conjunto de los parámetros de elementos definidos en este documento.

**Tabla G.2 – Lista de parámetros de elementos**

<b>Parámetros basados en la altura de picos y la profundidad de hoyos <sup>a,b</sup></b>		5.1
Ppt, Wpt, Rpt	altura máxima de pico	5.1.2
Pp, Wp, Rp	altura media de pico	5.1.3
Pvt, Wvt, Rvt	profundidad máxima de hoyo	5.1.4
Pv, Wv, Rv	profundidad media de hoyo	5.1.5
Pz, Wz, Rz	altura máxima	5.1.6
<b>Parámetros basados en elementos de perfil <sup>c,d</sup></b>		5.2
Psm, Wsm, Rsm	espaciamiento medio del elemento de perfil	5.2.2
Psmx, Wsmx, Rsmx	espaciamiento máximo del elemento de perfil	5.2.3
Psmq, Wsmq, Rsmq	desviación típica de espaciamientos de elementos de perfil	5.2.4

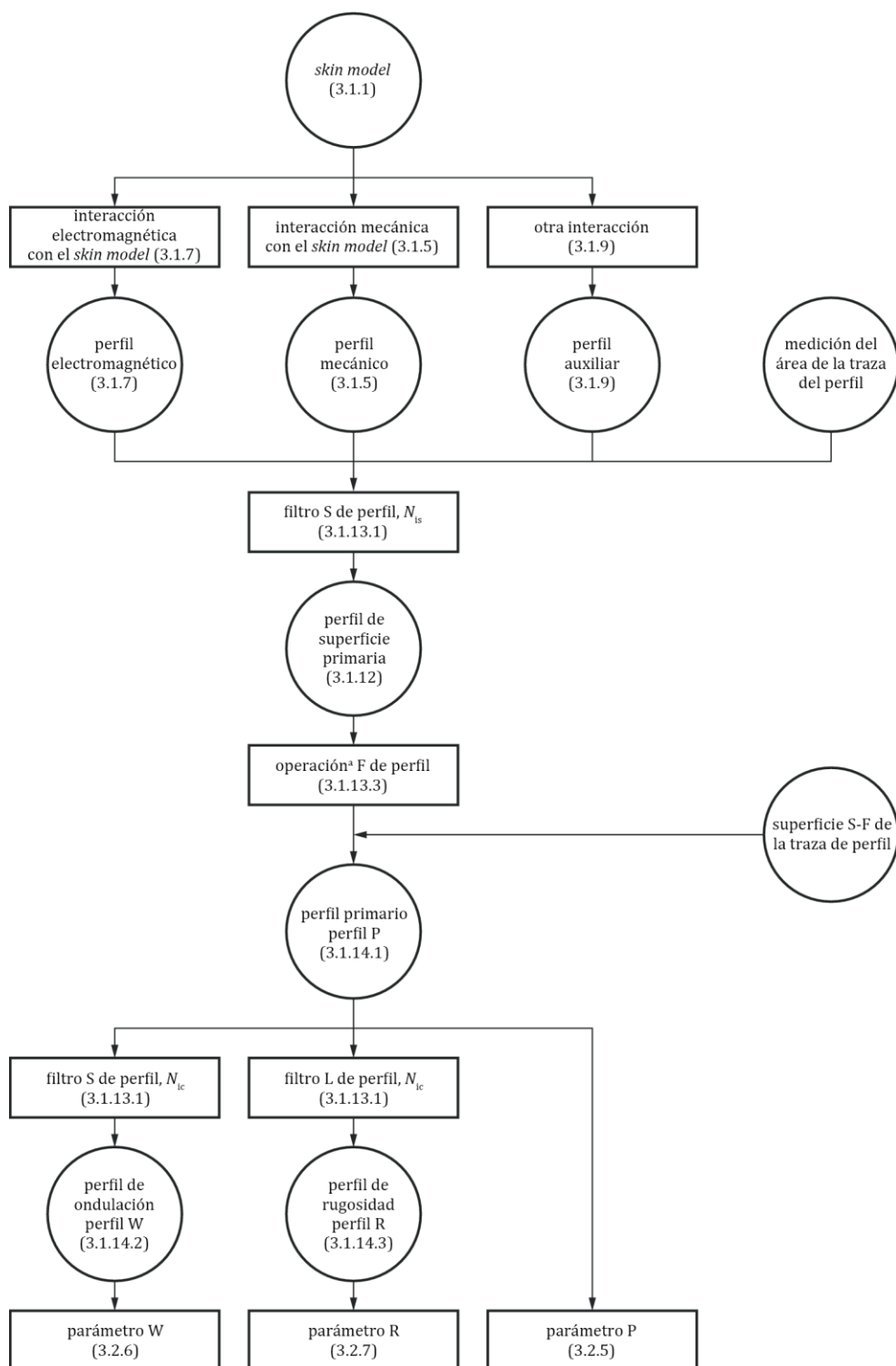
Pc, Wc, Rc	altura media del elemento de perfil	5.2.5
Pcx, Wcx, Rcx	altura máxima del elemento de perfil	5.2.6
Pcq, Wcq, Rcq	desviación típica de alturas de elementos de perfil	5.2.7
Ppc, Wpc, Rpc	número de picos	5.2.8
<b>Parámetros basados en la caracterización de elementos <sup>c,e</sup></b>		5.3
Ppd, Wpd, Rpd	densidad de picos	5.3.2.1
Pvd, Wvd, Rvd	densidad de hoyos	5.3.2.2
Pmpc, Wmpc, Rmpc	curvatura media de los picos	5.3.2.3
Pmvc, Wmvc, Rmvc	curvatura media de los hoyos	5.3.2.4
P5p, W5p, R5p	altura sobre cinco picos	5.3.2.5
P5v, W5v, R5v	profundidad sobre cinco hoyos	5.3.2.6
P10z, W10z, R10z	altura sobre diez puntos	5.3.2.7
a Relativos a la longitud de sección $l_{sc}$ . b Segmentación atendiendo a los cambios de signo de los valores de la ordenada. c Relativos a la longitud de evaluación $l_e$ . d Segmentación por cruce de línea, con discriminación de altura. e Segmentación por vertientes, con discriminación de altura.		



