



# Metodología para el Uso de los Niveles de Gris en Verificación de Firmas Manuscritas

**Jesús Francisco Vargas Bonilla**

Tutor: Dr. D. Miguel Angel Ferrer Ballester

Departamento de Señales y Comunicaciones

Doctorado en Cibernética y Telecomunicaciones

Enero 21, 2011

- 1 Introducción
- 2 Esquema general de un sistema AVFM
- 3 Caracterización basada en los niveles de gris
- 4 Características basadas en texturas
- 5 Combinación de información espacial con textura
- 6 Análisis de textura en el dominio transformado
- 7 Análisis de la metodología propuesta
- 8 Conclusiones

# Agenda

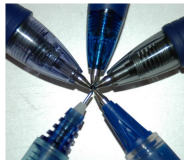
- 1** **Introducción**
  - La Tesis
  - Objetivos
- 2** Esquema general de un sistema AVFM
- 3** Caracterización basada en los niveles de gris
- 4** Características basadas en texturas
- 5** Combinación de información espacial con textura
- 6** Análisis de textura en el dominio transformado
- 7** Análisis de la metodología propuesta
- 8** Conclusiones

# Introducción



## Pertinencia

- La firma manuscrita - una de las formas más comúnmente usada y ampliamente aceptada para la autenticación de la identidad de una persona.



## Pertinencia

- La firma manuscrita - una de las formas más comúnmente usada y ampliamente aceptada para la autenticación de la identidad de una persona.

### Miles de documentos son firmados al día :

- Autorizar una transacción bancaria
- Acceso a información o a un recinto
- Representación legal
- Contrato

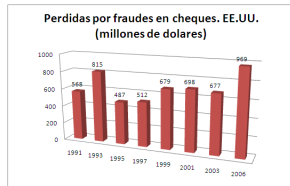
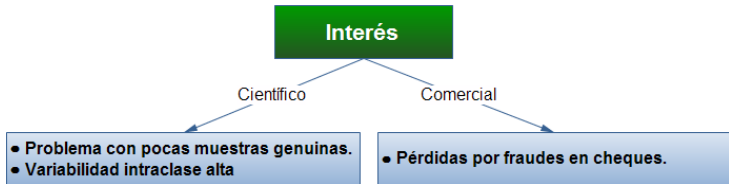
## Pertinencia

- La firma manuscrita - una de las formas más comúnmente usada y ampliamente aceptada para la autenticación de la identidad de una persona.

### Miles de documentos son firmados al día :

- Autorizar una transacción bancaria
- Acceso a información o a un recinto
- Representación legal
- Contrato
- **Verificación - inspección visual.**

# Interés

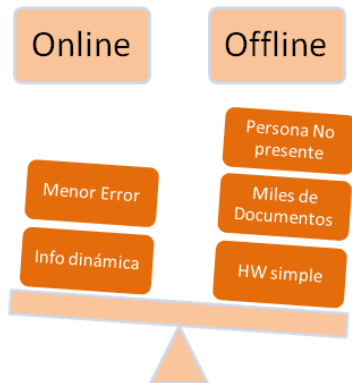


(b) [Mohsberg, 2007]



## Verificación de firmas manuscritas

Sistemas tipo on-line y off-line.



## Competiciones Internacionales

### SigComp09 - ICDAR09 (Online)

- Académico EER( %) - 8.99
- Industrial EER( %) - 2.85

### 4NSigComp2010 - ICFHR10 (Offline)

- Académico EER( %) - 16.42
- Industrial EER( %) - 8.94

Sistemas Off-line basados en información B/N.

## Revisión del estado del Arte

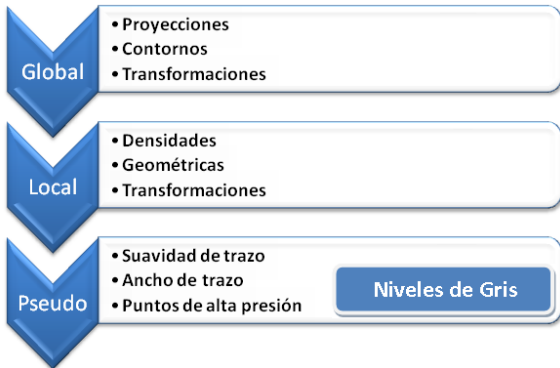
### Nivel de detalle

- Globales o Locales

### Tipo de información

- Estáticas o Pseudo-dinámicas

## Revisión del estado del Arte



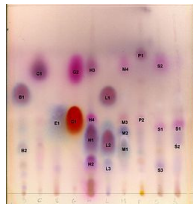
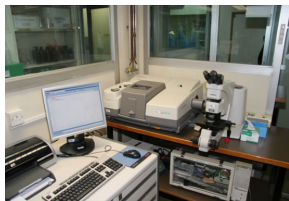
# Revisión del estado del Arte



# Análisis de tinta

## Análisis forense de documentos

- Determinar si dos trozos de texto escrito han sido realizados con la misma tinta.
- Las técnicas empleadas para este fin pueden ser divididas en metodologías no-destructivas y destructivas.
  - Cromatografía de capa fina - TLC
  - Espectroscopia Infrarroja con Transformada de Fourier - FT-IR



# Análisis de tinta

## Análisis del tipo de tinta usando PDS

- Franke y Otros [Franke et al., 2002], determinar de manera automática el tipo de bolígrafo empleado, mediante el análisis de los trazos en una imagen estática.
- La textura presente en una imagen de trazos manuscritos está determinada por las propiedades físicas de la tinta usada.
- **Es posible determinar el tipo de tinta empleado a partir de un análisis de texturas en la imagen. Matriz de co-ocurrencias (GLCM).**

## Análisis de tinta

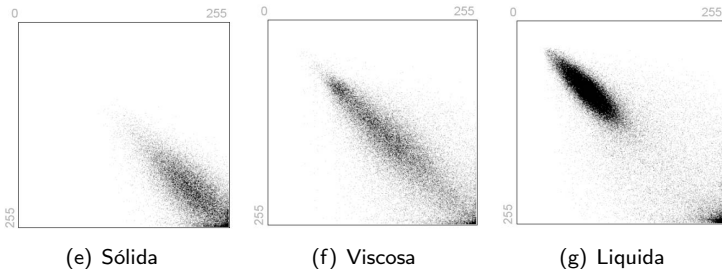
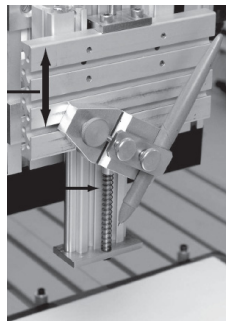


Figura: GLCM para diferentes tipos de tinta [Franke et al., 2002].

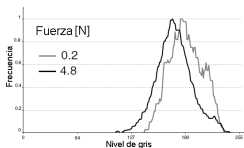


## Análisis de tinta

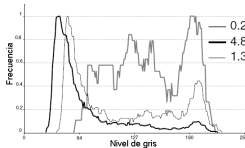
- Franke y Rose [Franke and Rose, 2004], estudia la influencia de los procesos físico y biomecánico sobre los trazos de tinta.
- Robot escritor, diferentes tipos de herramientas para escribir bajo condiciones controladas (30 tipos de bolígrafos).
- **Modelo de Deposición de Tinta (IDM)**.  
Relación de fuerza aplicada y la distribución de la intensidad relativa de tinta para tres tipos de tinta: Solida, Viscosa y Liquida.



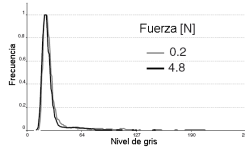
# Análisis de tinta



(a) Sólida



(b) Viscosa



(c) Líquida

- Desplazamiento hacia la izquierda (niveles más oscuros de gris) cuando se aumenta la fuerza ejercida sobre el bolígrafo.
- Cambios en el color de la tinta solo representan un desplazamiento del histograma sin cambios en la distribución del mismo.

## Análisis de tinta

- [Franke and Srihari, 2008], motivado por resultados empíricos obtenidos por la Ciencia Forense, que revelaron que para el caso de trazos imitados, los cuales son realizados con una menor fluidez y con diversos pulsos en los valores de fuerza o presión, se **presentaban alteraciones en las características al interior de los trazos de tinta.**
- Los autores hicieron uso de datos tipo on-line para establecer la secuencia de los trazos.

## Análisis de tinta

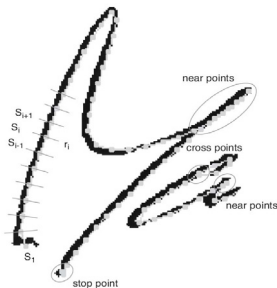
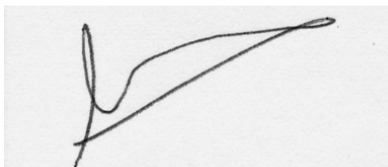
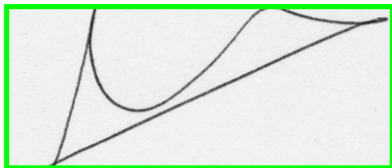


Figura: Superimposición on-line y la imagen estática.

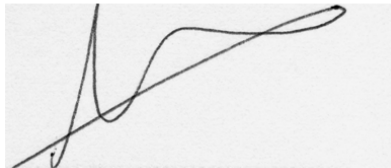
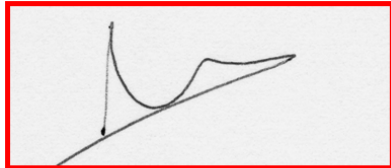
- Trazos similares producen una deposición similar de tinta. Diferentes herramientas pero mismo tipo de tinta.
- Trazos con el mismo bolígrafo son altamente concurrentes. Reconocimiento del 100 %.
- **Diferentes tipos de bolígrafo. Reconocimiento cae a un 93.2 %.**

# Planteamiento del problema

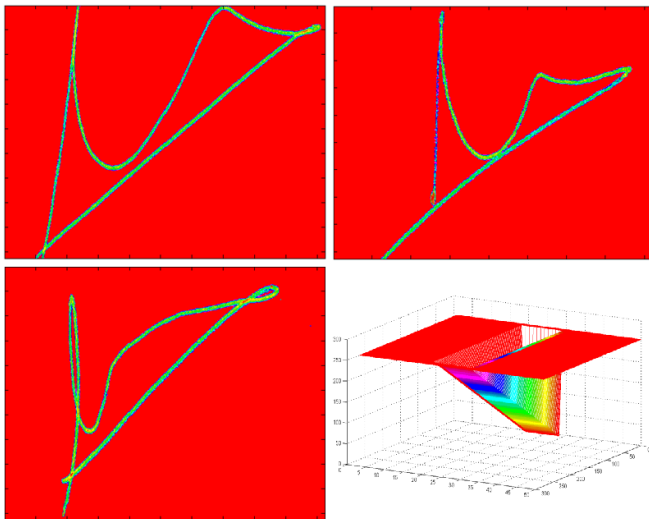
## Planteamiento del problema



## Planteamiento



# Planteamiento





# La Tesis



Niveles de Gris???

# La Tesis



# La Tesis



## Hipótesis

La información del firmante está menos enmascarada en la relación entre los niveles de gris de los píxeles del trazo de una firma manuscrita que en su valor absoluto.

