



Nuevo Software para Análisis de Datos de Rugosidad en 2D y 3D

SIMPOSIO DE METROLOGÍA 2008
Querétaro

2008-10-23

Carlos Galván

CENAM

Contenido

- Que es rugosidad?
- Puntos importantes relacionados con el software de análisis de datos
 - Tipos de archivos para datos de rugosidad
 - Anteriores
 - Nuevos
 - Filtrado de los datos
 - Anteriores
 - Nuevos
- Algoritmo propuesto para la aplicación de los filtros 3D
- Software desarrollado

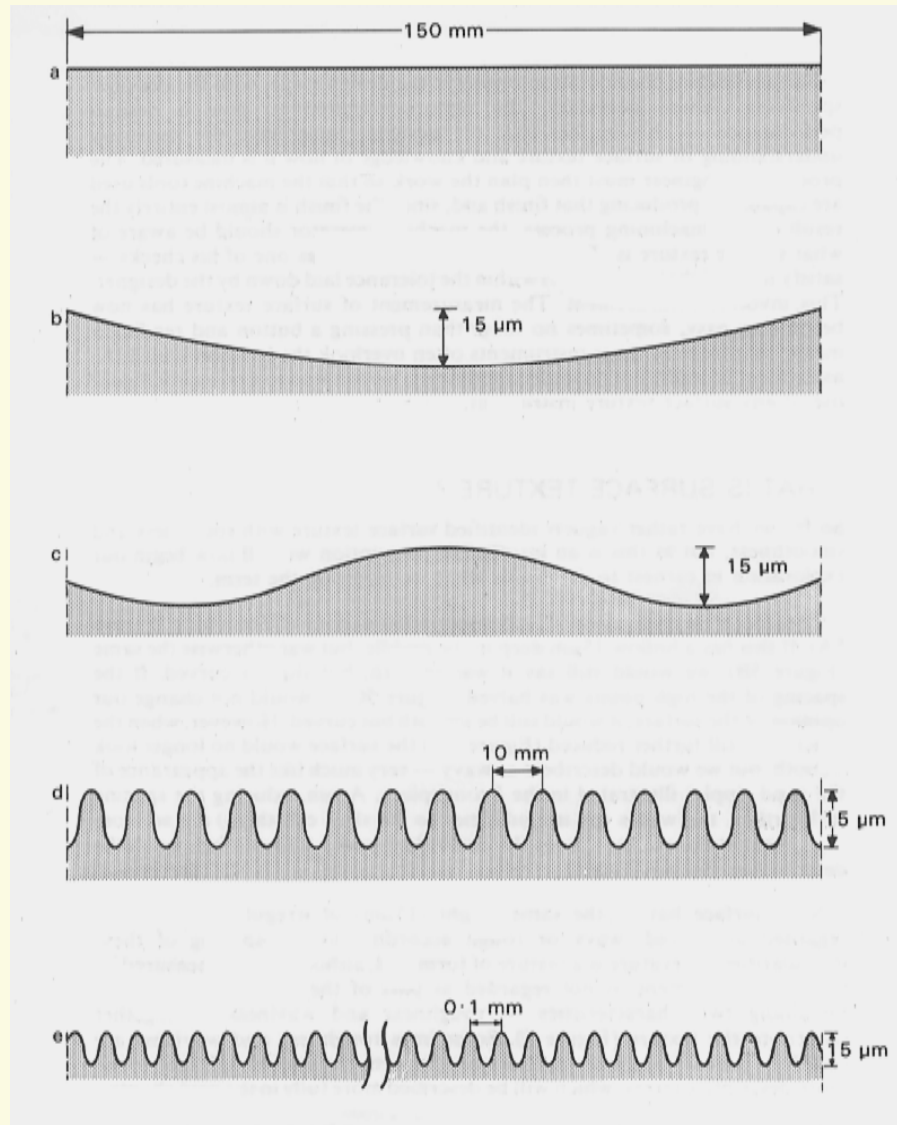
Que es la Rugosidad?

Dentro del mundo de la tecnología, se observan gran cantidad de piezas que han de ponerse en contacto con otras y rozarse a altas velocidades.

El acabado final y la textura de una superficie es de gran importancia e influencia para definir la capacidad de desgaste, lubricación, resistencia a la fatiga y aspecto externo de una pieza o material, por lo que la rugosidad es un factor importante a tener en cuenta

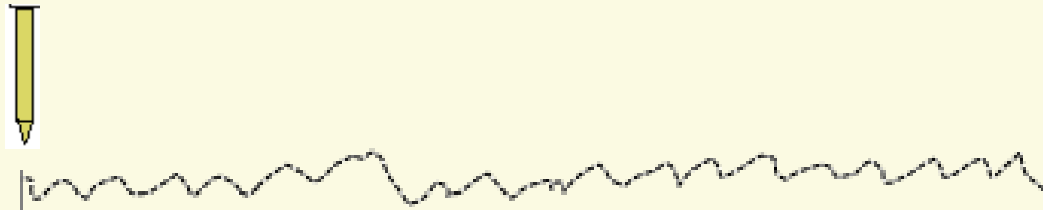
La rugosidad superficial es el conjunto de irregularidades de la superficie real, definidas convencionalmente en una sección donde los errores de forma y las ondulaciones han sido eliminados

Que es la Rugosidad?



Como se mide?

La técnica mas común para medir un perfil de superficie, es mediante el desplazamiento de un palpador mecánico.