## **Anexo H (Informativo)**

### **Flujo de análisis de la especificación**

La figura H.1 muestra el flujo de análisis de la especificación para calcular los parámetros P, W y R.



#### Leyenda

a La operación F de perfil es, bien una asociación, bien un filtro con índice de anidamiento  $N_{if}$ .

**Figura H.1 – Flujo de análisis de la especificación**

## Anexo I (Informativo)

### Cambios respecto a anteriores normas ISO de perfil

La tabla I.1 ofrece una visión general de los cambios respecto a anteriores normas ISO de perfil. No se han hecho cambios respecto a la Norma ISO 13565-3.

**Tabla I.1 – Cambios respecto a anteriores normas ISO de perfil**

ISO 4287	Este documento
longitud de evaluación $l_n$	longitud de evaluación $l_e$
longitud de muestreo $l_r$	longitud de sección $l_{sc}$
pico de perfil	colina de perfil <sup>a</sup>
–	pico de perfil <sup>a</sup>
valle de perfil	valle de perfil <sup>a</sup>
–	hoyo de perfil <sup>a</sup>
los parámetros se definen principalmente sobre la longitud de muestreo	solo Rpt, Rp, Rvt, Rv y Rz se definen sobre la longitud de sección. Todos los demás parámetros se definen sobre la longitud de evaluación
–	el parámetro ‘altura por sección’ es un nuevo parámetro para determinar la altura local pico-a-hoyo dentro de la longitud de evaluación
–	longitud de correlación <sup>a</sup>
–	longitud de onda espacial dominante <sup>a</sup>
–	parámetros híbridos <sup>a</sup>
–	parámetros de volumen <sup>a</sup>
evaluación dependiente de la dirección de los elementos de perfil	evaluación independiente de la dirección de los elementos de perfil
–	se han añadido nuevos parámetros basados en elementos de perfil
–	se ha añadido la caracterización de elementos <sup>a</sup>
<b>ISO 13565-2</b>	<b>Este documento</b>
–	se ha añadido el área de colinas y el área de valles, como parámetros adicionales
<sup>a</sup> Armonizada con la Norma ISO 25178-2.	