# La Tesis



## Hipótesis

La información del firmante está menos enmascarada en la relación entre los niveles de gris de los píxeles del trazo de una firma manuscrita que en su valor absoluto.

## Tesis

Caracterizar los cambios entre los niveles de gris del trazo de una firma manuscrita aporta información que permite mejorar la verificación automática de la identidad de una persona a partir de su firma.

# Objetivos

- 1 Explorar metodologías para mejorar la detección de falsificaciones a partir de la información extraída de los niveles de gris de la imagen estática de una firma manuscrita.

# Objetivos

- 1** Explorar metodologías para mejorar la detección de falsificaciones a partir de la información extraída de los niveles de gris de la imagen estática de una firma manuscrita.
- 2** Analizar la influencia, tanto del tipo de bolígrafo como del tipo de papel utilizados para realizar la firma, sobre el desempeño del sistema desarrollado. Así mismo, desarrollar los procedimientos orientados a la minimización de tales efectos.

# Objetivos

- 1** Explorar metodologías para mejorar la detección de falsificaciones a partir de la información extraída de los niveles de gris de la imagen estática de una firma manuscrita.
- 2** Analizar la influencia, tanto del tipo de bolígrafo como del tipo de papel utilizados para realizar la firma, sobre el desempeño del sistema desarrollado. Así mismo, desarrollar los procedimientos orientados a la minimización de tales efectos.
- 3** Proponer una metodología de verificación que aproveche eficientemente la información obtenida con la caracterización propuesta, y que considere tanto la selección de características como la combinación de diferentes modelos de clasificación.

# Agenda

- 1 Introducción
- 2 **Esquema general de un sistema AVFM**
  - Sistemas AVFM
  - Bases de Datos
  - Procesamiento del Fondo
  - Preprocesamiento del Histograma
  - Metodología de Evaluación
- 3 Caracterización basada en los niveles de gris
- 4 Características basadas en texturas
- 5 Combinación de información espacial con textura
- 6 Análisis de textura en el dominio transformado
- 7 Análisis de la metodología propuesta
- 8 Conclusiones



# Esquema general de un sistema AVFM



## Bases de Datos

- A pesar del gran número de trabajos realizados en el área de la verificación off-line de firmas manuscritas, faltan bases de datos de referencia, de gran tamaño, y disponibles públicamente.

Cuadro: Bases de datos públicas de firmas estáticas.

Nombre BD	# Firmantes
GPDSsignature	850
MCYT-75	75

[Ferrer et al., 2005], [Fierrez-Aguilar et al., 2004]

# Bases de Datos

## GPDS-corporus

- Grupo de Procesado Digital de Señales de la ULPGC.
- GPDS-960 Corpus. 24 muestras genuinas y 24 falsificaciones.
- Resolución de 300ppp.
- Cada firmante usó su propio bolígrafo.
- Se decidió digitalizar de nuevo las bases de datos, con el fin de aumentar la cantidad de información disponible en cada imagen.
- Redigitalizadas a una resolución de 600ppp.
- Deterioro y/o pérdida de algunos folios - 850 firmantes.
- Etapas en la construcción:  $GPDS100 + GPDS750 = 850$ .

# Bases de Datos

## GPDS-corpus

- La versión en blanco y negro de esta base de datos se ha utilizado para la competición **4NSigComp2010** [Blumenstein et al., 2010] realizada en el marco de la International Conference on Frontiers of Handwriting Recognition ICFHR2010.
- Esta base de datos ha sido empleada en diferentes trabajos: [Ferrer et al., 2005], [Armand et al., 2006], [Nguyen et al., 2007], [del Solar et al., 2008], [Bakri et al., 2009], [Vargas et al., 2010], [Blumenstein et al., 2010], [Vargas et al., 2011]

# Bases de Datos

## MCYT-corpus

- Grupo de reconocimiento biométrico - ATVS de la Escuela Politécnica Superior de la UAM, y que se encuentra disponible en <http://atvs.ii.uam.es/databases.jsp>.
- Tiene disponibles muestras de 75 firmantes. Se dispone de 15 muestras genuinas y 15 falsificaciones.
- Resolución de 600ppp.
- **Todas las firmas fueron realizadas con el mismo tipo de bolígrafo.**
- Esta base de datos ha sido empleada en diferentes trabajos [Fierrez-Aguilar et al., 2004], [Ferrer et al., 2006], [Freire et al., 2007], [Alonso-Fernandez et al., 2007], [Güler and Meghdadi, 2008], [Gilperez et al., 2008], [Prakash and Guru, 2009].

## Procesamiento del Fondo

- Se estudian características basadas en la distribución de los niveles de gris en la imagen de una firma. Por tanto, es necesario un procedimiento para la eliminación o estandarización del fondo de la imagen.
- Los niveles de gris que corresponden al fondo no contienen información discriminante pero sí afectan negativamente la caracterización de la firma.
- Dichos niveles de gris reflejan diferencias en el tipo y color de papel sobre el cual se han plasmado las firmas.

## Procesamiento del Fondo



(a) GPDScorpus



(b) MCYTcorpus

Figura: Muestras con diferencias en el tipo de fondo.

## Posterización

- Disminuir la profundidad aparente de tal forma que tenga un impacto visual.
- Simplificación drástica de los tonos de la imagen.





## Posterización

Se establece un número  $n_L$  de niveles que se reparten a intervalos regulares dentro de la escala de grises.

$$I_P(x, y) = \text{round} \left( \text{round} \left( \frac{I_g(x, y) \cdot n_L}{255} \right) \cdot \frac{255}{n_L} \right) \quad (1)$$

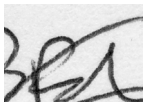
Se obtiene una versión binarizada umbralizando de la siguiente forma:

$$I_{bw}(x, y) = \begin{cases} 255 & \text{si } I_P(x, y) = 255 \\ 0 & \text{otro caso} \end{cases} \quad (2)$$

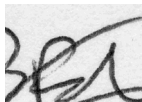
$$I_S(x, y) = \begin{cases} 255 & \text{si } I_{bw}(x, y) = 255 \\ I_g(x, y) & \text{otro caso} \end{cases} \quad (3)$$

En este punto, se obtiene una segmentación completa entre el fondo y los diferentes trazos que componen la firma.

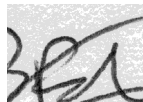
## Posterización



(c) Imagen original



(d) 32 niveles



(e) 8 niveles



(f) 4 niveles



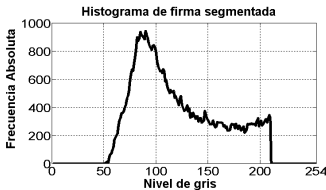
(g) 3 niveles



(h) 2 niveles

**Figura:** Posterización para diferentes niveles de gris considerados.

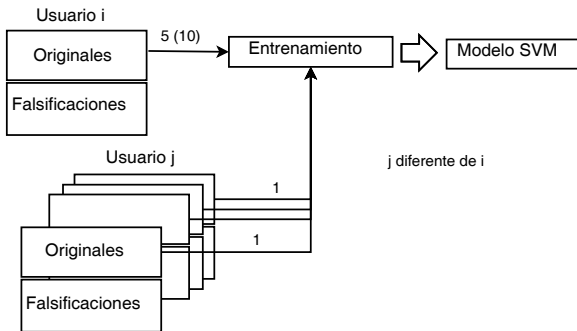
# Preprocesamiento del Histograma



Reducir la influencia de la herramienta [Franke and Rose, 2004].

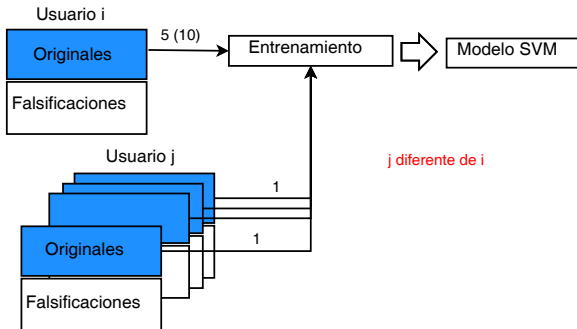
# Metodología de Evaluación

## Metodología de Evaluación



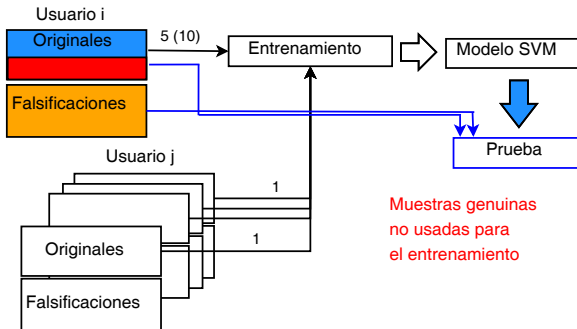
- Muestras negativas: Falsificaciones de tipo aleatorio (genuinas de otros firmantes) [Bertolini et al., 2009].

# Metodología de Evaluación



- Número reducido de muestras → Validación cruzada (LOOCV).
- Parámetros del kernel RBF ( $\gamma, C$ ) para el clasificador basado en Máquinas de Soporte Vectorial (LS-SVM).

# Metodología de Evaluación



Muestras genuinas  
no usadas para  
el entrenamiento

- En principio se usaron los primeros 75 firmantes de cada base de datos.
- Umbral establecido *a priori*.

# Agenda

- 1 Introducción
- 2 Esquema general de un sistema AVFM
- 3 Caracterización basada en los niveles de gris**
  - Características estadísticas a partir del histograma
  - Coeficientes Pseudo-cepstales del histograma de niveles de gris
  - Densidad de píxeles en coordenadas Polares
- 4 Características basadas en texturas
- 5 Combinación de información espacial con textura
- 6 Análisis de textura en el dominio transformado
- 7 Análisis de la metodología propuesta
- 8 Conclusiones



- └ Caracterización basada en los niveles de gris
- └ Características estadísticas a partir del histograma



- Primero analizamos características que no tienen en cuenta la relación de un pixel con sus vecinos.

## Características estadísticas a partir del histograma

- Sea  $g$  la intensidad de una imagen discreta ( $g = 0$  para el negro y  $g = 255$  para el blanco) y  $h(g)$ ,  $g = 0, 1, \dots, L - 1$  el correspondiente histograma normalizado ( $\sum_L h(g) = 1$ ), donde  $L$  es el número de niveles. El momento  $n$ -ésimo de  $g$  respecto a la media es:

$$\mu_n(g) = \sum_{g=0}^{L-1} (g - \bar{g})^n h(g) \quad (4)$$

donde  $\bar{g}$  es el valor medio de  $g$  (la intensidad media):

$$\bar{g} = \sum_{g=0}^{L-1} g \cdot h(g) \quad (5)$$

## Características estadísticas a partir del histograma

$$\begin{aligned}
 \text{Valor Medio} \quad \bar{g} &= \sum_{g=0}^{L-1} g \cdot h(g) \\
 \text{Varianza} \quad \sigma_g^2 &= \sum_{g=0}^{L-1} (g - \bar{g})^2 \cdot h(g) \\
 \text{Skewness} \quad g_s &= \frac{1}{\sigma_g^3} \sum_{g=0}^{L-1} (g - \bar{g})^3 \cdot h(g) \\
 \text{Kurtosis} \quad g_k &= \frac{1}{\sigma_g^4} \sum_{g=0}^{L-1} (g - \bar{g})^4 \cdot h(g) - 3 \\
 \text{Energía} \quad g_e &= \sum_{g=0}^{L-1} [h(g)]^2
 \end{aligned} \tag{6}$$

$L$ : número de niveles de gris.  $h(g)$ : histograma.

Kurtosis: La concentración de los niveles. Skewness: La simetría de la distribución de los niveles.

- └ Caracterización basada en los niveles de gris
  - └ Características estadísticas a partir del histograma

## Resultados

**Cuadro:** Resultados para características del histograma usando 256 niveles de gris.

#	B.D.	EER(%)
5	MCYT	22,95
	GPDS100	17,75
	GPDS750	19,28

Influencia del uso de diferentes tipos de tinta: Alta variabilidad de resultados con diferentes bases de datos.

## Coeficientes Pseudo-cepstrales

Para la metodología propuesta, aunque se analiza la imagen de una firma, solo se tiene en cuenta su histograma de niveles de gris. En este sentido, el cepstrum de un vector de datos (no el de una imagen), es [Childers et al., 1977]:

$$C_h(p) = F^{-1} \{ \log |D(u)| \} \quad (7)$$

donde  $D(u)$  se reemplaza con el vector correspondiente al histograma de la imagen, y que representaría el “espectro” de la misma, en el sentido de que nos brinda información sobre la distribución de los componentes tonales que conforman la imagen que analizamos, esto es

$$C_h(p) = F^{-1} \{ \log |hisI(g)| \} \quad (8)$$

## Resultados

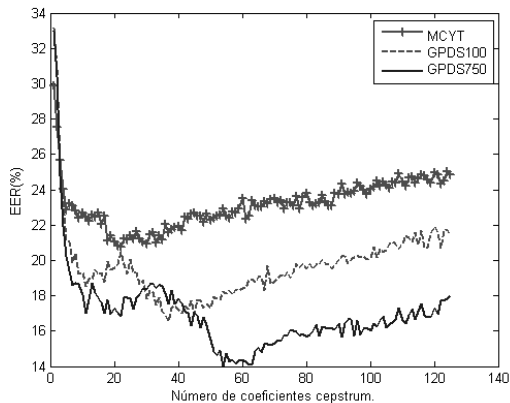
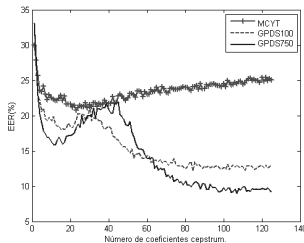
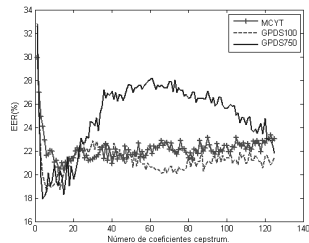
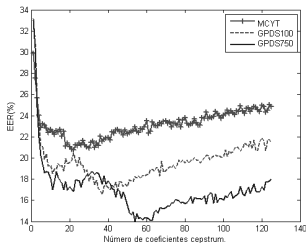


Figura: EER respecto al número de coeficientes cepstrum.

- Caracterización basada en los niveles de gris
- Coefficientes Pseudo-cebrales del histograma de niveles de gris

## Resultados - Efectos de preprocesado

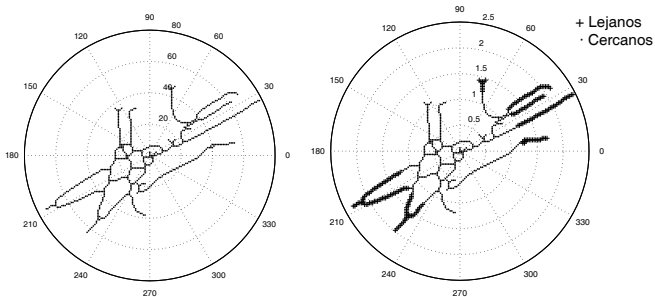


## Nota

- Evidenciada la influencia del tipo de bolígrafo.
- Se plantea el uso de los niveles de gris para detectar los puntos de alta presión.
- Tomando como base el concepto planteado por Ammar [Ammar et al., 1986], y aplicando los desarrollos previos realizados por el Grupo de Procesado Digital de Señales [Ferrer et al., 2005] en los que se hace uso de la información espacial.
- Se plantea un análisis de la imagen a nivel local pero en un espacio diferente al cartesiano.



## Píxeles en coordenadas Polares



(d) Malla formada en coordenadas polares

(e) Elementos cercanos y lejanos

Figura: Transformación de imagen al espacio polar

## Puntos de Alta Presión

- Mayor presión sobre el bolígrafo  $\Rightarrow$  niveles mas oscuros.
- Umbral determinado [Ammar et al., 1986]:

$$Th_{hp} = g_{\text{mín}} + 0,75 (g_{\text{máx}} - g_{\text{mín}}) \quad (9)$$

$g_{\text{min}}, g_{\text{max}}$ : niveles mínimo y máximo de intensidad.

- [Huang and Yan, 1997], [Sansone and Vento, 2000], [Mitra et al., 2005], [Lv et al., 2005].

- └ Caracterización basada en los niveles de gris
- └ Densidad de píxeles en coordenadas Polares

## Modificación propuesta para el cálculo del umbral

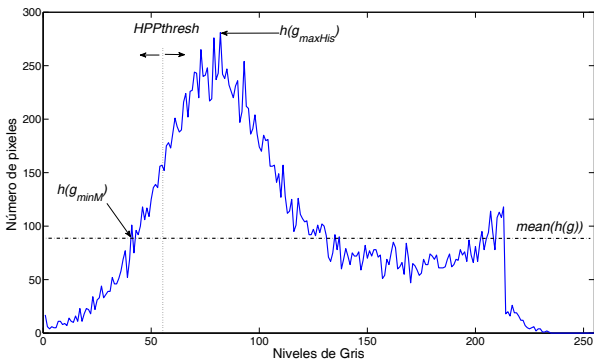


Figura: Estimación del umbral de alta presión

$$HPpthresh = g_{minM} + \gamma (g_{m\acute{a}x\ His} - g_{minM}) \quad (10)$$

## Modificación propuesta para el cálculo del umbral

Busqueda de puntos de alta presión:

$$I_g^{HPP}(x, y) = \begin{cases} 1, & \forall I_g(x, y) \leq HPPthresh \\ 0, & \text{otro caso} \end{cases} \quad (11)$$



(a) Firma original en escala de gris

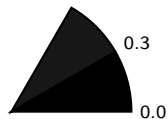
(b) HPP estimados para original

$$HPPPD_k = \frac{\sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N I_g^{HPP}(x, y) \in \theta_k}{\sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N I_{bw}(x, y) \in \theta_k}$$

(12)

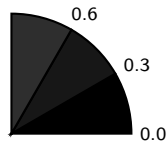


$$HPPPD_k = \frac{\sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N I_g^{HPP}(x, y) \in \theta_k}{\sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N I_{bw}(x, y) \in \theta_k} \quad (12)$$



$$HPPPD_k = \frac{\sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N I_g^{HPP}(x, y) \in \theta_k}{\sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N I_{bw}(x, y) \in \theta_k} \quad (12)$$

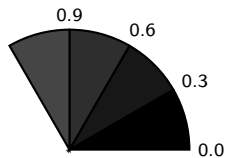
- └ Caracterización basada en los niveles de gris
  - └ Densidad de pixeles en coordenadas Polares



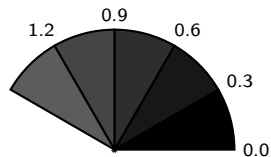
$$HPPPD_k = \frac{\sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N I_g^{HPP}(x, y) \in \theta_k}{\sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N I_{bw}(x, y) \in \theta_k} \quad (12)$$



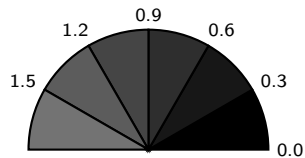
- └ Caracterización basada en los niveles de gris
  - └ Densidad de pixeles en coordenadas Polares



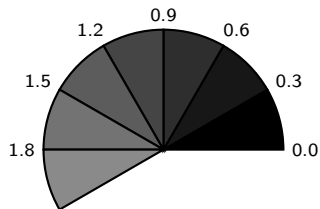
$$HPPPD_k = \frac{\sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N I_g^{HPP}(x, y) \in \theta_k}{\sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N I_{bw}(x, y) \in \theta_k} \quad (12)$$



$$HPPPD_k = \frac{\sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N I_g^{HPP}(x, y) \in \theta_k}{\sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N I_{bw}(x, y) \in \theta_k} \quad (12)$$

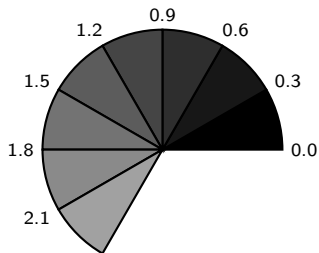


$$HPPPD_k = \frac{\sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N I_g^{HPP}(x, y) \in \theta_k}{\sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N I_{bw}(x, y) \in \theta_k} \quad (12)$$

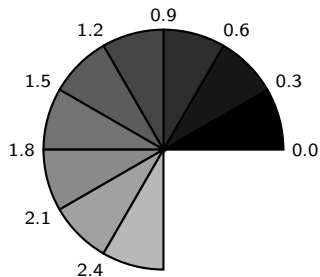


$$HPPPD_k = \frac{\sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N I_g^{HPP}(x, y) \in \theta_k}{\sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N I_{bw}(x, y) \in \theta_k} \quad (12)$$

- └ Caracterización basada en los niveles de gris
  - └ Densidad de pixeles en coordenadas Polares

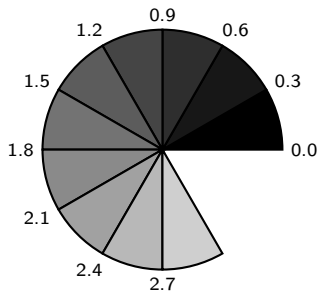


$$HPPPD_k = \frac{\sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N I_g^{HPP}(x, y) \in \theta_k}{\sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N I_{bw}(x, y) \in \theta_k} \quad (12)$$



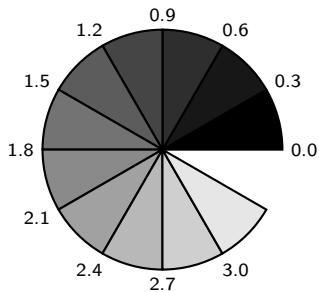
$$HPPPD_k = \frac{\sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N I_g^{HPP}(x, y) \in \theta_k}{\sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N I_{bw}(x, y) \in \theta_k} \quad (12)$$

- └ Caracterización basada en los niveles de gris
  - └ Densidad de pixeles en coordenadas Polares



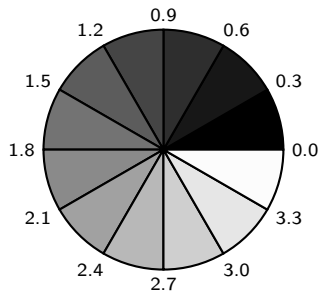
$$HPPPD_k = \frac{\sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N I_g^{HPP}(x, y) \in \theta_k}{\sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N I_{bw}(x, y) \in \theta_k} \quad (12)$$

- └ Caracterización basada en los niveles de gris
- └ Densidad de pixeles en coordenadas Polares



$$HPPPD_k = \frac{\sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N I_g^{HPP}(x, y) \in \theta_k}{\sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N I_{bw}(x, y) \in \theta_k} \quad (12)$$





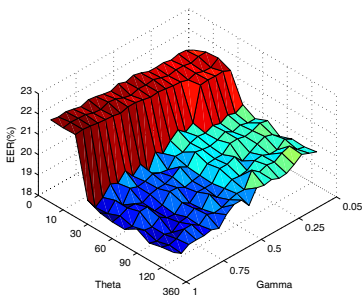
$$HPPPD_k = \frac{\sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N I_g^{HPP}(x, y) \in \theta_k}{\sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N I_{bw}(x, y) \in \theta_k} \quad (12)$$

- └ Caracterización basada en los niveles de gris
- └ Densidad de píxeles en coordenadas Polares

## Resultados

Pruebas para diferentes valores de la división angular

$\theta = \{5, 10, 15, 20, 30, 45, 60, 90, 120, 180, 360\}$ , y el factor para el cálculo del umbral  $\gamma = \{0,05; 0,1; 0,15; 0,2; \dots; 0,95; 1\}$ .



B.D.	$\theta$	$\gamma$	EER(%)
MCYT	90	0,35	16,01
GPDS100	30	0,85	18,67
GPDS750	20	0,95	18,99

Figura: GPDS100.

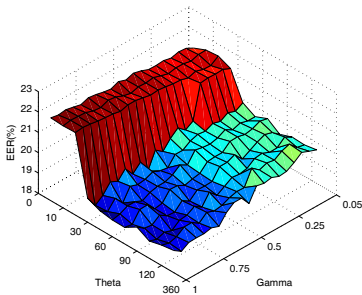
- └ Caracterización basada en los niveles de gris
- └ Densidad de píxeles en coordenadas Polares

22,95 % – 17,75 % – 19,28 %

## Resultados

Pruebas para diferentes valores de la división angular

$\theta = \{5, 10, 15, 20, 30, 45, 60, 90, 120, 180, 360\}$ , y el factor para el cálculo del umbral  $\gamma = \{0,05; 0,1; 0,15; 0,2; \dots; 0,95; 1\}$ .



B.D.	$\theta$	$\gamma$	EER(%)
MCYT	90	0,35	16,01
GPDS100	30	0,85	18,67
GPDS750	20	0,95	18,99

Variabilidad sigue siendo alta.

Figura: GPDS100.

## Nota

Como alternativa a las características pseudodinámicas encontradas en la literatura, y a partir del trabajo realizado por Franke [Franke et al., 2002], orientado hacia el análisis de la textura de tinta, **se plantea la posibilidad de usar el análisis de textura para la verificación de firmas manuscritas.**

# Agenda

- 1 Introducción
- 2 Esquema general de un sistema AVFM
- 3 Caracterización basada en los niveles de gris
- 4 Características basadas en texturas**
  - Matriz de co-ocurrencia de niveles de gris
  - Construcción de la matriz de Co-ocurrencia
  - Características de la matriz de co-ocurrencia
  - Local Binary Patterns
  - LBP extendido
  - LBP con Invarianza a la rotación
- 5 Combinación de información espacial con textura
- 6 Análisis de textura en el dominio transformado
- 7 Análisis de la metodología propuesta
- 8 Conclusiones

## Características basadas en el análisis estadístico de textura

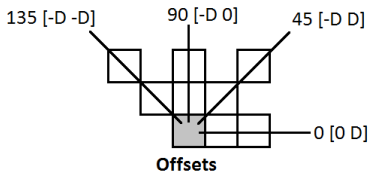
- El análisis estadístico de textura involucra el cálculo de características de una textura a partir de la distribución estadística de las **combinaciones de los valores de intensidad** observados en posiciones específicas relativos a cada punto dentro de una imagen.
- De acuerdo al número de píxeles presentes en cada una de estas combinaciones, se puede hablar de estadísticos de primero, segundo y alto orden.

## Matriz de co-ocurrencia de niveles de gris

- GLCM, es una forma de extraer características estadísticas de texturas de segundo orden para una imagen [Conners and Harlow, 1980].
- Este método ha sido usado en múltiples aplicaciones incluyendo el análisis de tipo de tinta [Franke et al., 2002].
- Matriz en donde el número de filas y el número de columnas es igual al número de niveles de gris,  $L$ , presentes en la imagen.

## Matriz de co-ocurrencia de niveles de gris

- $P(i, j | \Delta x, \Delta y)$  es la frecuencia relativa con la cual dos píxeles, separados por una distancia en píxeles  $(\Delta x, \Delta y)$ , aparecen dentro de un vecindario dado, uno con valor de intensidad  $i$  y el otro con un valor de intensidad  $j$ .
- La parametrización  $(\Delta x, \Delta y)$  hace que la matriz GLCM sea sensible a la rotación.
- Generalmente se usa un conjunto de compensaciones haciendo un barrido de  $180^\circ$  (p.e.  $0, 45, 90$  y  $135^\circ$ ) a la misma distancia para generar una matriz GLCM con algún grado de invarianza a la rotación.

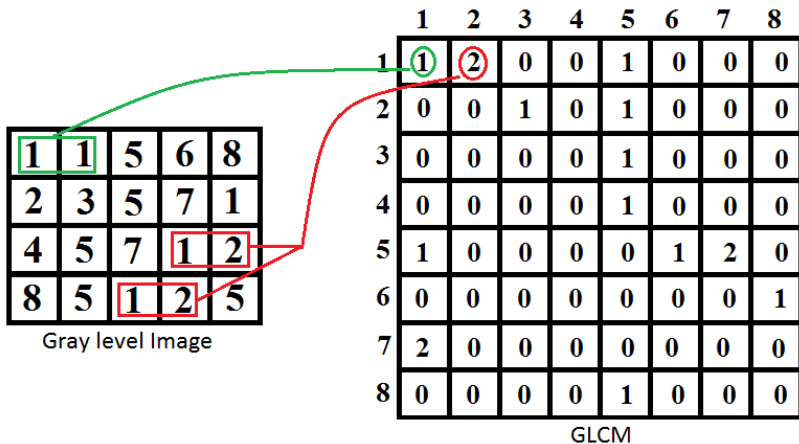




## Matriz de co-ocurrencia de niveles de gris

- Se calculan los valores de la media ( $\mu$ ) y de desviación estándar ( $\sigma$ ) para las características calculadas para diferentes direcciones.
- Construcción de la matriz de Co-ocurrencia:  
Sea la matriz provisional  $A$ , de dimensión  $L \times L$ , donde  $L$  es el número de niveles de gris de la imagen, cuyo elemento  $a_{ij}$  es el número de veces que un píxel con nivel de gris  $i$ , se encuentra en la dirección de un píxel con nivel de gris  $j$ .

- └ Características basadas en texturas
  - └ Construcción de la matriz de Co-ocurrencia



De esta forma se obtiene la matriz de co-ocurrencia para un valor de ángulo determinado.

## Características de la matriz de co-ocurrencia

- A partir de la matriz GLCM es posible calcular varias características de textura, (ver Haralick et al. [Haralick, 1979] and Conners et al. [Conners and Harlow, 1980]).
- Homogeneidad local, segundo momento angular (ASM):

$$HOMOGENEIDAD = \sum_{i=0}^{L-1} \sum_{j=0}^{L-1} \{P(i, j)\}^2 \quad (13)$$

Una imagen homogénea estará formada por unos pocos niveles de gris, lo que se verá reflejado en una matriz GLCM con unos pocos pero relativamente altos valores de  $P(i, j)$ . Por tanto, la suma de los cuadrados será alta.

## Características de la matriz de co-ocurrencia

### ■ Contraste:

$$CONTRASTE = \sum_{n=0}^{L-1} \left\{ n^2 \sum_{i=0}^{L-1} \sum_{j=0}^{L-1} P(i, j) \right\}, |i - j| = n \quad (14)$$

Es lo opuesto a la homogeneidad, es decir es una medida de la variación local en una imagen. El valor de contraste será mayor, si existen más elementos de la matriz de co-ocurrencia alejados de la diagonal principal p.e.  $i \neq j$  [Gonzalez and Woods, 2006].

## Características de la matriz de co-ocurrencia

### ■ Entropía:

$$ENTROPIA = - \sum_{i=0}^{L-1} \sum_{j=0}^{L-1} P(i, j) \cdot \log(P(i, j)) \quad (15)$$

Es baja cuando la imagen es uniforme.

### ■ Correlación:

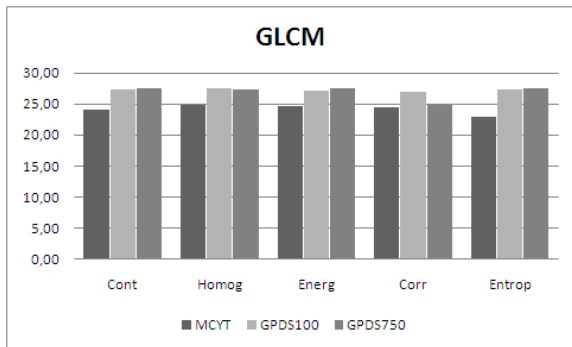
$$CORRELACION = \sum_{i=0}^{L-1} \sum_{j=0}^{L-1} \frac{\{i \cdot j\} \cdot P(i, j) - \{\mu_x \cdot \mu_y\}}{\sigma_x \cdot \sigma_y} \quad (16)$$

La correlación es una medida de la dependencia lineal del nivel de gris de los pixel en posiciones específicas relativa a las demás.

## Resultados

- Las imágenes fueron redimensionadas a  $[256 \times 256]$ , usando el algoritmo de vecino más cercano, para afectar lo menos posible la textura de los trazos.
- Se usaron 8 niveles de gris para el cálculo de la GLCM.
- Para el vector de offsets  $(\Delta x, \Delta y)$  de la GLCM se emplearon los valores  $[0 \ 1; -1 \ 1; -1 \ 0; -1 \ -1]$ .

## Resultados

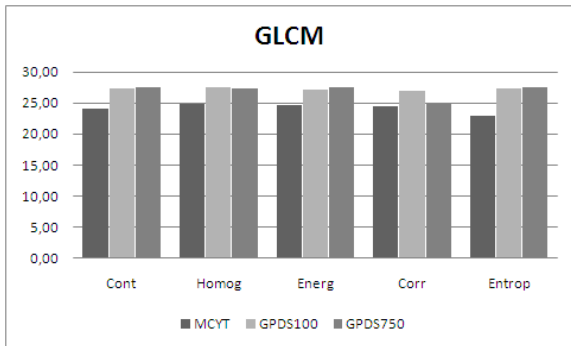


**Figura:** Comparación de los resultados obtenidos con cada una de las cinco características GLCM calculadas.

- └ Características basadas en texturas
  - └ Características de la matriz de co-ocurrencia

## Resultados

MCYT	G100	G750
16,01 %	18,07 %	18,99 %



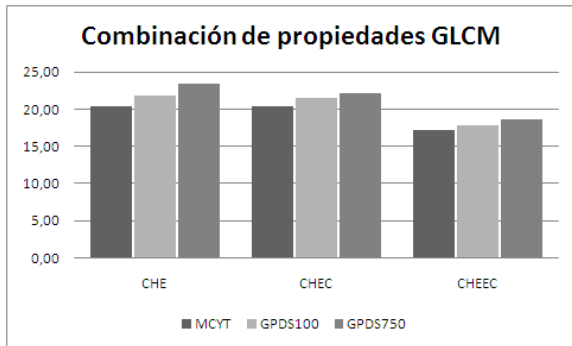
**Figura:** Comparación de los resultados obtenidos con cada una de las cinco características GLCM calculadas.



## Resultados

- La combinación se realiza a nivel de características (feature level).
- A continuación se presentan los resultados obtenidos en donde las combinaciones se notan como:
  - CHE* - Contraste + Homogeneidad + Energía
  - CHEE* - Contraste + Homogeneidad + Energía + Entropía
  - CHEEC* - Contraste + Homogeneidad + Energía + Entropía + Correlación.

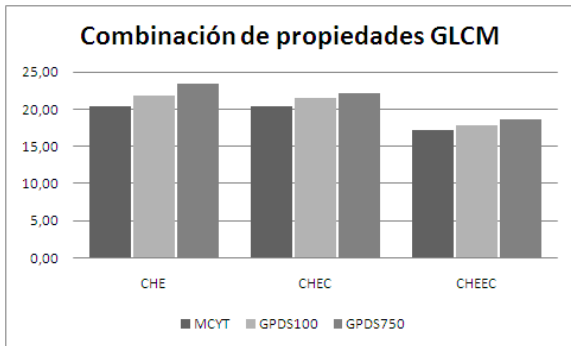
## Resultados



**Figura:** GLCM. Comparación de los resultados para las combinaciones realizadas.

## Resultados

MCYT	G100	G750
16,01 %	18,07 %	18,99 %
17,20 %	17,85 %	18,65 %

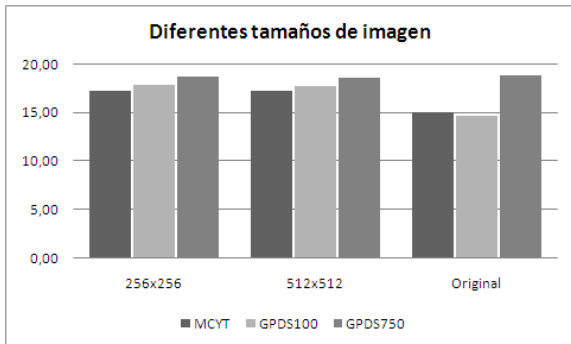


**Figura:** GLCM. Comparación de los resultados para las combinaciones realizadas.

## Resultados

- Como se mencionó anteriormente, las imágenes fueron redimensionadas a un tamaño de [256 x 256].
- Analizar la incidencia de este redimensionamiento sobre el desempeño del sistema.
- 512 x 512, tamaño original.
- Combinación CHEEC.

## Resultados



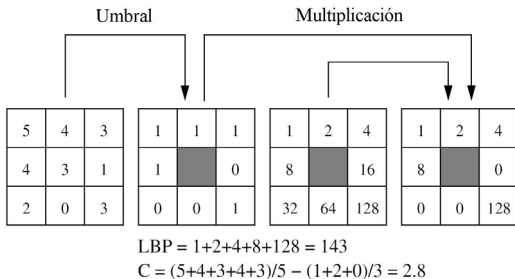
**Figura:** GLCM. Comparación de los resultados para los diferentes tamaños de la imagen.

## Nota

Con el ánimo de evaluar técnicas de análisis de textura diferentes a la GLCM, y que, **según la revisión del estado del arte realizado, no han sido empleadas para la verificación de firmas manuscritas**, a continuación se describe la alternativa tenida en cuenta.

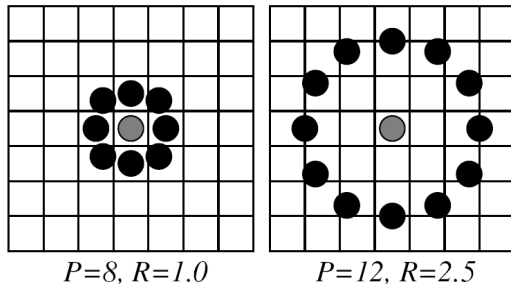
# Local Binary Patterns

- El operador LBP se introdujo inicialmente como una medida complementaria para el contraste local en una imagen [Harwood et al., 1995], [Ojala et al., 1996].



$$LBP(x_c, y_c) = \sum_{p=0}^7 s(g_p - g_c) 2^p \quad (17)$$

## LBP extendido



**Figura:** Las muestras que no corresponden exactamente a un pixel se calculan vía interpolación.

$$LBP_{P,R}(x_c, y_c) = \sum_{p=0}^{P-1} s(g_p - g_c) 2^p \quad (18)$$



## LBP con Invarianza a la rotación

Un paso más allá de lo definido en [Ojala et al., 2001], en [Ojala et al., 2002] se define un operador  $LBP_{P,R}$  invariante a la rotación de la siguiente forma:

$$LBP_{P,R}^{riu2}(x, y) = \begin{cases} \sum_{p=0}^{P-1} s(g_p - g_c), & \text{if } U(x, y) \leq 2 \\ P + 1, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (19)$$

donde

$$U(x, y) = \sum_{p=1}^P |s(g_p - g_c) - s(g_{p-1} - g_c)|, \quad \text{with } g_P = g_0 \quad (20)$$

$$f(p) = s(g_p - g_c) \quad (21)$$

## LBP con Invarianza a la rotación

158	152	$g_0=155$	156	158
148	151	159	150	157
$g_3=148$	157	$g_c=154$	159	$g_1=152$
157	154	151	155	148
153	149	$g_2=159$	157	159

**Figura:** Cálculo del código  $LBP_{P,R}^{riu2}$  con  $P = 4$  y  $R = 2$ :  $g_c = 154$ ,  
 $\{g_0, g_1, g_2, g_3\} = \{155, 152, 159, 148\}$ ,  
 $\{f(0), f(1), f(2), f(3), f(4)\} = \{1, 0, 1, 0, 1\}$ ,  $U(x, y) = 1 + 1 + 1 + 1 = 4 \geq 2$ ,  
 $LBP_{P,R}^{riu2}(x, y) = P + 1 = 5$ .

## LBP con Invarianza a la rotación

158	152	$g_0=155$	156	158
148	151	159	150	157
$g_3=148$	157	$g_c=154$	159	$g_1=152$
157	154	151	155	148
153	149	$g_2=159$	157	159

Figura: Cálculo del código  $LBP_{P,R}^{riu2}$  con  $P = 4$  y  $R = 2$ :  $g_c = 154$ ,  
 $\{g_0, g_1, g_2, g_3\} = \{155, 152, 159, 148\}$ ,  
 $\{f(0), f(1), f(2), f(3), f(4)\} = \{1, 0, 1, 0, 1\}$ ,  $U(x, y) = 1 + 1 + 1 + 1 = 4 \geq 2$ ,  
 $LBP_{P,R}^{riu2}(x, y) = P + 1 = 5$ .

## LBP con Invarianza a la rotación

150	152	$g_0=154$	156	158
148	151	153	155	157
$g_3=149$	150	$g_c=152$	154	$g_1=156$
150	150	153	155	157
153	154	$g_2=155$	157	159

**Figura:** Cálculo del código  $LBP_{P,R}^{riu2}$  con  $P = 4$  y  $R = 2$ :  $g_c = 152$ ,  
 $\{g_0, g_1, g_2, g_3\} = \{154, 156, 155, 149\}$ ,  
 $\{f(0), f(1), f(2), f(3), f(4)\} = \{1, 1, 1, 0, 1\}$ ,  $U(x, y) = 0 + 0 + 1 + 1 = 2 \leq 2$ ,  
 por tanto  $LBP_{P,R}^{riu2}(x, y) = 1 + 1 + 1 + 0 = 3$ .

## LBP con Invarianza a la rotación

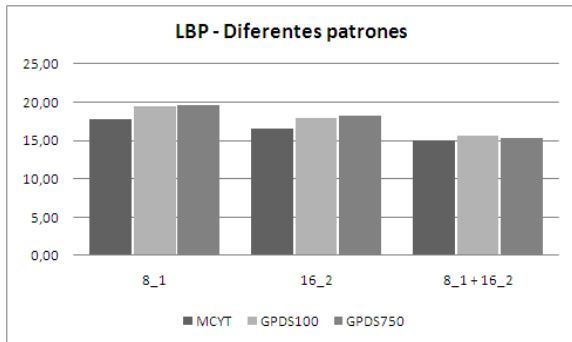
150	152	$g_0=154$	156	158
148	151	153	155	157
$g_3=149$	150	$g_c=152$	154	$g_1=156$
150	150	153	155	157
153	154	$g_2=155$	157	159

Figura: Cálculo del código  $LBP_{P,R}^{riu2}$  con  $P = 4$  y  $R = 2$ :  $g_c = 152$ ,  
 $\{g_0, g_1, g_2, g_3\} = \{154, 156, 155, 149\}$ ,  
 $\{f(0), f(1), f(2), f(3), f(4)\} = \{1, 1, 1, 0, 1\}$ ,  $U(x, y) = 0 + 0 + 1 + 1 = 2 \leq 2$ ,  
 por tanto  $LBP_{P,R}^{riu2}(x, y) = 1 + 1 + 1 + 0 = 3$ .

## Resultados

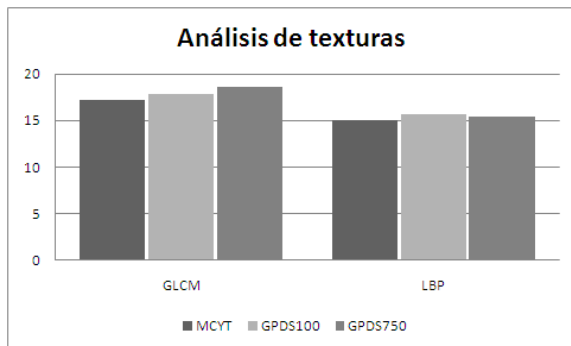
- Imágenes redimensionadas a  $[256 \times 256]$ .
- Se realizaron pruebas para dos configuraciones del operador LBP, con  $R = \{1, 2\}$  y  $P = \{8, 16\}$ .
- Con el ánimo de plantear un operador que realice una análisis multiresolución, se propone la combinación de las dos configuraciones anteriores para el operador LBP.

## Resultados



**Figura:** Comparación de los resultados. 8\_1: Patrón LBP con  $R=1$  y  $P=8$ .  
16\_2: Patrón LBP con  $R=2$  y  $P=16$ .

## Resumen de resultados





# Agenda

- 1 Introducción
- 2 Esquema general de un sistema AVFM
- 3 Caracterización basada en los niveles de gris
- 4 Características basadas en texturas
- 5 Combinación de información espacial con textura**
  - GLCM. Usando análisis por bloques
  - LBP. Usando análisis por bloques
  - Combinación de características
- 6 Análisis de textura en el dominio transformado
- 7 Análisis de la metodología propuesta
- 8 Conclusiones

## GLCM. Usando análisis por bloques

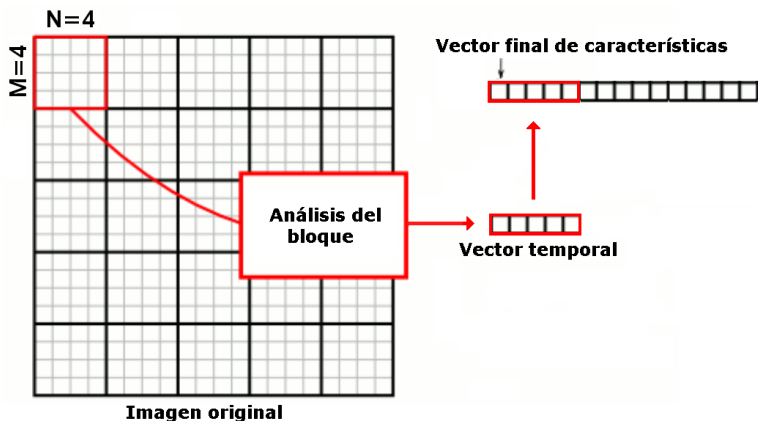


Figura: Análisis por bloques de una imagen. Tamaño del bloque 4 x 4.

## Resultados GLCM Bloques

- Imágenes redimensionadas [256 × 256] y bloque de análisis de tamaño [32 × 32].
- **Análisis por bloques implica un número alto de características.**
- Se emplea el mapeo PCA para realizar la reducción del número de características, y simplificar el espacio en el que trabaja el clasificador.

## Resultados GLCM Bloques

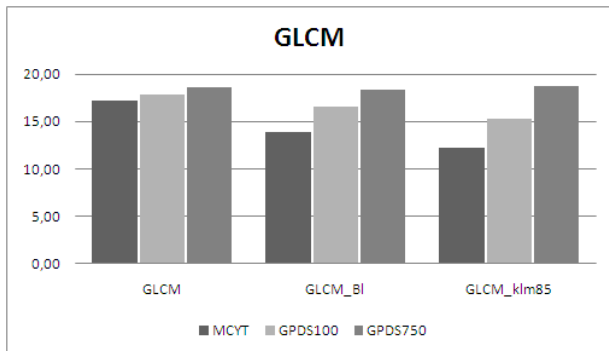


Figura: GLCM bloques. Comparación de los resultados [256 × 256].

## LBP. Usando análisis por bloques

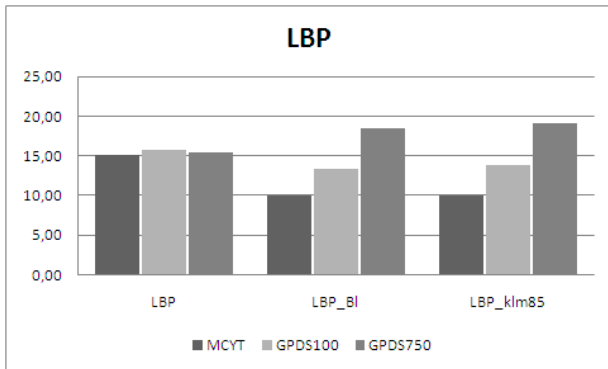


Figura: LBP bloques. Comparación de los resultados [256 × 256].

## LBP. Usando análisis por bloques

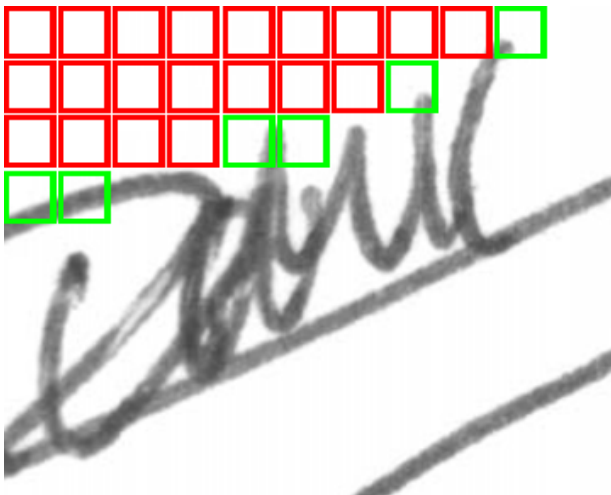


Figura: Selección de bloques que contienen trazos.

## LBP. Usando análisis por bloques

- Una vez seleccionados los bloques, se tiene que el número de bloques resultante varía de muestra a muestra.
- Para lograr una longitud constante para el vector de características, se toma la idea implementada para las características calculadas para la GLCM, y por tanto, se calculan los valores de la media ( $\mu$ ) y de desviación estándar ( $\sigma$ ) para el patrón LBP de todos los bloques seleccionados.

## LBP. Usando análisis por bloques

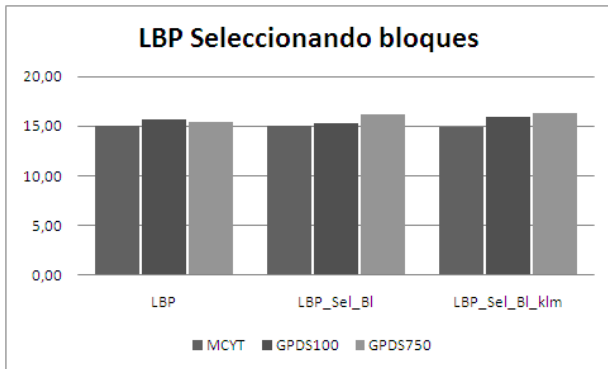


Figura: LBP bloques. Comparación de los resultados [256 × 256].

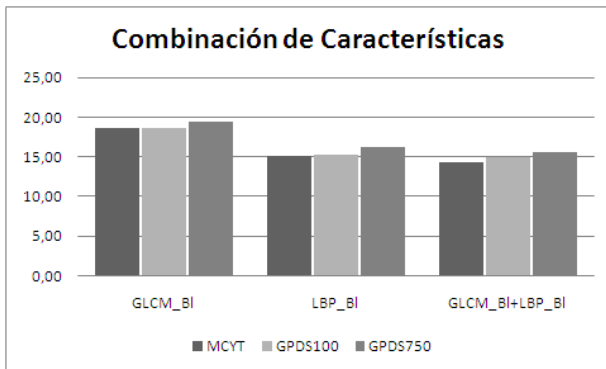


## Combinación de características

## Combinación de características

- Se propone una combinación a nivel de características (*feature level*) de los vectores calculados para la GLCM y para el LBP.
- Análisis por bloques haciendo uso de la selección de bloques relevantes (que contienen trazos de la firma).

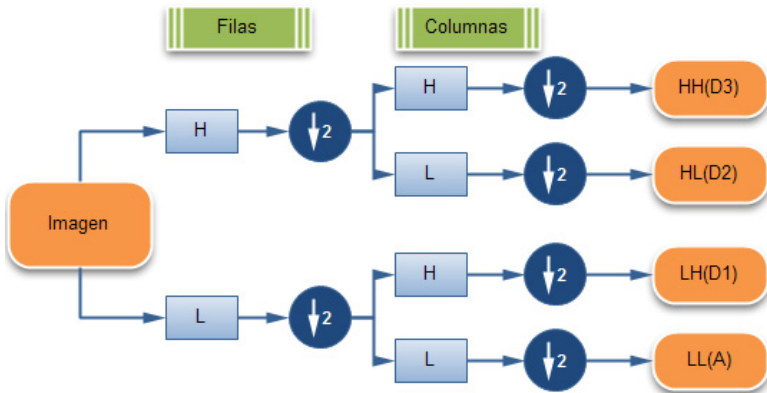
## Combinación de características



# Agenda

- 1 Introducción
- 2 Esquema general de un sistema AVFM
- 3 Caracterización basada en los niveles de gris
- 4 Características basadas en texturas
- 5 Combinación de información espacial con textura
- 6 Análisis de textura en el dominio transformado**
  - GLCM. Usando la transformada Wavelet
  - Combinación de características en el dominio transformado
- 7 Análisis de la metodología propuesta
- 8 Conclusiones

## Descomposición Wavelet (DWT-2D)

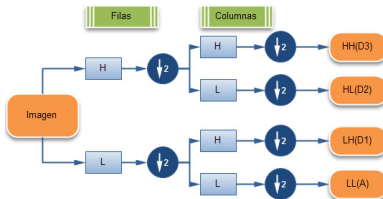


## GLCM. Usando la transformada Wavelet

- Se propone que las características basadas en análisis de textura, descritas anteriormente, sean calculadas a partir de las matrices de detalle.
- La matriz de aproximación contendrá principalmente la información correspondiente al tipo de tinta empleado, mientras que los coeficientes de detalle contendrán información correspondiente a las características personales del firmante.

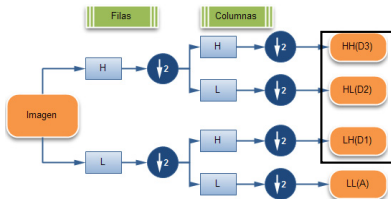
## GLCM. Usando la transformada Wavelet

- Se propone que las características basadas en análisis de textura, descritas anteriormente, sean calculadas a partir de las matrices de detalle.
- La matriz de aproximación contendrá principalmente la información correspondiente al tipo de tinta empleado, mientras que los coeficientes de detalle contendrán información correspondiente a las características personales del firmante.



## GLCM. Usando la transformada Wavelet

- Se propone que las características basadas en análisis de textura, descritas anteriormente, sean calculadas a partir de las matrices de detalle.
- La matriz de aproximación contendrá principalmente la información correspondiente al tipo de tinta empleado, mientras que los coeficientes de detalle contendrán información correspondiente a las características personales del firmante.





## Usando la transformada Wavelet

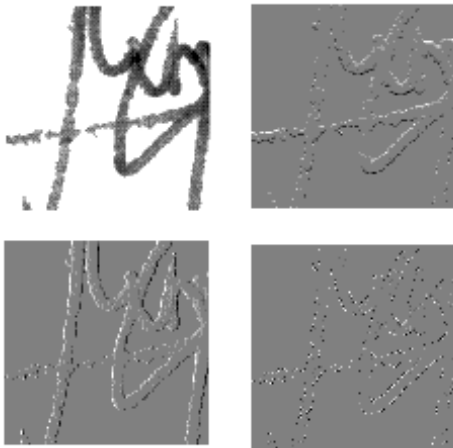
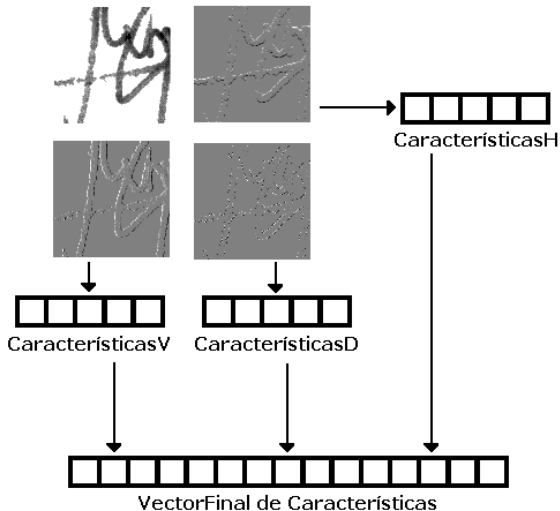
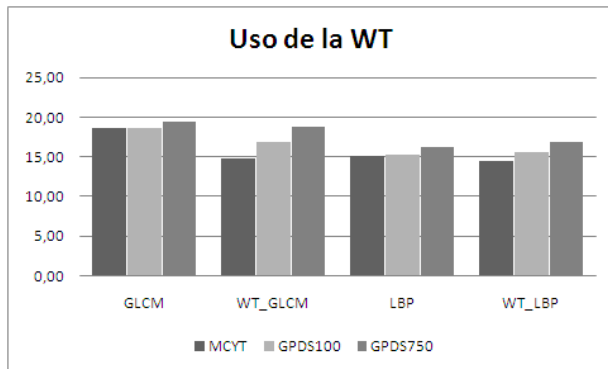


Figura: Descomposición Wavelet de una firma.

## Usando la transformada Wavelet



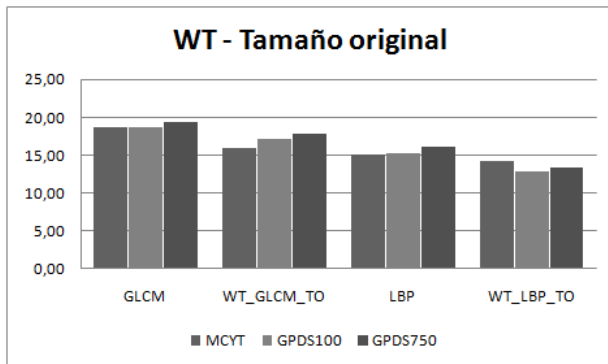
## Usando la transformada Wavelet



## Usando la transformada Wavelet

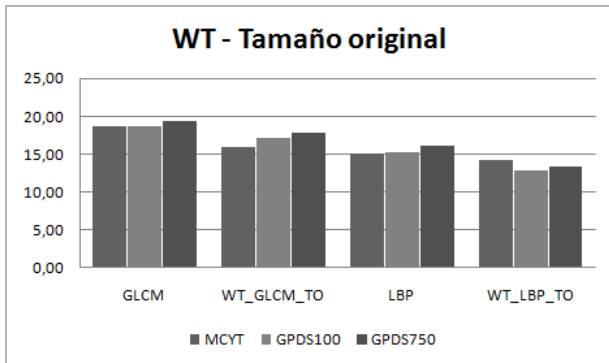
- En este punto se detecta un efecto no deseado provocado por la normalización en tamaño de las imágenes. Al realizar la redimensión de la imagen, se presenta el caso en que la transformada Wavelet para alguna de las direcciones (vertical, horizontal, diagonal) es nula.
- Es decir, se da el caso en que la normalización elimina la información correspondiente a alguna de las direcciones de análisis.
- **Teniendo en cuenta la Selección de Bloques propuesta, ya no es necesario realizar una normalización del tamaño de las imágenes. Se trabaja entonces con la imagen en su tamaño original.**

## Usando la transformada Wavelet



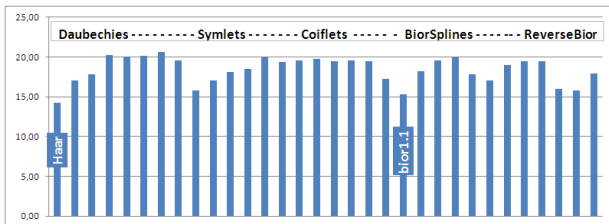
# Usando la transformada Wavelet

MCYT	G100	G750
14,88 %	15,89 %	16,30 %
14,28 %	12,81 %	13,29 %



## Usando la transformada Wavelet

- La inclusión de un nivel más en la descomposición Wavelet no mejora el desempeño del sistema.
- Otras funciones Wavelet:



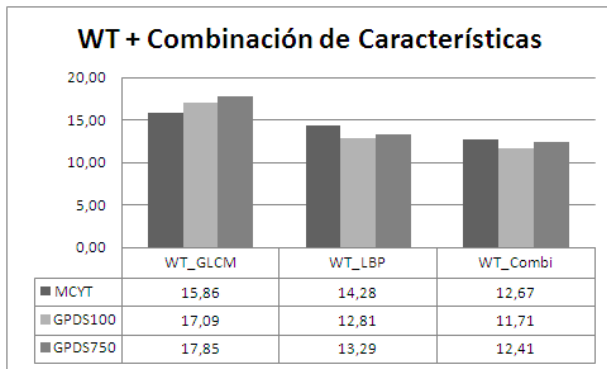
- └ Análisis de textura en el dominio transformado
  - └ Combinación de características en el dominio transformado

## Combinación de características en el dominio transformado



- └ Análisis de textura en el dominio transformado
  - └ Combinación de características en el dominio transformado

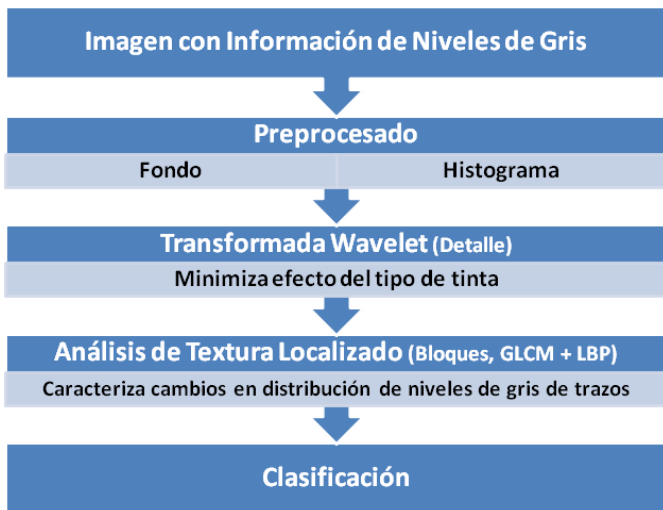
## Combinación de características en el dominio transformado



# Agenda

- 1 Introducción
- 2 Esquema general de un sistema AVFM
- 3 Caracterización basada en los niveles de gris
- 4 Características basadas en texturas
- 5 Combinación de información espacial con textura
- 6 Análisis de textura en el dominio transformado
- 7 Análisis de la metodología propuesta**
  - Resumen de la metodología
  - Metodología propuesta en Blanco y Negro
  - Desempeño vs número de firmantes
  - Desempeño vs número de muestras
  - Trabajos similares
- 8 Conclusiones

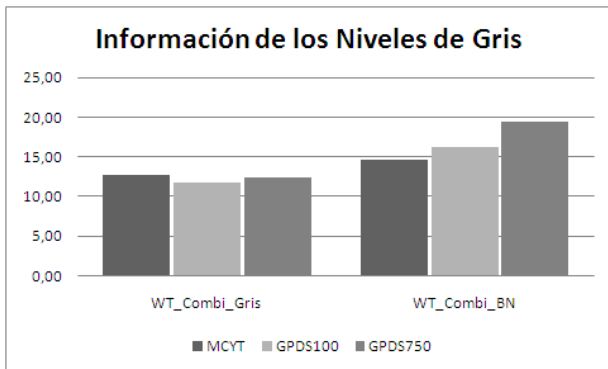
## Resumen de la metodología



## Metodología propuesta en Blanco y Negro

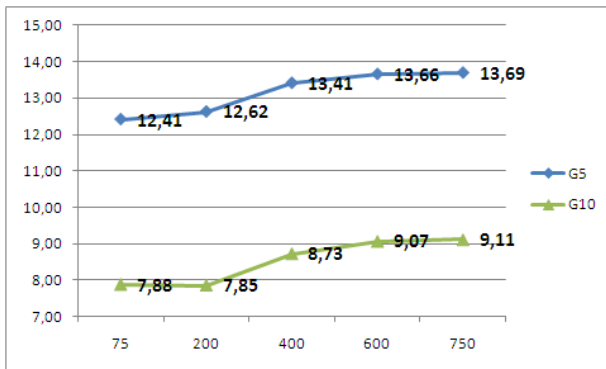
- Es necesario evidenciar el aporte de la información de los niveles de gris al desempeño del sistema.
- Para estudiar este aspecto, se plantea una prueba en donde se evalúa la metodología propuesta usando imágenes en blanco y negro.

## Metodología propuesta en Blanco y Negro



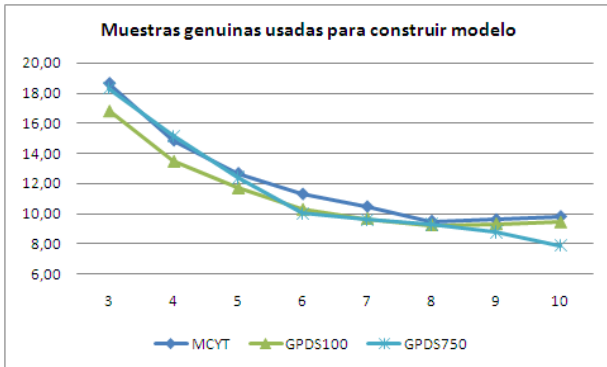
Lo anterior sugiere que la información contenida en los niveles de gris, realmente aporta para un mejor desempeño del sistema.

## Desempeño vs número de firmantes



EER aumenta 11 % mientras #firmantes aumenta 1000 %.

## Desempeño vs número de muestras



## Trabajos similares

- Existen diversos factores que marcan diferencia y que no permiten la comparación completa de los resultados.
- En este sentido, antes que una comparación, a continuación se presenta una tabla que resume los resultados de algunos de los trabajos que han sido revisados en esta Tesis, y que tienen como factor común la base de datos MCYT.



## Trabajos similares

	(%)EER	Escala	NS <i>a posteriori</i>
Fierrez-Aguilar et al. <sup>1</sup>	11,00/9,28*	B/N	Si
Alonso-Fernandez et al. <sup>2</sup>	22,40/20,00*	B/N	Si
Güler et al. <sup>3</sup>	25,10	Gris	No
Gilperez et al. <sup>4</sup>	10,18/6,44*	B/N	Si
Wen et al.(B) <sup>5</sup>	15,00	B/N	No
Metodología propuesta	12,67/9,80*	Gris	No

\*: se usan 10 muestras genuinas para el entrenamiento.

<sup>1</sup>[Fierrez-Aguilar et al., 2004], <sup>2</sup>[Alonso-Fernandez et al., 2007],

<sup>3</sup>[Güler and Meghdadi, 2008], <sup>4</sup>[Gilperez et al., 2008],

<sup>5</sup>[Wen et al., 2009],

NS: Normalización de score.

# Agenda

- 1 Introducción
- 2 Esquema general de un sistema AVFM
- 3 Caracterización basada en los niveles de gris
- 4 Características basadas en texturas
- 5 Combinación de información espacial con textura
- 6 Análisis de textura en el dominio transformado
- 7 Análisis de la metodología propuesta
- 8 Conclusiones**
  - Líneas futuras

## Conclusiones

- Se ha comprobado la hipótesis planteada en el sentido de que caracterizar los cambios entre los niveles de gris del trazo de una firma manuscrita aporta información que permite mejorar la verificación automática de la identidad de una persona a partir de su firma.
- Los resultados mostraron que el desempeño del sistema empeora de forma importante cuando se usan imágenes en blanco y negro con la metodología propuesta.
- Se mostró que la metodología propuesta tiene un comportamiento estable para un número grande de firmantes en la base de datos.