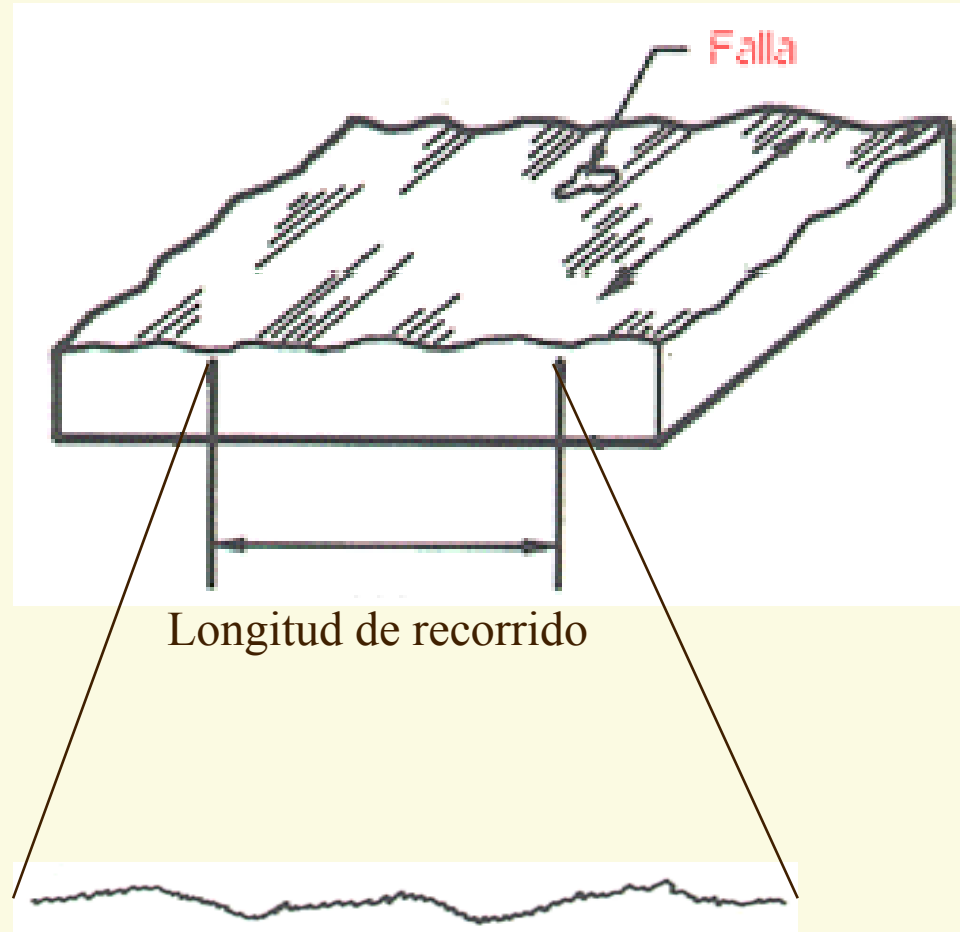


Hay que tomar en cuenta:

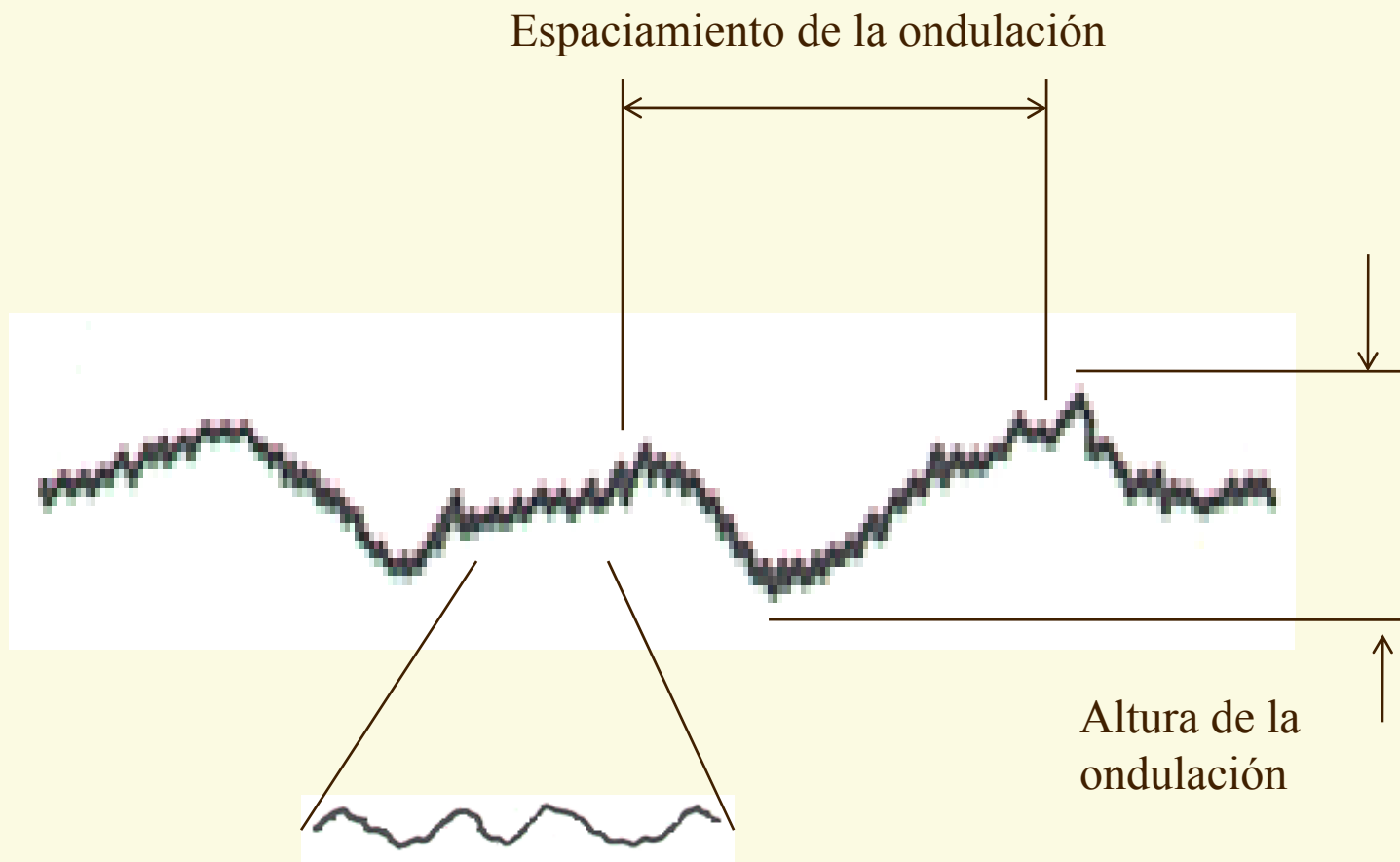
Efecto del radio del palpador

<http://www.cenam.mx/dimesional/java>

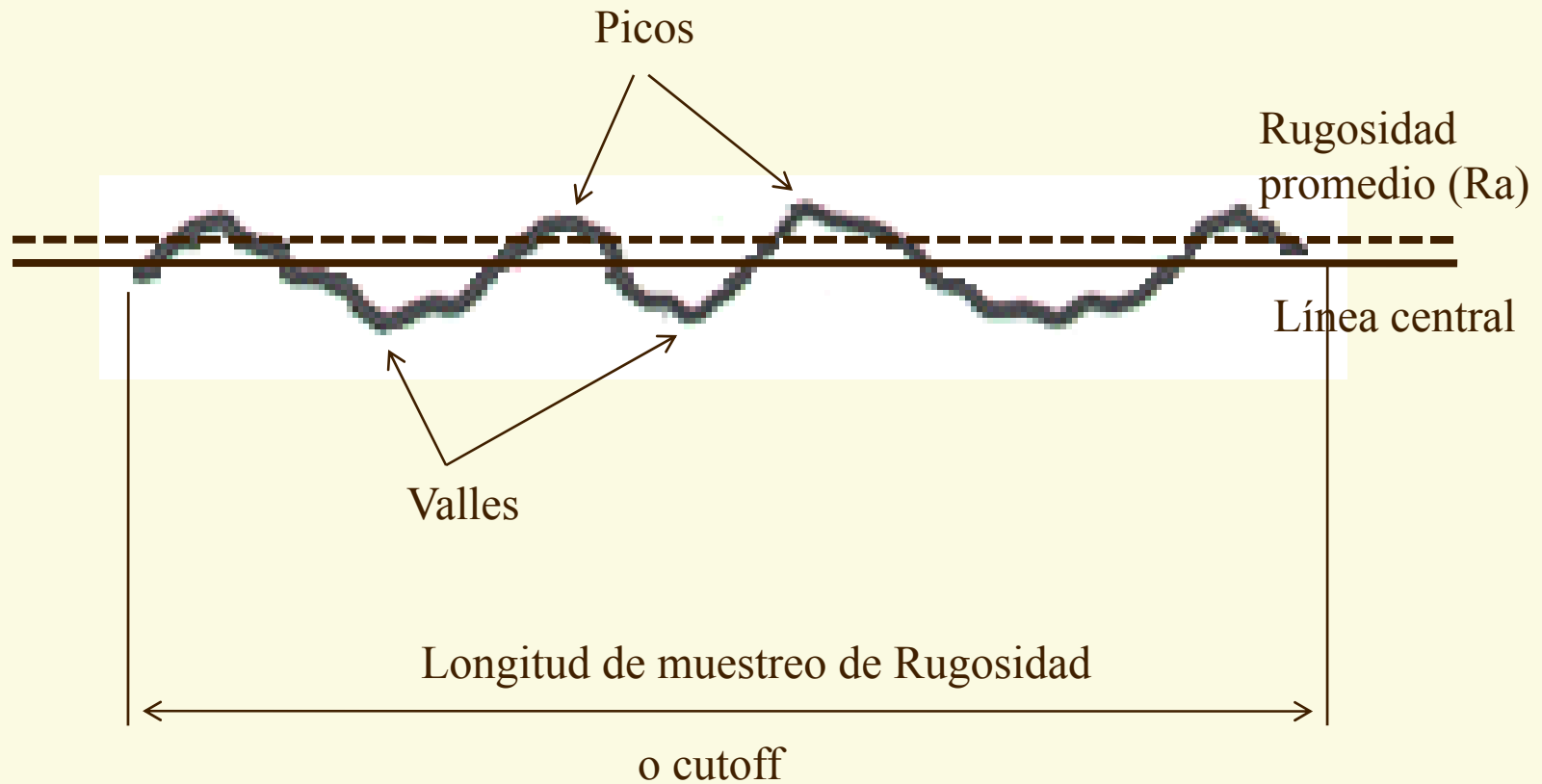
Tipos de irregularidades en la superficie?



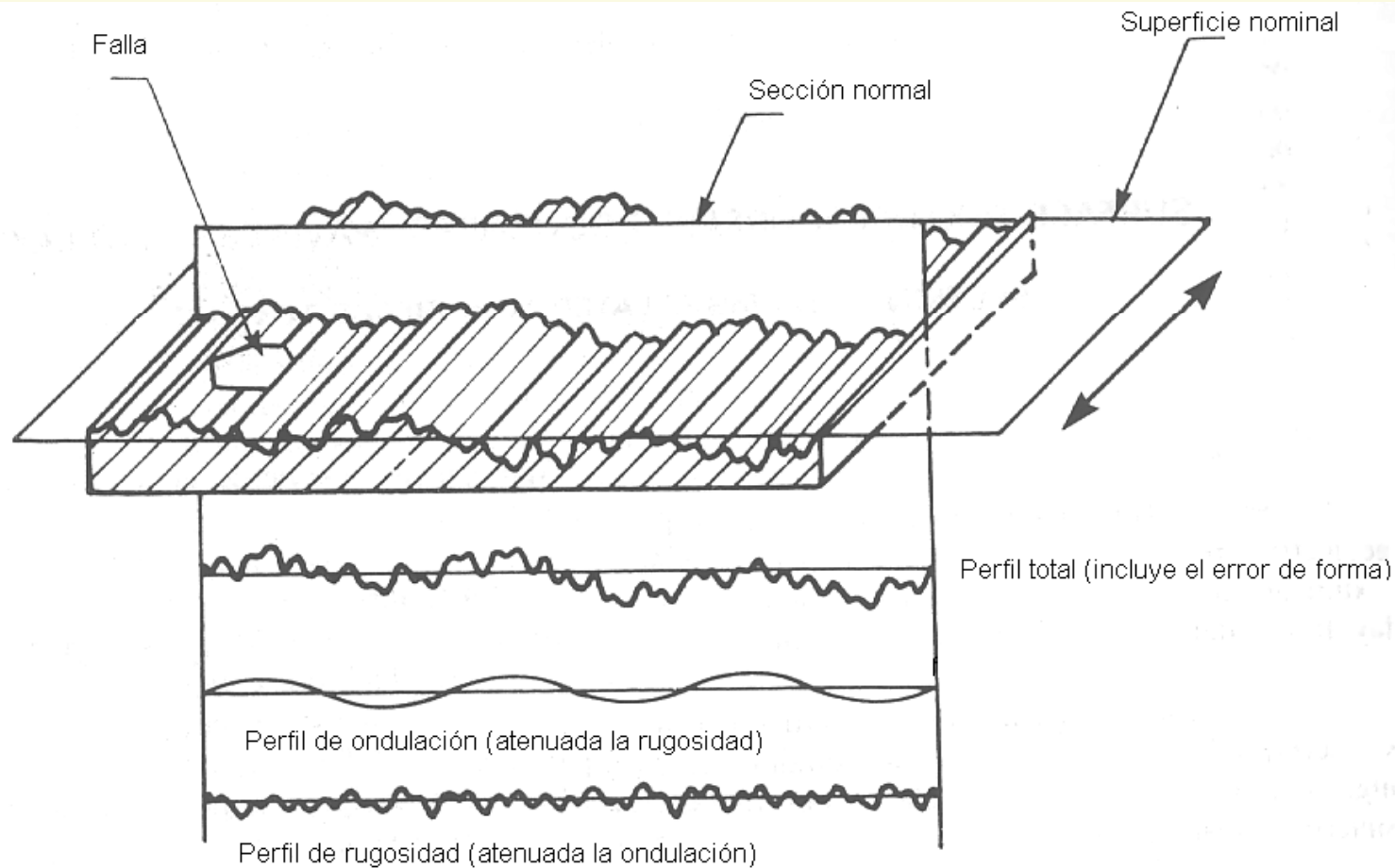
Tipos de irregularidades en la superficie?



Tipos de irregularidades en la superficie?



Tipos de irregularidades en la superficie?



Puntos a considerar del software

Cuando se desarrolla un nuevo software de análisis de datos es importante considerar entre sus características:

- Tipo de archivos que se pueden leer para análisis
- Algoritmos para el análisis. En nuestro caso la implementación de los filtros
- Visualización de los resultados

Antecedentes

- ✓ **NIST--- Internet-based Surface Metrology Algorithm Testing System**
- ✓ **PTB--- Reference Software for roughness measurement**
- ✓ **NPL--- SoftGauges for Surface Metrology (Universidad de Huddersfield, RTH y NPL)**

Archivos de tipo “prf”

Uno de los formatos mas comunes anteriormente era el formato “prf”

Características:

- Es un archivo binario (no se pueden visualizar los datos directamente, es necesario un software que decodifique la información)
- Archivos relativamente pequeños (6 bytes para un número con resolución de 16 dígitos)
- Poca información de la pieza de la que provienen

Archivos de tipo “prf”

“Vista” de un archivo prf

```
1 2
SG2004 0.000000e+000 PRF
CX M 2.240100e+004 MM 1.000000e+000 D
CZ M 2.240100e+004 UM 1.000000e-006 L
EOR
STYLUS_RADIUS 0.000000e+000 MM
SPACING CX 2.500000e-004
MAP 1.000000e+000 CZ CZ 1.000000e+000
1.000000e+000
MAP 2.000000e+000 CZ CX 1.000000e+000
0.000000e+000
COMMENT CENAM-PRF
EOR
-1031440
-915403
-799366
.....
1431123
1379551
1315086
1250621
EOR
EOF
```

Nuevos formatos de mediciones

Con el fin de asegurar la transferencia de la información entre diferentes sistema de medición de rugosidad surge los formatos

- “smd” para mediciones en 2D
- “sdf” para mediciones en 3D

Los cuales se encuentran definidos en la norma ISO 5436-2:2000.

ISO 5436-2:2000

Características de los formato *smd* y *sdf*:

- Son archivo en formato ASCII (Se pueden visualizar con diversas aplicaciones)
- Archivos grandes (1 bytes para cada dígito significativo que se requiera)
- Contienen información diversa, como fecha de creación, creador del archivos, tipo de filtro aplicado, etc..

Ejemplos formato *smd* y *sdf*

```
ISO 5436 - 2000 EDM04meas
PRF 1 ISO5436
CX I 22401 mm 1.0e0 D 2.5e-4
CZ A 22401 um 1.0e0 D

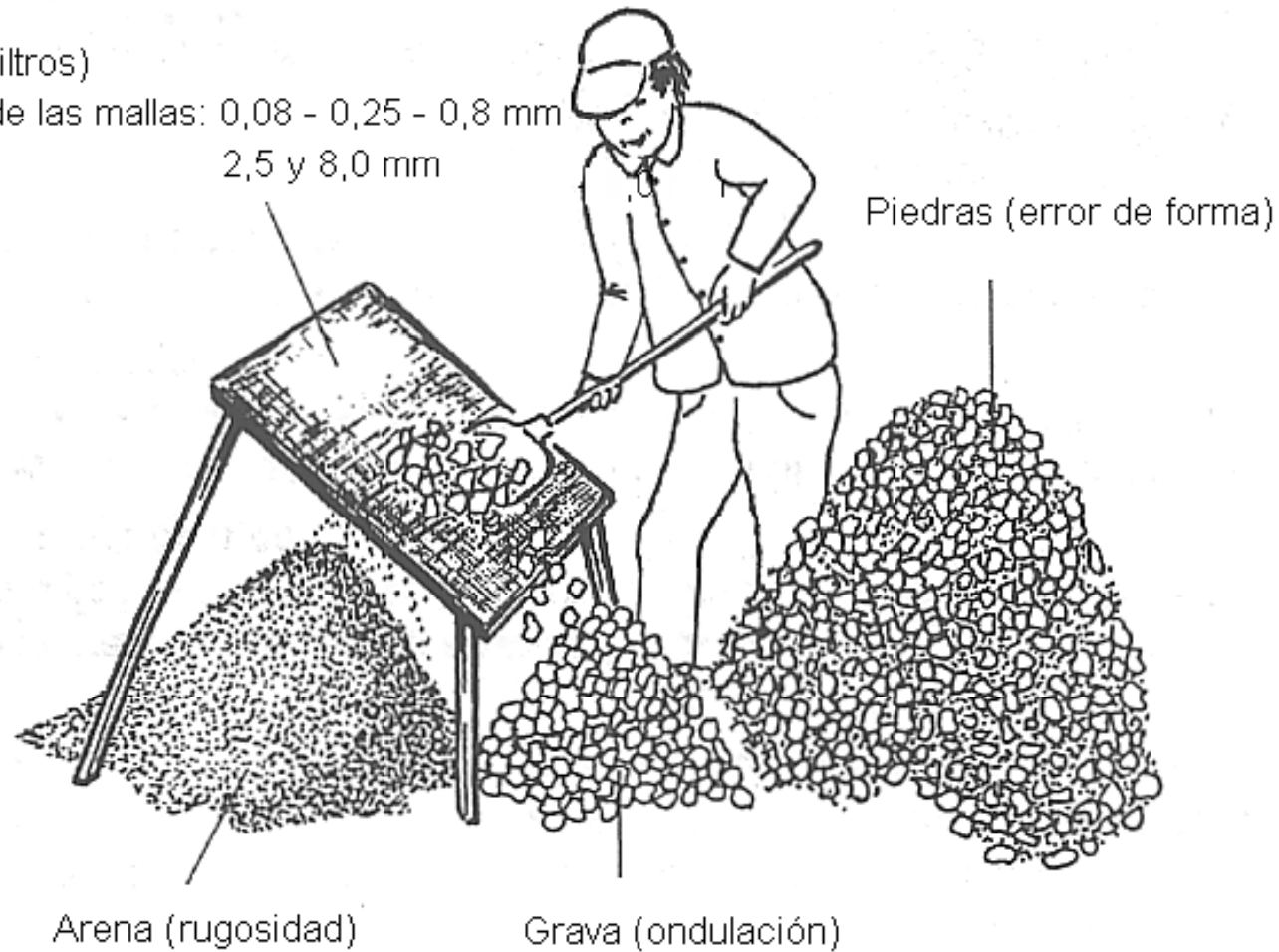
DATE 25-Nov-2004
TIME 10:50
CREATED_BY Centro Nacional de Metrologia
PROFILE_FILTER Gaussian LS 0.0e0 LC 8.0e-1
-0.296539
-0.270753
-0.244967
-0.219181
.....
-0.103144
-0.077358
-0.051572
-0.038679
30040
```

```
aNPL-V1.0
ManuFacID = CENAM
CreateDate = 210520051200
ModDate = 210520051200
NumPoints = 22401
NumProfiles = 1
Xscale = 2.5E-07
Yscale = 0
Zscale = 1E-06
Zresolution = -1
Compression = 0
DataType = 7
CheckType = 0
*
-0.296539
-0.270753
-0.244967
-0.219181
-0.180502
-0.180502
-0.12893
...
-0.077358
-0.051572
-0.038679
*
```


Filtrado

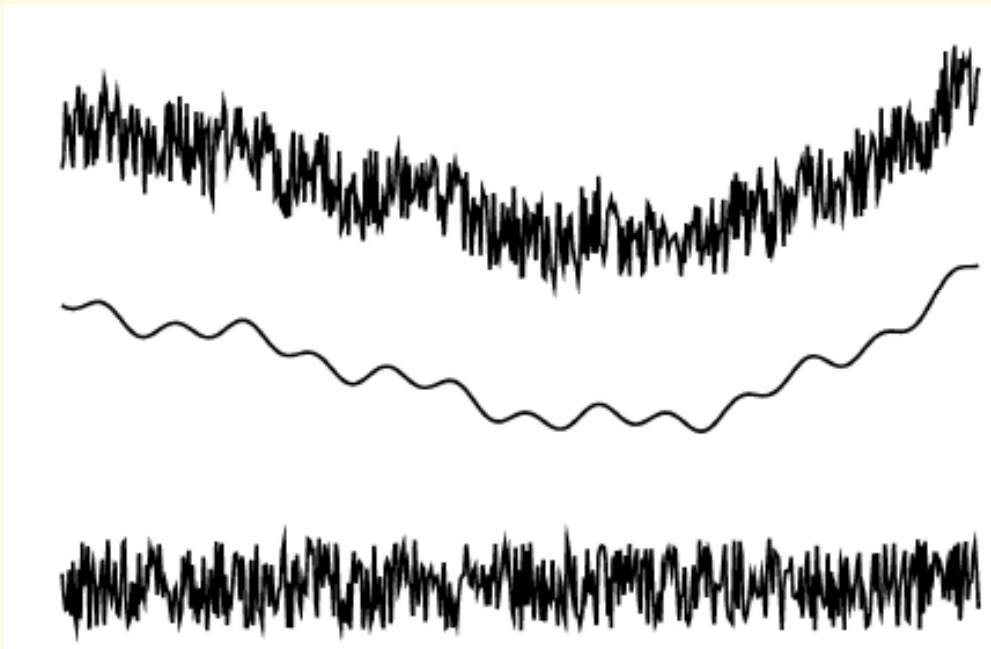
Cribas (filtros)

Tamaño de las mallas: 0,08 - 0,25 - 0,8 mm
2,5 y 8,0 mm



Filtrado

Un filtro (para fines de medición de acabado superficial) es una transformación electrónica, óptica, mecánica o matemática de un perfil para atenuar (remover) componentes de longitudes de onda fuera del intervalo de interés de una medición.



Señal

Componente de longitud de onda grande

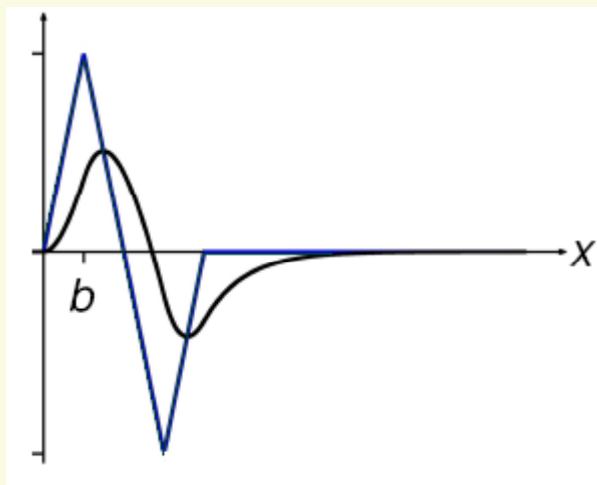
Componente de longitud de onda corta

Tipos de filtros

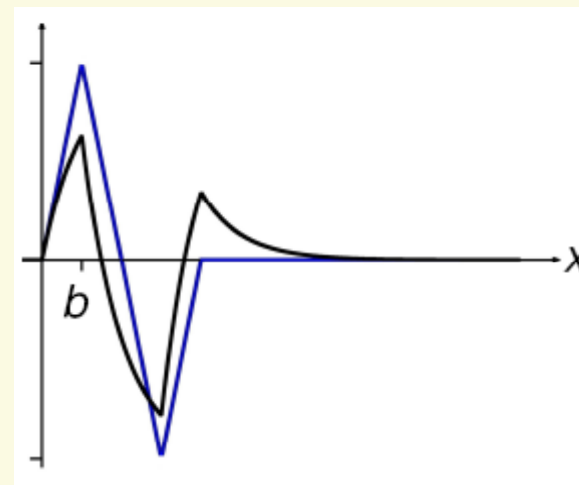
Entre los filtros mas empleados en metrología para rugosidad se encuentran los siguientes filtros lineales:

- Filtros eléctricos RC, implementado en hardware
- Filtro 2RC PC, implementados en software
- Filtro Gaussiano, implementado en software

Filtro RC, distorsión de fase

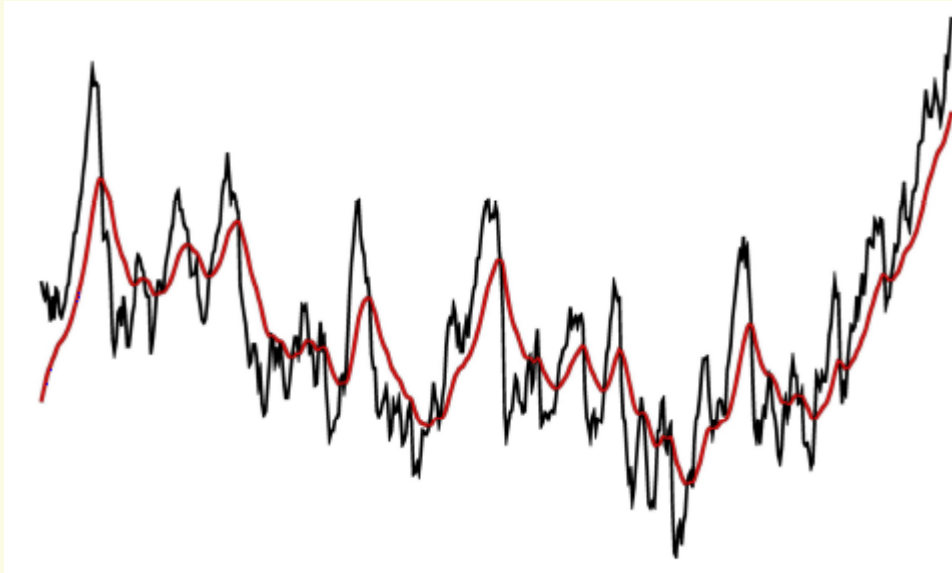


pasa bajas

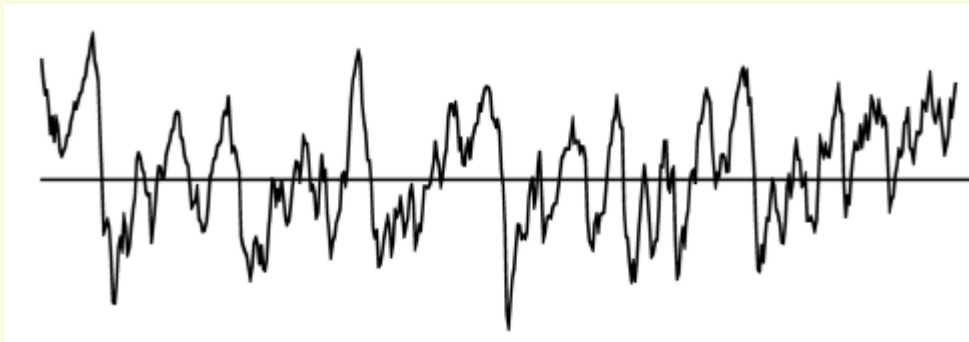


pasa altas

Filtro RC

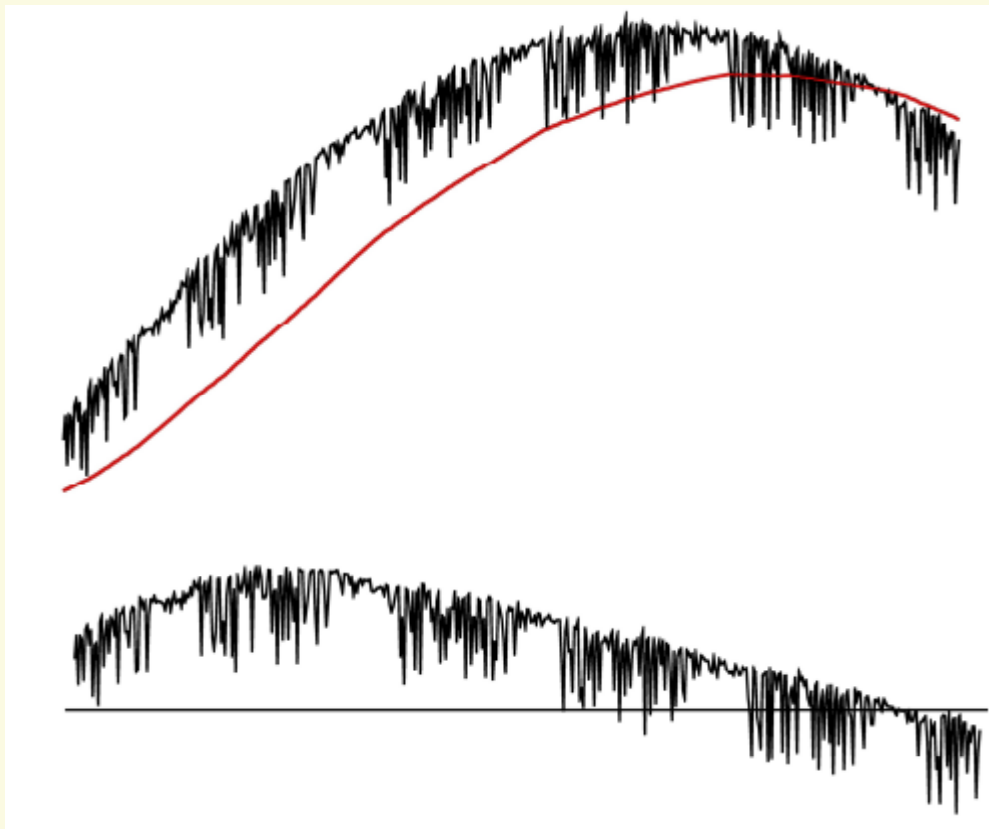


pasa bajas



pasa altas

Filtro RC



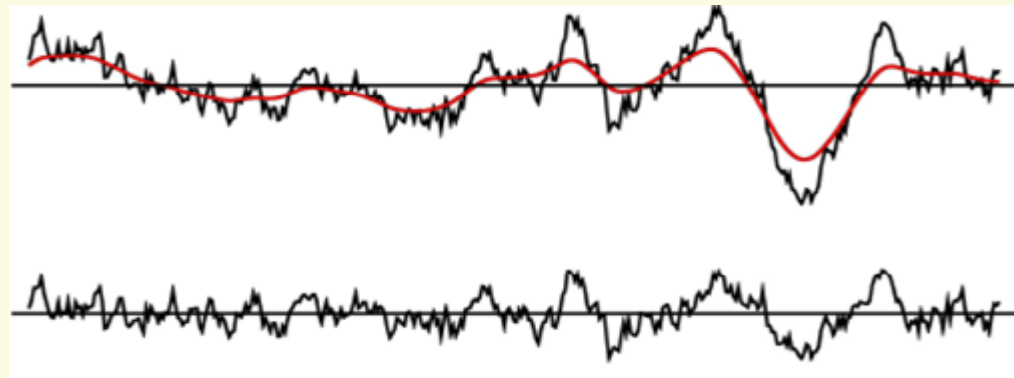
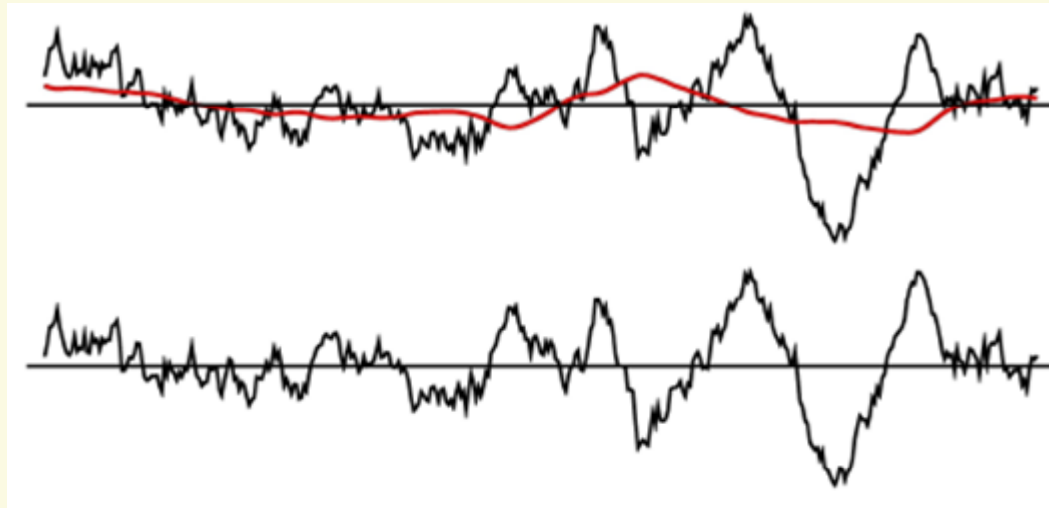
pasa bajas

pasa altas

Filtro 2RC PC

- El filtro 2RC ha sido creado para eliminar el corrimiento de fase que provoca el filtro eléctrico RC.
- El filtro 2RC se implementa por software
- El filtro 2RC PC, es un filtro lineal, invariante a traslación

Filtro RC vs. filtro 2RC PC



Nuevos filtros de la serie ISO 16610

En la ISO 16610 se han publicado los siguientes filtros de perfil:

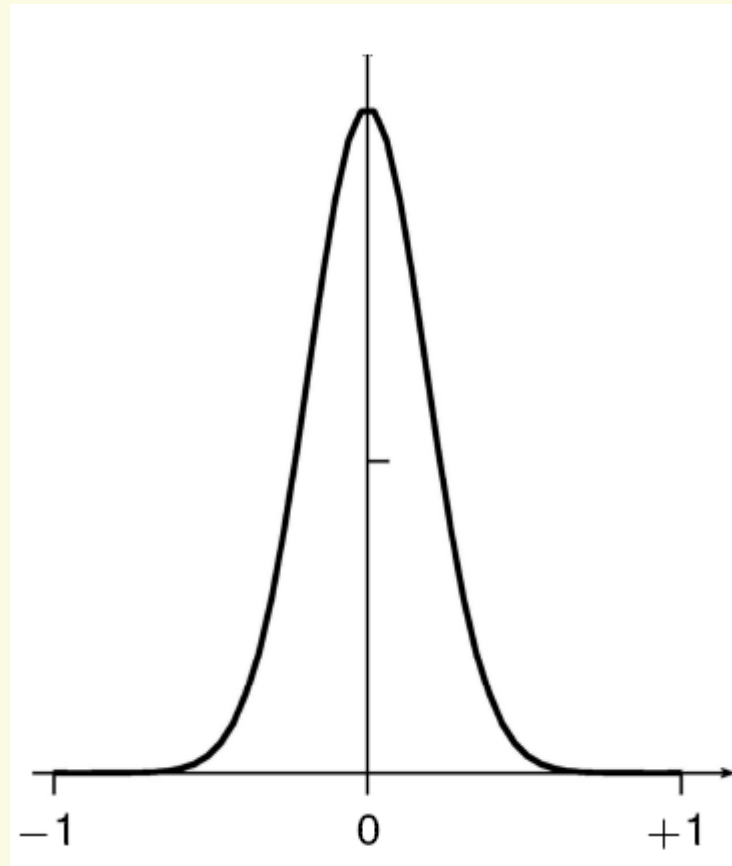
- Filtro gaussiano (ISO 16610-21)
- Filtro Spline (ISO/TS 16610-22)
- Filtro Spline wavelets (ISO/TS 16610-29)
- Filtro Regresión robusta gaussiano (ISO/TS 16610-31)
- Filtro spline robusto (ISO/TS 16610 -32)
- Filtro morfológicos (ISO/TS 16610-41)

Además se encuentra trabajando en los filtro de área

Filtro gaussiano (ISO/TS 16610-21)

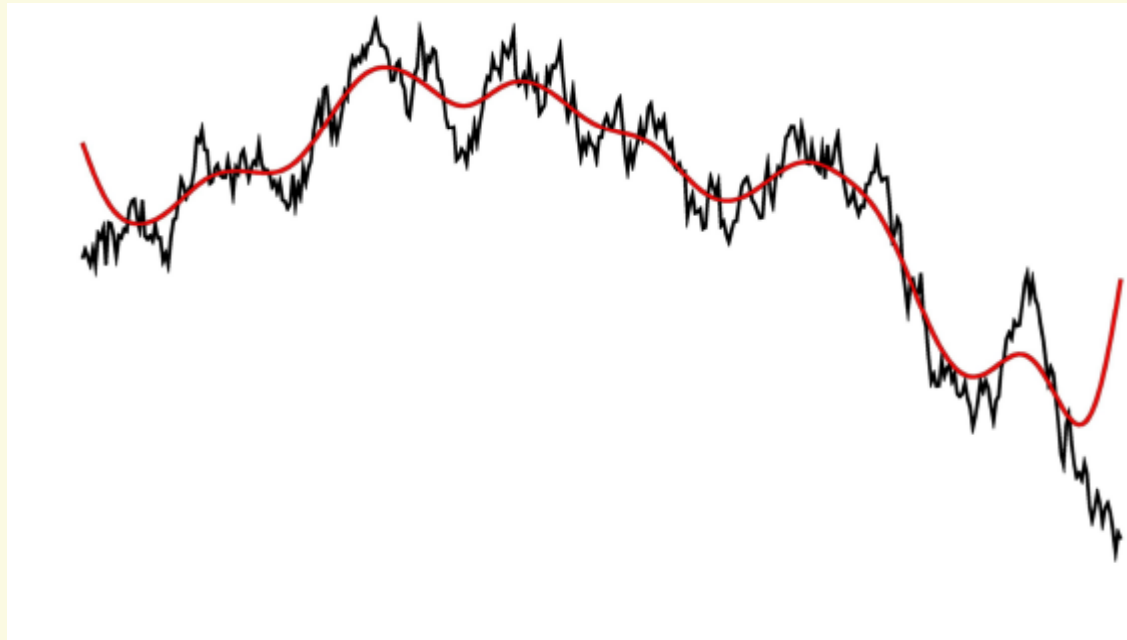
- El filtro gaussiano ha remplazado al filtro 2RC PC desde hace mas de 10 años (ISO 11562-1996)
- Es un filtro sin corrimiento de fase debido a su función de peso simétrica (campana de gauss)
- La implementación es solo vía software debido a que no es un filtro causal
- Es un filtro linear invariante a traslación

Filtro gaussiano (ISO/TS 16610-21)



Función de peso del filtro gaussiano

Efectos en los extremos del filtro gaussiano

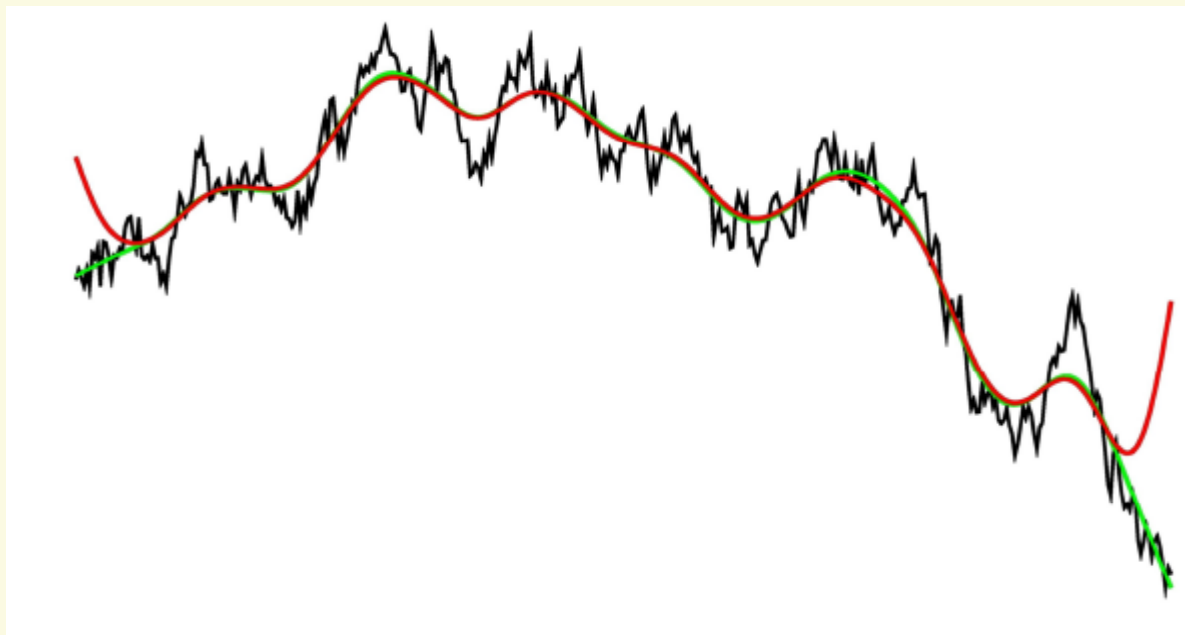


El filtro gaussiano presenta problemas en los extremos de la señal (debido a su simetría). Esto normalmente se soluciona eliminando el inicio y final de la señal filtrada.

Filtro spline (ISO/TS 16610-22)

- El filtro spline ha sido desarrollado para resolver algunas de las desventajas que presentan los filtros lineales invariantes a traslación, entre ellos el filtro gaussiano
- Los filtros spline son filtros sin corrimiento de fase, pero no son filtros invariantes a traslación
- Son implementados por software solamente, y se emplea un algoritmo matricial
- Existe una versión de splines robusto, de tal forma que son sensibles a los “outliers”.

Filtro spline (ISO/TS 16610-22)



Filtro spline (ISO/TS 16610-22)

- El filtro spline ha sido desarrollado para resolver algunas de las desventajas que presentan los filtros lineales invariantes a traslación, entre ellos el filtro gaussiano
- Los filtros spline son filtros sin corrimiento de fase, pero no son filtros invariantes a traslación
- Son implementados por software solamente, y se emplea un algoritmo matricial
- Existe una versión de splines robusto, de tal forma que son sensibles a los “outliers”.

Filtros de acuerdo a la 16610

$$y(x) = \int K(x - \xi)z(\xi)d\xi$$

$K(x - \xi)$ Kernel simétrico, real e invariante a la traslación

$y(x)$ Perfil filtrado

$z(\xi)$ Perfil sin filtrar

Filtro discreto

$$y(x) = \sum_{\xi=0}^{n-1} K(x-\xi)z(\xi)$$

El número de operaciones necesarias para la convolución en 1D es:

$$n_p \times n_k \times n_k$$

Como alternativa se puede realizar la FFT convirtiéndose en:

$$2(n_k \times \log_2 n_k) + n_p$$

Filtro discreto en 3D

$$y(x, y) = \sum_{k=0}^{n-1} \sum_{l=0}^{n-1} K(x-k, y-l)z(k, l)$$

La complejidad aumenta considerablemente. Se puede utilizar también la FFT (Fast Fourier Transform) como alternativa.

Esto es empleado por el NIST. Para el caso del gaussiano hace uso de una aproximación publicada por gente de PTB.

Propuesta: Convolución con kernels separables

Un kernel es separable si puede escribirse como el producto de dos kernels unidimensionales

$$h(x, y) = h_1(x)h_2(y)$$

La convolución entonces puede escribirse como

$$\begin{aligned}y(x, y) &= \sum_u \sum_v f(u, v)h(x-u, y-v) \\ &= \sum_u \sum_v f(u, v)h_1(x-u)h_2(y-v) \\ &= \sum_v \left[\sum_u f(u, v)h_1(x-u) \right] h_2(y-v)\end{aligned}$$

Filtro Gaussiano con kernels separables

$$G(x, y) = \frac{1}{z} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}}$$
$$= \left(\frac{1}{\sqrt{z}} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} \right) \left(\frac{1}{\sqrt{z}} e^{-\frac{y^2}{2\sigma^2}} \right)$$

Esto implica que primero se realiza la convolución 1D por renglones y luego la convolución 1D por columnas. Además se puede manejar la convolución con la FFT.

El empleo de este algoritmo permitió reducir a un 12% el tiempo empleado en la realización de la convolución original.

Características del programa

- ✓ Desarrollado en LabWindows.
- ✓ Permite leer archivos 2D en formato “prf”, “mod”, “smd” (ISO 5436-2: 2000)
- ✓ Permite leer archivos 3D en formato “sdf” (ISO 5436-2: 2000)
- ✓ Permite guardar archivos 2D en formato “smd” y en 3D en formato “sdf”.

Características del programa

- ✓ Realiza el cálculo de los parámetros para 2D: R_a , R_q , R_{sk} , R_{ku} , R_p , R_v , y R_t .
- ✓ Realiza el cálculo de los parámetros para 3D: R_a , R_q , R_{dq} , R_{dr} , R_p , R_v , y R_t .
- ✓ Permite la visualización de los archivos en 3D con opciones de zoom, escala, rotación, etc.



Software

Resultados

- ✓ El software desarrollado en CENAM ha sido probado con las bases de datos del NIST (ejemplo)
- ✓ Los resultados muestran una concordancia hasta la 6 cifra significativa en el peor de los casos comparando los resultados de NIST y CENAM
- ✓ El tiempo empleado por el algoritmo de kerneles separables para señales de 3D, representa un 12% del tiempo, en comparación con el cálculo normal