## Anexo J (Informativo)

### Visión general de las normas de perfil y de área en el modelo de matriz GPS

Véase la tabla J.1 para una visión general de las normas sobre calidad superficial en el modelo de matriz GPS.

**Tabla J.1 – Normas ISO sobre calidad superficial**

	Eslabones de la cadena						
	A	B	C	D	E	F	G
	Símbolos e indicaciones	Requisitos del elemento	Propiedades del elemento	Conformidad y no conformidad	Medición	Equipo de medición	Calibración
Calidad superficial de perfil	ISO 21920-1	ISO 21920-2	ISO 21920-3 ISO 16610-2x ISO 16610-3x ISO 16610-4x	Serie ISO 14253		ISO 25178-6 ISO 25178-6xx	ISO 25178-7x ISO 25178-70x ISO 12179
Calidad superficial de área	ISO 25178-1	ISO 25178-2	ISO 25178-3 ISO 16610-6x ISO 16610-7x ISO 16610-8x	Serie ISO 14253		ISO 25178-6 ISO 25178-6xx	ISO 25178-7x ISO 25178-70x

## **Anexo K (Informativo)**

### **Relación con el modelo de matriz GPS**

#### **K.1 Generalidades**

La matriz modelo ISO GPS dada en la Norma ISO 14638 proporciona una visión general del sistema ISO GPS, del que este documento forma parte.

Las reglas fundamentales del sistema ISO GPS dadas en la Norma ISO 8015 se aplican a este documento y las reglas de decisión por defecto dadas en la Norma ISO 14253-1 se aplican a las especificaciones realizadas de acuerdo con este documento, a menos que se indique lo contrario.

#### **K.2 Información sobre este documento y su utilización**

Este documento especifica los términos, definiciones y parámetros de determinación de la calidad superficial (rugosidad, ondulación y perfil primario) mediante los métodos del perfil.

#### **K.3 Posición en el modelo de matriz GPS**

Este documento es una norma general ISO GPS que afecta al eslabón B de la cadena de normas sobre calidad superficial de perfil en el modelo de matriz GPS. Las reglas y principios dados en este documento se aplican a todas las celdas de la matriz ISO GPS que contienen un punto negro (●), como muestra la tabla K.1.

Tabla K.1 – Posición en el modelo de matriz GPS

	Eslabones de la cadena						
	A	B	C	D	E	F	G
	Símbolos e indicaciones	Requisitos del elemento	Propiedades del elemento	Conformidad y no conformidad	Medición	Equipo de medición	Calibración
Tamaño							
Distancia							
Forma							
Orientación							
Posición							
Alabeo							
Calidad superficial de perfil		•					
Calidad superficial de área							
Imperfecciones superficiales							

#### **K.4 Normas internacionales relacionadas**

Las normas internacionales relacionadas son las de las cadenas de normas indicadas en la tabla K.1.