## Conclusiones

- Los resultados obtenidos en este trabajo son muy cercanos a los reportados para otros sistemas que usan imágenes en blanco y negro, y son mejores respecto a resultados previos cuando se trabaja con niveles de gris.
- A partir de este ejercicio, se puede decir que un sistema de verificación de firmas manuscritas basado en la información de niveles de gris y usando características basada en análisis de texturas, es viable.
- El uso de la transformada Wavelet como complemento de las características basadas en el análisis de textura, permite minimizar la influencia del tipo de tinta en el desempeño del sistema.
- Se demostró que un solo nivel de descomposición WT es suficiente para lograr resultados aceptables.

## Conclusiones

- Se ha propuesto un análisis por bloques que permite focalizar el análisis de textura sobre los trazos de la firma. Se ha evitado la redundancia de información mediante la detección de bloques no relevantes.
- El tipo de tinta influye directamente en la distribución de los valores de gris. Lo anterior fue corroborado con los resultados obtenidos para los dos tipos de características estimadas para el histograma: Momentos estadísticos y coeficientes pseudo-cepstales.
- Es importante mencionar la relevancia que tienen los procedimientos orientados a la eliminación o normalización del fondo de la imagen, así como el preprocesamiento del histograma implementado.

## Líneas futuras

- Ambientes complejos. Firma contaminada con sellos, o caracteres, caso particular de los cheques. Efecto de la segmentación sobre la información de niveles de gris.
- Caracterización. Demostrado el aporte del LBP, es posible explorar un nuevo patrón que no base su cálculo en umbrales, sino que lo haga en la información de dirección. El Patrón Derivativo Local alternativa interesante. [Zhang et al., 2010], han mostrado que LDP mejor que LBP para verificación de caras.
- Combinación de características. Otras características basadas en información binaria.

## Líneas futuras

- Entrenamiento. Incluir muestras de falsificaciones generadas sintéticamente. Esto permitirá determinar la robustez del sistema frente a *ataques directos*.
- Clasificación. Clasificadores de Una-Clase [Nanni, 2006, Batista et al., 2010].

## Agradecimientos

- GPDS
- IDeTIC
- GRB-ATVS,UAM
- Programa AlBan
- Universidad de Antioquia - Medellín, Colombia.





# Metodología para el Uso de los Niveles de Gris en Verificación de Firmas Manuscritas

**Jesús Francisco Vargas Bonilla**

Tutor: Dr. D. Miguel Angel Ferrer Ballester

Departamento de Señales y Comunicaciones

Doctorado en Cibernética y Telecomunicaciones

Enero 21, 2011

# Bibliography I



Alonso-Fernandez, F., Fairhurst, M. C., Fierrez, J., and Ortega-Garcia, J. (2007).

Automatic measures for predicting performance in off-line signature. In *IEEE Proceedings International Conference on Image Processing*, volume 1, pages 369–372.



Ammar, M., Yoshida, Y., and Fukumura, T. (1986).

A new Effective Approach for Automatic Off-line Verification of Signatures by using Pressure Features.

In *Proceedings 8th International Conference on Pattern Recognition*, pages 566–569.



Armand, S., Blumenstein, M., and Muthukkumarasamy, V. (2006).

Off-line signature verification based on the modified direction feature.

In *International Conference on Pattern Recognition*, pages 509–512.

## Bibliography II



Bakri, N., Mumtazah, S., and Shakil, A. (2009).

Offline signature verification using local interest points and descriptors.

*In Proceedings of World Academy of Science, Engineering and Technology*, volume 38, pages 1220–1225.



Batista, L., Granger, E., and Sabourin, R. (2010).

A multi-classifier system for off-line signature verification based on dissimilarity representation.

*In Proceedings of Multiple Classifier Systems, 9th International Workshop, Cairo, Egypt, April.*, pages 264–273.






Bertolini, D., Oliveira, L., Justino, E., and Sabourin, R. (2009).




Reducing forgeries in writer-independent off-line signature verification through ensemble of classifiers.

*Pattern Recognition*, 43(1):387–396.

## Bibliography III

-  Blumenstein, M., Ferrer, M., and Vargas, J. (2010).  
The 4NSigComp2010 off-line signature verification competition:  
Scenario 2.  
*In International Conference on Frontiers in Handwriting Recognition.*  
*Kolkata. India.*
-  Childers, D. G., Skinner, D. P., and Kemerait, R. C. (1977).  
The cepstrum: A guide to processing.  
*Proceedings of the IEEE*, 65(10):1428–1443.
-  Connors, R. W. and Harlow, C. A. (1980).  
A theoretical comparison of texture algorithms.  
*IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence*,  
2(3):204–222.

## Bibliography IV

-  del Solar, J. R., Devia, C., Loncomilla, P., and Concha, F. (2008).  
Offline signature verification using local interest points and descriptors.  
In *CIARP*, pages 22–29.
-  Ferrer, M., Alonso, J., and Travieso, C. (2005).  
Offline geometric parameters for automatic signature verification using fixed-point arithmetic.  
*IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 27(6):993–997.
-  Ferrer, M., Travieso, C., J.F.Vargas, and Alonso, J. (2006).  
Aplicación del Kernel de Fisher para la verificación de firmas manuscritas.  
In *Terceras Jornadas de Reconocimiento Biométrico de Personas*, pages 23–36.

## Bibliography V



Fierrez-Aguilar, J., Alonso-Hermira, N., Moreno-Marquez, G., and Ortega-Garcia, J. (2004).

An off-line signature verification system based on fusion of local and global information.

In *Proceedings of the Workshop on Biometric Authentication*, Springer LNCS-3087, pages 298–306.



Franke, K., Bünнемeyer, O., and Sy, T. (2002).

Ink texture analysis for writer identification.

In *Proceedings of the Eighth International Workshop on Frontiers in Handwriting Recognition*, page 268, Washington, DC, USA. IEEE Computer Society.

## Bibliography VI



Franke, K. and Rose, S. (2004).

Ink-deposition model: The relation of writing and ink deposition processes.

In *Proceedings of the Ninth International Workshop on Frontiers in Handwriting Recognition*, pages 173–178, Washington, DC, USA.

IEEE Computer Society.



Franke, K. and Srihari, S. N. (2008).

Computational forensics: An overview.

In *Proceedings of the 2nd international workshop on Computational Forensics*, Lecture Notes in Computer Science, pages 1–10.

Springer-Verlag.

## Bibliography VII



Freire, M., Fierrez, J., Martinez-Diaz, M., and Ortega-Garcia, J. (2007).

On the applicability of off-line signatures to the fuzzy vault construction.

In *Proceedings of the Ninth International Conference on Document Analysis and Recognition*, volume 2, pages 1173–1177. IEEE Computer Society.



Gilperez, A., Alonso-Fernandez, F., Pecharroman, S., Fierrez, J., and Ortega-Garcia, J. (2008).

Off-line signature verification using contour features.

In *Proceedings International Conference on Frontiers in Handwriting Recognition*.



## Bibliography VIII



Gonzalez, R. and Woods, R. (2006).  
*Digital Image Processing (3rd Edition)*.  
Prentice-Hall, Inc., Upper Saddle River, NJ, USA.



Güler, I. and Meghdadi, M. (2008).  
A different approach to off-line handwritten signature verification  
using the optimal dynamic time warping algorithm.  
*Digital Signal Processing*, 18(6):940–950.



Haralick, R. M. (1979).  
Statistical and structural approaches to texture.  
*Proceedings of the IEEE*, 67(5):786–804.

## Bibliography IX



Harwood, D., Ojala, T., Pietikäinen, M., Kelman, S., and Davis, L. S. (1995).

Texture classification by center-symmetric auto-correlation, using Kullback discrimination of distributions.

*Pattern Recognition Letters*, 16(1):1–10.



Huang, K. and Yan, H. (1997).

Off-line signature verification Based On Geometric Feature Extraction and Neural Network classification.

*Pattern Recognition, Elsevier Science*, 30(1):9–17.



Lv, H., Wang, W., Wang, C., and Zhuo, Q. (2005).

Off-line Chinese Signature Verification Based on Support Vector Machine.

*Pattern Recognition Letters, Elsevier*, 26:2390–2399.

## Bibliography X



Mitra, A., Kumar, P., and Ardil, C. (2005).

Automatic Authentication of Handwritten documents via Low Density Pixel Measurements.

*International Journal of Computational Intelligence*, 2(4):219–223.



Mohsberg, M. (2007).

Attempted check fraud doubles to \$12.2 billion according to ABA survey.

Website.

'<http://www.aba.com/Press%20Room/112707Deposit%20FraudSurvey>.



Nanni, L. (2006).

Experimental comparison of one-class classifiers for online signature verification.

*Neurocomputing*, pages 869–873.

## Bibliography XI



Nguyen, V., Blumenstein, M., Muthukumarasamy, V., and Leedham, G. (2007).

Off-line signature verification using enhanced modified direction features in conjunction with neural classifiers and support vector machines.

*In Proceedings of the Ninth International Conference on Document Analysis and Recognition*, pages 734–738. IEEE Computer Society.






Ojala, T., Pietikäinen, M., and Harwood, D. (1996).

A comparative study of texture measures with classification based on featured distributions.

*Pattern Recognition*, 29(1):51–59.

## Bibliography XII

-  Ojala, T., Pietikäinen, M., and Mäenpää, T. (2002).  
Multiresolution gray-scale and rotation invariant texture classification with local binary patterns.  
*IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 24(7):971–987.
-  Ojala, T., Valkealahti, K., Oja, E., and Pietikainen, M. (2001).  
Texture discrimination with multidimensional distributions of signed gray-level differences.  
*Pattern Recognition*, 34(3):727–739.
-  Prakash, H. and Guru, D. (2009).  
Relative orientations of geometric centroids for off-line signature verification.  
*International Conference on Advances in Pattern Recognition*, 1:201–204.

## Bibliography XIII

-  Sansone, C. and Vento, M. (2000).  
Signature Verification: Increasing Performance by a Multi-Stage System.  
*Pattern analysis & Applications, Springer*, 3:169–181.
-  Vargas, J., Ferrer, M., Travieso, C., and Alonso, J. (2011).  
Off-line signature verification based on grey level information using texture features.  
*Pattern Recognition*, 44(2):375 – 385.
-  Vargas, J. F., Ferrer, M. A., Travieso, C. M., and Alonso, J. B. (2010).  
Off-line Signature Verification Based on Gray Level Information using Wavelet Transform and Texture Features.  
*In Proceedings International Conference on Frontiers in Handwriting Recognition, ICFHR2010.*

## Bibliography XIV

-  Wen, J., Fang, B., Tang, Y. Y., and Zhang, T. (2009). Model-based signature verification with rotation invariant features. *Pattern Recognition*, 42(7):1458–1466.
-  Zhang, B., Gao, Y., Zhao, S., and Liu, J. (2010). Local derivative pattern versus local binary pattern: face recognition with high-order local pattern descriptor. *Transaction on Image Processing.*, 19(2):533–544.