## Bibliografía

- [1] ISO 4287, *Geometrical Product Specifications (GPS). Surface texture: Profile method. Terms, definitions and surface texture parameters.*
- [2] ISO 8015, *Geometrical product specifications (GPS). Fundamentals. Concepts, principles and rules.*
- [3] ISO 12085:1996, *Geometrical Product Specifications (GPS). Surface texture: Profile method. Motif parameters.*
- [4] ISO 13565-2:1996, *Geometrical Product Specifications (GPS). Surface texture: Profile method; Surfaces having stratified functional properties. Part 2: Height characterization using the linear material ratio curve.*
- [5] ISO 13565-3:1998, *Geometrical Product Specifications (GPS). Surface texture: Profile method; Surfaces having stratified functional properties. Part 3: Height characterization using the material probability curve.*
- [6] ISO 14253-1, *Geometrical product specifications (GPS). Inspection by measurement of workpieces and measuring equipment. Part 1: Decision rules for verifying conformity or nonconformity with specifications.*
- [7] ISO 14406:2010, *Geometrical product specifications (GPS). Extraction.*
- [8] ISO 14638, *Geometrical product specifications (GPS). Matrix model.*
- [9] ISO 17450-1:2011, *Geometrical product specifications (GPS). General concepts. Part 1: Model for geometrical specification and verification.*
- [10] ISO 21920-1, *Geometrical Product Specifications (GPS). Surface texture: Profile. Part 1: Indication of surface texture.*
- [11] ISO 21920-3:2021, *Geometrical Product Specifications (GPS). Surface texture: Profile. Part 3: Specification operators.*
- [12] ISO 25178-2:2021, *Geometrical Product Specifications (GPS). Surface texture: Areal. Part 2: Terms, definitions and surface texture parameters.*

### Referencias relativas a parámetros de campo

- [13] STOUT, K.J. et al. *The development of methods for the characterisation of roughness in three dimensions.* European Report EUR 15178 EN, ISBN 0 7044 1313 2.
- [14] BLUNT, L. and JIANG, X. *Advanced techniques for assessment surface topography. Development of a basis for the 3D Surface Texture Standards "SURFSTAND".* Kogan Page Science, ISBN 1903996112, 2003.
- [15] Bateyron F. 'Stratified Surface'. In: Chatti S., Laperrière L., Reinhart G., Tolio T. (eds) *CIRP Encyclopedia of Production Engineering.* Springer, Berlin, Heidelberg.  
[https://doi.org/10.1007/978-3-642-35950-7\\_16857-1](https://doi.org/10.1007/978-3-642-35950-7_16857-1), 2018



### Referencias relativas a parámetros de elementos

- [16] BLATEYRON, FRANÇOIS & LEROY, BERTRAND. Optimal characterisation of profile features. *Surface Topography Metrology and Properties*. <https://doi.org/10.1088/2051-672x/abce0f>, 2020.
- [17] MAXWELL, J.C. On hills and dales. *The London, Edinburgh, and Dublin Phil. Mag. and J. Sci.*, Series 4, 40, 1870, pp. 421-425.
- [18] SCOTT, P.J. The Mathematics of motif combination and their use for functional simulation. *Int. J. Mech. Tools Manufact.*, 32 (1-2), 1992, pp. 69-73.
- [19] SCOTT, P.J. Pattern Analysis and Metrology: The extraction of stable features from observable measurements. *Proc. R. Soc. Lond. A*, 460, 2004, pp. 2845-2864.
- [20] Seewig J., Scott P. J., Eifler M., Barwick B., Hüser D.: Crossing-The-Line Segmentation as a Basis for *R<sub>Sm</sub>* and *R<sub>c</sub>* Evaluation – to be published in the journal *Surface Topography: Metrology and Properties*, 2020.
- [21] WOLF, G.W. A Fortran subroutine for cartographic generalization. *Computers and Geoscience*, 17 (10), 1991, pp. 1359-1381.

Para información relacionada con el desarrollo de las normas contacte con:

Asociación Española de Normalización

Génova, 6

28004 MADRID-España

Tel.: 915 294 900

[info@une.org](mailto:info@une.org)

[www.une.org](http://www.une.org)

Para información relacionada con la venta y distribución de las normas contacte con:

AENOR INTERNACIONAL S.A.U.

Tel.: 914 326 000

[normas@aenor.com](mailto:normas@aenor.com)

[www.aenor.com](http://www.aenor.com)



organismo de normalización español en:

