

DIGITALIZACION DE HUELLAS DACTILARES USANDO CIRCUITOS  
INTEGRADOS

DIEGO ARMANDO RUEDA MEJIA  
FREDY AUGUSTO ZARATE ABRIL

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES  
BUCARAMANGA  
2004

DIGITALIZACION DE HUELLAS DACTILARES USANDO CIRCUITOS  
INTEGRADOS

DIEGO ARMANDO RUEDA MEJIA  
FREDY AUGUSTO ZARATE ABRIL

Trabajo de Grado presentado como requisito parcial  
para optar al título de Ingeniero Electrónico

Director  
JAIME GUILLERMO BARRERO PEREZ  
Magíster en Potencia Eléctrica

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO – MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES  
BUCARAMANGA  
2004

A mis padres **Jorge** y **Cristina**, y a mi hermana **Diana** quienes fueron la mayor motivación para cumplir este sueño.

**Diego Armando Rueda Mejia**

A Dios, a mis padres **Gonzalo** y **Leticia**, a mis hermanos **Carlos** y **Nestor**, a mi novia **Johana**, quienes con su esfuerzo y apoyo me han acompañado durante los momentos más importantes de mi vida.

**Fredy Augusto Zarate Abril**

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Ing.Mpe. Jaime Guillermo Barrero Pérez por su orientación como director del proyecto.

Al Dr. Jaime Meneses y al Ing. Javier Mier por su orientación y colaboración en la realización de este trabajo.

## TABLA DE CONTENIDO

	<b>Pag.</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>1. TECNOLOGÍAS BIOMÉTRICAS</b>	<b>3</b>
1.1 Como trabaja un sistema biométrico	4
1.2 Exactitud en la verificación y/o identificación	6
1.3 Tipos de sistemas biométricos	10
1.3.1 Patrón del iris	10
1.3.2 Mapa de retina	12
1.3.3 Geometría de la mano	13
1.3.4 Geometría de la cara	15
1.3.5 Firma	17
1.3.6 Voz	20
1.3.7 Huellas dactilares	21
1.3.8 Patrón del ADN	22
<b>2. HUELLAS DACTILARES</b>	<b>23</b>
2.1 ANTECEDENTES HISTORICOS	23
2.2 CARACTERISTICAS DE LAS HUELLAS DACTILARES	25
2.2.1 Puntos singulares	25
2.2.2 Minucias	26
2.3 SISTEMAS BASADOS EN HUELLAS DACTILARES	28
2.3.1 Adquisición	29
2.3.2 Preprocesamiento	30
2.3.3 Clasificación	31
2.3.4 Extracción de minucias	33
2.3.5 Postprocesamiento	33
2.3.6 Verificación o identificación	33

<b>3. ADQUISICIÓN DE HUELLAS DACTILARES</b>	<b>36</b>
<b>3.1 TIPOS DE SENSORES</b>	<b>37</b>
<b>3.1.1 Sensores capacitivos</b>	<b>37</b>
<b>3.1.2 Sensores de campo eléctrico</b>	<b>38</b>
<b>3.1.3 Sensores piezoeléctricos</b>	<b>39</b>
<b>3.1.4 Sensores térmicos</b>	<b>40</b>
<b>3.1.5 Sensores ópticos</b>	<b>41</b>
<b>3.2 ELECCIÓN DEL SENSOR</b>	<b>42</b>
<b>3.3 DISEÑO DEL HARDWARE DE ADQUISICIÓN</b>	<b>43</b>
<b>3.3.1 Etapa de alimentación</b>	<b>43</b>
<b>3.3.2 Etapa de comunicación</b>	<b>44</b>
<b>3.3.3 Diagrama de conexiones</b>	<b>46</b>
<b>3.4 DISEÑO DEL SOFTWARE DE ADQUISICIÓN</b>	<b>47</b>
<b>4. PREPROCESAMIENTO Y CLASIFICACIÓN</b>	<b>53</b>
<b>4.1 PREPROCESAMIENTO</b>	<b>53</b>
<b>4.2 CLASIFICACIÓN</b>	<b>57</b>
<b>4.2.1 Calculo de la imagen direccional</b>	<b>57</b>
<b>4.2.2 Extracción de puntos singulares</b>	<b>60</b>
<b>4.2.3 Análisis de puntos singulares</b>	<b>61</b>
<b>5. VERIFICACIÓN</b>	<b>64</b>
<b>5.1 EXTRACCIÓN DE MINUCIAS</b>	<b>64</b>
<b>5.2 COMPARACIÓN DE MINUCIAS</b>	<b>65</b>
<b>6. METODOLOGÍA Y ANÁLISIS DE RESULTADOS</b>	<b>72</b>
<b>6.1 RESULTADOS DE LA ETAPA DE ADQUISICIÓN</b>	<b>72</b>
<b>6.2 RESULTADOS DE LA ETAPA DE PREPROCESAMIENTO</b>	<b>75</b>
<b>6.3 RESULTADOS DE LA ETAPA DE CLASIFICACIÓN</b>	<b>81</b>
<b>6.3.1 Algoritmo para el calculo de la imagen direccional</b>	<b>81</b>

<b>6.3.2 Algoritmo para la extracción de puntos singulares</b>	<b>84</b>
<b>6.3.3 Algoritmo para el análisis de puntos singulares</b>	<b>87</b>
<b>6.3.4 Resultados del algoritmo de clasificación</b>	
<b>6.4 RESULTADOS DE LA ETAPA DE VERIFICACIÓN</b>	<b>88</b>
<b>6.4.1 Algoritmo para la extracción de minucias</b>	<b>88</b>
<b>6.4.2 Algoritmo de comparación de minucias</b>	<b>90</b>
<b>6.4.3 Resultados del proceso de verificación.</b>	<b>94</b>
<b>7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>97</b>
<b>7.1 CONCLUSIONES</b>	<b>97</b>
<b>7.2 RECOMENDACIONES</b>	<b>100</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>101</b>
<b>ANEXO A</b>	<b>104</b>
<b>ANEXO B</b>	<b>105</b>
<b>ANEXO C</b>	<b>146</b>

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pag.</b>
<b>Figura 1. Gráficas de grados de similitud a la salida de un sistema biométrico.</b>	<b>8</b>
<b>Figura 2. Gráficas de FAR y FRR.</b>	<b>9</b>
<b>Figura 3. Gráfica de EER.</b>	<b>9</b>
<b>Figura 4. Núcleos y deltas.</b>	<b>26</b>
<b>Figura 5. Minucias.</b>	<b>27</b>
<b>Figura 6. Poros en una huella dactilar.</b>	<b>28</b>
<b>Figura 7. Principales etapas de un sistema de Reconocimiento de huellas dactilares.</b>	<b>29</b>
<b>Figura 8. Registro de una huella dactilar.</b>	<b>30</b>
<b>Figura 9. Registro de huellas de buena y mala calidad.</b>	<b>31</b>
<b>Figura 10. Clases de huellas dactilares según Henry.</b>	<b>32</b>
<b>Figura 11. Extracción de una minucia.</b>	<b>33</b>
<b>Figura 12. Minucias falsas.</b>	<b>34</b>
<b>Figura 13. Registro de una huella dactilar sobre papel.</b>	<b>36</b>
<b>Figura 14. Visualización de los pines en el DB25.</b>	<b>45</b>
<b>Figura 15. Diagrama de conexiones.</b>	<b>47</b>
<b>Figura 16. Proceso de habilitación del sensor.</b>	<b>48</b>
<b>Figura 17. Proceso de ajuste de parámetros del sensor.</b>	<b>49</b>
<b>Figura 18. Visualización de los parámetros que usa el sensor en los modos de obtención por fila y de obtención por subimagen.</b>	<b>50</b>
<b>Figura 19. Proceso de captura de imagen completa.</b>	<b>51</b>
<b>Figura 20. Espectro de Fourier para imágenes de huellas dactilares con componente DC.</b>	<b>54</b>
<b>Figura 21. Mejoramiento de una huella dactilar a través</b>	<b>56</b>

	de la transformada de Fourier, sin traslape.	
<b>Figura 22.</b>	<b>Mejoramiento de una huella dactilar a través de la transformada de Fourier, con traslape.</b>	<b>56</b>
<b>Figura 23.</b>	<b>Huella mejorada con transformada de Fourier y con contraste.</b>	<b>57</b>
<b>Figura 24.</b>	<b>Resultado del cálculo de la orientación del campo.</b>	<b>59</b>
<b>Figura 25.</b>	<b>Resultado del suavizado del campo.</b>	<b>60</b>
<b>Figura 26.</b>	<b>Extracción de puntos singulares de una imagen direccional.</b>	<b>61</b>
<b>Figura 27.</b>	<b>Clasificación entre arco pronunciado, lazo derecho y lazo izquierdo.</b>	<b>62</b>
<b>Figura 28.</b>	<b>Diagrama de flujo del proceso de clasificación de huellas dactilares.</b>	<b>63</b>
<b>Figura 29.</b>	<b>Binarización y esqueletización.</b>	<b>65</b>
<b>Figura 30.</b>	<b>Dirección de los gradientes.</b>	<b>66</b>
<b>Figura 31.</b>	<b>Región y rutas para las orientaciones comprendidas entre 0° y 90°.</b>	<b>67</b>
<b>Figura 32.</b>	<b>Puntos donde apuntan los vectores.</b>	<b>68</b>
<b>Figura 33.</b>	<b>Punto de referencia.</b>	<b>69</b>
<b>Figura 34.</b>	<b>Parámetros de una minucia.</b>	<b>69</b>
<b>Figura 35.</b>	<b>Extracción de minucias falsas.</b>	<b>71</b>
<b>Figura 36.</b>	<b>Prototipo de la tarjeta de adquisición de huellas dactilares.</b>	<b>72</b>
<b>Figura 37.</b>	<b>Malos registros de imágenes de huellas dactilares.</b>	<b>74</b>
<b>Figura 38.</b>	<b>Gotas de sudor dejadas en el sensor.</b>	<b>75</b>
<b>Figura 39.</b>	<b>Mejoramiento de imagen con transformada de Fourier.</b>	<b>76</b>
<b>Figura 40.</b>	<b>Bloque de una imagen con una minucia tipo bifurcación.</b>	<b>77</b>

<b>Figura 41. Imagen de una bifurcación procesada.</b>	<b>77</b>
<b>Figura 42. Imagen de una terminación procesada.</b>	<b>78</b>
<b>Figura 43. Mejoramiento de imágenes de bajo contraste</b>	<b>79</b>
<b>Figura 44. Imagen de una huella con irregularidades causadas por no uniformidad en la presión del dedo.</b>	<b>80</b>
<b>Figura 45. Huella mejorada mediante transformada de Fourier.</b>	<b>81</b>
<b>Figura 46. Ancho de una cresta y un valle.</b>	<b>82</b>
<b>Figura 47. Estimación de la dirección del campo.</b>	<b>82</b>
<b>Figura 48. Suavizado de la dirección del campo.</b>	<b>83</b>
<b>Figura 49. Direcciones a la que se van a cuantizar los vectores del campo.</b>	<b>84</b>
<b>Figura 50. Cuantización de la dirección del campo.</b>	<b>84</b>
<b>Figura 51. Puntos singulares falsos.</b>	<b>85</b>
<b>Figura 52. Obtención de la mascara para descarte de puntos singulares en los limites de la huella.</b>	<b>86</b>
<b>Figura 53. Puntos singulares falsos generados por irregularidades de la huella.</b>	<b>86</b>
<b>Figura 54. Recta delta-núcleo.</b>	<b>87</b>
<b>Figura 55. Imagen binarizada y esqueletizada.</b>	<b>89</b>
<b>Figura 56. Eliminación de minucias falsas.</b>	<b>90</b>
<b>Figura 57. Orientación de las minucias.</b>	<b>90</b>
<b>Figura 58. Punto de referencia para dos huellas del mismo dedo.</b>	<b>91</b>
<b>Figura 59. Punto de referencia para las cinco clases de huella.</b>	<b>92</b>
<b>Figura 60. Parámetros extraídos de la imagen de la Huella.</b>	<b>92</b>
<b>Figura 61. Comparación de patrones.</b>	<b>94</b>

## LISTA DE IMÁGENES

	<b>Pag.</b>
<b>Imagen 1. Etapas generales en sistema biométrico.</b>	<b>6</b>
<b>Imagen 2. Gráfica ROC.</b>	<b>10</b>
<b>Imagen 3. Patrón del iris humano.</b>	<b>11</b>
<b>Imagen 4. Segmentación del iris.</b>	<b>12</b>
<b>Imagen 5. Patrón de la retina.</b>	<b>13</b>
<b>Imagen 6. Patrón de la mano</b>	<b>14</b>
<b>Imagen 7. Patrón del rostro basado en componentes constituyentes.</b>	<b>16</b>
<b>Imagen 8. Patrón del rostro basado en técnicas de Superficie.</b>	<b>17</b>
<b>Imagen 9. Plantilla de firma del sistema implementado por IBM.</b>	<b>19</b>
<b>Imagen 10. Verificación de una firma.</b>	<b>20</b>
<b>Imagen 11. Comparación de patrones.</b>	<b>35</b>
<b>Imagen 12. Funcionamiento de un sensor capacitivo.</b>	<b>38</b>
<b>Imagen 13. Funcionamiento de una sensor de campo eléctrico.</b>	<b>39</b>
<b>Imagen 14. Partes de un sensor de tipo óptico.</b>	<b>42</b>

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pag.</b>
<b>Tabla 1. Correspondencia de los pines del puerto paralelo con sus registros.</b>	<b>45</b>
<b>Tabla 2. Posibles direcciones usadas por el computador para acceder al puerto paralelo.</b>	<b>46</b>
<b>Tabla 3. Valores de los registros para diferentes procesadores.</b>	<b>72</b>
<b>Tabla 4. Tiempos de adquisición para diferentes procesadores.</b>	<b>75</b>
<b>Tabla 5. Resultado de la clasificación.</b>	<b>88</b>
<b>Tabla 6. Resultado de la clasificación.</b>	<b>95</b>

**TITULO:** **DIGITALIZACIÓN DE HUELLAS DACTILARES USANDO CIRCUITOS INTEGRADOS\*.**

**AUTORES:** Diego Armando Rueda Mejia  
Fredy Augusto Zarate Abril\*\*

**PALABRAS CLAVES:** Huella dactilar, valles y crestas, mejoramiento de la imagen, bifurcaciones, terminaciones, clasificación, verificación.

#### DESCRIPCIÓN

Un sistema de verificación de huellas dactilares es un sistema de autenticación personal basado en las características que presenta la piel que cubre la yema de los dedos y las cuales son únicas en cada persona. Estas características son extraídas por medio de un proceso de captura con un circuito integrado. El circuito integrado es el sensor MBF200, el cual es de tipo capacitivo y cuenta con una resolución de 500dpi. La adquisición de la imagen de la huella se realiza desde un computador por medio del puerto paralelo.

Las características de la huella son cuantificadas por medio de un procesamiento, el cual permite realizar la clasificación y verificación de esta. El primer paso de este procesamiento es el mejoramiento de la imagen el cual permite una mejor definición de las crestas y valles. Este paso consiste en un filtrado basado en la orientación y frecuencia local que presentan las crestas en la imagen que ha sido dividida en pequeños bloques. Después del mejoramiento se realiza la clasificación de la huella en uno de los cinco tipos de huellas propuestos por Edward Henry; su algoritmo se fundamenta en la extracción y análisis de los puntos singulares (núcleos y deltas) de la huella. Esta etapa de clasificación se hace con el fin de obtener un parámetro global de diferenciación entre huellas.

Finalmente, en la etapa de verificación se elabora un patrón de características que posteriormente se comparan con las del patrón que se encuentra almacenado en la base de datos. El patrón esta compuesto por la ubicación de las minucias tipo bifurcación y terminación encontradas en la huella.

\* Proyecto de Grado.

\*\* Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Ingeniería Electrónica. Director Ing.Mpe. Jaime Guillermo Barrero Perez.

**TITLE: DIGITALIZATION OF FINGERPRINTS USING INTEGRATED CIRCUITS.**

**AUTHORS:** Diego Armando Rueda Mejia  
Fredy Augusto Zarate Abril\*\*

**KEYWORDS:** Fingerprints, valleys and ridges, image enhancement, bifurcation and ending minutia, classification, verification.

#### DESCRIPTION

A fingerprint verification system is a personal authentication system based on skin characteristics that cover fingertips and which are unique in each person. These characteristics are extracted through a capture process with a integrated circuit. This integrated circuit is the MBF200 sensor which is capacitive sensor and it presents a 500 dpi resolution. Image acquisition is made by a computer through the parallel port.

The fingerprints characteristics are quantified through a image processing, permitting to make fingerprint classification and verification. The first step of this processing is the image enhancement which it allows a good definition between the ridges and valleys. This step consists in a filter based on local frequency and orientation of ridges that are presents into image where it have been divided into small processing blocks. The next step to do, is the fingerprint classification in one of the five types of fingerprints proposed by Edward Henry, its algorithm is based on extraction and analysis of singular points (cores and deltas) of a fingerprint. This classification stage is made with propose of obtaining a global parameter of differentiation among fingerprints.

Finally, in verification stage is elaborated a template of characteristics where later it is compared with the template that is stored in a data base. This template is compound by location of bifurcation and ending minutia found in the fingerprint.

\* Degree project.

\*\* Faculty of Physics-mechanics Engineering. Electronics Engineering. Director Ing.Mpe Jaime Guillermo Barrero Pérez.

## **INTRODUCCIÓN**

Tradicionalmente la identificación personal en los sistemas de seguridad se ha basado en posesiones personales, tales como llaves o tarjetas; o en conocimientos secretos, tales como contraseñas o números de identificación personal. Estos sistemas tienen un gran problema: la personificación, el cual consiste en que una persona reclama ser alguien más. Por esta razón se ha visto un gran incremento de sistemas de seguridad más confiables y prácticos, donde el elemento involucrado en la identificación y/o verificación personal (llave, tarjeta, PIN; etc.) no este expuesto a dañarse, perderse, ser robada o falsificada; y además no exista la necesidad de memorizar números, contraseñas o algún otro tipo de clave. Estos son los sistemas biométricos. Por lo tanto la biometría es la ciencia que se dedica a la identificación de individuos a partir de una característica corporal o de un rasgo de comportamiento.

Las mediciones de las características corporales de la persona recibe el nombre de biometría estática. Los principales estudios y aplicaciones de la biometría estática están basados en las mediciones de huellas digitales, patrón del iris, mapa de retina, geometría de la mano, forma de la cara y ADN. Existen también, pero menos usadas, técnicas biométricas basadas en la forma de la oreja, temperatura corporal (termografía) y forma del cuerpo.

Las mediciones de las características de comportamiento de la persona recibe el nombre de biometría dinámica. Los principales estudios y

aplicaciones de la biometría dinámica están basados en el patrón de voz, la firma, forma de caminar, dinámica de tecleo y análisis gestual.

En el presente texto se muestra un estudio, diseño y montaje de un sistema de adquisición, clasificación y verificación de huellas dactilares. El primer capítulo aborda las principales características de un sistema biométrico, su modo de operación, sus parámetros de desempeño y los principales tipos de tecnologías biométricas usadas en la actualidad. En el segundo capítulo se realiza una descripción de los sistemas biométricos basados en huellas dactilares, su historia, características de las huellas dactilares y las etapas que constituyen este tipo de sistema biométrico. El tercer capítulo trata la etapa de adquisición de huellas dactilares; para ello se realiza una descripción de los principales tipos de sensores usados para este propósito, y posteriormente se describen los pasos del diseño e implementación del sistema de adquisición de huellas dactilares desarrollado en este trabajo; en el anexo A se muestra una tabla comparativa de los sensores más comercializados, en el anexo B se encuentra el manual de funcionamiento del sensor escogido para la adquisición del sistema desarrollado y el anexo C contiene los planos del circuito impreso de la tarjeta de adquisición implementada. El cuarto capítulo aborda los algoritmos implementados para las etapas de preprocesamiento y clasificación, según sistema de Edward Henry [Silvia Farani Costa, 2001], de huellas dactilares. El quinto capítulo aborda los algoritmos implementados en la etapa de verificación. En el sexto capítulo se dan a conocer los resultados obtenidos del sistema de verificación implementado en este trabajo. La parte final del libro contiene las conclusiones del trabajo realizado y recomendaciones que deben tenerse en cuenta para futuros trabajos relacionados con el campo de sistemas biométricos basados en huellas dactilares.

## **1. TECNOLOGIAS BIOMETRICAS**

Entenderemos por sistema biométrico a un sistema automatizado que realiza las tareas de la biometría. Es decir, un sistema que fundamenta sus decisiones de reconocimiento mediante una característica personal que puede ser reconocida o verificada de manera automatizada. El concepto de tecnología biométrica hace referencia a un tipo de sistema biométrico clasificado de acuerdo al tipo de biometría empleado, como por ejemplo, huellas dactilares, iris, retina, etc.

No toda característica fisiológica o corporal puede ser utilizada con éxito por un sistema biométrico. Para que esto suceda, un indicador biométrico (alguna característica con la cual se puede realizar biometría) debe cumplir los siguientes requisitos:

- **Universalidad:** Significa que todas las persona deben tener dicha característica.
- **Unicidad:** Indica que dos personas cualesquiera deben ser lo suficientemente diferentes en términos de dicha característica.
- **Permanencia:** La característica debe ser suficientemente invariante por un periodo de tiempo.
- **Cuantificable:** La característica puede ser medida en forma cuantitativa.

Los requerimientos anteriores sirven como criterio para descartar o aprobar cualquier característica como indicador biométrico. Luego de seleccionar algún indicador biométrico, es necesario implementar restricciones sobre los sistemas con el fin de obtener un sistema práctico, ya que estos sistemas tendrán como misión recibir y procesar los

indicadores biométricos. Las restricciones antes señaladas apuntan a que el sistema considere:

- El desempeño, que se refiere a la exactitud, la rapidez y la robustez alcanzada en la verificación y/o identificación. El objetivo de esta restricción es comprobar si el sistema posee una exactitud y rapidez aceptable con un requerimiento de recursos razonable.
- La aceptabilidad, que indica el grado en que la gente está dispuesta a aceptar un sistema biométrico en su vida diaria. Es claro que el sistema no debe presentar problema alguno para los usuarios y debe inspirar "confianza" a los mismos. Factores psicológicos pueden afectar esta última característica. Por ejemplo, el reconocimiento de retina, que requiere un contacto de la persona con el dispositivo de reconocimiento, puede desconcertar a ciertos individuos debido al hecho de tener su ojo sin protección frente a un "aparato". Sin embargo, las características anteriores están subordinadas a la aplicación específica ya que en otros casos el efecto psicológico es positivo, debido a que este método es muy eficaz en cuanto a niveles altos de seguridad se trata.
- La fiabilidad, que refleja cuán difícil es burlar al sistema. El sistema biométrico debe reconocer características de una persona viva, pues es posible crear dedos de látex, grabaciones digitales de voz, prótesis de ojos, etc.

### **1.1. COMO TRABAJA UN SISTEMA BIOMÉTRICO**

Para realizar la autenticación biométrica, primero se debe registrar a los individuos que van hacer uso del sistema (Imagen 1). Para el registro se utiliza un dispositivo biométrico para examinar el atributo físico o de comportamiento elegido. Un software se encarga de cuantificar los datos examinados y transformarlos en datos matemáticos. El conjunto de estos

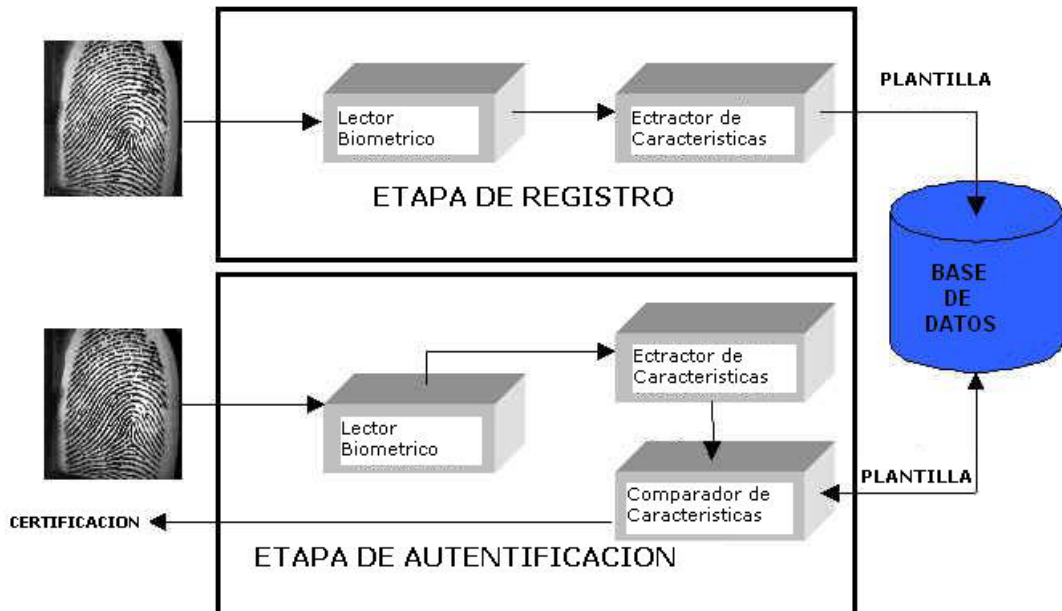
datos matemáticos constituye la plantilla que identifica al individuo. La plantilla y un dato asociado (como por ejemplo el nombre, o un número de identificación personal) son guardados electrónicamente.

La autenticación se realiza cuando el individuo presenta su rasgo corporal o de comportamiento ante un dispositivo biométrico. Nuevamente se cuantifica los datos del rasgo en una plantilla para compararlos contra la plantilla guardada.

La búsqueda de la plantilla guardada puede realizarse de dos maneras. La primera es una búsqueda uno a muchos (1:N), solamente se presenta el rasgo y el sistema se encarga de buscar entre todas las plantillas guardadas, quien es el individuo, esta operación recibe el nombre de 'identificación'. Este método requiere un mayor tiempo de búsqueda y es utilizado en bases de datos pequeños o en aplicaciones criminalísticas. El segundo método es una búsqueda uno a uno (1:1), donde el individuo presenta adicionalmente su nombre o numero de identificación personal solamente, y realiza la comparación. Esta operación recibe el nombre de 'verificación', y es utilizado en la mayoría de las aplicaciones biométricas.

Para que se certifique al individuo, la comparación no necesariamente resulta en una igualdad entre plantillas. Una serie de factores pueden influir en leves variaciones matemáticas, por ejemplo el peinado en sistema de reconocimiento de rostros. Para realizar la certificación, las plantillas deben ser similares entre sí cierto grado. Esto no implica que los sistemas biométricos no sean seguros, sino que son probabilísticos y no absolutos.

**Imagen 1. Etapas generales en un sistema biométrico**



Tomada de [http://www2.ing.puc.cl/~iing/ed429/sistemas\\_biometricos.htm](http://www2.ing.puc.cl/~iing/ed429/sistemas_biometricos.htm)

## **1.2 EXACTITUD EN LA VERIFICACIÓN Y/O IDENTIFICACIÓN: Medidas de desempeño.**

Un sistema puede operar en dos modos diferentes: en modo verificación y en modo identificación, como fue descrito en el numeral anterior. En ambos casos, el sistema primero necesita una etapa de inscripción, donde se registran los patrones de todas las personas que son "autorizadas" (personas cuyos patrones son conocidos por el sistema) de tal manera que cuando se realiza la verificación o identificación se compara la plantilla obtenida contra la plantilla guardada en la base de datos, estableciendo un grado de similitud o de parentesco entre estas dos plantillas. Para prevenir que los patrones del "impostor" (hace referencia a la persona que no es conocida por el sistema) sean correctamente identificados, el grado de similitud encontrado debe exceder un umbral, si no lo hace los patrones son rechazados.

En teoría, los grados de similitud de los patrones de las personas "autorizadas" deberían ser siempre más altos que los de un "impostor". Si esto fuese cierto, un solo umbral podría diferenciar el grupo de las personas autorizadas de los "impostores". Pero debido a varias razones esto no es cierto en el mundo real de los sistemas biométricos. En algunos casos, los patrones de los "impostores" pueden presentar grados de similitud más altos que los presentados por el personal autorizado, generando errores de clasificación entre personal "autorizado" e "impostor", por lo tanto para cada una de estas decisiones existe dos posibles respuestas, verdadero o falso; teniendo así cuatro posibles respuestas:

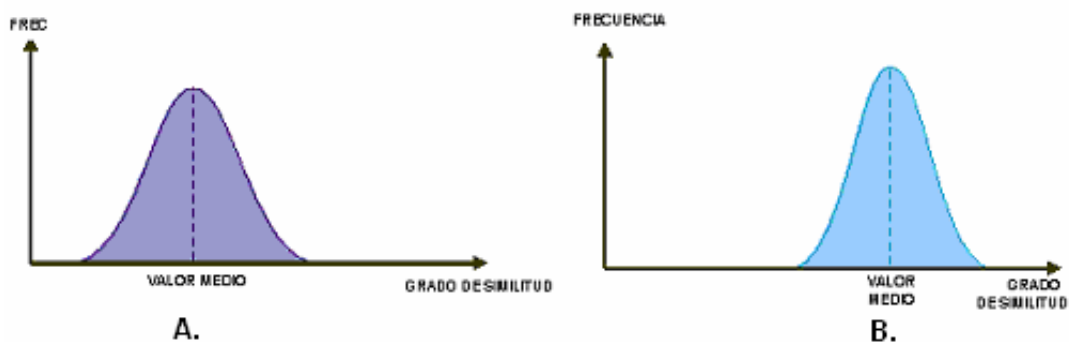
- Una persona autorizada es rechazada.
- Una persona autorizada es aceptada.
- Un impostor es rechazado
- Un impostor aceptado

La salida 2 y 3 serian las ideales para un sistema biométrico.

Ahora bien, si se escoge un umbral bien alto de tal manera que ningún grado de similitud de un impostor exceda este umbral, se tendría un sistema donde ningún patrón de un impostor seria falsamente aceptado; pero por otro lado, patrones de personas autorizadas con los grados de similitud mas bajos que los grados de similitud mas altos de los impostores, serian falsamente rechazados. De manera contraria, si se escoge un umbral bien bajo, tal que, ninguna persona autorizada sea falsamente rechazada, por otro lado se tendría algún impostor que fuese falsamente aceptado. El valor del umbral debe escogerse, por lo tanto, de acuerdo a la aplicación a la cual el sistema será sometido, en algunos casos se prefiere altos niveles de seguridad por encima de robustez y tolerancia ante a las variaciones del patrón de entrada y ruido según sea el caso. Como consecuencia a la apreciación realizada anteriormente, un diseñador de algún tipo de sistema biométrico debe reportar el

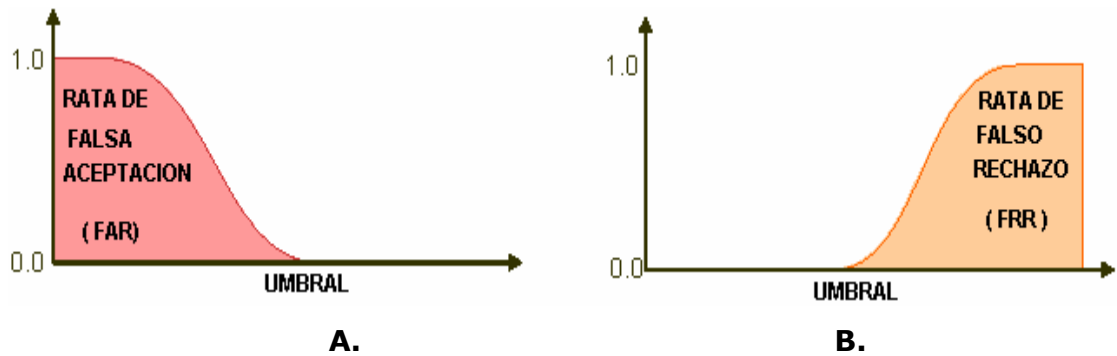
desempeño alcanzado por el sistema en cada uno de los umbrales permisibles por el mismo sistema. Esta información es recopilada en una gráfica denominada "curva característica de operación del receptor", (en ingles, ROC, RECEIVER OPERATING CHARACTERISTIC). Para un mejor entendimiento, en la Figura 1A, se aprecian los grados de similitud obtenidos por los impostores ante un sistema biométrico, se ha tomado como ejemplo una distribución gaussiana alrededor de un grado de similitud medio; en la Figura 1B, se visualiza los grados de similitud obtenidos por personas autorizadas.

**Figura 1. Gráficas de grados de similitud a la salida de un sistema biométrico.** A; grados de similitud de los "impostores". B; grados de similitud de personas autorizadas.



El número de patrones falsamente aceptados dividido por el número total de impostores se denomina "Tasa de falsa aceptación" (en ingles, FAR, FALSE ACCEPTANCE RATE), (Figura 2A), su valor es uno si todos los impostores son falsamente aceptados, y cero si todos los impostores son rechazados. El número de patrones falsamente rechazados divididos por el número total de personas autorizadas se denomina "Tasa de falso rechazo" (en ingles, FRR, FALSE REJECTION RATE), (Figura 2B), su valor es uno si todas las personas autorizadas son rechazadas, y cero si ninguna persona autorizada es rechazada.

**Figura 2. Gráficas de FAR y FRR. A; FAR. B; FRR.**



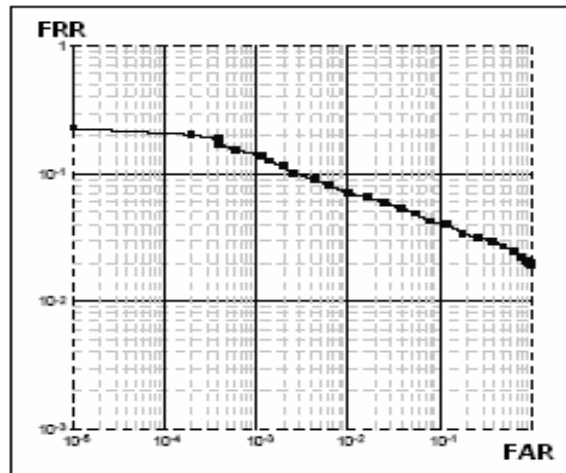
El valor donde la curva FAR intercepta a la curva FRR recibe el nombre de EER (en ingles, EQUAL ERROR RATE), (Figura 3), indicando el grado de similitud en la cual FAR y FRR son iguales, por lo general el umbral se escoge de una manera mas estricta por debajo del valor indicado por EER.

**Figura 3. Gráfica de EER**



En la imagen 2, se visualiza una curva ROC para diferentes umbrales permisibles por el sistema, donde el eje vertical es representado por FRR y el eje horizontal por FAR. Ambos indicadores, FAR y FRR están en función del umbral.

**Imagen 2. Gráfica ROC.**



### **1.3. TIPOS DE SISTEMAS BIOMETRICOS**

**1.3.1 PATRÓN DEL IRIS.** El iris humano es el anillo que rodea la pupila, que a simple vista diferencia el color de los ojos de cada persona, el iris es una estructura única para cada individuo con más de 400 características distintivas e inalterables durante toda la vida de la persona. Cada una de estas características puede ser cuantificada y usada para identificar a un individuo, en la práctica solo se emplean 260 características. Algunas de ellas son: surcos de contracción, estrías, huecos, fibras de colágeno, filamentos, anillos y manchas negras (Imagen 3).

Hay dos métodos para la autenticación por medio del iris, pasiva o activa.

En el método activo se requiere que el usuario se mueva hacia delante y atrás de manera tal que la cámara pueda ajustar el foco en el iris del usuario, por lo general el usuario se localiza entre 15 y 35 centímetros del lente de la cámara. En el método pasivo se incorporan una serie de

cámaras que localizan y enfocan el iris permitiendo al usuario estar alrededor de un metro y medio de distancia de la cámara; este método es más amigable para los usuarios de este sistema.

**Imagen 3. Patrón del iris humano.**



Tomada de [http://www2.ing.puc.cl/~iing/ed429/sistemas\\_biometricos.htm](http://www2.ing.puc.cl/~iing/ed429/sistemas_biometricos.htm)

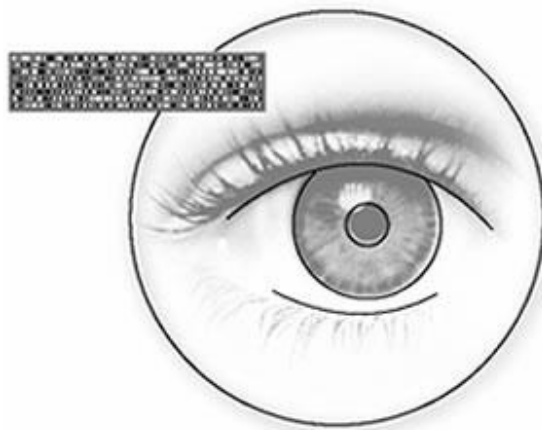
Una vez tomada la fotografía del iris se procede a realizar un procesamiento de imagen por software para extraer el borde más interno y externo del iris, y los contornos de los párpados, con el fin de obtener la zona principal del iris, es decir se realiza la segmentación del iris (Imagen 4). Pestañas y reflexiones que pueden cubrir ciertas zonas del iris son detectadas y descartadas para el análisis. Luego de detectar la región de análisis se codifica los patrones a través de un proceso llamado demodulación. Este crea un código fase para la secuencia de textura del iris. El proceso de demodulación usa funciones wavelets de 2-D que hacen una descripción completa de los patrones del iris sin importar el tamaño y dilatación de la pupila. La secuencia de la fase es llamada plantilla del código del iris, la cual captura las características únicas de un iris que permiten la comparación con otras plantillas que se encuentran en la base de datos para realizar la tarea de verificación y/o identificación.

Los sistemas de reconocimiento de iris han tenido problemas de aceptabilidad por el hecho de que las cámaras emplean una iluminación cercana a luz infrarroja, conociendo que estas cámaras cumplen con

todas las normas estándar de seguridad en iluminación. Pero en cuanto a su rendimiento este tipo de sistema ha adquirido un alto nivel de exactitud en identificación y/o verificación.

Sistemas de reconocimiento de iris han sido ampliamente utilizados tanto en el campo militar (en cuanto a seguridad se refiere) como en las instituciones financieras (para realizar transacciones monetarias). Por ejemplo, FBI, CIA, NASA y bancos internacionales.

**Imagen 4. Segmentación del iris.**



Tomada de <http://www.hellfish.org/~shuopio/netsec/paper.html>

**1.3.2 MAPA DE RETINA.** Los sistemas de verificación y/o identificación que hacen uso de los patrones de la retina son considerados hoy en día como los sistemas con mayor grado de seguridad. Su fiabilidad radica en que la vasculatura retinal (forma de los vasos sanguíneos de la retina humana) es un elemento característico de cada individuo, (Imagen 5). Por lo tanto los sistemas de identificación y/o verificación a través de la retina están basados en extraer los patrones de las venas y las arterias que se encuentran en la parte de atrás del ojo.

El barrido de la retina involucra un haz de luz infrarroja de baja intensidad que se proyecta a través del ojo hasta la parte de atrás donde se encuentra la retina. Se usa la luz infrarroja debido a que las venas y las

arterias absorben la luz infrarroja más rápido que el tejido que las rodea. La luz reflejada es capturada por una cámara donde se registra el patrón retinal.

**Imagen 5. Patrón de la retina.**



Tomada de [http://www2.ing.puc.cl/~iing/ed429/sistemas\\_biometricos.htm](http://www2.ing.puc.cl/~iing/ed429/sistemas_biometricos.htm)

Debido a que el reconocimiento a través de la retina es considerado intrusivo, para las personas no es muy agradable. Pero por otro lado es uno de los mejores sistemas de verificación y/o identificación con un bajo porcentaje de FRR y casi un 0% de FAR.

Este sistema biométrico ha encontrado su mayor aplicación en el campo militar en el control de acceso a sitios altamente restringidos.

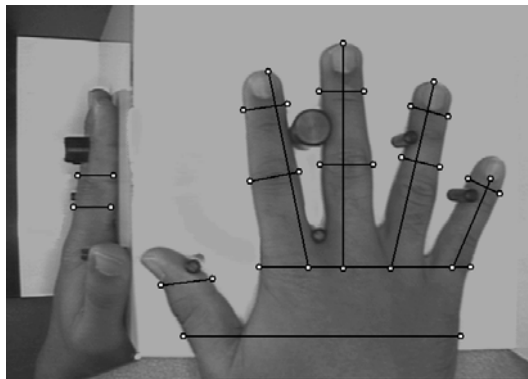
**1.3.3 GEOMETRIA DE LA MANO.** Los sistemas de reconocimiento que emplean este tipo de tecnología se basan en el hecho de que la geometría de la mano de una persona, es decir su forma, presenta características únicas que son diferentes a las de cualquier otro individuo; y además son características que no cambian significativamente con el transcurrir del tiempo.

El funcionamiento de este sistema consiste en extraer a través de una cámara, la forma de la mano, obteniendo una representación 3D de la misma. A partir de la imagen se extraen características tales como:

longitud, ancho y grosor de la superficie de la mano y de los dedos, para luego almacenarlas y formar lo que se denomina una plantilla, que posteriormente se empleará en la etapa de autenticación.

La etapa de adquisición en este tipo de sistema comprende una fuente de luz, una cámara, un espejo y una superficie plana (con cinco clavos). El usuario coloca su mano con la palma sobre la superficie plana (Imagen 6).

**Imagen 6. Patrón de la mano.**



Tomada de <http://www.hellfish.org/~shuopio/netsec/paper.html>

Los clavos que se encuentran sobre la superficie sirven como puntos de control para un correcto posicionamiento de la mano (en este caso para la mano derecha). El espejo proyecta hacia la cámara una vista lateral, para así obtener la profundidad.

Las características a extraer son mediciones de longitudes y anchos de los dedos en diferentes posiciones. En la actualidad los sistemas biométricos que emplean la geometría de la mano realizan noventa (90) mediciones en total, y la plantilla que se obtiene a través de estas mediciones es el más pequeño en bytes en comparación con otros tipos de sistemas biométricos.

Hoy en día hay miles de lugares alrededor del mundo que usan este tipo de sistema biométrico para el control de acceso a recintos.

Algunas de sus aplicaciones las podemos encontrar en:

- Entidades financieras, para el uso de cajeros automáticos.
- En Universidades, restricción en áreas de investigación solo para personal calificado.
- En prisión, para hacer seguimiento a los prisioneros.
- Plantas nucleares, en EEUU el 90% de sus plantas hacen uso de este sistema biométrico.
- Aeropuerto, control de seguridad.
- Servicios inmigratorios, para llevar un registro de los viajeros que cruzan la frontera.

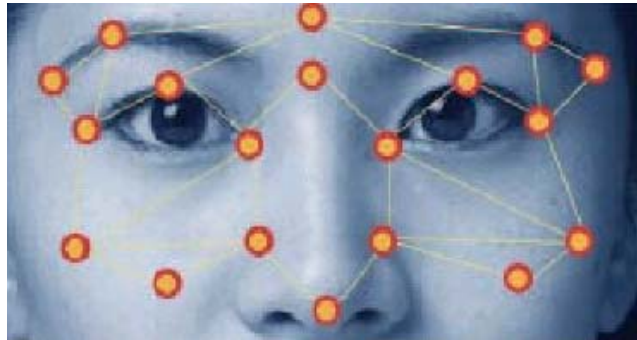
**1.3.4 GEOMETRIA DE LA CARA.** Las investigaciones sobre reconocimiento de rostros han tomado un gran auge en los últimos años, de ahí han venido surgiendo nuevos algoritmos y tecnologías basadas en los diferentes gestos y características faciales con el fin de desarrollar sistemas con diversas aplicaciones tales como en el campo de la robótica, control de seguridad, identificación de criminales, etc.

Diferentes técnicas y métodos han sido propuestos los cuales se pueden dividir en dos grandes grupos: los estáticos (fotografías) y los dinámicos (vídeo). Las técnicas estáticas son las aplicaciones más conocidas, estas se basan en fotografías de rostros, donde aspectos como iluminación, orientación, rotación, y tamaño pueden ser consideradas y controladas. Las técnicas dinámicas toman otros aspectos adicionales, ya que en una escena de vídeo aparecen otros objetos que no corresponden a un objeto.

Otra forma de dividir las técnicas de reconocimiento de rostros es: técnicas basadas en componentes constituyentes y técnicas basadas en la superficie del rostro.

Las técnicas basadas en componentes constituyentes, consiste en encontrar rasgos particulares del rostro tales como ojos, nariz, boca y forma del rostro entre otros, para conformar posteriormente la plantilla, que puede ser creado a través de distancias y ángulos entre dichos rasgos, (Imagen 7). Esta técnica presenta una alta flexibilidad en la manipulación de las características como la boca, ojos, nariz, etc. y la garantía de este método depende de la exactitud con que se encuentran dichas características faciales. Por tal motivo la resolución de la imagen debe ser muy alta para asegurar una correcta detección de las mismas.

**Imagen 7. Patrón del rostro basado en componentes constituyentes.**



Fuente:???????????

Las técnicas basadas en el rostro, utilizan una imagen bidimensional con variaciones de intensidad, (Imagen 8) y el reconocimiento es realizado por medio de la búsqueda de regularidades subyacentes estadísticas. El método de análisis de componentes principales PCA (PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS) es un ejemplo típico que utiliza esta técnica, la cual tiene ventajas como considerar el rostro como una característica global y la resolución puede ser relativamente baja.

**Imagen 8. Patrón del rostro basado en técnicas basadas en su superficie.**



Tomada de [http://www2.ing.puc.cl/~iing/ed429/sistemas\\_biometricos.htm](http://www2.ing.puc.cl/~iing/ed429/sistemas_biometricos.htm)

Algunas de las aplicaciones que involucran reconocimiento facial son:

- Seguridad en Aeropuertos.
- Seguridad en el comercio electrónico.
- Bancos internacionales, seguridad en transacciones.
- Compañías telefónicas, en las cabinas de servicio público.
- Sistemas de seguridad social.
- Procesos de registros en los centros de votación, implementado ya en los Estados Unidos.

**1.3.5 FIRMA.** El método de la firma es un sistema biométrico de comportamiento basado en el hecho de que la acción de firmar se considera como una acción involuntaria donde no está influenciada por un control muscular deliberado y donde además se pueden apreciar ciertas características como ritmos, forma, velocidad, aceleración, presión y número de contactos del bolígrafo con la superficie a medida que se está realizando la firma.

Los sistemas desarrollados con este método reciben el nombre de sistemas de verificación dinámica de firmas DSV (DYNAMIC SIGNATURE VERIFICATION) y son divididos en dos clases:

- Sistemas basados en el bolígrafo, donde un bolígrafo especial es el dispositivo que captura la información.
- Sistemas basados en la tableta, donde una tableta actúa como una superficie especial sobre la cual se toman los datos.

En la actualidad existe una nueva técnica para la verificación de firmas que recibe el nombre de emisión acústica. A medida que una persona escribe sobre una superficie de papel el movimiento de la punta del bolígrafo genera sobre las fibras del papel unas emisiones acústicas que luego son transmitidas como fuertes ondas hacia un material que se encuentra debajo del documento que esta siendo firmado.

Algunos de estos sistemas emplean métodos estadísticos para la verificación de la firma y otros emplean métodos de eventos secuenciales.

Los aspectos a tener en cuenta en el análisis estadístico son:

- Tiempo total en realizar una firma.
- Tiempo de duración cuando el bolígrafo hace contacto con la tableta.
- Distancia horizontal entre caracteres, etc.

En los métodos de eventos secuenciales, el sistema divide la firma en eventos independientes y se examina cada uno por separado. Cada evento es considerado como una secuencia de componentes fundamentales donde esta delimitado por interrupciones abruptas. La velocidad en una dirección específica puede ser considerada como un evento donde se tiene en cuenta aquellas partes de la firma donde se

tiene pendientes positivas y aquellas partes donde se poseen pendientes negativas.

Los sistemas biométricos para verificación de firmas al igual que los sistemas de verificación de huellas dactilares son los más aceptados. Algunos sistemas presentan problemas de verificación con aquellas personas que cambian radicalmente su firma, ya sean por alguna enfermedad o por estar bajo el efecto del alcohol o drogas. Los sistemas necesitan más de una plantilla para realizar una verificación óptima posteriormente. El sistema DSV de verificación de firmas elaborado por IBM, (Imagen 9), en donde la forma, la presión, y el tiempo con que se realiza la firma son los parámetros que va a considerar el sistema. El entrenamiento del sistema se logro mediante 6 plantillas para lograr una verificación con gran desempeño.

**Imagen 9. Plantilla de firmas del sistema implementado por IBM.**

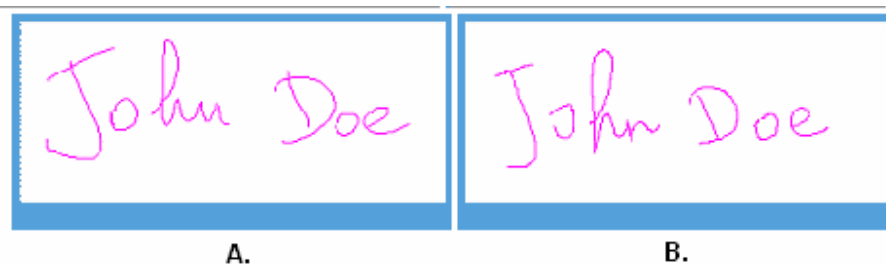


Tomada de <http://www.ibm.com>

En la imagen 10, se visualiza una firma autentica que ha sido aceptada y una firma falsificada que ha sido rechazada.

Las aplicaciones de autenticación a través de sistemas biométricos basados en la firma ha tenido un crecimiento lento en las instituciones financieras debido a la necesidad de tener bajos índices falsos rechazos (FRR), dado que el servicio al cliente es una de sus principales prioridades. Otras aplicaciones incluyen: oficinas de correo y realización de compras caseras.

**Imagen 10. Verificación de una firma.** A; patrón de la firma auténtica. B; patrón de la firma falsificada.



Tomada de <http://www.ibm.com>

**1.3.6 VOZ.** Un sistema de reconocimiento de voz trabaja con el principio de que la producción del habla para cada individuo es diferente. Esta característica es impuesta principalmente por la forma de la zona bucal que comprende la boca, la cavidad nasal, laringe y faringe. Aunque para los seres humanos reconocer a una persona a través de su timbre resulte una tarea fácil, crear sistemas biométricos que verifiquen la identidad de una persona a través de su habla se convierte en una tarea difícil.

En la actualidad los sistemas de reconocimiento de voz se emplean para el control de acceso físico, control de transacciones vía telefónica y control de acceso a datos de computadora entre otras, y debido al desarrollo de las telecomunicaciones abarcan un campo mas, control de acceso por Internet y autorizaciones por telefonía celular.

Una descripción global del funcionamiento de un sistema de verificación de voz es como se ilustra a continuación:

La persona habla a través de un micrófono para la adquisición de la señal y luego el sistema analiza las características de la voz. El método de análisis de Fourier es el más empleado para extraer las principales características biométricas, que posteriormente son codificadas para formar una plantilla. Finalmente el sistema compara la plantilla almacenada en la base de datos con el del usuario quien pide verificar su identidad.

Técnicamente, el sistema de reconocimiento de voz no es tan preciso como los sistemas basados en rasgos físicos, huellas dactilares, análisis de iris, y retina entre otros. Una de las tareas arduas que deben superar este tipo de sistema es el de filtrar la señal de entrada, para poder separar la señal de voz del ruido de fondo. A medida que la voz del individuo esta cambiando ya sea por cuestiones de edad, enfermedad, fatiga o stress se hace mas difícil su verificación.

**1.3.7 HUELLAS DACTILARES.** Una huella dactilar es la representación de la morfología superficial de la epidermis de un dedo. Esta formada por un conjunto de líneas, denominadas crestas, es la parte más sobresaliente de la epidermis del dedo, y valles. Los patrones formados por estas crestas y valles son características distintivas de cada individuo. Las aplicaciones más comunes de este tipo de sistema biométrico son:

- Control de acceso físico a áreas restringidas.
- Control de acceso a computadoras personales.
- Control de acceso a redes y a sistemas que manipulan bases de datos.

- Control de empleados en una empresa, para registrar la identidad y el cumplimiento del horario laboral por cada empleado.

En el capítulo 2 se abordan más ampliamente las características de los sistemas biométricos basados en huellas dactilares.

**1.3.8. PATRON DEL ADN:** Esta es una de las nuevas técnicas biométricas que presenta grandes diferencias con las técnicas biométricas estándares:

- Con sistemas basados en ADN se requiere una muestra física tangible en comparación a una imagen, una grabación o una impresión empleada por los sistemas biométricos estándares.
- La etapa de comparación del ADN no se realiza en tiempo real y no todas las partes que comprenden el sistema de verificación se encuentran automatizado.
- La comparación a través del ADN no se realiza mediante plantillas o mediante extracción de características, en vez de ello se emplean representaciones de la molécula (cadenas de adenina, citosina, guanina y timina) de las muestras actuales.

Los sistemas basados en ADN son considerados como sistemas biométricos que trabaja con base en los diferentes patrones biológicos de la molécula ADN de cada individuo para verificar o determinar la identidad de cada individuo.

Una desventaja de esta técnica es su nivel de aceptabilidad, ya que es un método intrusivo. La principal aplicación de este tipo de sistema biométrico se encuentra en el área criminalística.

## **2. HUELLAS DACTILARES**

La identificación personal basada en las huellas dactilares es rutinariamente usada en laboratorios forenses y unidades policiales alrededor del mundo, aunque en los últimos años también se ha abierto campo en otros sectores tales como el comercial. Por estos motivos estos sistemas de identificación requieren ser cada vez más eficientes y seguros.

Los sistemas biométricos basados en huellas dactilares son los sistemas biométricos más difundidos en la actualidad siendo la tecnología más adelantada en el campo de la biometría. La huella representa un patrón único de identificación entre todas las personas, este patrón conserva la misma forma desde la formación del feto. Estas características satisfacen los requisitos de universalidad, unicidad, permanencia y colectividad que debe poseer un sistema biométrico.

### **2.1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS**

El uso de las huellas dactilares en los sistemas de reconocimiento tiene sus inicios en China donde era común poner la huella en documentos oficiales, contratos y venta de tierras. Los chinos también usaban las huellas dactilares para establecer la identidad en las cortes.

El primer documento acerca de las huellas dactilares fue escrito por el médico inglés Nehemiah Grew en 1684, este documento era de carácter fisiológico, de ahí en adelante surgieron varios documentos que

abordaban este campo; pero no fue sino hasta 1798 que J.C. Mayer teorizó que los arreglos de las crestas eran únicos para cada huella. En 1823 el profesor Johannes Purkinje publicó una detallada descripción de las huellas dactilares, la tesis se tituló 'A COMMENTARY ON THE PHYSIOLOGICAL EXAMINATION OF THE ORGANS OF VISION AND THE CUTANEOUS SYSTEM', la cual estaba ilustrada con nueve patrones diferentes de huellas, las cuales Henry más tarde clasificaría, la investigación de Purkinje fue puramente anatómica, él nunca mencionó el uso de estos patrones en la identificación personal.

Un gran avance en el campo del estudio de las huellas dactilares fue hecho por el médico escocés Henry Faulds a finales del siglo 19, él descubrió que los patrones de las huellas de los dedos no cambiaban al sufrir una lesión; también describió las formaciones sobre las huellas como lazos y espirales; esto lo observaba humedeciendo su dedo con un poco de tinta para luego colocarlo en una hoja de papel donde quedaba impresa su huella. Pero su descubrimiento más importante fue el de observar que podía dejar las marcas de las huellas en objetos con solo tocarlos, este descubrimiento es la base de la identificación científica de criminales.

En 1892 el científico Francis Galton publicó un estudio sobre las huellas dactilares donde incluyó un sistema de clasificación para facilitar la manipulación de grandes bases de huellas. Sin embargo la clasificación de Galton fue corregida por Edward Henry en 1900 cuando publicó su libro 'CLASSIFICATION AND USES OF FINGERPRINTS'. Henry clasificó las huellas en cinco clases: arco, arco pronunciado, lazo derecho, lazo izquierdo y espiral; además elaboró un método de indexado de huellas que facilitaba la labor de la identificación manual.

Desde principios del siglo 20 la identificación por medio de las huellas dactilares fue formalmente aceptada como un método válido de identificación personal por las autoridades y llegó a ser un procedimiento estándar en la ciencia forense. Con la llegada de los sensores de huellas dactilares se ha incrementado el uso de las huellas en aplicaciones comerciales y gubernamentales.

## **2.2 CARACTERÍSTICAS DE LAS HUELLAS DACTILARES**

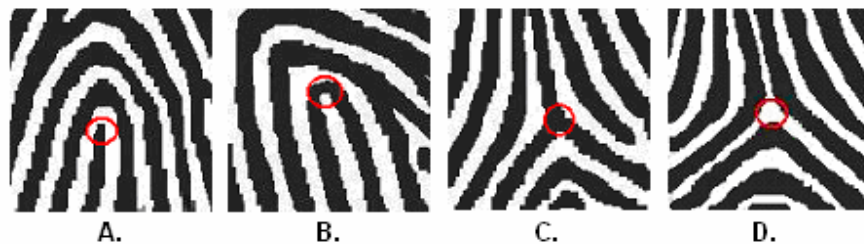
Las huellas dactilares son características exclusivas de los primates. En la especie humana se forman a partir de la sexta semana de gestación y no varían sus características a lo largo de toda la vida del individuo.

Las huellas dactilares son las formas que adopta la piel que cubre la yema de los dedos. Están constituidas por rugosidades que forman salientes y depresiones. Las salientes se denominan crestas papilares y las depresiones, surcos interpapilares. Los detalles de las crestas y los surcos están incrustados en la dermis o capa profunda de la piel, por lo tanto si la epidermis o capa exterior de la piel sufre un daño temporal tal como una quemadura, ampolla, cortada o incluso una callosidad; estos detalles quedarán intactos. Solo cuando un daño exterior afecte la dermis, la piel desarrollará un tejido de cicatrización que modificará los detalles papilares; sin embargo, después de cierto tiempo esto podrá transformarse en una característica permanente.

**2.2.1 PUNTOS SINGULARES.** Las características globales son las características que se pueden observar en la huella sin dificultad, o también llamados puntos singulares. En las huellas dactilares estos puntos son los núcleos y los deltas; estos puntos son usados para clasificar los patrones de las huellas dactilares.

El núcleo es el punto más alto de la cresta más interna de la huella. El delta es un triángulo formado por las crestas, ya sea por la bifurcación de una cresta o también por la brusca divergencia de dos crestas que venían paralelas, (Figura 4). Una huella dactilar puede carecer de núcleo y delta, pero también puede tener hasta dos núcleos y dos deltas.

**Figura 4. Núcleos y deltas.** A y B; núcleos. C y D; deltas.

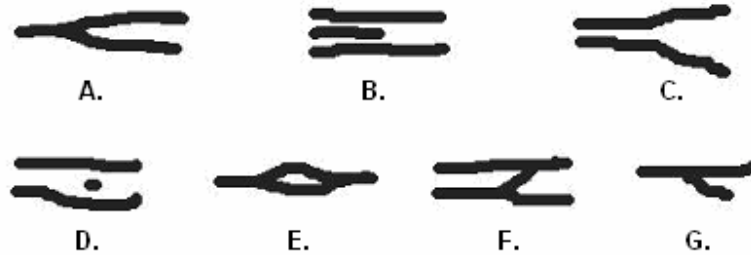


**2.2.2 MINUCIAS.** Además de las características globales, las huellas dactilares poseen otras características que sirven para diferenciarlas; estas son las características locales o minucias. Dos personas pueden tener exactamente las mismas características globales, pero la distribución de sus minucias siempre serán diferentes.

La unicidad de las huellas dactilares está exclusivamente determinada por la distribución aleatoria que presentan las minucias. Un total de 150 diferentes tipos de minucias han sido identificadas, pero muy pocos de estos tipos se pueden observar fácilmente. Los tipos de minucias más conocidos son: las bifurcaciones, terminaciones, divergencias, puntos, islas, puentes y esporas; (Figura 5). Una bifurcación es una cresta que se divide en dos o más crestas. Una terminación es una cresta que termina abruptamente. Una divergencia son dos crestas que después de venir paralelas se separan una de otra. Un punto es una pequeña cresta que no alcanza a ser línea. Una isla es una cresta que se divide y se vuelve a unir o también se puede ver como dos bifurcaciones conectadas. Un puente es

una cresta que une a otras dos crestas que están paralelas. Una espora es una combinación entre una bifurcación y una terminación.

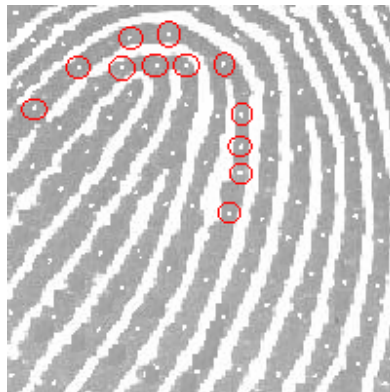
**Figura 5. Minucias.** A; bifurcación. B; terminación. C; divergencia. D; punto. E; isla. F; puente. G; espora.



La mayoría de algoritmos de verificación e identificación de huellas dactilares se basan solamente en las bifurcaciones y terminaciones. Esto se debe a que estos dos tipos de minucias en una huella dactilar representan la mayoría entre su totalidad de las minucias encontradas; según el reporte entregado por el FBI (FEDERAL BUREAU INVESTIGATION) las minucias con terminaciones de crestas representan un 60.6 % y las minucias con crestas de bifurcación representan un 17.9% de todas las minucias en un huella. Una imagen de huella dactilar de buena calidad tiene típicamente entre 40 y 100 minucias de estos dos tipos.

También existen otros detalles que hacen altamente distintivas las huellas, estos detalles son los poros que se encuentran en la piel y que pueden ser detectados sobre las crestas de la huella, (Figura 6). La posición de estos poros sirven para diferenciar una huella de otra. Sin embargo la extracción de estos poros sólo es posible en imágenes de huellas con resoluciones superiores a 1000 puntos por pulgada.

**Figura 6. Poros en una huella dactilar.**



### **2.3. SISTEMAS BASADOS EN HUELLAS DACTILARES.**

Los sistemas biométricos basados en huellas dactilares han sido objeto de numerosos estudios, con los cuales se han desarrollado una gran variedad de algoritmos de verificación e identificación de huellas; que hacen esta tecnología cada vez más segura. El principal campo que estudia el desarrollo de estos algoritmos es el procesamiento digital de imágenes en su rama de reconocimiento de patrones.

Un sistema de verificación de huellas dactilares esta basado en dos grandes etapas: la inscripción de la huella y la verificación de esta. Si el sistema es de identificación en lugar de verificación se tendrá identificación de la huella. Dentro de estas etapas están los pasos del algoritmo escogido para conseguir el objetivo deseado, sea este la verificación o la identificación.

La etapa de inscripción de la huella es la encargada de registrar las características que representan la huella dactilar de un usuario que usa el sistema por primera vez. Estas características se almacenan en una base de datos.

Las etapas de verificación e identificación son las responsables de comparar las características de una huella entrante con las que existen en una base de datos, obteniéndose una respuesta de aceptación o negación en el caso de la verificación o una identidad en el caso de la identificación. En la verificación además de las características de la huella se ingresa el nombre del usuario o un número o palabra que lo identifique.

Los pasos más sobresalientes en los algoritmos de reconocimiento de huellas dactilares son la adquisición de la huella, la extracción de características y la comparación.

Además de estos pasos hay otras etapas necesarias en estos sistemas, algunas de ellas pueden o no estar presentes, esto depende de los métodos o procedimientos que quieran implementarse en el sistema, (Figura 7).

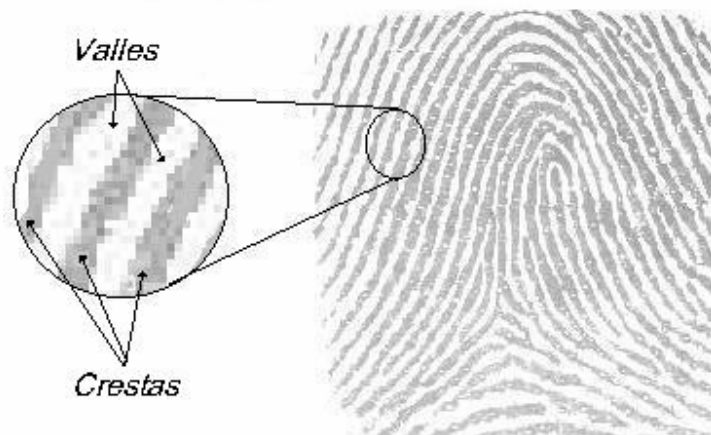
**Figura 7. Principales etapas de un sistema de reconocimiento de huellas dactilares.**



**2.3.1 ADQUISICIÓN.** La adquisición de la huella es el primer paso en un sistema de reconocimiento de huella dactilar. Este paso es muy importante ya que del resultado de este depende el nivel de complejidad y resultados de las siguientes etapas. En la etapa de adquisición se toma un registro de la imagen de la huella dactilar, este registro se puede hacer de diferentes formas. Estas formas serán explicadas más adelante

en el capítulo 3. En una imagen de huella dactilar se registran los detalles que presentan las crestas y los valles en el dedo, (Figura 17).

**Figura 8. Registro de una huella dactilar.**



**2.3.2 PREPROCESAMIENTO.** Esta etapa es muy dependiente de la calidad de la imagen obtenida en la adquisición. El objetivo de esta etapa es mejorar la imagen para que se puedan diferenciar las características de las huellas que se registran.

El algoritmo de mejoramiento depende de la forma como se hacen los registros de las huellas, es decir, si se tienen imágenes de buena calidad se necesitará en esta etapa un algoritmo menos riguroso que si se tienen imágenes de mala calidad, por imágenes de buena calidad se entiende aquellas imágenes de huellas dactilares que no presentan irregularidades que no dejan apreciar las características que se piensan extraer, (Figura 9).

Las imágenes de huellas dactilares frecuentemente poseen irregularidades, ya sea por condiciones de la piel, tales como cortes, marcas ocasionadas por trabajos manuales o por uso de cremas; o ya sea por el dispositivo que registra la imagen.

**Figura 9. Registros de huellas de buena y mala calidad.** A; imagen de buena calidad. B; imagen de mala calidad.



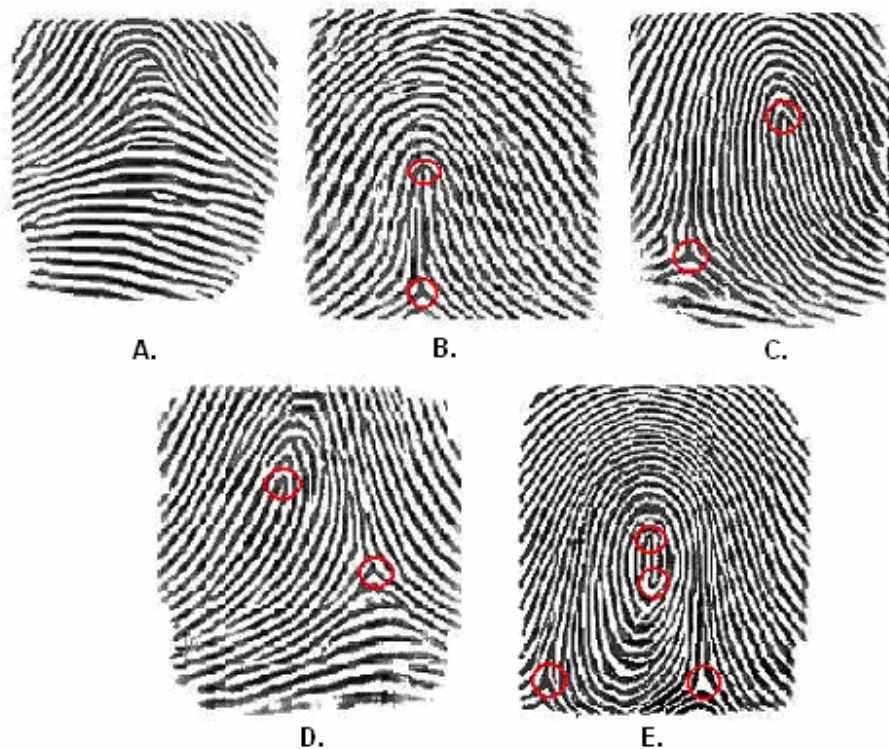
Si en la adquisición se obtiene una buena imagen de la huella, solo se necesitará resaltar un poco las características de esta con un algoritmo de contraste. Pero si la imagen posee irregularidades, se necesitará aplicar filtros que atenúen estas irregularidades y además conserven las características de las estructuras de las crestas de la huella; las técnicas más usadas en este campo son los filtros Gabor y el mejoramiento por transformada de Fourier.

**2.3.3 CLASIFICACION.** Esta etapa se encarga de clasificar las huellas según sus características globales. La etapa de clasificación no es esencial en los sistemas de reconocimiento de huellas dactilares, pero al introducir esta etapa el sistema se hace más eficiente. En los sistemas de verificación, la clasificación introduce otro parámetro de comparación entre huellas. En los sistemas de identificación, la clasificación ayuda a reducir el tiempo de comparación, esto se debe a que al introducir este parámetro se pueden almacenar los patrones de las huellas según su clase para cuando se vaya a hacer la comparación de patrones solo se haga con los de su misma clase y no con toda la base de datos.

Existen diferentes sistemas que permiten clasificar los patrones de las huellas, pero el más utilizado es el sistema propuesto por Edward Henry,

el cual clasifica las huellas en cinco clases: arco plano, arco pronunciado o angular, lazo derecho, lazo izquierdo y espiral, (Figura 19).

**Figura 10. Clases de huellas dactilares según Henry.** A; arco. B; arco pronunciado. C; lazo derecho. D; lazo izquierdo. E; espiral.



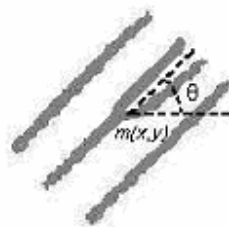
- **ARCO PLANO.** En un arco plano no se presentan núcleos ni deltas, además las crestas nacen en un extremo y tienden a salir por el extremo contrario.
- **ARCO PRONUNCIADO.** Este patrón presenta un núcleo y un delta. Las crestas al igual que en el arco plano nacen en un extremo y tienden a salir por el extremo contrario, pero esta vez presentando acentuadas elevaciones en el centro.

- **LAZO DERECHO.** Este patrón presenta un núcleo y un delta. Las crestas cercanas al núcleo nacen por el lado derecho de la huella, se curvan y tienden a salir por el mismo lado.
- **LAZO IZQUIERDO.** Este patrón presenta un núcleo y un delta. Las crestas cercanas al núcleo nacen por el lado izquierdo de la huella, se curvan y tienden a salir por el mismo lado.
- **ESPIRAL.** Un patrón de esta clase presenta dos núcleos y dos deltas.

**2.3.4 EXTRACCIÓN DE MINUCIAS.** La tarea de esta etapa es extraer las características locales de la imagen de la huella. Como se citó anteriormente la mayoría de los sistemas de reconocimiento de huellas dactilares existentes se basan en la extracción de terminaciones y bifurcaciones.

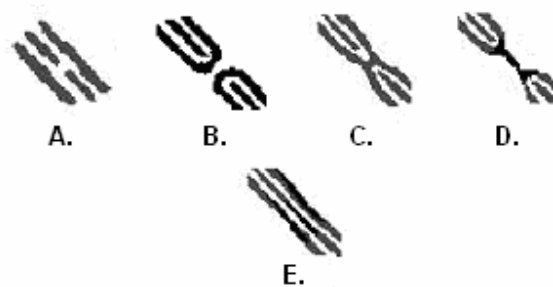
El algoritmo de extracción debe obtener el tipo de minucia, su posición con respecto a un punto y su orientación, (Figura 11). El primer paso de este algoritmo es obtener una imagen de la huella binarizada y cuyo ancho de crestas sea de un píxel, a este proceso se le llama esqueletización o adelgazamiento.

**Figura 11. Extracción de una minucia.**



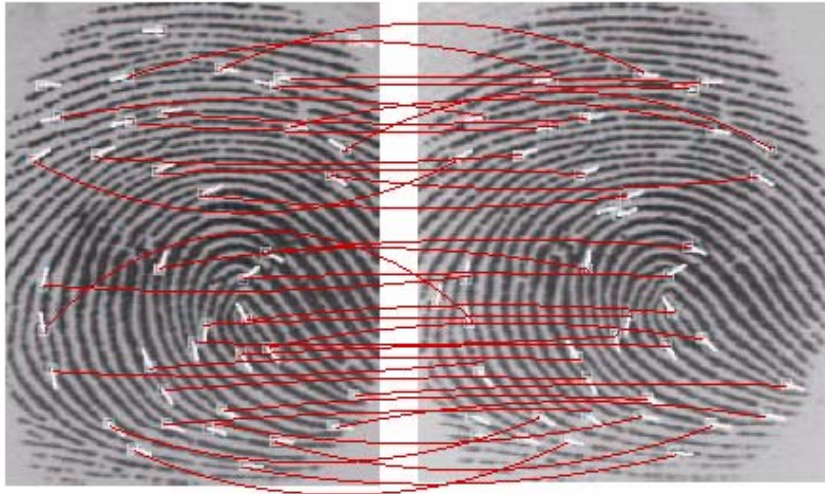
**2.3.5 POSTPROCESAMIENTO.** El principal objetivo del postprocesamiento es obtener las minucias verdaderas de los resultados arrojados por la etapa de extracción de minucias, ya que algunas de las minucias encontradas pueden ser falsas debido a que el preprocesamiento no puede mejorar completamente la imagen de la huella, (Figura 12). Esta etapa se puede obviar si el método de preprocesamiento es tan robusto que puede corregir todas las irregularidades de la imagen de la huella o si la imagen registrada al momento de la adquisición es de muy buena calidad.

**Figura 12. Minucias falsas.** A, B, C y D; minucias falsas. E; minucia verdadera.



**2.3.6 VERIFICACIÓN O IDENTIFICACIÓN.** Esta es la última etapa del sistema, en esta, las características extraídas de la imagen de la huella son comparadas con los patrones que están almacenados en la base de datos; (Imagen 11). Esta comparación puede ser total o parcial, es decir que el sistema puede ser diseñado para que compare todas las minucias de las huellas o solamente compare las minucias que se encuentran en una región específica de las huellas.

**Imagen 11. Comparación de patrones.**



[http://neutron.ing.ucv.ve/revista-e/No6/Olguin%20Patricio/SEN\\_BIOMETRICOS.html](http://neutron.ing.ucv.ve/revista-e/No6/Olguin%20Patricio/SEN_BIOMETRICOS.html)

### 3. ADQUISICIÓN DE HUELLAS DACTILARES

En un sistema de reconocimiento por huellas dactilares tal vez la etapa más crítica es la de adquisición. La adquisición se puede hacer de dos grandes formas, la primera es imprimir la huella en un papel por medio de tinta para luego digitalizarla y la segunda es usar un circuito integrado que digitalice la imagen de la huella dactilar.

El método de adquirir la huella por medio de un papel ha sido usado durante mucho tiempo, teniendo su mayor uso por las autoridades policiales en la solución de crímenes. La figura 13 muestra una huella adquirida por medio de tinta y papel y que luego fue digitalizada a través de un escáner.

**Figura 13. Registro de una huella dactilar sobre papel.**



El uso de elementos electrónicos en el registro de huellas dactilares se ha incrementado con la demanda de sistemas de seguridad basados en reconocimiento por huella dactilar. La principal ventaja que tiene este

método es la oportunidad que ofrece de automatizar los procesos de autenticación de identidad. Las principales características de un sensor de huellas dactilares son la resolución de la imagen, área efectiva de captura y rango dinámico de trabajo; esto en la parte que determina las características de la imagen; y el tamaño, costo y durabilidad, los cuales son factores determinantes en el desarrollo de un sistema. Además de estas hay otras características que se deben tener en cuenta al momento de escoger un sensor para una aplicación específica, estas características son: tipos de interfase, velocidad de comunicación, detección automática del dedo y capacidad de encriptar.

En la actualidad existen varios tipos de sensores de huella dactilar.

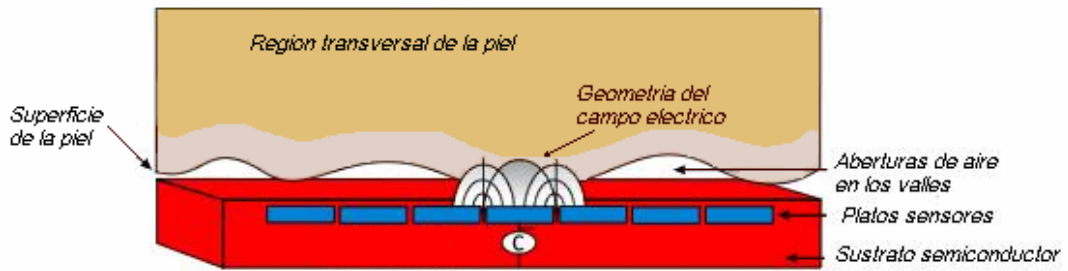
### **3.1. TIPOS DE SENSORES**

**3.1.1 SENSORES CAPACITIVOS.** Estos son los sensores de huella dactilar más populares. Los sensores capacitivos son circuitos integrados cuya superficie esta constituida por platos sensores conductores cubiertos con una capa aislante. El principio de funcionamiento es el siguiente: se pone el dedo en la superficie del circuito integrado, se le deposita a cada plato sensor una carga fija; por la geometría del dedo, las líneas de flujo generadas desde el plato energizado se inducen en la porción de piel adyacente a este plato generándose un efecto capacitivo. La capacitancia generada es medida individualmente en cada plato. Esta capacitancia es medida indirectamente midiendo el voltaje estático generado por la carga depositada en cada plato, (Imagen 12). La información de cada plato será un píxel en la imagen registrada de la huella.

Una desventaja de este sensor es que debido a la geometría esférica del campo eléctrico generado por el plato sensor, se tendrá un efecto de solapamiento sobre platos vecinos, lo que producirá un efecto de

información cruzada entre los sensores adyacentes, reduciendo la resolución de la imagen.

**Imagen 12. Funcionamiento de un sensor capacitivo.**



[http://neutron.ing.ucv.ve/revista-e/No6/Olguin%20Patricio/SEN\\_BIOMETRICOS.html](http://neutron.ing.ucv.ve/revista-e/No6/Olguin%20Patricio/SEN_BIOMETRICOS.html)

Para dedos jóvenes, saludables y limpios, este sistema trabaja adecuadamente. Los problemas se presentan cuando se tienen condiciones menos óptimas en la piel. Cuando el dedo está sucio, no existirá aberturas de aire en los valles. Cuando la superficie del dedo es muy seca, la diferencia de la constante dieléctrica entre la piel y las aberturas de aire se reduce considerablemente. En personas de avanzada edad, la piel comienza a soltarse trayendo como consecuencia que al aplicar una presión normal sobre el sensor los valles y crestas se aplasten haciendo difícil diferenciar entre unas y otras.

La principal ventaja es que el sensor requiere de huellas reales para su correcto funcionamiento.

**3.1.2 SENSORES DE CAMPO ELÉCTRICO.** El sensor de campo eléctrico funciona aplicando un campo eléctrico entre dos capas conductoras, una oculta dentro del circuito integrado el cual es llamado plano de referencia de la señal de excitación y la otra localizada por debajo de la piel del dedo, (Imagen 13). La amplitud del campo formado entre estas capas reproduce la forma de la capa conductora de la piel.

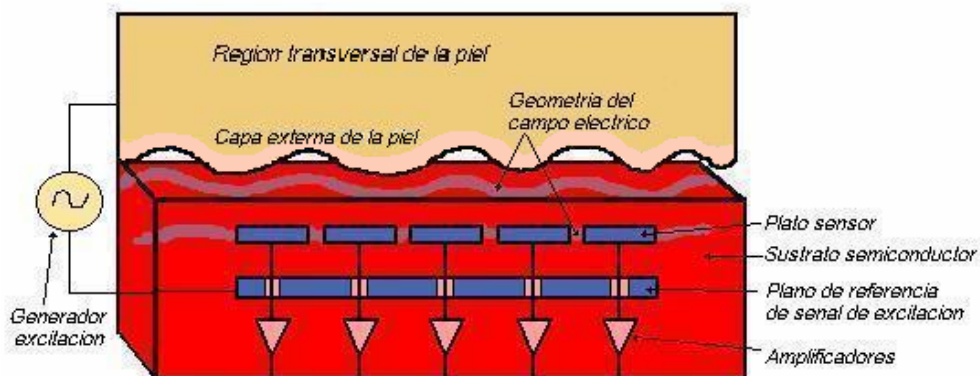
Diminutos sensores insertados por debajo de la superficie del semiconductor y sobre la capa conductora, miden el contorno del campo. Amplificadores conectados directamente a cada plato sensor convierten estos potenciales a voltajes, representando el patrón de la huella.

Los sensores de campo eléctrico reproducen una imagen clara que se corresponde con mucha exactitud a la huella dactilar y que es mucho más nítida que la producida por sensores ópticos o capacitivos.

En la tecnología de campo eléctrico, la antena mide las características de la capa subcutánea de la piel generando y detectando campos que se originan en la capa de células de la piel situada bajo la superficie de la misma, esto le permite al sensor tomar un registro de la huella sin depender de las condiciones superficiales de la piel.

La desventaja que presentan estos sensores es que poseen baja resolución y un área pequeña de captura, lo que produce un índice de error alto.

**Imagen 13. Funcionamiento de un sensor de campo eléctrico.**



[http://neutron.ing.ucv.ve/revista-e/No6/Olquin%20Patricio/SEN\\_BIOMETRICOS.html](http://neutron.ing.ucv.ve/revista-e/No6/Olquin%20Patricio/SEN_BIOMETRICOS.html)

**3.1.3 SENSORES PIEZOELECTRICOS.** Estos sensores usan el efecto piezoeléctrico como su principio de funcionamiento. Este efecto se

presenta cuando a un cristal piezoeléctrico se le somete a un esfuerzo mecánico apareciendo en él una polarización que da origen a un campo eléctrico.

Este tipo de sensores están conformados por platos sensores hechos de cristales piezoeléctricos. Al poner el dedo en el sensor las crestas de la huella van a hacer presión sobre algunos platos sensores, los cuales producirán un voltaje.

Las principales desventajas de los sensores piezoeléctricos es que producen solo imágenes binarias y además pueden ser engañados fácilmente con huellas falsas.

**3.1.4      **SENSORES TERMICOS.**** Este tipo de sensores está compuesto por un material piroeléctrico, el cual mide la diferencias de temperaturas entre los platos sensores que están en contacto con las crestas de la huella y los platos sensores que están debajo de los valles, es decir los platos sensores que no están en contacto con el dedo. Estas diferencias de temperaturas son convertidas a tensiones.

La aproximación térmica hace que estos sensores sean muy difíciles de engañar con huellas artificiales y le da una fuerte inmunidad a cargas electrostáticas. Además funciona bien tanto en condiciones de temperaturas extremas como en temperatura ambiente. La principal desventaja de los sensores térmicos es que el registro de las diferencias de temperatura de la huella debe ser tomado rápidamente pues este desaparece en muy corto periodo, esto es debido a que inicialmente cuando es puesto el dedo en el sensor las diferencias de temperaturas son grandes pero rápidamente los platos sensores tratarán de alcanzar el equilibrio térmico haciendo que estas diferencias desaparezcan. Por esta razón la captura de la imagen con estos sensores no es hecha solo

colocando el dedo como en los demás tipos de sensores sino deslizando este verticalmente por el sensor, capturando imágenes de las diferentes porciones de la huella. Por lo tanto este tipo de registro necesita que la imagen de la huella sea reconstruida por software.

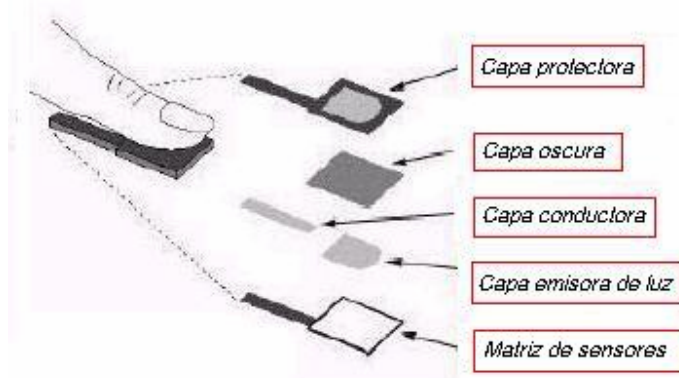
**3.1.5 SENSORES OPTICOS.** Un sensor óptico está conformado principalmente por dos partes: una capa de polímero y una cámara de silicio. La capa de polímero a su vez esta conformada por otras capas; la capa exterior protege al sensor de factores ambientales tales como humedad, suciedad y descargas electrostáticas; la siguiente es una capa oscura que protege al sensor de la luz externa; después sigue una capa conductora transparente que supe de corriente al sensor; y la última capa es emisora de luz, esta actúa como iluminador del sensor. La cámara es una matriz de fotodiodos que están ubicados dentro de un cristal. La imagen 14 muestra las diferentes partes que componen un sensor de huellas dactilares de tipo óptico.

Estos sensores funcionan colocando el dedo en la delgada capa de polímero, la cual emitirá luz, para crear una imagen de la huella sobre el arreglo de fotodiodos, para que posteriormente sea digitalizada y enviada al dispositivo que procesará la imagen.

La principal ventaja de estos sensores es que pueden ser usados con huellas desde muy húmedas hasta muy secas. Además la superficie de polímero que recubren al sensor lo aísla del dedo y del ambiente; haciéndolo tolerante a contaminantes y cargas electrostáticas y por lo tanto mejorando su durabilidad y desempeño.

La principal desventaja de este tipo de sensores es que pueden ser engañados con huellas falsas.

**Imagen 14. Partes de un sensor de huellas de tipo óptico.**



Tomada de <http://www.ethentica.com>

### **3.2. ELECCIÓN DEL SENSOR**

En la parte anterior se dió una breve descripción del funcionamiento, así como de las principales ventajas y desventajas de los tipos de sensores encontrados en el mercado. En el anexo A se encuentra una tabla comparativa de los modelos de los sensores más comercializados actualmente.

El sensor escogido para la digitalización de las huellas dactilares es el MBF200 de la empresa Fujitsu el cual es de tipo capacitivo, para mayor apreciación de las características y arquitectura del sensor referirse al anexo B. Este circuito integrado presenta una resolución de imagen de 500 puntos por pulgada, un área de captura de 1.5cm x 1.28cm y un conversor analógico-digital con resolución de 8 bits, lo cual quiere decir que tiene 256 posibles niveles de grises. Con estas características se garantizan los registros de buenas imágenes de huellas dactilares con este sensor, es decir imágenes donde se pueden ver los rasgos característicos de las huellas que se quieren analizar en este trabajo.

Además de las citadas anteriormente, este sensor posee otras características importantes que influyeron en su escogencia, tales como su tipo de interfase, su facilidad de manejo y su bajo costo.

Este sensor funciona con base en registros. El sensor tiene tres tipos de interfase: USB (UNIVERSAL SERIAL BUS), SPI (SERIAL PERIPHERICAL INTERFAZ) y comunicación paralela de 8 bits.

También cabe anotar que el empaquetado del sensor MBF200 es de tipo LQFP80 (LOW QUAD FLAT PACKAGE) el cual requiere de montaje superficial o de un zócalo especial para su montaje en el circuito impreso. En este trabajo se soldó directamente el sensor a la tarjeta.

### **3.3. DISEÑO DEL HARDWARE DE ADQUISICIÓN**

El hardware del sistema de adquisición esta compuesto por las siguientes etapas: alimentación e interfase.

**3.3.1 ETAPA DE ALIMENTACIÓN.** La etapa de alimentación está constituida por los elementos que permiten entregar el nivel de tensión y corriente adecuados al sensor para su correcto funcionamiento. El sensor MBF200 opera en un rango de tensiones continuas de alimentación entre 3.3V y 5V, en este trabajo el circuito integrado se alimenta con 5V puesto que la interfase a usar para la comunicación del circuito integrado con el computador es el puerto paralelo, el cual opera con señales lógicas TTL (TRANSISTOR-TRANSISTOR LOGIC) de 0 a 5V.

La tarjeta se alimenta con una fuente de tensión continua, esta tensión es regulada a 5V por medio del elemento 78M05. El fabricante del sensor aconseja filtrar esta señal de alimentación para que esté libre de componentes de alta frecuencia que puedan afectar los registros de las imágenes que se van a adquirir. En este caso se implementó un filtro

pasabajos con una resistencia y algunos condensadores. El valor de la resistencia es  $10\Omega$  y los condensadores son de tantalio de 100mF. La resistencia se colocó a la salida del 78M05 y los condensadores se pusieron uno en cada una de las 5 entradas de alimentación del sensor.

El sensor presenta la posibilidad de trabajar con un circuito oscilador interno de 12MHz que posee o con un circuito oscilador externo si el diseñador lo desea. En la tarjeta desarrollada en este trabajo se puso un cristal oscilador con una frecuencia de 12MHz; esto para tener la posibilidad de probar los resultados con ambos circuitos el externo y el interno y así observar cual permite un mejor desempeño del sensor.

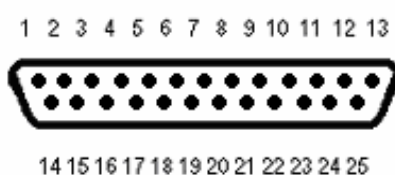
**3.3.2 ETAPA DE COMUNICACIÓN.** Esta etapa permite la correcta conexión entre el sensor y el puerto paralelo del computador. Esta conexión debe satisfacer los protocolos usados por el sensor y por el puerto paralelo.

El sensor en su modo de comunicación paralela, usa 15 pines; de los cuales 8 pines son de datos, 5 pines son de control y los 2 pines son de estado. Los pines de datos (D0-D7) pueden ser de entrada o de salida; cuando son de entrada por ahí llegará al sensor información para poder acceder a sus registros.

Los pines de control son CS0, CS1, A0, RD y WR. Los pines CS0 y CS1 permiten elegir el modo de funcionamiento del sensor entre USB, SPI y MCU. Con la adecuada combinación entre los pines A0, RD y WR se permite leer o escribir en los registros del sensor. Los pines de estado son WAIT y INTR; estos pines permiten conocer el estado del sensor cuando este comienza o está realizando una captura de la imagen.

Por el lado del computador se configura el puerto paralelo bidireccional para que se puedan tanto enviar como recibir información por las 8 líneas datos. Además en esta configuración se dispone de un registro de estado y un registro de control. La figura 14 muestra la disposición de los pines del puerto paralelo (datos, estado y control), y en la tabla 1 se presenta la distribución de los pines en el puerto.

**Figura 14. Visualización de los pines en el DB25.**



**Tabla 1. Correspondencia de los pines del puerto paralelo con sus registros.**

Pin del DB25	Registro	Descripción	Bit	E/S
1	Control	Strobe	0	Escritura
2-9	Base	Datos	0-7	Lectura/Escritura
10	Estado	Acknowledge	6	Lectura
11	Estado	Busy	7	Lectura
12	Estado	Paper out	5	Lectura
13	Estado	Select in	4	Lectura
14	Control	Auto linefeed	1	Escritura
15	Estado	Error	3	Lectura
16	Control	Initialize printer	2	Escritura
17	Control	Select printer	4	Escritura
18-25	-	Ground	-	-

Para la conexión del puerto paralelo con el sensor se usaron las líneas de datos, 3 líneas de control y 1 línea de estado. Las líneas de control usadas fueron *Strobe* (pin1), *Auto linefeed* (pin 14) y *Initialize printer* (pin16); se debe tener en cuenta que las líneas *Strobe* y *Auto linefeed* están invertidas, es decir que su polaridad activa es "0". La línea de estado usada fue *Acknowledge* (pin10).

El puerto paralelo usualmente tiene tres posibles direcciones para acceder a sus registros, estas direcciones se muestran en la tabla 2. Estas direcciones pueden cambiar de computador a computador.

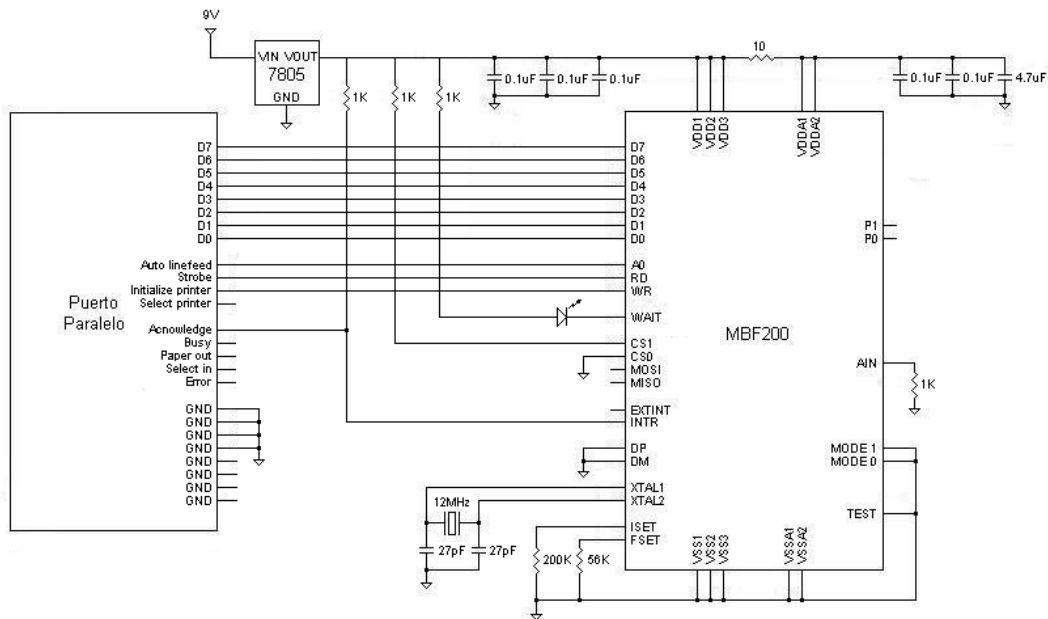
Con frecuencia el puerto paralelo se encuentra en el puerto LPT1 del computador, es decir que la dirección de su registro base es 378h (o 888 en notación decimal), 379h (889 en notación decimal) para su registro de estado y 37Ah (890 en notación decimal) para su registro de control.

**Tabla 2. Posibles direcciones usadas por el computador para acceder al puerto paralelo.**

Dirección	
<i>3BCh - 3BFh</i>	Usada para puertos paralelos que fueron incorporados en la tarjeta de video del computador, o comúnmente es una opción para puertos controlados por la BIOS.
<i>378h - 37Fh</i>	Dirección usual para puerto LPT1.
<i>278h - 27Fh</i>	Dirección usual para puerto LPT2.

**3.3.3. DIAGRAMA DE CONEXIONES.** En la figura 15 se muestra un esquema detallado del diagrama de conexiones de la tarjeta de adquisición desarrollada en este trabajo. En el apéndice C aparecen los planos del circuito impreso.

**Figura 15. Diagrama de conexiones.**



### 3.4 DISEÑO DEL SOFTWARE DE ADQUISICION

Una vez desarrollado el hardware para la adquisición de los datos, el siguiente paso consiste en la implementación de un algoritmo en el computador que realiza las siguientes tareas:

- Inicializar el sensor.
- Ajustar parámetros.
- Obtener la imagen completa y visualizarla.

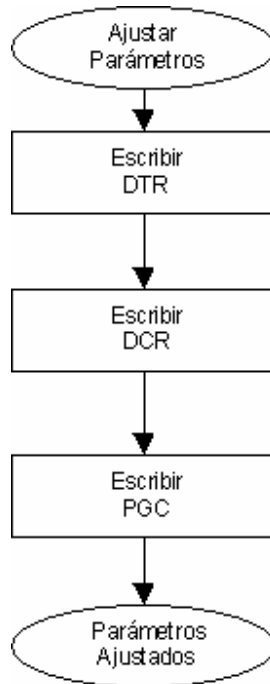
Inicializar el sensor consiste en habilitar el arreglo de micro-electrodos metálicos, y los bloques digitales y análogos que conforman su arquitectura, como por ejemplo el reloj interno de 12 MHz y el conversor análogo-digital. Esta tarea se lleva a cabo mediante el bit 0 del registro CTRLB (0x09) y además mediante el bit 2 del mismo registro se activa la característica de incrementar automáticamente la columna una vez leído el conversor, (Figura 16).

Ajustar parámetros hace referencia a que los registros tales como DTR (DISCHARGE TIME REGISTER), DCR (DISCHARGE CURRENT REGISTER) y PGC (PROGRAMMABLE GAIN CONTROL REGISTER) deben ser seleccionados y ajustados de tal manera que la imagen obtenida sea la deseada, (Figura 17). Estos valores dependen de la velocidad del procesador del computador que está realizando la comunicación con el sensor. Estos valores deben ser bastante precisos pues necesitan satisfacer los tiempos que el sensor requiere para la captura y digitalización de las huellas.

**Figura 16. Proceso de habilitación del sensor.**



**Figura 17. Proceso de ajuste de parámetros del sensor.**



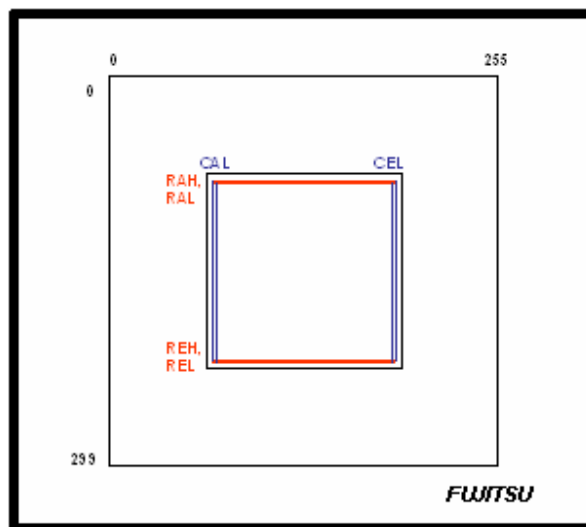
Para la obtención de la imagen, es necesario indicarle al sensor el modo de operación para la adquisición de la imagen. El sensor trabaja en tres modos: modo de obtención de fila, modo de obtención de subimagen y modo de obtención de imagen completa.

En el modo de obtención de fila, el sensor solamente captura una fila, el cual es seleccionada a través de los registros RAH 0x00 (ROW ADDRESS REGISTER HIGH) y RAL 0x01 (ROW ADDRESS REGISTER LOW); las columnas se incrementan automáticamente desde la columna numero 0 hasta la 255

En el modo de obtención de subimagen, el sensor captura sólo una región de la huella, la región es delimitada por los registros RAH 0x00 y RAL 0x01 indicando la dirección de la fila donde inicia la captura, el registro CAL 0x02 (COLUMN ADDREES REGISTER) indicando la columna donde

inicia la captura, los registros REH 0x03 (ROW ADDRESS END REGISTER HIGH) y REL 0x04 (ROW ADDRESS END REGISTER LOW) indicando la dirección de la fila donde termina la captura y por último, el registro CEL 0x05 (COLUMN ADDRESS END REGISTER) indicando la columna donde termina la captura, (Figura 18).

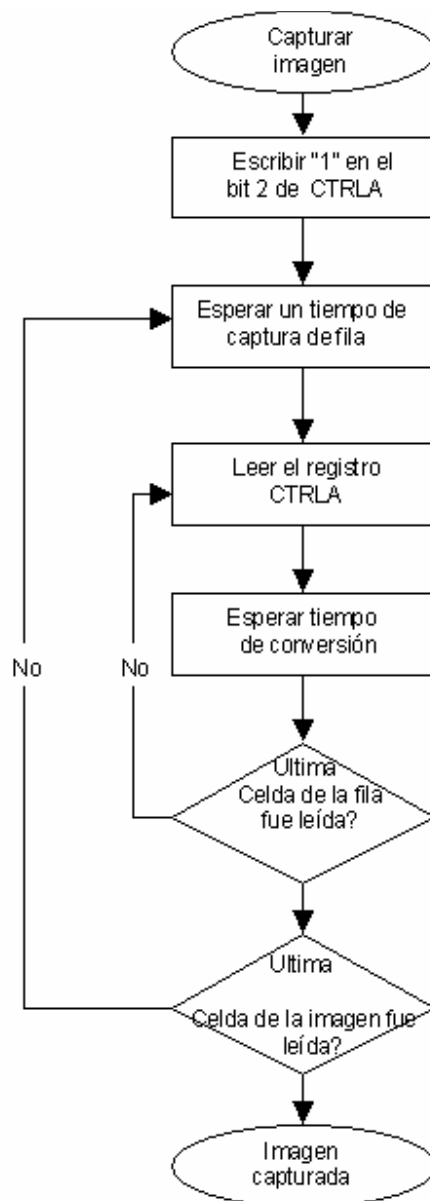
**Figura 18. Visualización de los parámetros que usa el sensor en los modos de obtención por fila y de obtención de subimagen.**



Finalmente en el modo obtención de imagen completa, los registros de fila y columna son automáticamente establecidos en fila cero y columna cero por el sensor; y de igual manera estos registros son incrementados automáticamente para su respectiva conversión. Este modo es el seleccionado para la adquisición de las imágenes de las huellas dactilares en este proyecto, (Figura 19).

El algoritmo para la adquisición de la imagen fue implementado en el software de alto nivel llamado *LabVIEW* de la compañía *National Instruments* en su versión 6.0. También fue diseñado para operar bajo el sistema operativo Windows versión 95/98/NT/2000/XP.

**Figura 19. Proceso de captura de imagen completa.**



Es importante resaltar que para los sistemas operativos Windows NT/2000/XP existen restricciones en cuanto a la manipulación del puerto paralelo. Existen dos modos de programación en estos sistemas operativos: modo kernel y modo usuario. El modo usuario comprende todos aquellos programas que no hacen un control directo sobre controladores inherentes al sistema operativo y que por lo general

consiste solo en desarrollo de aplicaciones a nivel de usuario; esto trae como consecuencia restricciones en cuanto al manejo de puertos del computador. En modo kernel los programas ejecutados poseen privilegios que les ofrece el sistema operativo como manipulación de puertos, por ejemplo, los controladores de los dispositivos periféricos de un computador son programas que operan en modo kernel. Por lo tanto es necesario adquirir un controlador que permita tanto leer como escribir en el puerto paralelo y a la vez permita una comunicación con los programas elaborados en modo usuario. Esta tarea la realiza el controlador *Inpout32*, este controlador se encuentra disponible en Internet.

Este controlador se usa invocando la librería de enlace dinámico *Inpout32.dll*, esto se hace con la función "call library" a la cual se le dan los parámetros adecuados para su uso; algunos de estos parámetros son: dirección donde se encuentra el archivo *Inpout32.dll*, el número y tipos variables de entrada y salida que se usarán. Con esta función se crearon dos iconos llamados *inp32* y *out32*; el primero sirve para leer datos del puerto paralelo y el segundo sirve para escribir datos en el puerto.

Al terminar la captura de la matriz de intensidades de grises correspondientes a la digitalización de la huella, se almacena y se visualiza la imagen con la herramienta Matlab. Esto se hace llamando a Matlab desde Labview por medio de la función *MATLAB Script*. La imagen se almacena con formato *jpg*.

## **4. PREPROCESAMIENTO Y CLASIFICACIÓN**

### **4.1 PREPROCESAMIENTO**

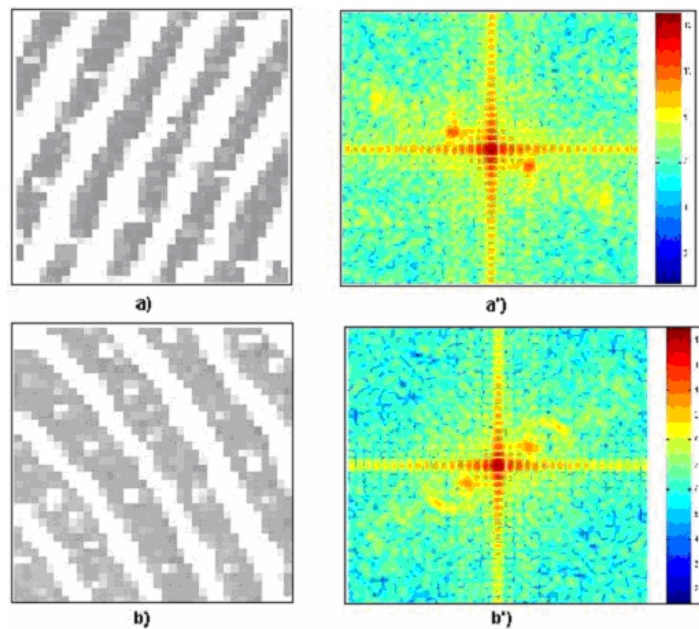
Las imágenes de huellas dactilares adquiridas por el sistema de adquisición implementado presentan en general pocas irregularidades. La mayoría de las irregularidades que se presentan ocurren por un alto o bajo nivel de presión ejercida por el dedo del usuario sobre el sensor provocando interrupciones en las crestas, puentes entre crestas y en general variaciones de intensidad en la escala de grises.

Además otros factores como, el sudor, la carencia de limpieza en la yema de los dedos, enfermedades en la epidermis, no permiten una alta definición de crestas y valles causando imágenes de baja calidad. Por lo tanto, es necesario implementar técnicas de mejoramiento de huellas dactilares para así obtener altas definiciones de crestas y valles, y producir imágenes de buena calidad.

La técnica empleada para el mejoramiento de la huella fue la transformada de Fourier. El principio básico de operación de esta técnica consiste en dividir la imagen en pequeños bloques no traslapados, crear un filtro específico para cada bloque basado en la dirección promedio de las crestas y luego filtrar cada bloque. La información direccional de cada bloque se encuentra en la magnitud de la transformada de Fourier [WILLIS-MYERS,1999].

Existen dos características importantes de las huellas dactilares que se pueden encontrar en el espectro de Fourier, la frecuencia y la dirección de las crestas dentro de un bloque, (Figura 20) La frecuencia de las crestas es indicada por la distancia entre los dos picos y la dirección de las crestas esta dada por la dirección de la línea que une los dos picos.

**Figura 20. Espectro de Fourier para imágenes de huellas dactilares con la componente D.C.** a) y b) son bloques de una huella dactilar, a') y b') espectros de Fourier de a) y b), respectivamente.



Es importante notar también que, por ejemplo, si en un bloque existen dos, tres o cuatro crestas en paralelo, la orientación de las frecuencias dominantes corresponde a la dirección ortogonal del flujo de las crestas. La trasformada de Fourier discreta está expresada como:

$$F(u, v) = \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) \exp \left\{ -j2\pi \exp \left( \frac{ux}{M} + \frac{vy}{N} \right) \right\} \quad [1]$$

Para  $u = 0, 1, 2, \dots, M-1$  y  $v = 0, 1, 2, \dots, N-1$ .

Para lograr un mejoramiento por cada bloque, como adelgazamiento de las crestas y separaciones más uniformes entre crestas, se realiza la multiplicación de la transformada de Fourier del bloque por su magnitud en un número de veces. Y finalmente para obtener la imagen mejorada por bloque en el dominio espacial se realiza la transformada inversa de Fourier al conjunto de operaciones hechas anteriormente.

La transformada inversa de Fourier se calcula mediante la expresión:

$$f(x, y) = \frac{1}{MN} \sum_{u=0}^{M-1} \sum_{v=0}^{N-1} F(u, v) \exp\left\{j2\pi\left(\frac{ux}{M} + \frac{vy}{N}\right)\right\} \quad [2]$$

Para  $x = 1, 2, \dots, M-1$  y  $y = 1, 2, \dots, N-1$ .

La imagen mejorada  $g(x,y)$  en cada bloque es obtenida por:

$$g(x, y) = F^{-1}\{F(u, v) | F(u, v) |^k\} \quad [3]$$

El valor de  $k$  se calcula experimentalmente.

Esta técnica de mejoramiento de la imagen presenta un problema en los bordes entre bloques, tal como se aprecia en la figura 21. Este efecto es claramente compensado mediante traslapos entre bloques, figura 22, en el capítulo 5 se muestran los resultados obtenidos para los diferentes tamaños de bloques y para los diferentes números de píxeles traslapados.

Una vez obtenido la imagen mejorada mediante la técnica de la transformada de Fourier se realiza un contraste con el fin de obtener un realce de las características de una huella como lo son las crestas. El algoritmo empleado para realizar el contraste a nivel local comprende los siguientes pasos. Primero, dividir la imagen en pequeños bloques no

traslapados. Segundo, calcular un umbral para cada bloque mediante la media de sus niveles de intensidad. Y tercero, para los pixeles cuyos valores de intensidad se encuentra por debajo del umbral, el valor a la salida es el mismo valor del píxel; y para los pixeles que exceden el valor del umbral, toman el valor del nivel de intensidad más alto (en este caso 255) a la salida, figura 23.

**Figura 21. Mejoramiento de una huella dactilar a través de la transformada de Fourier, sin traslape.**



**Figura 22. Mejoramiento de una huella dactilar a través de la transformada de Fourier, con traslape.**



**Figura 23. Huella mejorada con transformada de Fourier y con contraste.**



## **4.2 CLASIFICACIÓN**

La clasificación de huellas dactilares más usada se basa en el sistema propuesto por Edward Henry. La clasificación consta de las siguientes etapas: cálculo de la imagen direccional, extracción de los puntos singulares y análisis de puntos singulares.

**4.2.1 CÁLCULO DE LA IMAGEN DIRECCIONAL.** La imagen direccional o dirección del campo describe la estructura global de la huella, porque define la orientación local de las estructuras de las crestas y valles. Por lo tanto el cálculo de la imagen direccional es un paso muy importante en la clasificación y verificación de huellas dactilares.

Se han propuesto varios métodos para el cálculo de la orientación del campo, sin embargo los métodos más usados son los basados en el gradiente de la imagen. El gradiente en imágenes se define:

$$\begin{bmatrix} G_x(x,y) \\ G_y(x,y) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial I(x,y)}{\partial x} \\ \frac{\partial I(x,y)}{\partial y} \end{bmatrix} \quad [4]$$

Donde  $G_x(x,y)$  y  $G_y(x,y)$  son los gradientes en el eje  $x$  y en el eje  $y$  respectivamente y  $I(x,y)$  representa la imagen en escala de grises. El gradiente es la orientación individual de cada píxel de la imagen, en principio la dirección del campo es perpendicular al gradiente. Pero el obtener la dirección del campo a través del cálculo del gradiente de cada píxel de la imagen no es conveniente pues esto trae errores a causa de pequeñas irregularidades que pueda tener la imagen de la huella (Figura 24.A). Para este propósito se usa el método de promedios de gradientes cuadrados, el cual se basa en la ecuación:

$$\begin{bmatrix} G_{sx} \\ G_{sy} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} G_x^2 - G_y^2 \\ 2G_xG_y \end{bmatrix} \quad [5]$$

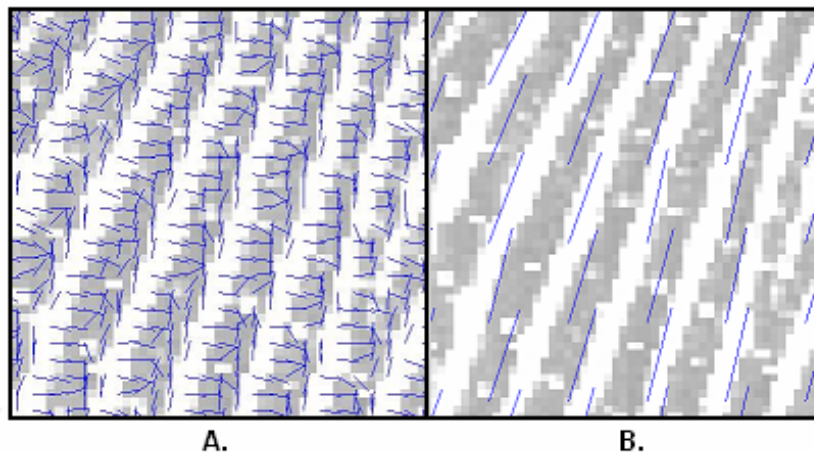
Donde  $G_{sx}$  y  $G_{sy}$  son los gradientes cuadrados de la imagen. Después de obtener los gradientes cuadrados se procede a calcular los promedios de estos gradientes en pequeñas ventanas. El tamaño de estas ventanas se escoge de acuerdo al ancho de las crestas y los valles de la huella, pues este promedio debe dar el gradiente dominante que represente la orientación de la cresta o valle. El paso siguiente es obtener los ángulos de los promedios de estos gradientes con la ecuación:

$$\theta(i,j) = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left( \frac{\overline{G_{sy}}}{\overline{G_{sx}}} \right) \quad [6]$$

Siendo  $\theta(i,j)$  el ángulo del gradiente cuadrado dominante en una ventana de la imagen. Cabe anotar que estos ángulos de los gradientes de los bloques estarán siempre en el primer y cuarto cuadrante del plano cartesiano, es decir que su valor será  $(-\pi/2, \pi/2]$ . Por lo que no hay diferencia entre la orientación de un gradiente  $0^\circ$  y  $180^\circ$  o una de  $90^\circ$  y  $270^\circ$ .

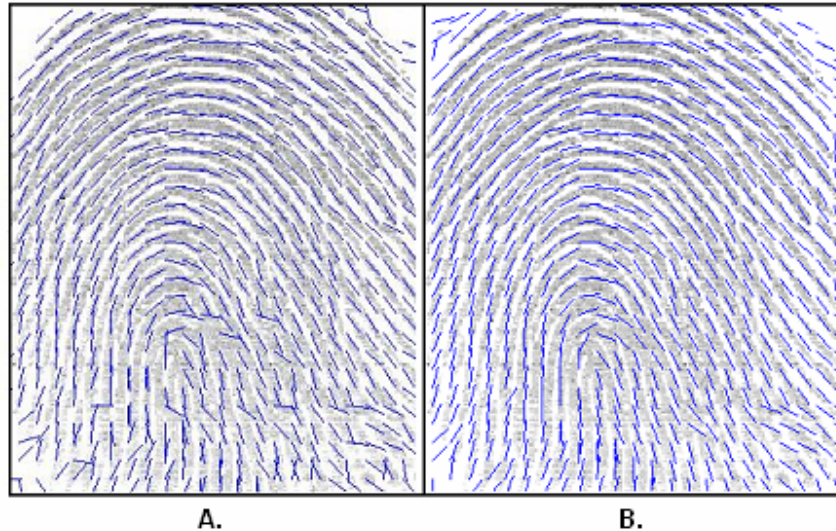
Como se cito anteriormente la orientación del campo de la imagen es ortogonal a su gradiente, por lo tanto es necesario rotar este gradiente  $90^\circ$  para obtener la orientación del campo, (Figura 24.B).

**Figura 24. Resultado del cálculo de la orientación del campo.** A; cálculo de la orientación del campo por gradientes individuales. B; cálculo de la orientación del campo por el método de promedio de gradientes cuadrados.



En la estimación de la orientación del campo puede presentarse algunos errores debidos a la presencia de ruido o de alteraciones de las estructuras de las crestas, por este motivo se requiere corregir los pequeños errores que se puedan presentar en la orientación del campo. Esto se hace pasando un filtro pasabajos a la orientación del campo, a este paso se le conoce como *suavizado del campo*, (Figura 25).

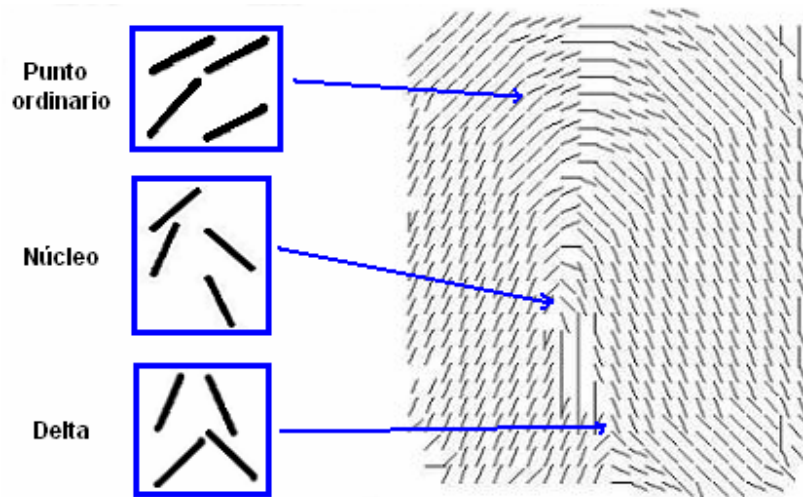
**Figura 25. Resultado del suavizado del campo.** A; orientación del campo original. B; orientación del campo suavizado.



**4.2.2 EXTRACCIÓN DE PUNTOS SINGULARES.** La extracción de los núcleos y los deltas se hace con base en el cálculo del índice de Poincaré. El índice de Poincaré en un punto se halla calculando la sumatoria de los cambios de los ángulos de la imagen direccional en una curva que encierra dicho punto, (Figura 26). Al completar una vuelta en sentido antihorario el resultado de la sumatoria puede ser  $0^\circ$ ,  $180^\circ$  o  $-180^\circ$ . Un punto es llamado núcleo si su índice de Poincaré es  $180^\circ$ , delta si es  $-180^\circ$  y ordinario si es  $0^\circ$ .

Para la extracción de puntos singulares se calcula el índice de Poincaré para todos los puntos de la imagen direccional de la huella en ventanas de  $2 \times 2$ . Al calcular los cambios de los ángulos de las vecindades estos deben estar entre  $-90^\circ$  y  $90^\circ$ , si la diferencia da mayor de  $90^\circ$  se restarán  $180^\circ$  y si la diferencia es menor de  $-90^\circ$  se sumarán  $180^\circ$ . De esta forma los resultados de las diferencias quedarán siempre ubicados en el primer y cuarto cuadrante del plano cartesiano. [Silvia María Farani Costa, 2001]

**Figura 26. Extracción de puntos singulares de una imagen direccional.**



**4.2.3 ANÁLISIS DE PUNTOS SINGULARES.** En este paso se analiza el número y posición de los puntos singulares extraídos de la huella para clasificarla.

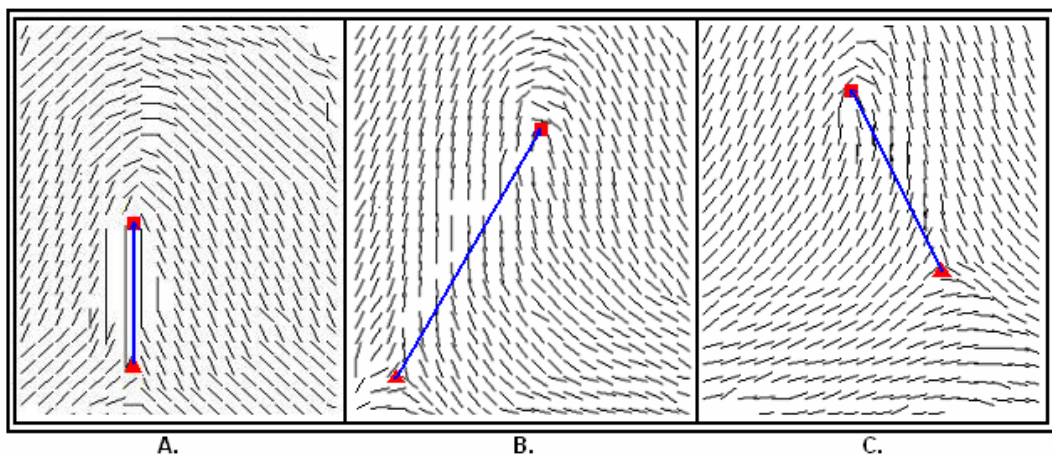
Si no se obtiene ningún núcleo ni delta la huella será clasificada como arco.

Si se obtienen dos núcleos y dos deltas la huella será clasificada como espiral.

Si se obtiene un núcleo y un delta se necesitará hacer un análisis complementario para clasificar la huella en arco pronunciado, lazo derecho o lazo izquierdo. Este análisis se basa en la observación de la posición relativa del núcleo con respecto al delta. Si el núcleo y el delta están en una misma línea vertical la huella será clasificada como arco pronunciado, si el núcleo está a la derecha del delta la huella será clasificada como lazo derecho y si el núcleo está a la izquierda del delta la huella será clasificada como lazo izquierdo.

El problema principal de la diferenciación entre arco pronunciado, lazo derecho y lazo izquierdo radica en que la huella adquirida puede estar rotada por lo que el análisis de las posiciones relativas del núcleo y delta deben ser independientes de la posición de la huella. Esto se hace trazando un vector desde el delta hasta el núcleo o viceversa y luego se analizan los vectores direccionales de las crestas que son atravesadas por este vector, (Figura 27).

**Figura 27. Clasificación entre arco pronunciado, lazo derecho y lazo izquierdo.** A; arco pronunciado. B; lazo derecho. C; lazo izquierdo.



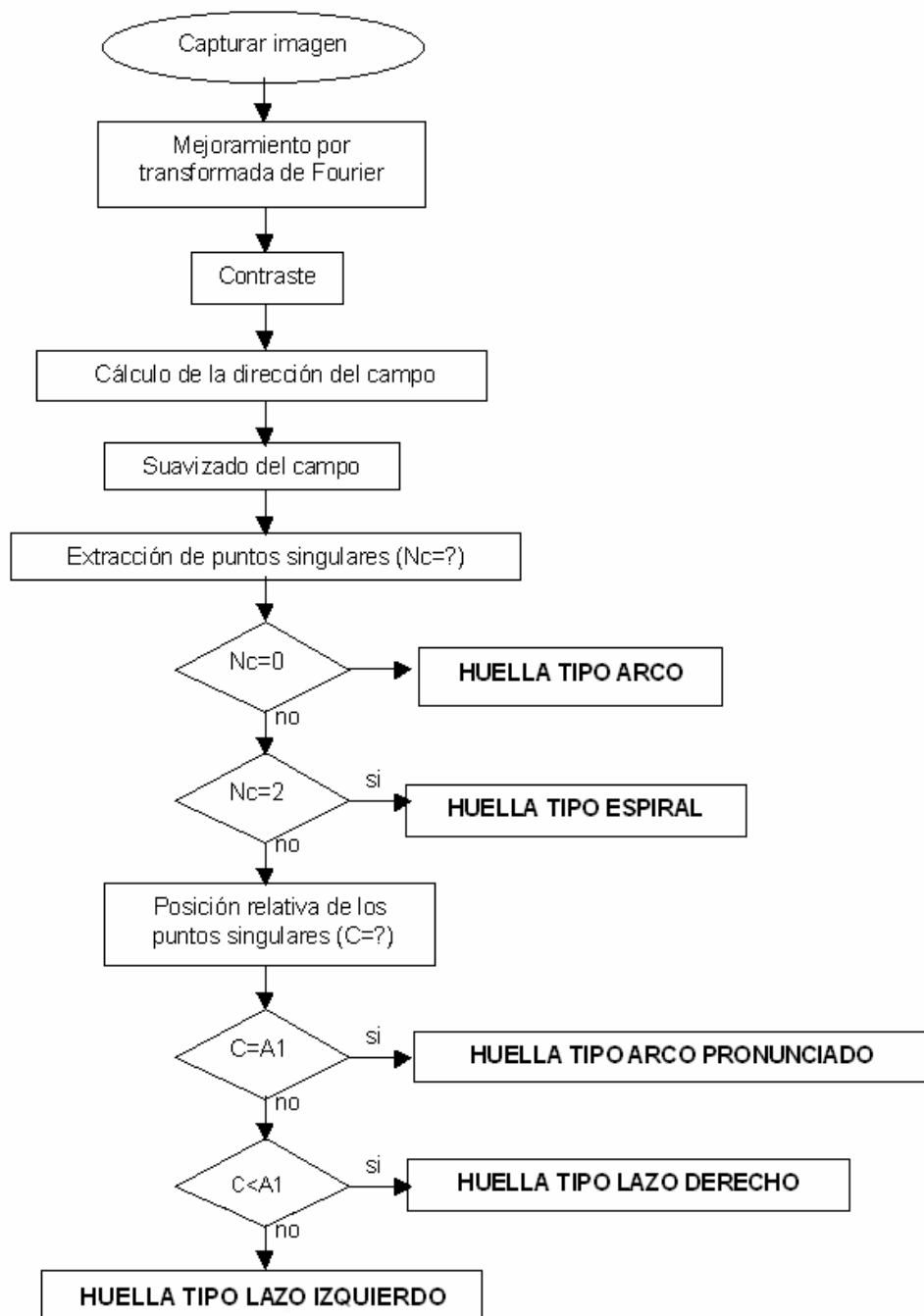
La clasificación se basa en la ecuación:

$$C = \beta - \frac{1}{n} \sum_{i=1..n} \alpha_i \quad [7]$$

Donde  $n$  y  $\alpha_i$  es el número y los valores de los ángulos respectivamente de los vectores direccionales que están en el camino del vector que conecta el delta y el núcleo y  $\beta$  es el ángulo de la pendiente de este vector. La diferenciación de las tres clases se hace con base en el valor de  $C$ , al cual se le permiten unos intervalos de valores para la pertenencia de cada clase. Los límites de estos intervalos son estimados empíricamente.

Por último la figura 28 muestra el diagrama de flujo del proceso de la clasificación.

**Figura 28. Diagrama de flujo del proceso de clasificación de huellas dactilares.**



## 5. VERIFICACIÓN

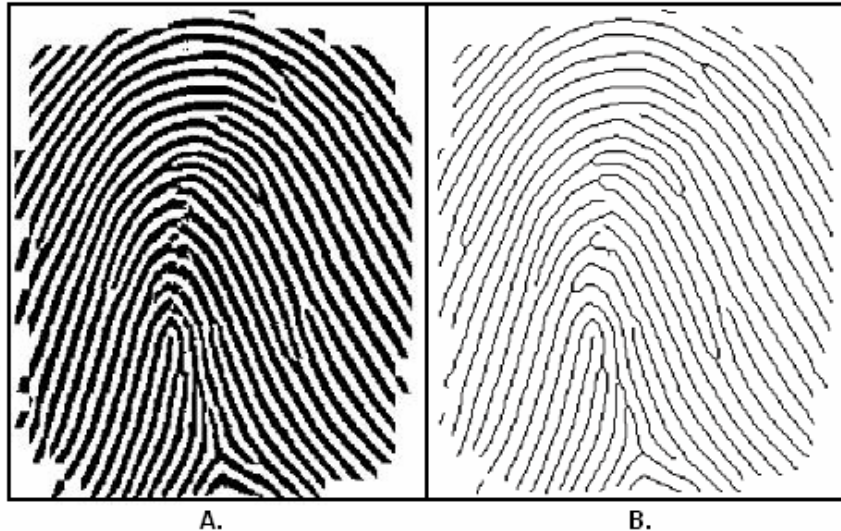
Los métodos más usados en la verificación de huellas dactilares son los basados en la extracción de minucias y los basados en la correlación. En el primer método se comparan los parámetros de cada una de las minucias de la huella a verificar con la registrada. En el método de correlación se extraen los patrones globales de las huellas para hacer su comparación.

El proceso de verificación usado en este trabajo está basado en la extracción de minucias. Los principales pasos que componen esta etapa son la extracción de minucias y la comparación de minucias.

### 5.1 EXTRACCIÓN DE MINUCIAS

Para la extracción de las minucias de la imagen de la huella, esta debe estar binarizada y el ancho de las crestas debe ser de un píxel. El proceso de binarización de la imagen se hace con el mismo concepto empleado para hacer el contraste local en la etapa de mejoramiento, pero esta vez se llevan los valores de los píxeles a 0 y a 255 es decir a negro y blanco respectivamente, (Figura 29.A). Después de obtener la imagen binarizada de la huella es necesario adelgazar las crestas para que queden con un ancho de un píxel, este proceso de adelgazamiento o esqueletización lo hace la operación morfológica *thin* de la función *bwmorph* de *MATLAB 5.3*, (Figura 29.B).

**Figura 29. Binarización y esqueletización.** A; imagen binarizada. B; imagen esqueletizada.



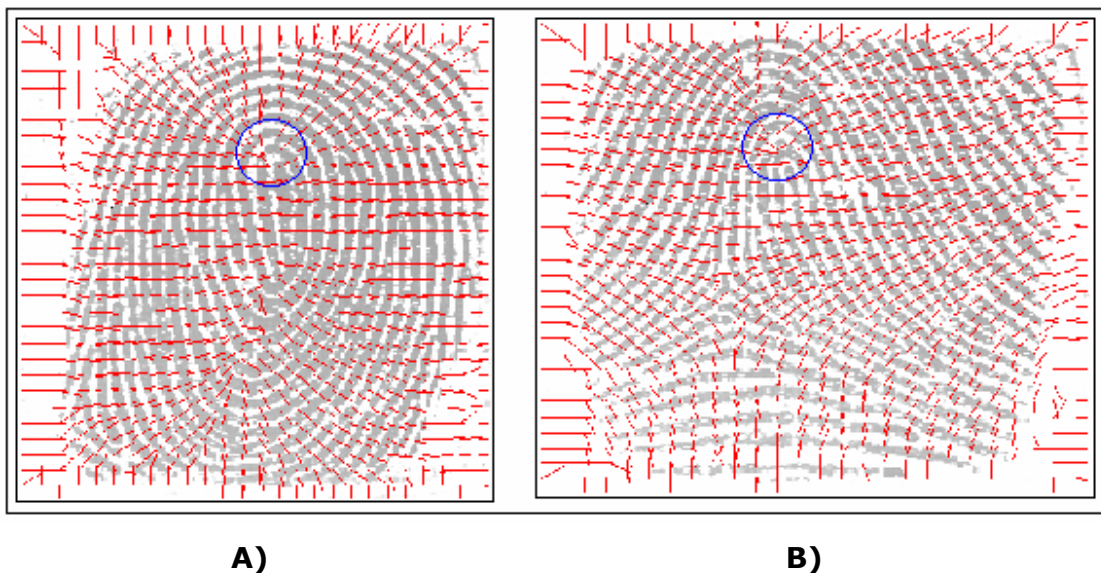
Las minucias a extraer son las terminaciones y bifurcaciones. Para este proceso se evalúan las vecindades de los píxeles que pertenecen a las crestas de la huella. Esto se hace recorriendo en sentido horario los 8 vecinos de cada uno de estos píxeles contando los cambios de valor de intensidad que ocurren al pasar de un vecino a otro. Si el número de cambios es 2, el píxel analizado será clasificado como terminación; si el número de cambios es 6, este píxel será una bifurcación.

### **5.1 COMPARACIÓN DE MINUCIAS**

En los sistemas de verificación basados en la detección de minucias es importante encontrar un punto clave en la huella que permita calcular los diferentes parámetros con relación a dicho punto, parámetros que serán empleados posteriormente en la etapa de verificación. Por lo tanto, el punto clave, central o de referencia debe presentar un alto grado de estabilidad en cuanto a posición dentro de una huella cuando se consideran variaciones como rotación y traslación de una misma huella.

El criterio a seleccionar para establecer dicho punto de referencia es el punto que presenta mayor curvatura. Para su cálculo se emplea un algoritmo que se basa en una característica particular que presenta las componentes normales de cada una de las crestas, y es la dirección hacia donde se dirigen todas sus componentes normales, hacia el punto de mayor curvatura o centro, (Figura 30).

**Figura 30. Dirección de los gradientes.** A; gradientes en huella tipo espiral. B; gradientes en huella tipo lazo derecho.

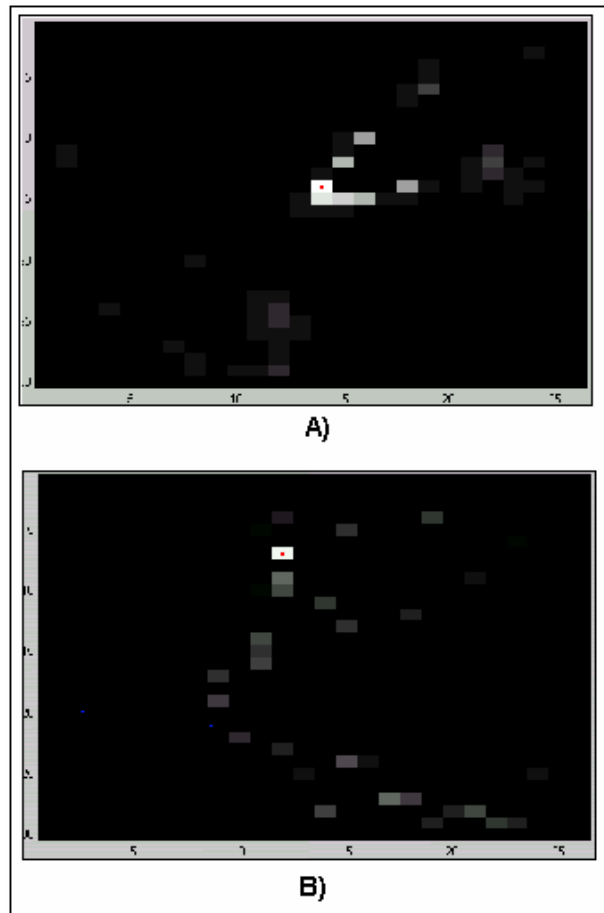


A continuación se da una descripción del algoritmo para el cálculo del punto de referencia.

- Calcular el campo de orientación (ver sección 4.2.1).
- Seleccionar la región que comprende las orientaciones entre  $0^\circ$  y  $90^\circ$ , excluyendo los límites.
- Establecer una ruta para cada punto de la región en la dirección normal a la orientación hasta encontrar un punto que presenta una orientación fuera del rango de la región, (Figura 31). Una vez

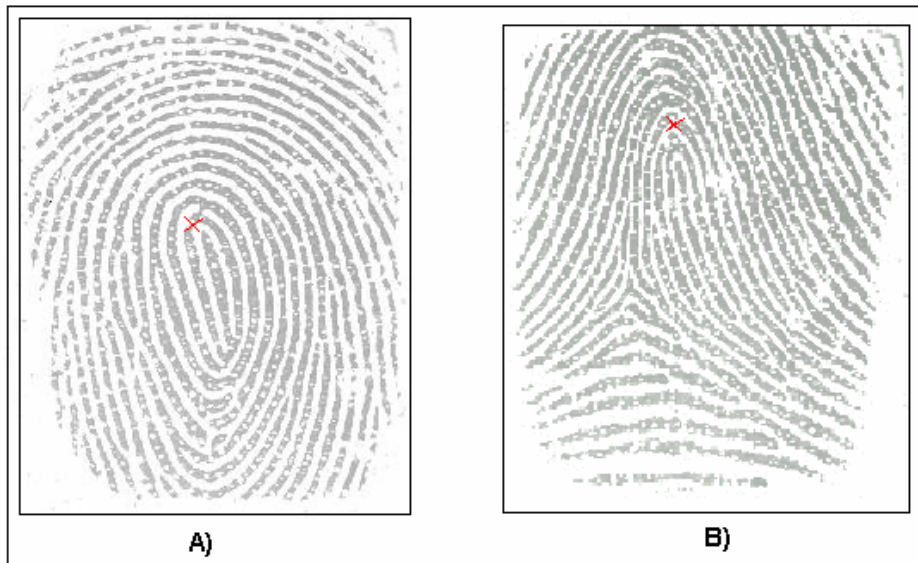


**Figura 32. Puntos donde apuntan los vectores.** A) huella tipo espiral. B) huella tipo lazo derecho.



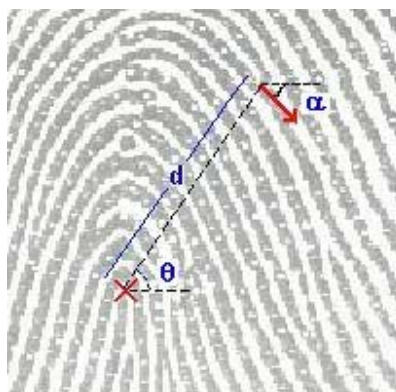
Es necesario notar que el punto de referencia hallado anteriormente coincide con el núcleo (hallado mediante el índice de Poincaré) para las huellas tipo arco pronunciado, lazo izquierdo y lazo derecho ya que este tipo de huellas presentan solamente un núcleo. Para las huellas que presentan dos núcleos mediante el índice de Poincaré como lo son las huellas tipo espiral coinciden en un núcleo, el de la parte superior, con el punto de referencia. El índice de Poincaré no es apropiado para encontrar puntos de referencia en huellas tipo arco, debido a que este tipo de huellas no presentan núcleos.

**Figura 33. Punto de referencia.** A) huella tipo espiral. B) huella tipo lazo derecho.



Después de hallado el punto de referencia se procede a extraer los parámetros de las minucias. Los parámetros a utilizar para la comparación de minucias son su posición con respecto a un punto de referencia, su ángulo de orientación y el ángulo formado por un vector trazado desde el punto de referencia hasta la minucia y la línea horizontal que pasa por el punto de referencia, (Figura 34).

**Figura 34. Parámetros de una minucia.**



Estos parámetros se hallan a todas las minucias que fueron extraídas de la huella anteriormente. En el momento del registro de la huella estos parámetros son guardados formando el patrón de la huella. Cuando se requiere hacer la verificación se calculan estos parámetros a las minucias de la huella a verificar y se comparan con los guardados como patrón de la huella.

La comparación de las minucias se hace una a una entre el patrón y la huella a verificar, pero debido a que las imágenes de las huellas a comparar no son exactamente iguales, las minucias halladas y sus parámetros pueden variar un poco y además si la calidad de la imagen de la huella a verificar es más pobre que la obtenida en el registro, que es lo más probable, puede que algunas minucias no puedan ser extraídas correctamente, por lo que se debe dejar un rango de tolerancia de comparación entre los parámetros así como en el número de minucias que deben concordar para verificar o rechazar la huella.

Las irregularidades de la huella adquirida también pueden dar lugar a la extracción de minucias falsas, las cuales son necesarias quitar para no obtener información errónea de la huella que cause un error en la verificación. También se deben eliminar las minucias tipo terminación que aparecen en los bordes de la huella, ya que también son falsas minucias. En la figura 35 se pueden observar falsas minucias.

El algoritmo implementado para la eliminación de estas falsas minucias es muy sencillo ya que solo está basado en la proximidad de una minucia con otra. En el algoritmo se comparan las distancias entre todas las minucias y se establece un umbral de proximidad, si la distancia entre dos minucias es menor que este umbral el par de minucias se eliminará. Para la eliminación de las minucias que aparecen en los bordes de las huellas

se segmenta la imagen y se descartan las terminaciones que están cerca de los bordes de la imagen segmentada.

**Figura 35. Extracción de minucias falsas.**



## 6. METODOLOGÍA Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 6.1 RESULTADOS DE LA ETAPA DE ADQUISICIÓN

El prototipo de la tarjeta construida para la etapa de adquisición se muestra en la figura 36.

**Figura 36. Prototipo de la tarjeta de adquisición de huellas dactilares.**



Los valores de los registros DTR; DCR y PGC se hallaron para varios computadores con distintas velocidades de procesador, estos valores se muestran en la tabla 3.

**Tabla 3. Valores de los registros para diferentes procesadores.**

Procesador	DTR	DCR	PGC
200MHz	20	3	6
500Mhz	18	3	6
1.7GHz	12	4	6

Los valores de los registros son estrictos pues si se cambian un poco las imágenes de las huellas digitalizadas saldrán distorsionadas o muy claras, dificultándose el análisis de estas.

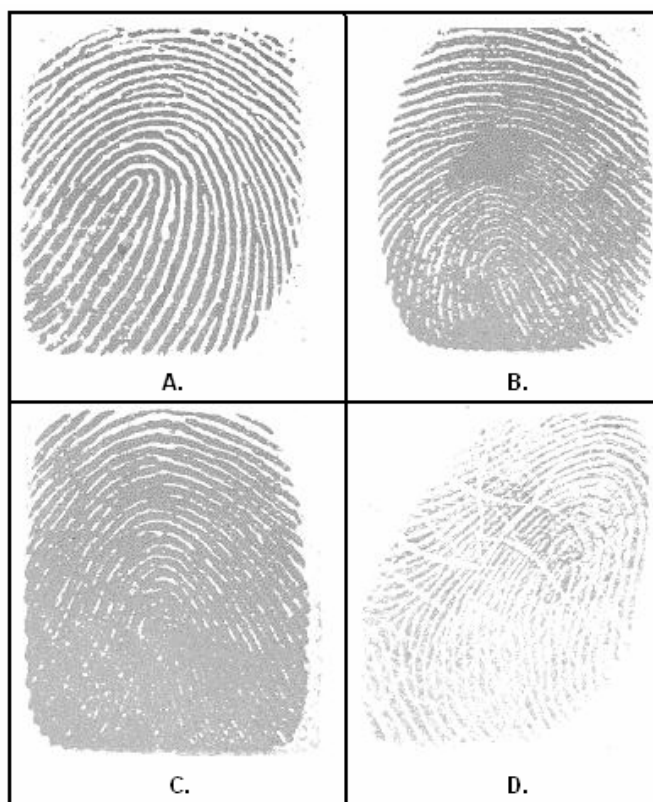
Sí los valores de DTR y DCR son muy grandes el sensor toma mucho tiempo en realizar el proceso de carga y descarga de las capacitancias presentadas en los platos sensores, cuando este tiempo sumado con el tiempo que gasta el sensor en realizar la conversión analógica-digital de los píxeles es mayor que el tiempo que el computador gasta en hacer la captura de un píxel; este píxel no será capturado o será almacenado en otro lugar de la matriz que representa la imagen de la huella, como consecuencia de esto la imagen saldrá distorsionada. Igualmente la imagen saldrá distorsionada si los valores de DTR y DCR son muy pequeños, para el proceso de captura del computador.

El valor de PGC controla la ganancia del amplificador de tensión del sensor, por lo tanto este registro controla el nivel de intensidad de la imagen de la huella. Cuando este valor es muy pequeño la imagen saldrá con un pobre contraste o saldrá una imagen totalmente blanca y si el valor es grande la imagen saldrá totalmente negra.

En el registro CTRLB se tiene la opción de escoger el circuito oscilador con que se quiere que el sensor trabaje, como se cito en la sección 3.3.1 en el hardware implementado en este trabajo se colocó un cristal de 12MHz para probar el desempeño del circuito integrado con este cristal externo y compararlo con el desempeño del sensor cuando está habilitado su circuito oscilador interno. Obteniéndose mejor desempeño del sensor cuando este trabaja con los ciclos de su oscilador interno, pues con el cristal externo se obtuvieron en su mayoría imágenes distorsionadas.

La adquisición correcta de huellas también se ve afectada por otros factores tales como la alta presión ejercida por el dedo sobre la superficie del sensor, malas condiciones de la piel como suciedad, humedad, resequedad o enfermedades de la piel, (Figura 37).

**Figura 37. Malos registros de imágenes de huellas dactilares.** A; imagen de buena calidad. B; imagen con mucha presión. C; imagen de una huella húmeda. D; imagen de una huella que posee enfermedad en la piel.



Además si la huella esta muy húmeda dejará la superficie del sensor con gotas de agua las cuales afectaran futuros registros. En la figura 38 se muestra los residuos de sudor dejados en el sensor después de capturar una huella.

**Figura 38. Gotas de agua dejadas en el sensor.**



Los tiempos gastados en adquisición de las imágenes de las huellas son mostrados en la tabla 4. Estos tiempos fueron medidos con la función "Tick count" de Labview.

**Tabla 4. Tiempos de adquisición para diferentes procesadores.**

Procesador	Tiempo promedio de adquisición
200MHz	3.3s
550MHz	2.7s
1.7GHz	2.1s

## **6.2 RESULTADOS DE LA ETAPA DE PREPROCESAMIENTO**

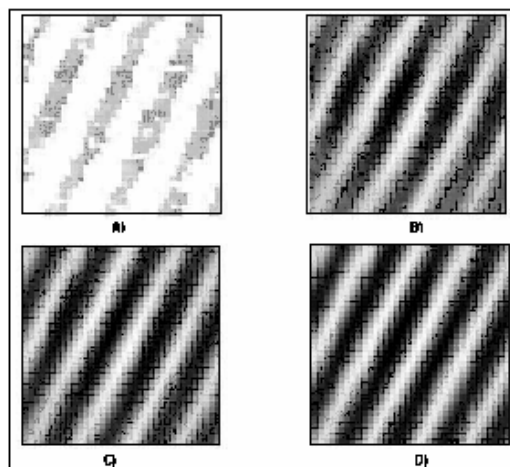
La imagen mejorada a través de la técnica de la transformada de Fourier  $g(x,y)$ , expresada mediante la ecuación [3], incurre al cálculo de la variable  $k$  de modo experimental. El objetivo es mantener las características inherentes de las crestas en un bloque de la imagen, como por ejemplo, una separación uniforme entre crestas, hacer las crestas más sólidas (eliminando agujeros causado por los poros del dedo), y reparar crestas en imágenes de mala calidad, entre otras.

En la figuras 39.A y 39.B se ilustra el bloque de una imagen que requiere ser mejorada y la imagen mejorada para un valor de  $k = 1$ .

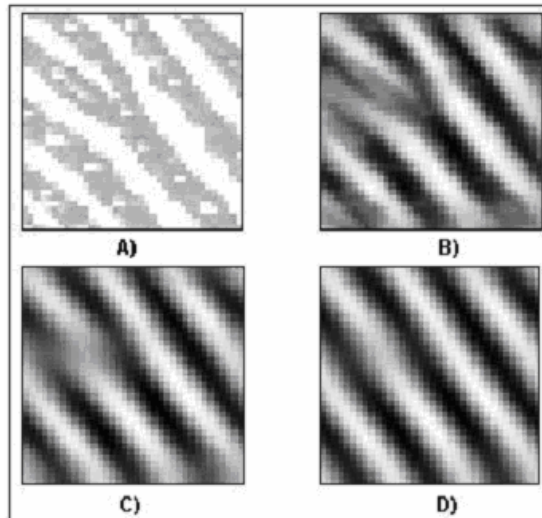
Es lógico que si desea aumentar la calidad de las crestas, obteniendo mayor solidez y una separación mas uniforme, el valor de  $k$  se incrementa tomando valores como dos o tres, (Figuras 39.C y 39.D). Pero estos valores de  $k$  no son permisibles para todos los bloques de la imagen, porque si en un bloque de la imagen contiene una minucia tipo bifurcación al aplicar el mejoramiento de imagen por medio de la transformada de Fourier está sufriría modificaciones perdiendo su identidad como minucia tipo bifurcación, (Figura 40). Lo anterior se debe a que una de las ramas de la minucia tipo bifurcación difiere de la dirección predominante del bloque, de tal manera, a medida que se incrementa el valor de  $k$  la rama termina por separarse del punto de bifurcación y alguna veces hasta desaparecer.

Para seleccionar un valor adecuado a la variable  $k$  se realizó un seguimiento para distintos valores entre un rango de uno y dos  $[1,2]$  de una imagen que presenta una minucia tipo bifurcación, esto se muestra en la figura 41.

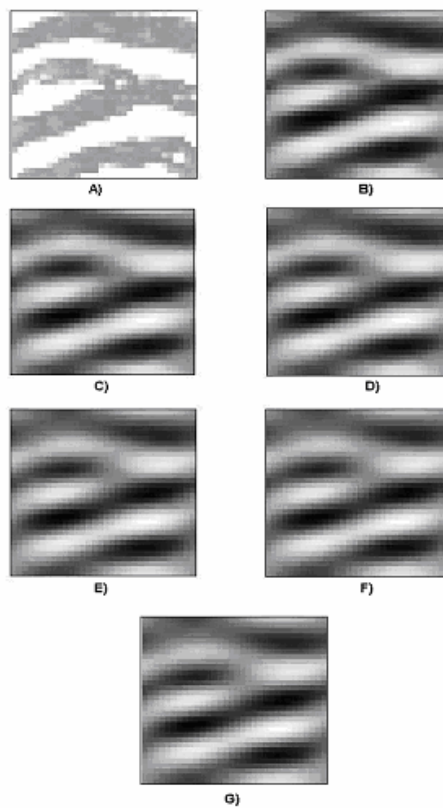
**Figura 39. Mejoramiento de imagen con transformada de Fourier.** A) imagen original. B) imagen mejorada con  $k = 1$ . C) para  $k=2$ . D) para  $k=3$



**Figura 40. Bloque de imagen con una minucia tipo bifurcación.** A) imagen a ser mejorada. B), C) y D) imagen mejorada con  $k = 1, 2, 3$ , respectivamente.

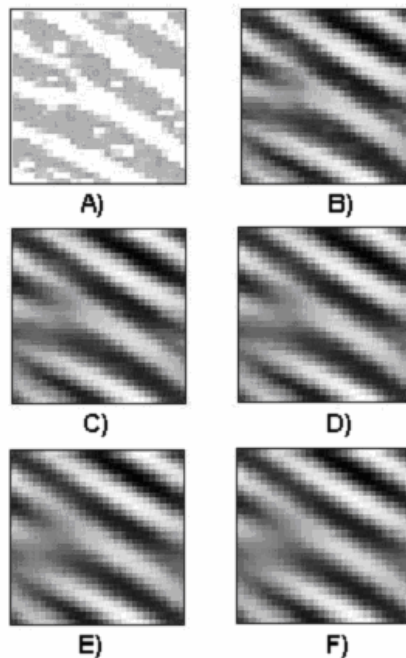


**Figura 41. Imagen de una bifurcación procesada.** A) imagen original. B), C), D), E), F), y G) imágenes mejoradas con la transformada de Fourier para valores de  $k = 1, 1.2, 1.4, 1.6, 1.8$  y  $2$ , respectivamente.



El análisis anterior también se presenta para bloques de imágenes donde se encuentran minucias tipo terminación a medida que se incrementa el valor de  $k$ . En algunos casos la cresta que contiene la minucia se une a otra cresta y en otros casos rompe su particularidad dejando de ser una minucia tipo terminación, para convertirse en una cresta más, (Figura 42).

**Figura 42. Imagen de una terminación procesada.** A) imagen original. B), C), D), E) y F) imagen mejorada con valores de  $k = 1, 1.2, 1.4, 1.8$  y  $2.0$ , respectivamente.

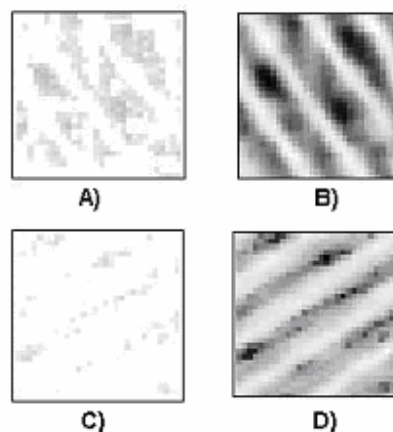


Como consecuencia a los resultados presentados anteriormente, tanto para crestas paralelas, minucias tipo bifurcación y minucias tipo terminación, el valor seleccionado para la variable  $k$  fue de 1.2; valor en el cual, el procesamiento para el mejoramiento local de un bloque, que contiene ya sea una minucia tipo bifurcación o terminación, logra una separación uniforme entre crestas, rellena huecos causados por los poros, solidifica la crestas, mantiene las características inherentes en la imagen

original (el tipo de minucia no se modifica), elimina ruido de fondo y además mejora de manera significativa imágenes de baja calidad que presenta bajo contraste, fenómeno causado tal vez por la misma epidermis o por la alta presión ejercida por el dedo sobre el sensor.

El mejoramiento de imágenes de bajo contraste es debido a que la información de las crestas en un bloque está aun contenida en la transformada de Fourier de ese mismo bloque, (Figura 43)

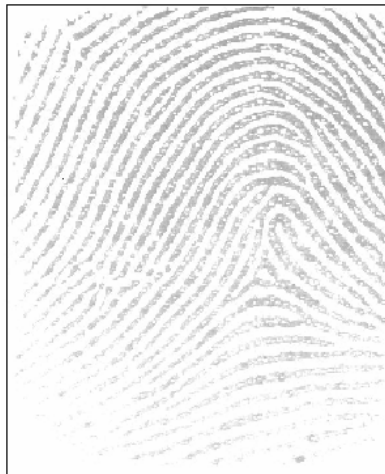
**Figura 43. Mejoramiento de imágenes de bajo contraste.** A) y C) imágenes de baja calidad. B) y D) imágenes mejoradas a través de la transformada de Fourier con valor de  $k = 1.2$



El tamaño del bloque para realizar el mejoramiento local de la huella digital, fue seleccionado teniendo en cuenta la existencia de dos o tres crestas por bloque para obtener la información necesaria respecto a la orientación y frecuencia de las mismas crestas. El tamaño del bloque seleccionado fue de 20 x 20 píxeles. Además, a manera experimental se seleccionó un numero de 8 píxeles para el traslape entre bloques y así eliminar el problema de bordes entre dichos bloques.

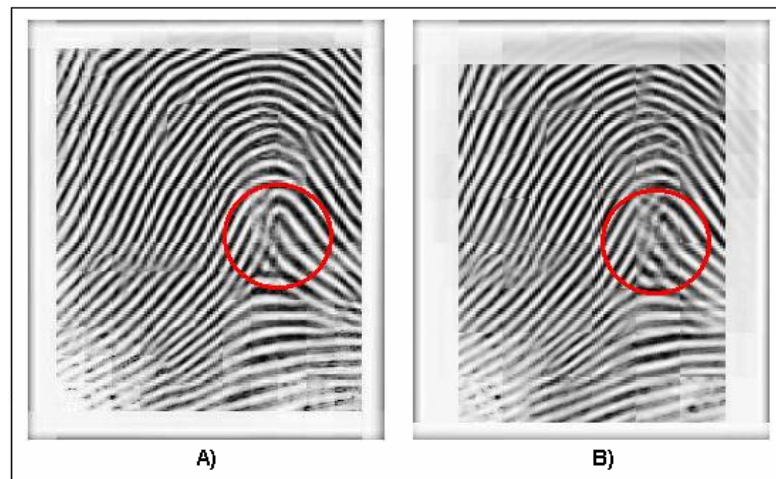
En la figura 44, se presenta la imagen de una huella, en la que contiene diferentes variaciones de niveles de intensidad, generando prácticamente dos zonas: una de bajo contraste y la otra de alto contraste. En la parte superior, zona de alto contraste, se encuentra una buena marcación de las crestas mientras por otro lado, en la parte inferior, zona de bajo contraste, se encuentra una baja definición de las mismas. Lo anterior se debe, a la no uniformidad de presión del dedo sobre el sensor. Este es uno de los casos más comunes que suceden en los sistemas de verificación, reales. Además, se observa algunas interrupciones a lo largo de las crestas, causadas por los poros de la epidermis.

**Figura 44. Imagen de una huella con irregularidades causadas por no uniformidad en la presión del dedo al momento de la adquisición.**



En la figura 45, la parte señalada por la circunferencia, muestra claramente la influencia al seleccionar tamaños de bloques más grandes. Esto es debido a que en bloques más grandes se encuentran más crestas que aportan a la dirección predominante del bloque haciendo, por ejemplo, que las ramas de minucias tipo bifurcación sean más claras convirtiéndola en otro tipo de minucia o en algunos casos desapareciéndola debido, a que una de las ramas de la bifurcación difiere un poco de la dirección dominante del bloque.

**Figura 45. Huella mejorada mediante transformada Fourier.** A) Imagen dividida en bloques de 20x20 y con 8 píxeles de traslape. B) Imagen dividida en bloques de 30x30 y con 8 píxeles de traslape.



Finalmente en la etapa de preprocesamiento una vez realizado el mejoramiento local mediante la transformada de Fourier se realiza un contraste local de la imagen con el fin de resaltar las crestas. Para lograr este fin, la imagen fue dividida en pequeños bloques no traslapados, como fue enunciado en la sección 4.1, donde el tamaño de sus bloques fue seleccionado de tal manera que se pudiese encontrar en promedio una cresta y un valle por bloque. El tamaño del bloque fue seleccionado de 10x10 píxeles.

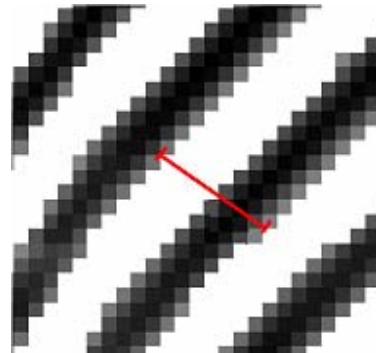
### **6.3 RESULTADOS DE LA ETAPA DE CLASIFICACIÓN**

**6.3.1 ALGORITMO PARA EL CÁLCULO DE LA IMAGEN DIRECCIONAL.** El cálculo de la imagen direccional se realizó por el método de promedio de gradientes cuadrados. Los bloques en los cuales se van a promediar los gradientes deben ser escogidos con base en el ancho de las crestas y los valles para que estos gradientes sean representativos de la estructura de estos. En la figura 46 se muestra el

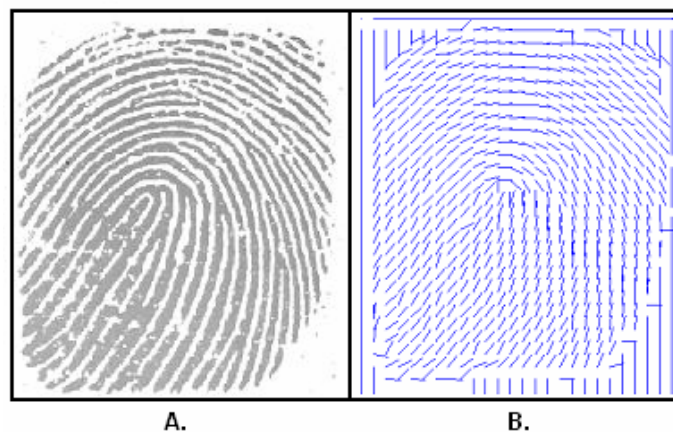
ancho de una cresta y un valle. Este ancho en las imágenes de las huellas obtenidas se encuentra entre 8 y 14 píxeles, por lo que el promedio de los gradientes se realizó en bloques de 10x10 píxeles.

Después de promediar estos gradientes se hallan sus ángulos por medio de la ecuación [6], para luego rotarlos 90° y así obtener la dirección del campo de la huella, (Figura 47).

**Figura 46. Ancho de una cresta y un valle.**

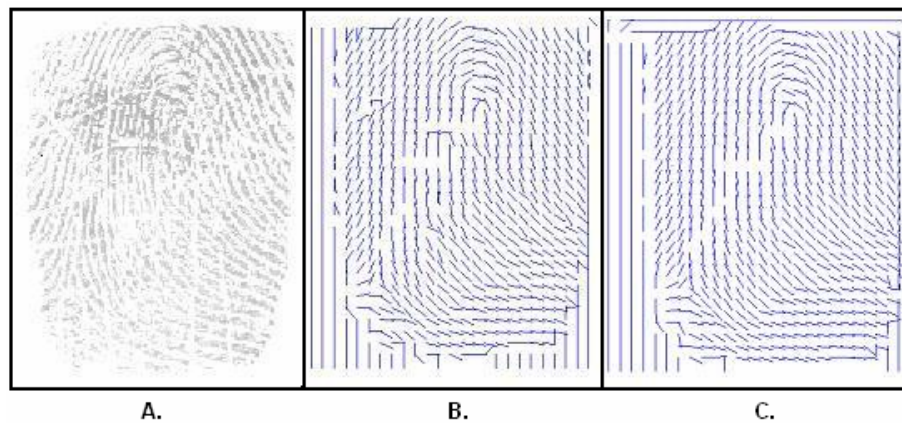


**Figura 47. Estimación de la dirección del campo.** A; huella original. B; dirección del campo de la huella.



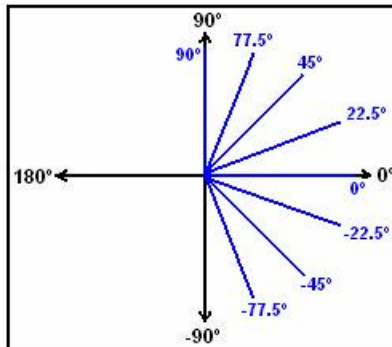
Cuando las imágenes presentan irregularidades que en la etapa de preprocesamiento no se pudieron quitar del todo; en la dirección del campo estas irregularidades se presentarán en forma de cambios bruscos en las direcciones del campo en estos puntos, (Figura 48.B). Para mejorar estas irregularidades en la dirección del campo se pasó por este un filtro pasabajos. El filtro Wiener fue usado para este propósito, este filtro esta basado en estimaciones estadísticas de las características de la vecindad de un punto. Para el filtrado se usó este filtro en bloques de 3x3, (Figura 48.C).

**Figura 54. Suavizado de la dirección del campo.** A; huella original. B; dirección del campo sin suavizar. C; dirección del campo suavizado.



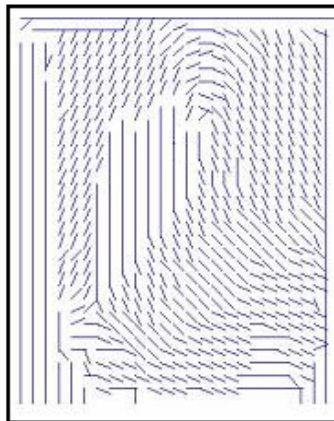
Pero esta imagen direccional todavía presenta un poco de error en el cálculo del índice de Poincaré y en la clasificación de las huellas, por lo que decidió cuantizar estos ángulos a 8 valores, (Figura 49).

**Figura 49. Direcciones a las que se van a cuantizar los vectores del campo.**



En la figura 50 se muestra el resultado de la cuantización de la dirección del campo mostrado en la figura 48.C.

**Figura 56. Cuantización de la dirección del campo.**



**6.3.2 ALGORITMO PARA LA EXTRACCIÓN DE PUNTOS SINGULARES.** El método usado en esta etapa es el índice de Poincaré, el cual fue explicado en la sección 4.2.2. Pero este método también extrae puntos singulares falsos, los cuales se deben quitar. Estos puntos falsos se presentan en dos casos: en los límites de la huella y cuando la imagen direccional presenta irregularidades, (Figura 51).

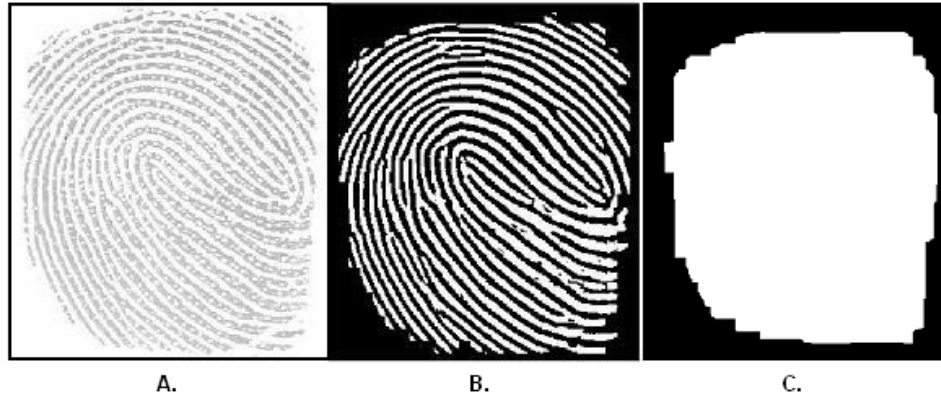
**Figura 51. Puntos singulares falsos.**



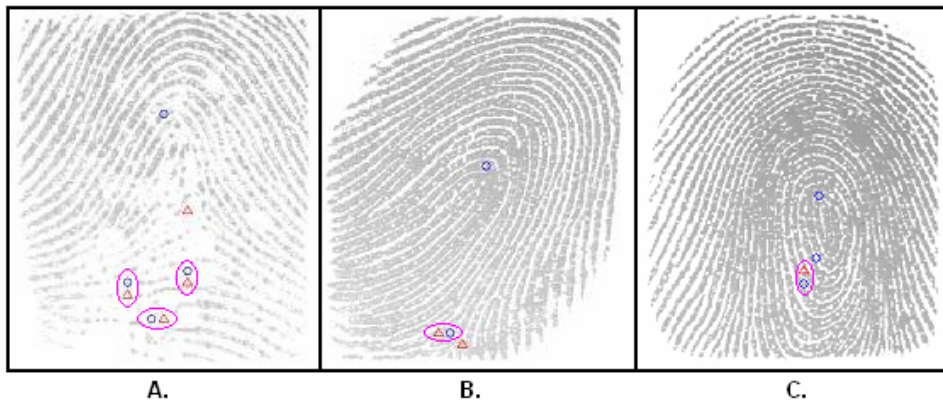
Para remover los puntos falsos que presenta el primer caso se usó una máscara que se realizó como se explica a continuación: Primero se binariza la imagen de la huella con el mismo método que se implementó para realizar el contraste en la etapa de preprocesamiento, solo que aquí se llevan los valores de los píxeles a blanco y negro, (Figura 52.B). El siguiente paso es hacer una operación morfológica de cierre a la imagen binaria, esta operación se realizó ejecutando las operaciones morfológicas básicas de dilatación y erosión, la erosión se realizó en una ventana más pequeña que la de la dilatación, el resultado de esta operación se muestra en la figura 52.C. El propósito de obtener esta máscara es el de descartar los puntos singulares que se encuentren por fuera de esta.

En el segundo caso se presentarán puntos singulares falsos aparecerán juntos, (Figura 53). Cuando hay un núcleo y un delta juntos ambos serán falsos y se deberán remover. Si se presentan tres puntos singulares juntos, sean dos núcleos y un delta o un núcleo y dos deltas, se dejará el punto singular repetido y más lejano de su contrario, es decir, si se tienen dos núcleos y un delta se dejará el núcleo que se encuentre más alejado del delta.

**Figura 52. Obtención de la máscara para descarte de puntos singulares en los límites de la huella.** A; imagen original. B; imagen binarizada. C; máscara obtenida.



**Figura 53. Puntos singulares falsos generados por irregularidades de la huella.** A; imagen con falsos puntos singulares continuos en pareja. B y C; imagen con falsos puntos singulares continuos.



Como resultado de esta etapa se obtiene una buena aproximación en la localización de los puntos singulares, en muy pocos casos el algoritmo no localiza estos puntos. En algunos casos el algoritmo localizará estos puntos un poco más arriba de donde realmente se encuentran pero esto no es un problema relevante en la clasificación de la huella.

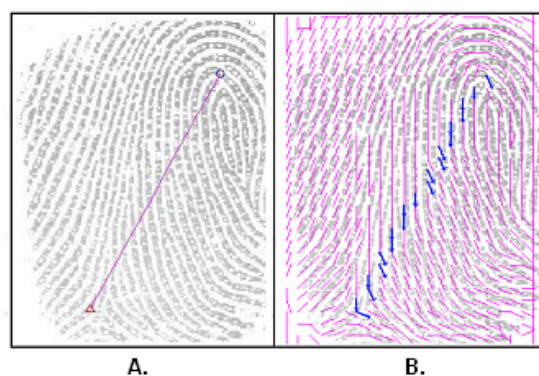
### 6.3.3 ALGORITMO PARA EL ANÁLISIS DE PUNTOS SINGULARES.

El algoritmo implementado en esta etapa primero analiza el número de núcleos y deltas extraídos en la etapa anterior.

Si la huella no presenta ni núcleo ni delta será clasificada como *arco*, si presenta dos núcleos sin importar el número de deltas la huella será clasificada como *espiral*, si la huella presenta un solo núcleo o un solo delta será clasificada como *huella no válida*. Esta última situación se puede presentar por mala calidad de la imagen de la huella o porque el dedo fue puesto en el sensor de tal manera que alguno de los puntos de interés quedaron por fuera del registro. Por último si la huella presenta un núcleo y un delta la huella puede ser un lazo derecho, lazo izquierdo o arco pronunciado para lo que se hará el análisis propuesto en la sección 4.2.3 para hacer su correcta clasificación.

Se trazó una recta desde el delta hasta el núcleo para posteriormente hallar su ángulo con respecto al eje horizontal, (figura 54.A); luego se analizaron los vectores del campo que estuvieran más cerca de esta recta, también se les calculó a cada uno de estos su ángulo (figura 54.B) para después promediar estos ángulos con el objetivo de obtener información de la orientación de las crestas que cruzan la recta delta-núcleo.

**Figura 54. Recta delta-núcleo.** A; recta que une el delta y el núcleo. B; vectores de campo que están cerca a la recta delta-núcleo.



El siguiente paso es usar estos resultados en la ecuación [7], para obtener el valor de  $C$ . Los intervalos de valores de  $C$  para cada clase son:

Cuando  $|C| \leq 11^\circ$  la huella es clasificada como *arco pronunciado*.

Cuando  $C > 11^\circ$  la huella es clasificada como *lazo derecho*.

Cuando  $C < -11^\circ$  la huella es clasificada como *lazo izquierdo*.

**6.3.4. RESULTADOS DEL ALGORITMO DE CLASIFICACIÓN.** El algoritmo de clasificación se probó con 78 imágenes de huellas tomadas con el sistema de adquisición obteniéndose un error de clasificación del 7.69% es decir fueron mal clasificadas 6 huellas.

**Tabla 5. Resultados de la clasificación.**

<b>Algoritmo</b> <b>Clase</b>	<b>A</b>	<b>AP</b>	<b>LD</b>	<b>LI</b>	<b>E</b>	<b>No clasificada</b>	<b>Total</b>
<b>A</b>	<b>6</b>	0	0	0	0	0	6
<b>AP</b>	0	<b>9</b>	2	0	0	1	12
<b>LD</b>	0	0	<b>17</b>	0	0	0	18
<b>LI</b>	0	2	0	<b>27</b>	0	0	30
<b>E</b>	0	0	0	1	<b>11</b>	0	12

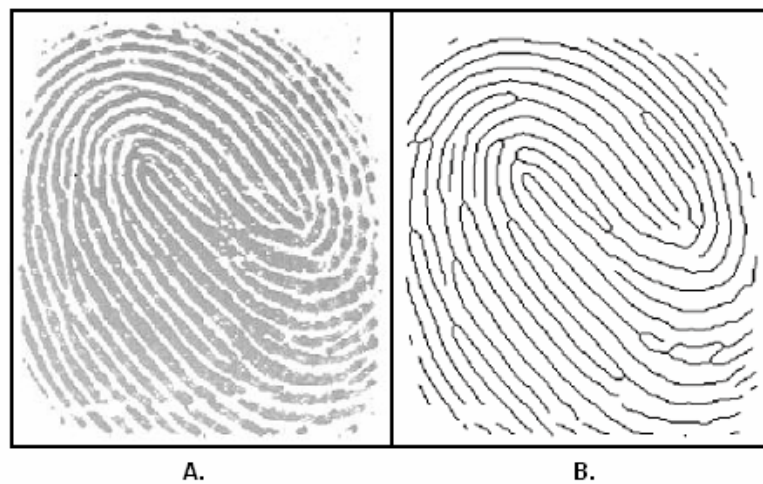
En la tabla 5 se muestran los resultados obtenidos con el algoritmo implementado para la clasificación. A corresponde a los arcos, AP a los arcos pronunciados, LD a lazos derechos, LI a lazos izquierdos, E a espirales.

## **6.4 RESULTADOS DE LA ETAPA DE VERIFICACIÓN.**

**6.4.1 ALGORITMO PARA LA EXTRACCIÓN DE MINUCIAS.** Primero se binarizó y la imagen de la huella para llevarla a una imagen con valores de blanco y negro solamente, esto se hizo con el mismo algoritmo

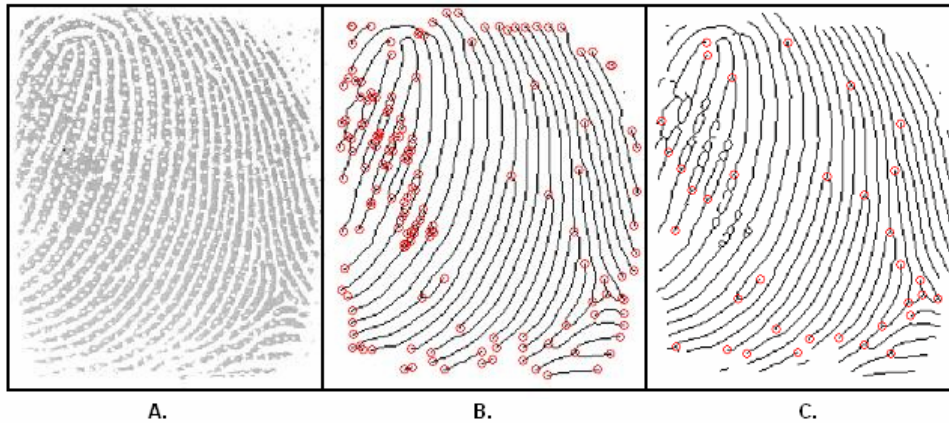
que se usó para hacer el contraste en la etapa de mejoramiento. Luego se le hace el proceso de adelgazamiento a las crestas hasta que tengan de ancho un píxel, como se mencionó en la sección 5.1 este proceso se implementó con la función *bwmorph* de la librería de imágenes de *MATLAB 5.3*, (Figura 55).

**Figura 55. Imagen binarizada y esqueletizada.** A; imagen de la huella. B; imagen binarizada y esqueletizada.



Después de obtener la imagen esqueletizada se extraen las minucias con el método mencionado en la sección 5.1, con el cual también se extraen minucias falsas, que aparecen por el ruido presente en la imagen y por el efecto de los bordes de la huella. Para el primer caso se eliminan los pares de minucias que se encuentren separadas por menos de 8 píxeles de distancia y para quitar las falsas minucias de los bordes se usa la misma máscara que se utiliza para descartar los puntos singulares en los bordes de la huella en el proceso de clasificación. En la figura 56 se observan las minucias extraídas de una imagen antes y después de eliminar las minucias falsas.

**Figura 56. Eliminación de minucias falsas.** A; huella. B; minucias extraídas. C; minucias que quedan después del proceso de eliminación de minucias.



**6.4.2 ALGORITMO DE COMPARACIÓN DE MINUCIAS.** Después de obtener las minucias se almacenan en una matriz sus posiciones en la imagen. Para obtener la orientación de las minucias se recurre al campo de orientación antes hallado, allí se busca el vector de orientación del píxel donde se encuentra la minucia, (Figura 57).

**Figura 57. Orientación de las minucias.**



Los parámetros de distancia y posición angular de las minucias se toman con respecto a un punto de referencia que haga que estas distancias sean

invariantes a la translación de la imagen, este punto es el punto central de la huella o el punto de máxima curvatura. Este se halla analizando las componentes normales del campo de orientación o los gradientes de la imagen. Pero este método presenta problemas con la translación de la huella, puesto que para dos imágenes de la misma huella pero en diferente posición este método obtiene dos puntos de referencia en diferente posición, (Figura 58). Esto se debe a que este método usa los gradientes de una gran parte de la imagen, por lo que si se pierde algo de esta información, causará un cálculo erróneo del punto de referencia.

**Figura 58. Punto de referencia para dos huellas del mismo dedo.**



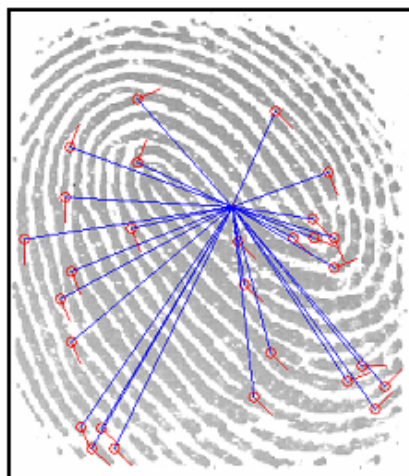
Por lo anterior para el cálculo del punto de referencia se implementó el índice de Poincaré para arcos pronunciados, lazos y espirales y el método de gradientes para los arcos. El índice de Poincaré de Poincaré no depende de la translación y rotación de la imagen. Como las huellas tipo espiral poseen dos núcleos el punto de referencia se posicionará en el punto medio de estos dos. La figura 59 muestra el punto de referencia hallado para los cinco diferentes tipos de huella.

**Figura 59. Punto de referencia para las cinco clases de huella.**



Hallado el punto de referencia se calculan los parámetros de distancia y posición angular a todas las minucias con respecto a este punto referencia. En la figura 60 se muestran los parámetros de distancia y posición angular al punto de referencia y orientación de las minucias extraídas de una huella.

**Figura 60. Parámetros extraídos de la imagen de la huella.**

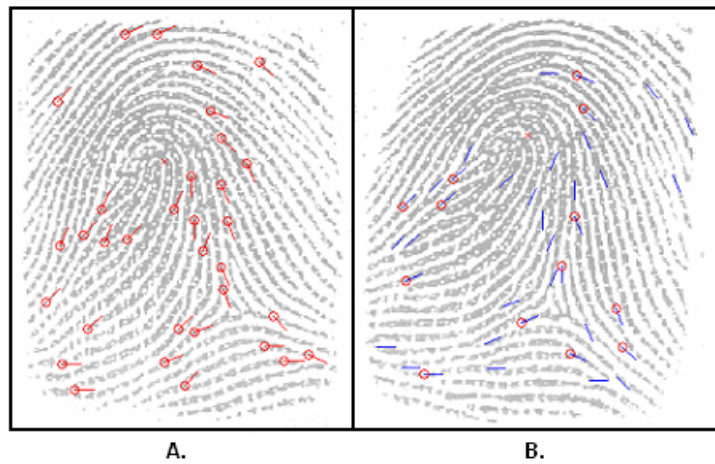


Finalmente, el patrón de la huella estará conformado por los parámetros de las minucias y el resultado de la clasificación. Para conformar una base de datos correspondiente a los registros es necesario que las huellas a registrar sean clasificables, es decir que las imágenes de las huellas presenten los puntos singulares.

En el proceso de verificación, primero se compara la clase de la huella a verificar con la clase del patrón registrado, de tal manera que si no coincide la huella a verificar será rechazada de inmediato. Si corresponde a la misma clase se prosigue con la extracción de parámetros de las minucias para posteriormente compararlos con los del patrón almacenado. Para llevar a cabo esta comparación se tiene en cuenta un rango de tolerancia para los tres parámetros. El rango de tolerancia para el parámetro distancia es de 15 píxeles, para la orientación de la minucia es de 15 grados y para la posición angular de 12 grados. Estos niveles de tolerancia permiten una pequeña grado de libertad en cuanto a la rotación de la huella a verificar. Una huella es aceptada si el numero de minucias que concuerdan con las del patrón registrado son mas de siete, teniendo en cuenta que el número de minucias que se extraen de las huellas con el algoritmo desarrollado están en el rango de 15 y 40.

En la figura 61 se muestra el patrón registrado de una huella y el patrón de una huella a verificar. La huella a verificar corresponde a la misma huella registrada, pero con una posición diferente. Las minucias que concuerdan se muestran con círculos rojos.

**Figura 61. Comparación de patrones.** A; patrón registrado. B; patrón a verificar.



#### **6.4.3 RESULTADOS DEL PROCESO DE VERIFICACIÓN.**

Se calcularon el FRR y FAR del sistema de verificación. Para obtener los resultados del sistema de verificación implementado se tomaron 26 registros de diferentes huellas.

En el cálculo del factor de falso rechazo se verifico cada uno de los registros con dos huellas más pertenecientes al mismo dedo con el cual se hizo el registro. Con este procedimiento se obtuvo un rechazo de 12 huellas de las 52 que debían ser aceptadas, obteniéndose un factor de falso rechazo de 23.07%.

Para el cálculo del factor de falsa aceptación se verifico cada uno de los registros con dos huellas de cada uno de los tipos de registros guardados, es decir que se hizo la verificación de 1300 huellas, con lo que se obtuvo una aceptación de 74 huellas, dando un factor de falsa aceptación de 5.69%.

El resultado de la verificación con la base de datos obtenida se muestra en la tabla 6. En la tabla, VC corresponde a verificaciones correctas, RF a rechazos falsos RC a rechazos correctos y VF a verificaciones falsas.

**Tabla 6. Resultados de la verificación.**

Huella	VC	RF	RC	VF
1	1	1	50	0
2	1	1	46	4
3	1	1	44	6
4	2	0	50	0
5	2	0	50	0
6	2	0	46	4
7	2	0	48	2
8	2	0	50	0
9	2	0	46	4
10	2	0	47	3
11	0	2	42	8
12	1	1	47	3
13	0	2	40	10
14	1	1	50	0
15	2	0	46	4
16	2	0	50	0
17	1	1	46	4
18	2	0	50	0
19	2	0	45	5
20	2	0	47	3
21	1	1	46	4
22	1	1	46	4
23	2	0	49	1
24	2	0	48	2
25	2	0	50	0
26	2	0	47	3

Hay que aclarar que la verificación se hizo con huellas no seleccionadas por consiguiente se encontraron huellas en mal estado y/o rotadas. Cabe resaltar que la rotación es un factor importante en el desempeño del

sistema pues el algoritmo de verificación está diseñado para trabajar con un rango de libertad de rotación entre la huella registrada y la huella a verificar de  $\pm 12^\circ$ .

En términos de tiempo el algoritmo de verificación tarda en hacer el registro de un patrón aproximadamente 13.4s y para hacer el proceso de verificación tarda aproximadamente 13.8s, el sistema fue implementado en computador con un procesador de 1.7GHz y 256Mb de RAM. Es decir que en un computador de estas características el sistema completo (adquisición y verificación) tarda alrededor de 16s.

## **7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **7.1 CONCLUSIONES**

Con el desarrollo del sistema de verificación planteado se da un paso hacia a la profundización en el análisis de huellas dactilares en la Universidad Industrial de Santander.

El hardware de adquisición diseñado cuyo principal componente es el sensor MBF200 digitaliza la huella transfiriendo la imagen de esta por el puerto paralelo a un computador logrando una velocidad óptima de 36KBytes/s aproximadamente, es decir transmite los 76.8KBytes que tienen las imágenes de las huellas adquiridas en 2.1s en promedio, empleando un computador con un procesador de 1.7GHz. El software de adquisición se implementó en *Labview 6.0*, este software desarrollado opera bajo las plataformas WINDOWS 95/98/2000/NT/Me/XP, lo cual hace que este sistema de adquisición sea ampliamente compatible con los sistemas operativos actuales.

El software de adquisición implementado también ofrece la fácil manipulación de los parámetros esenciales del sensor para una correcta captura, como los son el DCR, DTR y PGC; obteniendo un control sobre el contraste de las imágenes de las huellas.

El sensor escogido para el sistema de adquisición logra imágenes de huellas de buena calidad en personas con piel saludable.

El software de adquisición está conectado con el software de procesamiento mediante la función *MATLAB Script* incorporada en *Labview 6.0*, con el fin de obtener un mejor alcance en el procesamiento de las imágenes con las fuertes herramientas que ofrece MATLAB en este campo de aplicación.

En la etapa de preprocesamiento de la imagen se implementaron algoritmos que ofrecen buenos resultados logrando un mejoramiento en la definición de las características de las huellas, tales como crestas, valles, puntos singulares y minucias. La principal componente de esta etapa de mejoramiento de la huella es la transformada de Fourier, el cual actúa como un filtro predictivo en dirección de las crestas, permitiendo conservar la naturaleza y continuidad de estas, corrigiendo algunas irregularidades que se presentan en el momento de la captura o por el estado de la huella.

El campo de orientación en las imágenes de huellas es un excelente descriptor de las características globales de estas, por lo tanto es importante escoger un buen método para su cálculo, de ahí que el algoritmo de extracción del campo implementado se desarrolla en las imágenes de las huellas obtenidas al final de la etapa de mejoramiento causando un resultado mas óptimo que se refleja en la detección de puntos singulares por medio del índice de Poincaré.

La clasificación hecha por el sistema elaborado está basada en el número de puntos singulares, en la posición relativa de los puntos singulares entre sí y en la orientación de un grupo de crestas. La cuantización de estos parámetros, la cual fue hecha a prueba y error, permite discernir entre los diferentes tipos dentro del sistema de clasificación propuesto por Edward Henry, con un porcentaje de error de 10,25%.

El buen resultado del proceso de binarización de las imágenes de huellas radica en que es un proceso local donde la selección del umbral depende tanto del valor del píxel donde se realiza la operación como del valor de sus vecinos.

La extracción de minucias es un proceso simple el cual solo se basa en un conteo de cambios de intensidad en la vecindad de un píxel. La dificultad radica en escoger cuales de las minucias extraídas son verdaderas, es decir no son generadas por irregularidades de la huella. El método de rechazo de falsas minucias implementado en este sistema es muy simple y da resultados aceptables; aunque no es el más apropiado puesto que a veces también elimina minucias verdaderas.

El sistema de verificación elaborado en este proyecto consiste en la extracción de minucias con las cuales se elabora un patrón. El patrón se construye con respecto a un punto de la huella que sea independiente de la posición en que se adquiera la huella. Por lo tanto es importante que el método a usar para la extracción de este punto sea muy preciso, ya que los parámetros del patrón dependen de la exacta localización de este. En este trabajo se implemento un método híbrido donde se hace uso del índice de Poincaré y el método de gradientes, dando buenos resultados para las distintas clases de huellas y orientaciones de las mismas.

El sistema de verificación de huellas dactilares desarrollado es un sistema de autenticación personal automático con un desempeño moderadamente confiable, el cual se ve reflejado en sus factores de falso rechazo (23.07%) y falsa aceptación (5.69%) los cuales son aceptables. Aunque estos factores de desempeño en los actuales sistemas de verificación comerciales están alrededor del 1%, los resultados obtenidos por el sistema desarrollado en este trabajo son un acercamiento meritorio hacia los sistemas comerciales actuales.

## **7.2 RECOMENDACIONES**

- Implementar el sistema de adquisición de huellas dactilares con un sensor diferente ya sea de la misma tecnología pero de diferente empresa o ya sea de otro tipo de tecnología, tal como óptico o térmico.
- Usar los modos de comunicación USB y serial con los que cuenta el sensor MBF200 para hacer la transferencia de las imágenes al computador.
- Implementar la función de detección automática del dedo que posee el sensor MBF200.
- Diseñar un sistema de adquisición que sea independiente de la velocidad del procesador del computador con el cual se estén adquiriendo las imágenes.
- Añadir al sistema de adquisición elementos tales como teclado, pantalla y procesador o DSP para que el sistema sea portátil y totalmente independiente de un computador.
- Implementar los algoritmos propuestos en otro lenguaje de programación de más bajo nivel, tal como C.
- Implementar otros métodos de verificación, tales como correlación, redes neuronales, lógica fuzzy o una técnica compuesta; con el propósito de mejorar el desempeño del sistema.

## **BIBLIOGRAFIA**

BAZEN, Asker. GEREZ, Sabih. Directional field computation for fingerprint based on the principal component analysis of local gradients. Proceedings of the ProRISC/IEEE workshop. pp: 215-222. Diciembre, 2000.

FARANI, Silvia. Classificação e verificação de impressões digitais. Sao Paulo, 2001.

GARCIA, Víctor. Sistema de reconocimiento de huellas dactilares para el control de acceso a recintos. México D.F., 2001.

GONZÁLEZ, Rafael. WOODS, Richard. Tratamiento digital de imágenes. Addison-Wesley.1996

HONG, Lin. WAN, Yifei. JAIN, Anil. Fingerprint image enhancement: Algorithm and performance evaluation. Proceeding of IEEE. 20(8):777-789. Agosto 1998.

<http://www.bromba.com/faq/biofaq.htm>. Marzo de 2003

<http://www.bromba.com/faq/fpfaq.htm>. Marzo de 2003

<http://www.bergdata.com/es/technolgy>. Marzo de 2003.

<http://www.findbiometrics.com/Pages/fingerprint.html>. Junio de 2003.

[http://bias.csr.unibo.it/maltoni/handbook/extract\\_from\\_2\\_6.pdf](http://bias.csr.unibo.it/maltoni/handbook/extract_from_2_6.pdf). Julio de 2003.

<http://www.beyondlogic.org>. Abril de 2003.

<http://www.senet.com.au/~cpeacock>. Abril de 2003.

[http://neutron.ing.ucv.ve/revista-e/No6/Olguin%20Patricio/SEN\\_BIOMETRICOS](http://neutron.ing.ucv.ve/revista-e/No6/Olguin%20Patricio/SEN_BIOMETRICOS). Abril de 2003.

JAIN, Anil. HONG, Lin. PANKANTI, Sharath. BOLLE, Ruud. An identity-authentication system using fingerprints. *Proceeding of the IEEE*, 85(9): 1365-1388, Septiembre 1997.

MALTONI, Davide. MAIO, Dario. JAIN, Anil. PRABHAKAR, Salil. *Handbook of fingerprint recognition*. Capitulo I. New York, 2003.

National Instrument, *Labview User Manual*, 2002.

PRABHAKAR, Salil. *Fingerprint classification and matching using a filterbank*. Ph.D Thesis, Department of Computer Science and Engineering, Michigan State University, 2001.

SHERLOCK, B. MONRO, D. MILLARD. Fingerprint enhancement by directional Fourier. *Proceeding of IEEE*. 141(2):87-94. Abril 1994.

WILLIS, A. MYERS, L. "A cost-effective fingerprint recognition system for use with low-quality prints and damage fingertips", *Pattern Recognition*, vol. 34, No 2, pp. 255-270, February 2001.

WIRTZ, Brigitte. *Biometric systems 101 and beyond*. Technofile pp:12-21.

YANG, Jianwei. LIU, Lifeng. JIANG, Tianzi. FAN, Yong. A modified Gabor filter design method for fingerprint image enhancement. Proceeding of IEEE. Letters 24(2003) 1805-1817.

ZHANG, Qinzi. HUANG, Kai. YAN, Hong. Fingerprint classification based on extraction and analysis of singularities and pseudoridges. Selected papers from 2001 Pan-Sydney Workshop on Visual Information Processing, Sydney, Australia.

ANEXO A

Sensor	Compañía	Tecnología	Resolución (dpi)	Área de captura (alto x ancho)	Píxeles (alto x ancho)	I/O
FPS110	Veridicom	Capacitivo	500	1.52cmx1.52cm	300x300	Puerto paralelo, serial periférico, USB.
MBF200	Fujitsu	Capacitivo	500	1.28cmx1.52cm	300x256	Puerto paralelo, serial periférico, USB.
MBF300	Fujitsu	Capacitivo	500	0.15cmx1.29cm	32x256	Puerto paralelo, serial periférico, USB.
Fingertip	Infineon	Capacitivo	500	1.42cmx1.11cm	288x224	Puerto paralelo, serial periférico.
TouchChip	ST-Microelectronics	Capacitivo	508	1.8cmx1.27cm	360x256	Puerto paralelo.
AE34000	Authentec	Campo Eléctrico	256	0.96cmx0.96cm	96x96	Serial
T-FPM	Ethertica	Óptico	400	1.93cmx1.42cm	306x226	USB
KC-901	Kinetic Sciences	Óptico	257 a 901	0.5cmx1.28cm	2x900	Puerto paralelo, serial, USB
FX2000	Biometrika	Óptico	569	2.49cmx1.32cm	560x296	Puerto paralelo, USB.
Uare U2000	Digitalpersona	Óptico	440	1.7cmx1.19cm	316x228	USB
Hamster	Secugen	Óptico	500	1.62cmx1.37cm	300x268	USB
AT77C101B	Atmel	Térmico	500	0.5cmx1.4cm	8x280	Puerto paralelo, USB.
BLP-100	BMF	Piezoeléctrico	406	2.34cmx1.6cm	384x256	Puerto paralelo, serial.

## **ANEXO B**

### **SENSOR DE HUELLAS DACTILARES DE ESTADO SÓLIDO MBF-200**

#### **Características:**

- Dispositivo capacitivo de estado sólido.
- Resolución de 500-dpi (50  $\mu$ m)
- Área del sensor: 1.28 cm  $\times$  1.5 cm. (0.5"  $\times$  0.6").
- El sensor esta formado por 256 columnas y 300 filas.
- Rango de operación de 3.3 V a 5 V.
- Revestimiento de protección excepcionalmente fuerte.
- Conversor análogo- digital de 8-bits integrado en el sensor.
- Tres interfases de buses para escoger:
  1. Interfase de bus de microprocesador de 8-bits
  2. Interfase integrada de USB de gran velocidad
  3. Interfase integrada par un periférico en forma serial
- Tecnología CMOS estándar.
- Baja potencia, menos de 70 mW operando a 5 V.
- Detección automática del dedo.

#### **Aplicaciones:**

- Acceso seguro para base de datos, redes y almacenamiento local.
- Adquisición portátil de la huella dactilar.
- Tarjetas inteligentes pequeñas.
- Identificación y verificación para transacciones ATM.
- Acceso de seguridad para teléfonos celulares.
- Control de acceso y monitoreo (casa, automóvil, oficina, etc).

## **Preliminar**

El sensor de huellas dactilares de estado sólido FPS-200 de la compañía Veridicom es un dispositivo de contacto directo para la adquisición de huellas dactilares. Este dispositivo posee un alto desempeño, baja potencia de consumo, bajo costo, un sensor capacitivo compuesto de un arreglo de vectores de dos dimensiones con electrodos metálicos para capturar la imagen. Cada electrodo metálico actúa como una placa del capacitor y el dedo en contacto actúa como la segunda placa. Una capa pasiva en la superficie del dispositivo forma el dieléctrico entre estas dos placas. Las crestas y los valles del dedo producen una variación de los valores de las capacitancias a través del arreglo del sensor y el resultado es una variación de los voltajes descargados que son leídos para formar una imagen de la huella dactilar.

El FPS-200 es elaborado en tecnología estándar CMOS. El arreglo del sensor de  $256 \times 300$  tiene una célula de  $50 \mu\text{m}$  y produce una imagen de 500-dpi. La superficie del sensor esta protegida por una capa o revestimiento patentado, ultra-duro y de resistencia química y abrasiva.

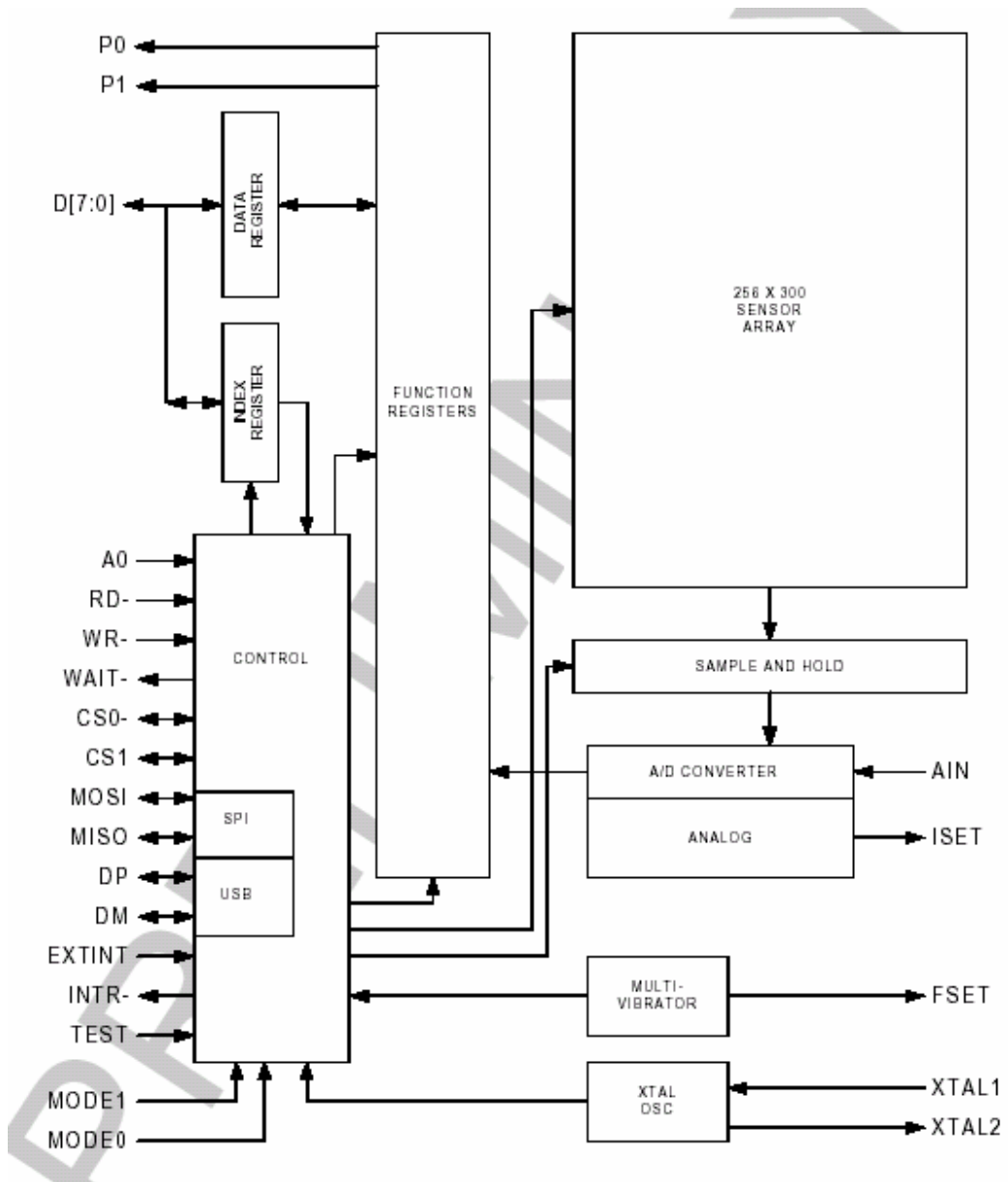
## **Operación del sensor**

El arreglo del sensor contiene 256 columnas y 300 filas. Asociado a cada columna hay dos circuitos de (sample and hold) muestreo y mantenimiento. Una imagen de una huella dactilar es capturada una fila a la vez. Esta captura de la fila ocurre en dos fases. En la primera fase, las placas del sensor de la fila seleccionada son precargadas al voltaje de alimentación VDD. Durante este periodo de precarga, una señal interna habilita al primer circuito de muestreo y mantenimiento a almacenar el voltaje precargado de la fila.

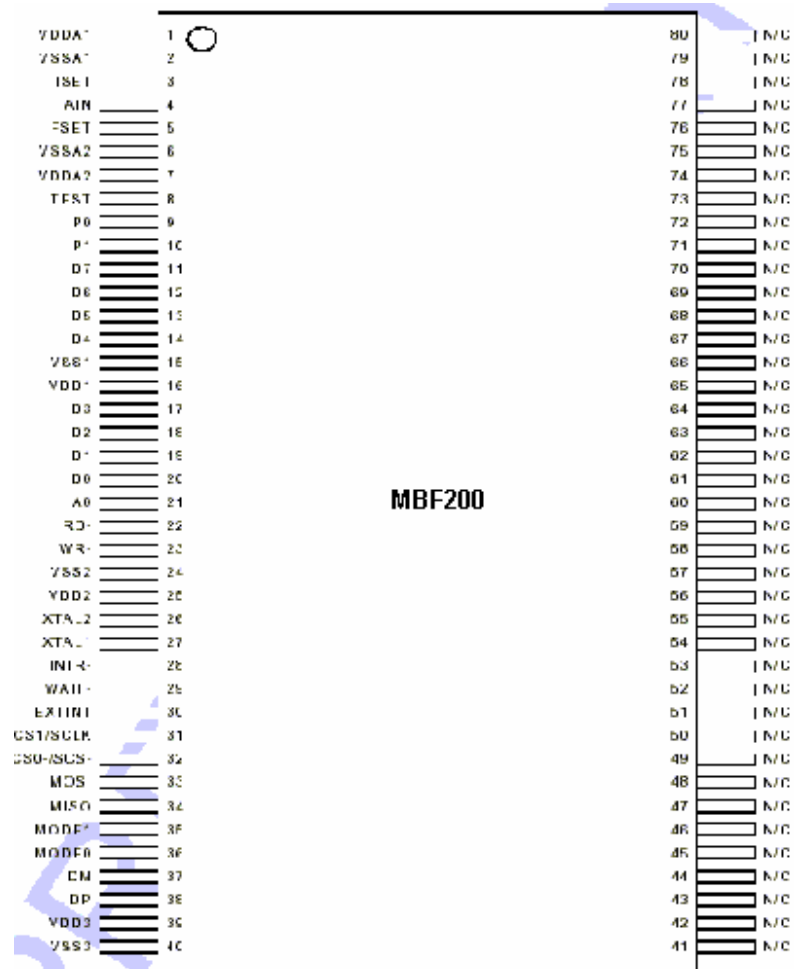
En la segunda fase, la fila de placas del sensor es descargada con una fuente de corriente. La rata a la cual una celda es descargada es proporcional a la "corriente de descarga ". Después de un periodo de tiempo(referido a el "tiempo de descarga"), una señal interna habilita a el segundo circuito de muestreo y mantenimiento a almacenar el voltaje final de las placas. La diferencia entre los voltajes precargados y descargados en las placas es una medida de la capacitancia de una celda del sensor. Después de la captura de la fila, las celdas que se encuentran en la fila están listas para ser digitalizadas.

La sensibilidad del sensor es ajustada por el cambio de la corriente de descarga y el tiempo de descarga. El valor nominal de la fuente de corriente es controlado por una resistencia externa conectada entre el pin ISET y tierra. La fuente de corriente es controlada por el Registro de Corriente de Descarga(DCR). El tiempo de descarga es controlada por el Registro de Tiempo de Descarga(DTR).

## Diagrama de bloques



## Diagrama de conexiones



### Lista de pines

Pin	Nombre	Tipo	(5.0 V) IOL	(5.0 V) IOH	Descripción
1	VDDA1	PWR			Alimentación análoga
2	VSSA1	GND			Tierra análoga
3	ISET	O			Fijar la corriente de referencia
4	AIN	I			Entrada análoga
5	FSET	O			Fijar la frecuencia del multi-vibrador interno
6	VSSA2	GND			Tierra análoga
7	VDDA2	PWR			Alimentación análoga
8	TEST	I			Habilitador de modo de prueba
9	P0	O	8 mA	4 mA	Puerto de salida 0
10	P1	O	8 mA	4 mA	Puerto de salida 1
11	D7	I/O	8 mA	4 mA	Bit de dato 7
12	D6	I/O	8 mA	4 mA	Bit de dato 6
13	D5	I/O	8 mA	4 mA	Bit de dato 5
14	D4	I/O	8 mA	4 mA	Bit de dato 4
15	VSS1	GND			Tierra digital
16	VDD1	PWR			Alimentación digital
17	D3	I/O	8 mA	4 mA	Bit de dato 3
18	D2	I/O	8 mA	4 mA	Bit de dato 2
19	D1	I/O	8 mA	4 mA	Bit de dato 1
20	D0	I/O	8 mA	4 mA	Bit de dato 0
21	A0	I			Entrada de direccionamiento
22	RD-	I	8 mA	4 mA	Habilitador de lectura, activo en bajo
23	WR-	I	8 mA	4 mA	Habilitador de escritura, activo en bajo
24	VSS2	GND			Tierra digital

25	VDD2	PWR			Alimentación digital
26	XTAL2	O			Salida del oscilador interno
27	XTAL1	I			Entrada del oscilador interno
28	INTR-	O	8 mA		Salida de interrupción, activa en bajo
29	WAIT-	O	8 mA		Espera, activa en bajo
30	EXTINT-	I			Entrada de interrupción externa
31	CS1/SCL K	I/O			Selector del chip, activo en alto
32	CS0- /SCS-	I/O			Selector del chip, activo en bajo
33	MOSI	I/O	8 mA	4 mA	SPI salida del maestro/entrada del esclavo
34	MISO	I/O	8 mA	4 mA	SPI entrada del maestro/salida del esclavo
35	MODE1	I			Selector de modo 1
36	MODE0	I			Selector de modo 0
37	DM	I/O			USB D-
38	DP	I/O			USB D+
39	VDD3	PWR			Alimentación digital
40	VSS3	GND			Tierra digital
41- 80	N/C				Sin conexión

## Descripción de los pines

### VDDA1 y VDDA2 ( Pines 1 y 7)

Alimentación para la sección análoga del sensor. VDD1 alimenta el arreglo del sensor, los controladores de las filas, los receptores de las columnas, convertidores A/D y los amplificadores de muestreo/mantenimiento. VDD2 alimenta el multi-vibrador y el circuito de polarización.

**VSSA1 y VSSA2 ( Pines 2 y 6)**

Tierra para la sección análoga del sensor. VSSA1 es la tierra de retorno para el arreglo del sensor, los controladores de las filas, los receptores de las columnas, conversores A/D y los amplificadores de muestreo/mantenimiento. VDD2 es la tierra de retorno para el multi-vibrador y el circuito de polarización.

**VDD1, VDD2 y VDD3 ( Pines 16, 25 y 39)**

Alimentación para la lógica digital y controladores I/O. VDD2 alimenta el centro de la lógica digital, osciladores, lazos de fase cerrados y entradas digitales. VDD1 y VDD3 alimentan los circuitos de salida digital y los transmisores-receptores de USB.

**VSS1, VSS2 y VSS3 ( Pines 15, 24 y 40)**

Tierra para la lógica digital y controladores I/O. VSS2 es la conexión a tierra para el centro de la lógica digital, osciladores, lazos de fase cerrados y entradas digitales. VSS1 y VSS3 es la conexión a tierra para los circuitos de salida digital y los transmisores-receptores de USB.

**ISET ( Pin 3)**

Conectar una resistencia de  $200\text{k}\Omega$  entre ISET y la tierra análoga VSSA1 para establecer la corriente de referencia interna. La corriente de descarga es una función escalar de la corriente de referencia interna.

**AIN ( Pin 4)**

Entrada análoga alternativa al conversor A/D. Fije en uno el bit AINSEL en el registro CTRLA para seleccionar AIN como la entrada para el conversor A/D. Coloque este pin a tierra preferiblemente con un resistor.

**FSET ( Pin 5)**

Conecte un resistor entre FSET y tierra para fijar el multi-vibrador interno y la frecuencia automática de detección del dedo. Use una resistencia de  $56k\Omega$  para una operación estándar del multivibrador de 12 MHz ( $\pm 20\%$ ) y una tasa de muestreo para la detección automática del dedo de 120kHz ( $\pm 20\%$ ).

**XTAL1 ( Pin 27)**

Entrada para el oscilador interno. Para usar el oscilador interno, conecte un circuito conformado por un cristal a este pin. Si un oscilador externo es usado conecte su salida a este pin.

**XTAL2 ( Pin 26)**

Salida del oscilador externo. Para usar el oscilador interno, conecte un circuito conformado por un cristal a este pin. Si un oscilador externo es usado deje este pin desconectado.

**D[7:0] (Pines 11-14, 17-20)**

Bus de datos bi-direccional. D[7:0] tienen un débil latch que mantiene el estado del bus cuando no esta siendo manejado. Este pin debe ser dejado sin ninguna conexión en modo USB y SPI.

**A0 ( Pin 21)**

Entrada de direcciones. Coloque A0 en bajo para seleccionar la dirección del índice del registro. Coloque A0 en alto para seleccionar el bus de datos. A0 tiene un débil latch que mantiene el estado del pin cuando no se maneja. Este pin debe dejarse desconectado en modo USB y SPI.

**RD- ( Pin 22)**

Habilitador de lectura, activo en bajo. Para leer del chip coloque RD- en bajo mientras WR- esta en alto y el chip este seleccionado. RD- tiene un

resistor pull-up interno no muy grande y debe ser dejado sin ninguna conexión en modo USB y SPI.

### **WR- ( Pin 23)**

Habilitador de escritura, activo en bajo. Para escribir en el chip coloque WR- en bajo mientras RD- esta en alto y el chip esta seleccionado. WR- tiene un resistor pull-up interno no muy grande y debe ser dejado sin ninguna conexión en modo USB y SPI.

### **CS0-/SCS- ( Pin 32)**

Selector del chip, activo en bajo. El pin CS0-/SCS- tiene un latch débil que mantiene el estado del pin cuando no esta siendo manejado. CS0-/SCS- debe ser dejado desconectado en modo USB si no se está utilizando una ROM externa serial. La función de el pin CS0-/SCS- depende de los pines MODE1 y MODE0:

#### **MODE[1:0]= 00b (Modo de Interfase de Bus de Microprocesador)**

CS0-/SCS- funciona como una entrada para la selección del chip activa en bajo coloque CS0-/SCS- en bajo mientras CS1/SCLK esta en alto para seleccionar el chip.

#### **MODE[1:0]= 01b ( Modo esclavo en SPI)**

CS0-/SCS- funciona como una entrada para la selección del chip activa en bajo. Conecte un resistor pull-up entre CS0-/SCS- y VDD.

#### **MODE [1:0]= 10b ( Modo de interfase USB, usando ROM interna)**

CS0-/SCS- no tiene función en este modo.

#### **MODE[1:0]= 11b ( Modo de interfase USB, usando ROM externa)**

CS0-/SCS- funciona como salida cuando se selecciona el chip en forma de maestro. Activa en bajo para seleccionar el chip en forma de esclavo con ROM serial. Conecte un resistor pull-up entre CS0-/SCS- y VDD.

### **CS1/SCLK ( Pin 33)**

Selector del chip, activo en alto. El pin CS1/SCLK tiene un latch débil que mantiene el estado del pin cuando no esta siendo manejado. CS1/SCLK debe ser dejado desconectado en modo USB si no se está utilizando una ROM externa serial. La función de el pin CS1/SCLK depende de los pines MODE1 y MODE0:

#### **MODE[1:0]= 00b (Modo de Interfase de Bus de Microprocesador)**

CS1/SCLK funciona como una entrada para la selección del chip activa en alto. Coloque CS1/SCLK en alto mientras CS0-/SCS- esta en bajo para seleccionar el chip.

#### **MODE[1:0]= 01b (Modo esclavo en SPI)**

CS1/SCLK funciona como la entrada de reloj para el esclavo en forma serial.

#### **MODE[1:0]= 10b (Modo de interfase USB, usando ROM interna)**

CS1/SCLK no tiene función en este modo.

#### **MODE[1:0]= 11b (Modo de interfase USB, usando ROM externa)**

CS1/SCLK funciona como salida de reloj del maestro de manera serial a la entrada de reloj de la ROM del esclavo en forma serial. Conecte un resistor pull-up entre CS0-/SCS- y VDD.

**EXTINT ( Pin 30)**

Entrada de interrupción externa. Este pin puede ser programado para ser el margen o nivel sensible, activo en alto o en bajo. EXTINT tiene una pequeña resistencia pull-up y debe ser dejado sin ninguna conexión en modo MCU, SPI o USB.

**INTR- ( Pin 28)**

Salida de interrupción, activa en bajo. INTR- es de alta impedancia cuando no esta activa y es llevada a un estado bajo cuando ocurre un evento de interrupción habilitado. INTR- puede ser habilitado si esta en modo MCU y SPI. En modo USB deje este pin desconectado.

**WAIT- ( Pin 29)**

Salida de espera, activa en bajo. WAIT- posee un estado bajo cuando esta activa y uno de alta impedancia cuando no esta activa. WAIT- permanece en bajo si el conversor A/D esta leyendo mientras una conversión A/D esta en progreso. WAIT- permanecerá en bajo hasta que la conversión A/D este completa.

**MOSI ( Pin 33)**

Modo SPI, Salida del Maestro/Entrada del Esclavo. El pin MOSI tiene un débil latch que mantiene el estado del pin cuando no esta siendo manejado. MOSI debe ser dejado sin conexión en modo MCU y USB si no se esta usando una ROM externa serial. La función de este pin depende de los pines MODE1 y MODE0:

**MODE[1:0]= 00b (Modo de Interfase de Bus de Microprocesador)**

MOSI no tiene función en este modo.

**MODE[1:0]= 01b (Modo esclavo en SPI)**

MOSI funciona como la entrada para el esclavo en forma serial.

**MODE[1:0]= 10b ( Modo de interfase USB, usando ROM interna)**

MOSI no tiene función en este modo.

**MODE[1:0]= 11b ( Modo de interfase USB, usando ROM externa)**

MOSI funciona como la salida de datos del maestro hacia la entrada de datos de la ROM del esclavo en forma serial. Diferente al SPI estándar, MOSI es manejado activamente en alto y bajo cuando transmite datos y esta en alta impedancia cuando se encuentra inactivo. Conecte un resistor pull-up entre VDD y MOSI para llevar a alto MOSI cuando este inactivo.

**MISO ( Pin 34)**

Modo SPI, Entrada del Maestro/Salida del Esclavo. El pin MISO tiene un débil lachth que mantiene el estado del pin cuando no esta siendo manejado. MISO debe ser dejado sin conexión en modo MCU y USB si no se esta usando una ROM externa serial. La función de este pin depende de los pines MODE1 y MODE0:

**MODE[1:0]= 00b (Modo de Interfase de Bus de Microprocesador)**

MISO no tiene función en este modo.

**MODE[1:0]= 01b ( Modo esclavo en SPI)**

MISO funciona como la salida de datos del esclavo en forma serial. Diferente al SPI estándar MISO es manejado activamente en alto y bajo cuando transmite datos y esta en alta impedancia cuando se encuentra inactivo. Conecte un resistor pull-up entre MISO y VDD para llevar a alto MISO cuando este inactivo.

**MODE[1:0]= 10b ( Modo de interfase USB, usando ROM interna)**

MISO no tiene función en este modo.

**MODE[1:0]=11b (Modo de interfase USB, usando ROM externa)**

MISO funciona como la entrada de datos al maestro desde la salida de datos de la ROM del esclavo en forma serial.

**P0 ( Pin 9)**

Puerto de salida 0. Esta salida es controlada por el bit 0 del registro CTRLC.

**P1 ( Pin 10)**

Puerto de salida 1. Esta salida es controlada por el bit 1 del registro CTRLC.

**DP ( Pin 38)**

Línea de datos D+ en modo USB. En modo USB, conecte una resistencia de  $1.5k\Omega$  entre DP y VDD3, el cual debe estar entre 3.3 V y 3.6 V en este modo. Use una resistencia en serie de  $43\Omega$ . En cualquiera de los dos modos, SPI o MCU, conectar una resistencia pull-up o llevar a tierra.

**DM ( Pin 37)**

Línea de datos D- en modo USB. Use una resistencia en serie de  $43\Omega$ . En cualquiera de los dos modos, SPI o MCU, conectar una resistencia pull-up o llevar a tierra.

**MODE[1:0] ( Pines 35 y 36)**

Pines de selección de modo. MODE[1:0] selecciona uno de los cuatro modos de operación:

**TEST ( Pin 8)**

Habilitador de modo de prueba. Este es propuesto para uso de la fábrica solamente. Conecte este pin a VSS.

## **N/C ( Pines 41-80)**

Pines sin conexión.

## **Funcionamiento del Bus del dispositivo**

### **MODO DE INTERFASE DE BUS DE MICROPROCESADOR**

El modo de interfase de bus de microprocesador usa los siguientes pines: D[7:0], A0, RD-, WR-, CS0-, CS1, EXTINT, INTR- y WAIT-. Tanto el multivibrador interno o el oscilador XTAL1/XTAL2 pueden ser seleccionados para proveer la señal de reloj al chip. Las interfases de SPI y USB están deshabilitadas.

El chip del sensor de huellas dactilares usa un esquema de direccionamiento indexado para acceder a los registros de funcionamiento. El chip tiene ocho líneas de datos D[7:0] y una línea de dirección A0. La línea de dirección selecciona entre el registro de índice o el registro de datos. Coloque A0 en bajo para seleccionar el registro de índice. Luego coloque A0 en alto para acceder al registro de funciones seleccionado por el registro de índice. El registro de índice mantiene este valor hasta que el chip sea reescrito o se le reset.

El chip tiene cuatro entradas de control: CS0-, CS1, RD- y WR-. Coloque CS0- en bajo y CS1 en alto para seleccionar el chip. El dato es cargado en el flanco de subida de WR-.

El chip tiene dos líneas de estado: INTR- y WAIT-. La señal de INTR- es utilizada cuando un evento de interrupción ocurre. La señal de WAIT- es baja cuando el conversor A/D es leído mientras una conversión A/D este en progreso. La señal de WAIT- será de alta impedancia cuando la conversión A/D este completa. Ambos, WAIT- e INTR-, son de alta impedancia cuando se encuentran inactivos.

Las interfases de SPI y USB son deshabilitadas mientras la interfase de bus de microprocesador este seleccionada. Una tabla de la verdad para la interfase de bus de microprocesador es mostrada a continuación:

<b>CS0-</b>	<b>CS1</b>	<b>A0</b>	<b>RD-</b>	<b>WR-</b>	<b>Modo</b>	<b>Líneas de datos</b>
H	X	X	X	X	Chip sin seleccionar	Alta impedancia
X	L	X	X	X	Chip sin seleccionar	Alta impedancia
L	H	X	H	H	Estado de espera	Alta impedancia
L	H	L	L	H	Leer del registro de índice	Salida
L	H	L	H	L	Escribir al registro de índice	Entrada
L	H	H	L	H	Leer del registro de datos	Salida
L	H	H	H	L	Escribir al registro de datos	Entrada

## **INTERFASE PERIFÉRICA SERIAL (SPI) EN MODO SERIAL**

### **Bus en modo SPI**

El bus en modo SPI (esclavo) usa los siguientes pines: SCLK, SCS-, MOSI, MISO y EXTINT. Tanto el multivibrador interno como el oscilador XTAL1/XTAL2 pueden ser seleccionados para dar la señal de reloj al chip. El bus de microprocesador y la interfase USB están deshabilitados.

### **SPI Modo esclavo**

En SPI modo esclavo, el chip puede operar tanto en modo SPI(0,0) donde CPOL= 0 y CPHA= 0 o modo SPI (1,1) donde CPOL= 1 y CPHA= 1. El

maestro en SPI debe estar sincronizado en comandos y en los datos de salida hasta los 12 MHz. El maestro en SPI puede leer y escribir los registros del sensor aun cuando el multivibrador interno de 12 MHz o el cristal XTAL1/XTAL2 este detenido.

- Los bits de MOSI son tomados en el flanco de subida de SCK.
- El cambio en los bits de MISO se hace en el flanco de bajada de SCK.
- SCK puede estar inactivo tanto en estado alto o bajo.
- Los bits más significativos son enviados primero.

### **Comando de Lectura de Registro en SPI Modo Esclavo**

El comando de Lectura de Registro incluye un byte de comando y un byte de dirección. La secuencia del comando comienza cuando el SPI Maestro coloca SCS- en bajo y envía el byte de Comando de Lectura (codificado con 0x03) por el pin MOSI. Siguiendo al byte de comando, el maestro envía el byte de dirección, el cual es el índice del registro a ser leído. Después de recibir el bit menos significativo (LSB) del byte de dirección, el sensor en SPI Modo esclavo envía el contenido del registro seleccionado por el pin MISO. Finalmente, el maestro coloca SCS- en alto después de haber tomado el LSB del byte de datos. Cuando se este leyendo el conversor A/D, el Maestro debe mantener SCS- en bajo para leer los píxeles consecutivamente hasta el final de la fila en curso. Un nuevo comando de Lectura de Registro debe ser emitido para leer la siguiente fila. El SPI Maestro debe colocar a SCS- en alto antes del comienzo de otro comando.

### **Comando de Escritura del Registro en SPI Modo Esclavo**

El comando de Escritura del Registro incluye un byte de comando y un byte de dirección seguido de un byte de datos a ser escrito. La secuencia del comando comienza cuando el SPI Maestro coloca SCS- en bajo y envía el byte de Comando de Escritura (codificado con 0x02) por el pin MOSI.

Luego el maestro envía el byte de dirección, el cual es el índice del registro a ser escrito. Finalmente, el maestro envía el byte de datos y después de esto coloca SCS- en alto.

### **INTERFASE EN MODO USB, USANDO ROM INTERNA**

Este modo USB usa los siguientes pines: DP, DM, EXTINT, XTAL1 y XTAL2. XTAL1 debe estar colocado a una fuente de 12 MHz o XTAL1 y XTAL2 deben estar conectadas a un cristal de 12 MHz. El multivibrador interno de 12 MHz, el Bus de microprocesador y la interfase SPI están deshabilitados. El descriptor USB de la ROM interna será accedido en respuesta a un comando USB GET\_DESCRIPTOR.

La interfase USB del sensor usa tres puntos de comprobación:

#### **Punto de comprobación 0**

El punto de comprobación 0 es un punto de comprobación de control para la numeración del dispositivo y la configuración. Los registros de funciones del sensor son leídos y escritos usando comandos de control transferidos de el vendedor específico a el punto de comprobación 0.

#### **Punto de comprobación 1**

El punto de comprobación 1 es un punto construido específicamente para la lectura del registro CTRLA, el cual es el bufer de salida del conversor A/D. El dato es transmitido en paquetes de 64 bytes excepto el último paquete de una operación de captura de un fila(GETROW) el cual debe ser de 64 bytes o menos, dependiendo de la longitud de la fila.

#### **Punto de comprobación 2**

El punto de comprobación 2 es un punto de comprobación de interrupciones. En el evento de una interrupción, el contenido de el ISR (Registro del Estado de Interrupciones) es transferido al punto de comprobación 2.

## **INTERFASE EN MODO USB, USANDO ROM EXTERNA**

Este modo de USB usa los siguientes pines: CP, DM, SCLK, SCS-, MOSI, MISO, EXTINT, XTAL1 y XTAL2. XTAL1 debe estar colocado a una fuente de 12 MHz o XTAL1 y XTAL2 deben estar conectadas a un cristal de 12 MHz. El multivibrador interno de 12 MHz, el Bus de microprocesador y la interfase SPI están deshabilitados.

La interfase SPI esta activada como un SPI Maestro. La ROM externa SPI en forma serial será accedida en respuesta a un comando USB GET\_DESCRIPTOR. El descriptor USB de la ROM interna está deshabilitado. Este modo permite a una ROM externa serial sustituir el descriptor de la ROM interna.

Nota: Cuando el FPS200 es directamente conectado a USB en cualquiera de los dos modos anteriores, los pines VDD y VDDA deben estar energizados entre 3.3 V y 3.6 V haciendo que los pines DP y DM del FPS200 no sean llevados más allá de 3.6 V.

## **SPI Modo Maestro**

En SPI Modo Maestro el sensor opera en modo SPI (1,1), donde CPOL= 1 y CPHA= 1. SCK está limitado a 1 MHz.

- El cambio en los bits de MOSI se hace en el flanco de bajada de SCK.
- Los bits de MISO son tomados en el flanco de subida de SCK.
- SCK puede estar inactivo en estado alto.
- Los bits más significativos son enviados primero.

## Descripción de los Registros de Funciones

Los Registros de Funciones son accedidos por direccionamiento indexado. Escriba el índice del registro para seleccionar un registro de función. Lea o escriba el registro de datos para acceder a el contenido del registro de función. Todos los registros pueden ser escritos o leídos excepto por algunos como se ve en la siguientes descripciones.

### Mapa de Registros de Funciones

Índice	Nombre	Descripción	Lectura /Escritura
0x00	RAH	Dirección Fila, byte Alto	R/W
0x01	RAL	Dirección Fila, byte Bajo	R/W
0x02	CAL	Dirección Columna, byte Bajo	R/W
0x03	REH	Fin de dirección Fila, byte Alto	R/W
0x04	REL	Fin de dirección Fila, byte Bajo	R/W
0x05	CEL	Fin de dirección Columna, byte Bajo	R/W
0x06	DTR	Registro del Tiempo de Descarga	R/W
0x07	DCR	Registro de la Corriente de Descarga	R/W
0x08	CTRLA	Registro de Control A	R/W
0x09	CTRLB	Registro de Control B	R/W
0x0A	CTRLC	Registro de Control C	R/W
0x0B	SRA	Registro de Estado A	R
0x0C	PGC	Registro de Control de Ganancia Programable	R/W
0x0D	ICR	Registro de Control de Interrupciones	R/W
0x0E	ISR	Registro de Estado de la Interrupción	R/W
0x0F	THR	Registro Threshold	R/W
0x10	CIDH	Identificación del Chip, byte Alto	R
0x11	CIDL	Identificación del Chip, byte Bajo	R
0x12	TST	Registro de Modo de Prueba	R/W

Nota: En las siguientes descripciones, "sub-imagen" significa una sección rectangular del arreglo de filas y columnas del sensor e incluyendo el arreglo completo.

### **RAH 0x00**

Registro de Dirección de Fila Alto

Estado en reset: 0x00

Este registro mantiene el bit más significativo de la dirección de la primera fila de una sub-imagen.

<b>Número del bit</b>	<b>Nombre del bit</b>	<b>Función</b>
[7:1]	-	Reservado. Escriba cero en estos bits
0	RA[8]	Bit Más Significante del Registro de Dirección de Fila

### **RAL 0x01**

Registro de Dirección de Fila Bajo

Estado en reset: 0x00

Este registro mantiene el byte menos significativo de la dirección de la primera fila de una sub-imagen.

<b>Número del bit</b>	<b>Nombre del bit</b>	<b>Función</b>
[7:0]	RA[7:0]	Ocho bits más bajos del Registro de Dirección de Fila

### **CAL 0x02**

Registro de Dirección de Columna

Estado de reset:0x00

Este registro mantiene la dirección de la primera columna de una sub-imagen.

Número del bit	Nombre del bit	Función
[7:0]	CA[7:0]	Registro de Dirección de Columna

### REH 0x03

Registro de Dirección de Fila Final Alto

Estado de reset: 0x00

Este registro mantiene el bit más significativo de la dirección de la última fila de una sub-imagen.

Número del bit	Nombre del bit	Función
[7:1]	-	Reservado. Escriba cero en estos bits
0	REND[8]	Bit Más Significante del Registro de Dirección de Fila

### REL 0x04

Registro de Dirección de Fila Final Bajo

Estado de reset: 0x00

Este registro mantiene el byte menos significativo de la dirección de la última fila de una sub-imagen.

Número del bit	Nombre del bit	Función
[7:0]	REND[7:0]	Ocho bits más bajos del Registro de Dirección de Fila

### CEL 0x05

Registro de Dirección de Columna Final

Estado de reset: 0x00

Este registro mantiene la dirección de la última columna de una sub-imagen.

Número del bit	Nombre del bit	Función
[7:0]	CEND[7:0]	Registro de Dirección de Columna

### DTR 0x06

Registro del Tiempo de Descarga

Estado de reset: 0x00

Número del bit	Nombre del bit	Función
[7]	-	Reservado. Escriba cero en este bit
[6:0]	DT[6:0]	Establece el tiempo de descarga en períodos de reloj del oscilador

### DCR 0x07

Registro de la Corriente de Descarga

Estado de reset: 0x00

Número del bit	Nombre del bit	Función
[7:5]	-	Reservado. Escriba cero en estos bits
[4:0]	DC[4:0]	Establece la rata de la corriente de descaga

### CTRLA 0x08

Registro de control A

Estado de Reset: 0x00

Escriba en este registro para inicializar la conversión de la imagen. Lea este registro para leer el conversor A/D.

Número del bit	Nombre del bit	Función
7	-	Reservado. Escriba cero en este bit
6	-	Reservado. Escriba cero en este bit
5	-	Reservado. Escriba cero en este bit
4	-	Reservado. Escriba cero en este bit
3	AINSEL	0= Selecciona el arreglo para la conversión 1= Selecciona el Pin de Entrada Análoga Externa y comienza la conversión
2	GETSUB	Inicia el auto-incremento para sub-imagen
1	GETIMG	Inicia el auto-incremento para la imagen completa
0	GETROW	Inicia el auto-incremento para la fila seleccionada

Los bits GETSUB, GETIMG y GETROW seleccionan un modo de acceso de la imagen e inicia una secuencia de conversión A/D. El bit AINSEL selecciona la fuente de entrada a el conversor A/D.

Coloque en uno el bit GETSUB para comenzar la captura de una sub-imagen rectangular definida por los registros RAH, RAL, CAL, REL, REH y CEL. En modo CPU o SPI, la sub-imagen puede ser un rectángulo arbitrario desde un simple píxel hasta un vector completo. En USB, el número de columnas en la sub-imagen debe ser un múltiplo entero de 64. Coloque en uno el bit GETIMG para iniciar la captura de la imagen completa empezando desde la fila cero y la columna cero hasta la fila 299 y la columna 255, indiferentemente de los registros RAH, RAL, CAL, REL, REH y CEL.

Coloque en uno el bit GETROW para inicializar la captura de una fila especificada por los registros RAH y RAL.

Escribiendo un uno a cualquiera de los res bits GETSUB, GETIMG o GETROW la operación de acceso de la imagen activa y vuelve a comenzar

en el principio de la sub-imagen, imagen o fila. Coloque en uno por lo menos uno de los tres bits. Si más de uno de estos tres bits están en uno, la conversión no comenzara.

Colocando en uno el bit GETROW causa que ocurran los siguientes eventos:

- La dirección de la fila es cargada con los contenidos de los registros RAH y RAL.
- La dirección de la columna se lleva a cero.
- La captura de la fila comienza automáticamente.
- La conversión A/D del primer píxel comienza automáticamente.

Colocando en uno el bit GETIMG causa que ocurran los siguientes eventos:

- La dirección de la fila se lleva a cero.
- La dirección de la columna se lleva a cero.
- La captura de la fila comienza automáticamente.
- La conversión A/D del primer píxel comienza automáticamente.

Colocando en uno el bit GETSUB causa que ocurran los siguientes eventos:

- La dirección de la fila es cargada con los contenidos de los registros RAH y RAL.
- La dirección de la columna es cargada con el contenido del registro CAL.
- La captura de la fila comienza automáticamente.
- La conversión A/D del primer píxel comienza automáticamente.

Coloque en uno el bit AINSEL con uno de los otros tres bits para comenzar la conversión A/D de el voltaje en el pin AIN en vez de el arreglo de filas y columnas del sensor.

Escribir cero al registro CTRLA no tiene otro efecto más que limpiar AINSEL; la operación de acceso de la imagen que se esta llevando acabo no es abandonada.

Lea el registro CTRLA por el resultado de la conversión A/D. El Flanco de subida de RD- causa que la siguiente conversión A/D comience.

Descripción del Parámetro	Máximo	Unidades
Flanco de subida de WR- para el primer dato válido	28+ DT[6:0]	Ciclos de reloj
Flanco de subida de RD- par el siguiente dato valido	6	Ciclos de reloj

Nota: DT[6:0] se refiere a el contenido del Registro de Tiempo de Descarga.

### CTRLB 0x09

Registro de control B

Estado de reset: CTRLB[7:6]= Estado del MODE[1:0].

CTRLB[5]= 1.

CTRLB[4:0]= 0, El chip esta deshabilitado y el oscilador detenido.

Bit	Nombre del Bit	Función
[7:6]	MODE[1:0]	Refleja el estado de los pines MODE[1:0]. Estos bits son de solo lectura. Escribir en estos bits no tiene efecto. Escriba cero en estos bits.
5	RDY	Este es un bit de solo lectura que nos indica el estado del conversor A/D. 0= La conversión A/D está en progreso 1= El conversor A/D está inactivo. Escribir en estos bits no tiene efecto. Escriba cero en estos bits.
4	-	Reservado. Escriba cero en este bit.

3	AFDEN	Coloque en uno este bit para habilitar el circuito de detección automática del dedo. En modo USB la detección automática del dedo generara una interrupción o punto de comprobación 2. En modo CPU o SPI, la detección automática del dedo generara una interrupción detectada por el dedo en el pin INTR- que es controlado por el Registro de Control de Interrupciones (ICR). En cualquier modo, la detección automática del dedo puede ser combinada con ENABLE= 0 para ahorrar energía.
2	AUTOINCEN	0= La dirección de la fila y de la columna no se incrementan automáticamente después de ser leído el conversor A/D.
1	XTALSEL	En modo USB este bit no tiene función. En modo CPU y SPI este bit selecciona la fuente de reloj para la lógica digital. 0= Selecciona el multi-vibrador interno. 1= Selecciona el pin XTAL1
0	ENABLE	0= Coloca el arreglo del sensor, bloque digital y análogo en estado de bajo consumo (El reloj de 12 MHz es detenido y el conversor A/D es apagado). 1= Habilita el arreglo del sensor, bloque digital y análogo (El reloj de 12 MHz y el conversor A/D están habilitados).

### **CTRLC 0x0A**

Registro de control C. Este registro controla el comportamiento de los pines P0 y P1 que son puertos de salida general.

Estado de reset: 0x00

Bit	Nombre del bit	Función
[7:5]	PT1[2:0]	<p>Programa la velocidad de cambio del pin P1.</p> <p>Si PT1[2:0]= 000 entonces el pin P1 sigue el estado del bit P1. Por otra parte PT1[2:0] selecciona el divisor del reloj para generar una onda cuadrada en el pin P1.</p> <p>000= El pin P1 sigue el estado del bit P1</p> <p>001= División del reloj por <math>2^{24}</math></p> <p>010= División del reloj por <math>2^{23}</math></p> <p>011= División del reloj por <math>2^{22}</math></p> <p>100= División del reloj por <math>2^{21}</math></p> <p>101= Reservado</p> <p>110= Reservado</p> <p>111= Reservado</p>
[4:2]	PT0[2:0]	<p>Programa la velocidad de cambio del pin P0.</p> <p>Si PT0[2:0]= 000 entonces el pin P0 sigue el estado del bit P0. Por otra parte PT0[2:0] selecciona el divisor del reloj para generar una onda cuadrada en el pin P0.</p> <p>000= El pin P0 sigue el estado del bit P0</p> <p>001= División del reloj por <math>2^{24}</math></p> <p>010= División del reloj por <math>2^{23}</math></p> <p>011= División del reloj por <math>2^{22}</math></p> <p>100= División del reloj por <math>2^{21}</math></p> <p>101= Reservado</p> <p>110= Reservado</p> <p>111= Reservado</p>
1	P1	<p>Puerto de salida de propósito general. Cuando los bits de PT1[2:0] están en cero este bit controla el pin P1.</p> <p>0= Pin P1 está en bajo</p> <p>1= Pin P1 está en alto</p>

0	P0	Puerto de salida de propósito general. Cuando los bits de PT0[2:0] están en cero este bit controla el pin P0. 0= Pin P0 está en bajo 1= Pin P0 está en alto
---	----	---

### SRA 0x0B

Registro de estado A. Es un registro de lectura solamente. Este registro sigue el estado del CTRLA.

Estado de reset: 0x00

Bit	Nombre del Bit	Función
7	-	Reservado. Al leerlo se obtiene un cero
6	-	Reservado. Al leerlo se obtiene un cero
5	-	Reservado. Al leerlo se obtiene un cero
4	-	Reservado. Al leerlo se obtiene un cero
3	AINSEL	Este bit es puesto en uno o en cero cuando el bit AINSEL (Bit 3 del registro de control CTRLA) es puesto en uno o en cero por medio de software.
2	GETSUB	Este bit es puesto en uno cuando el bit GETSUB (Bit 2 del registro de control CTRLA) es puesto en uno por medio de software. Este bit es puesto en cero después de que el último byte es leído.
1	GETIMG	Este bit es puesto en uno cuando el bit GETIMG (Bit 1 del registro de control CTRLA) es puesto en uno por medio de software. Este bit es puesto en cero después de que el último byte es leído.
0	GETROW	Este bit es puesto en uno cuando el bit GETROW (Bit 0 del registro de control CTRLA) es puesto en uno por medio de software. Este bit es puesto en cero después de que el último byte es leído.

### PGC 0x0C

Registro programable de control de ganancia.

Estado de reset: 0x00.

Bit	Nombre del Bit	Función
[7:4]	-	Reservado. Escriba cero en este bit. Se obtiene un cero cuando es leído.
[3:0]	PG[3:0]	Ajusta la ganancia del amplificador. 0000= Para ser determinada(estado por defecto) 0001= Para ser determinada 0010= Para ser determinada 0011= Para ser determinada 0100= Para ser determinada 0101= Para ser determinada 0110= Para ser determinada 0111= Para ser determinada 1000= Para ser determinada 1001= Para ser determinada 1010= Para ser determinada 1011= Para ser determinada 1100= Para ser determinada 1101= Para ser determinada 1110= Para ser determinada 1111= Para ser determinada

### ICR 0x0D

Registro de control de interrupciones.

Estado de reset: 0x00.

Este registro controla el comportamiento de las dos fuentes de interrupciones del sensor de huella dactilar. La petición de interrupción 0

corresponde a la interrupción de detección del dedo. La petición de interrupción 1 corresponde al pin de interrupción externa EXTINT.

Coloque en uno los bits IE[1:0] para habilitar la interrupción correspondiente. Deshabilitar una interrupción previene al evento de interrupción de causar en el chip la puesta en uno de INTR- o el envío de un paquete al punto de comprobación 2 en USB. Sin embargo, el evento de interrupción no esta prevenido de colocar en uno el correspondiente bit en el registro ISR.

Establecer en uno los bits IM[1:0] para prevenir un evento de interrupción una vez establecido el correspondiente bit en el registro ISR. Colocar uno o cero en los bits del registro IM[1:0] no colocará ceros en los bits IR[1:0] del registro ISR.

Colocar los bits IT[1:0] para programar las interrupciones como cambios de flanco o de nivel.

IP[1:0] selecciona la polaridad de la fuente de interrupción. Para detectar los estados de puesta abajo o puesta arriba del dedo sobre el sensor con el circuito de autodeteccion del dedo, se coloca en uno el bit IP0 para detectar puesta abajo del dedo (señal alta). Después de ocurrir la interrupción de puesta abajo del dedo, colocar un cero en el bit IP0 para detectar la interrupción de puesta arriba del dedo (baja señal). De manera similar, IP1 puede ser programada para seleccionar al polaridad de la señal EXTINT.

Bit	Nombre del Bit	Función
7	IP1	0= La polaridad de la interrupción EXTINT corresponde al flanco de bajada o activa en el nivel bajo. 1= La polaridad de la interrupción EXTINT corresponde al flanco de subida o activa en el nivel alto.
6	IP0	0= La polaridad de la interrupción de detección

		de dedo corresponde al flanco de bajada o activa en el nivel bajo. 1= La polaridad de la interrupción de detección de dedo corresponde al flanco de subida o activa en el nivel alto.
5	IT1	0= La interrupción EXTINT esta dada por la detección de flanco. 1= La interrupción EXTINT esta dada por la detección de nivel.
4	IT0	0= La interrupción de detección de dedo esta dada por la detección de flanco. 1= La interrupción de detección de dedo esta dada por la detección de nivel.
3	IM1	0= La Interrupción EXTINT sin mascara. 1= La interrupción EXTINT con mascara.
2	IM0	0= La interrupción de detección de dedo sin mascara. 1= La interrupción de detección de dedo con mascara.
1	IE1	0= La interrupción EXTINT deshabilitada. 1= La interrupción EXTINT habilitada.
0	IE0	0= La interrupción de detección de dedo deshabilitada. 1= La interrupción de detección de dedo habilitada.

### **ISR 0x0E**

Registro de estado de Interrupción.

Estado de reset:  $ISR[7:2] = 0$ .

$ISR[1:0] = X$ . Estado indeterminado después de reset.

Leer este registro para determinar la(s) fuente(s) de interrupción.

Escribir uno en los bits IR[1:0] para enterarse y limpiar el bit correspondiente a la interrupción.

Los bits IS[1:0] refleja el estado del sensor en la detección del dedo y del pin EXTINT, sin importar que el bit haya sido puesto en uno en el registro ICR. Cuando no ocurre una detección de flanco o de nivel en la detección del dedo, el bit IS0 estará en cero constantemente. Sin embargo, el bit IS0 no permanecerá en alto de manera constante cuando se detecte la presencia del dedo sobre el sensor; el bit puede estar cambiando de estado alto a bajo repetidamente.

Bit	Nombre del Bit	Función
[7:4]	-	Reservado. Escriba 0 en estos bits. Retorna 0 cuando es leído.
3	IS1	Refleja el estado del pin EXTINT. Escribir 0 en este bit.
2	IS0	Refleja el estado del circuito de detección de dedo. Escribir 0 en este bit.
1	IR1	Solicitud de interrupción EXTINT pendiente.
0	IR0	Solicitud de interrupción de detección de dedo pendiente.

### **THR 0x0F**

Registro umbral.

Estado de Reset 0x00

Este registro controla el umbral al cual un dedo es detectado por el circuito de detección de dedo automático.

Bit	Nombre del Bit	Función
7	-	Reservado. Escribir 0 en este bit.
[6:4]	THV [2:0]	Umbral para el nivel de voltaje.
[3:0]	THC [3:0]	División del tamaño del capacitor.

### **CIDH 0x10**

Registro alto de identificación del chip. Este registro contiene el byte mas alto de la identificación del chip.

Bit	Nombre del Bit	Función
[7:0]	CIDH [7:0]	Retorna 0x20 cuando es leído.

### **CIDL 0x11**

Registro bajo de identificación del chip. Este registro contiene el byte mas bajo de la identificación del chip.

Bit	Nombre del Bit	Función
[7:0]	CIDL	Retorna un valor dependiendo de la revisión del chip.

### **TST 0x12**

Registro de modo test. Reservado para solo uso de la compañía.

Estado de reset 0x00.

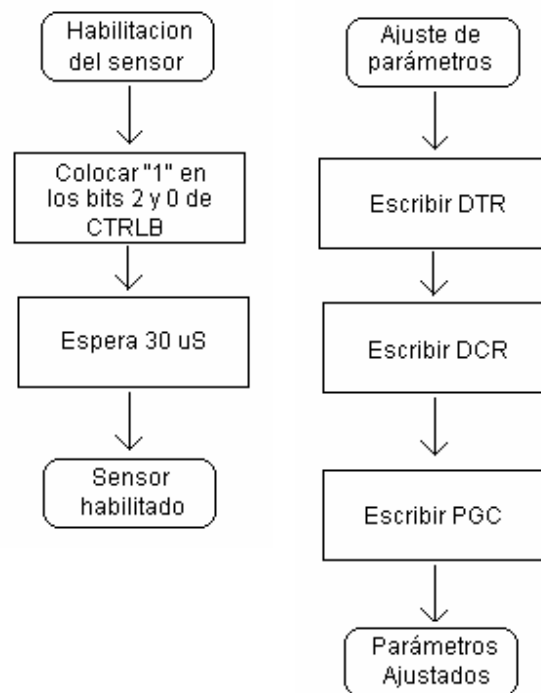
Bit	Nombre del Bit	Función
[7:0]	TST [7:0]	Reservado. Escribir 0 en estos bits.

## ALGORITMOS PARA EL FUNCIONAMIENTO DEL SENSOR EN MODO MICROPROCESADOR

### Inicialización del sensor.

El sensor debe estar habilitado y sus parámetros ajustados antes de iniciar la captura de la imagen. En la figura se muestra un diagrama de flujo indicando como puede habilitar el sensor y ajustar los parámetros.

### Diagrama de flujo para habilitar el sensor y ajustar parámetros.



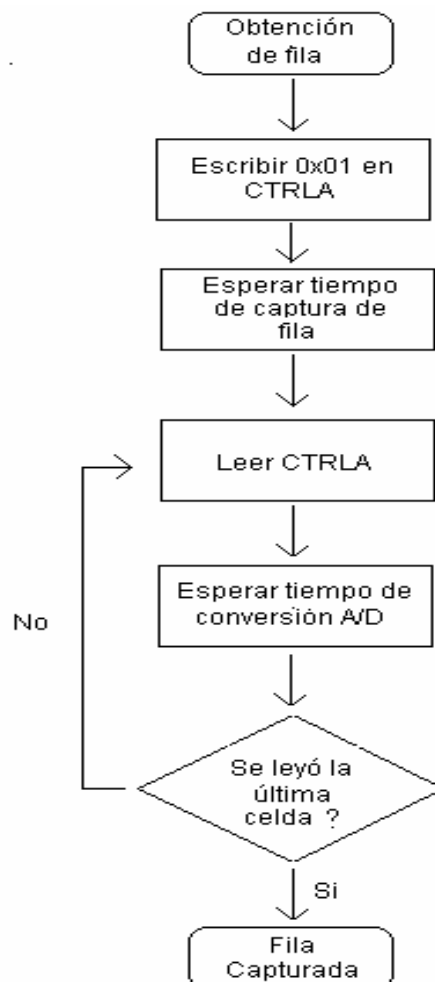
### Obtención de la imagen.

Existen 3 formas de capturar una imagen de la huella dactilar: Obtener una fila, obtener una subimagen u obtener la imagen completa.

### Modo obtención de fila.

En el modo obtención de fila, el sensor solo captura una fila, el cual es seleccionada a través de los registros RAH 0x00 (en ingles, Row address register High) y RAL 0x01 (en ingles, Row address register Low); las columnas se incrementan automáticamente desde la columna numero 0 hasta la 259. En la figura, se ilustra un algoritmo para realizar la captura de la fila.

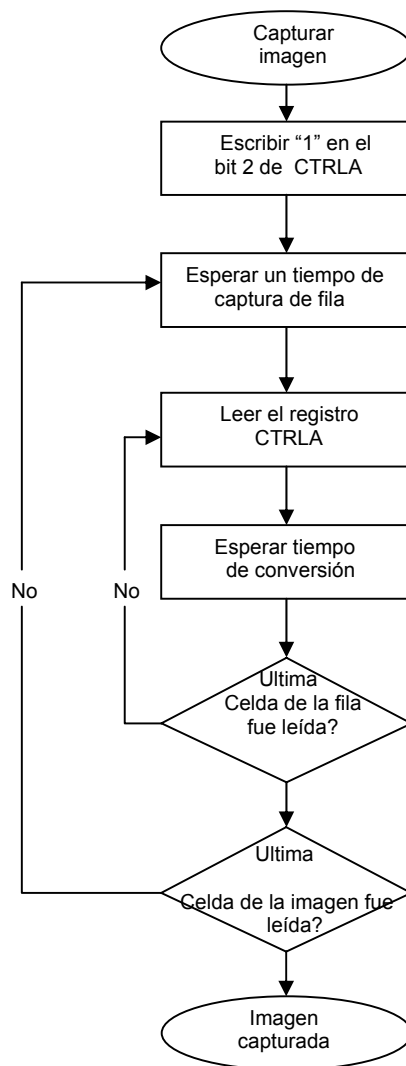
### Diagrama de flujo para capturar una fila del sensor.



### Modo obtención de imagen completa.

Finalmente en el modo obtención de imagen completa, los registros de fila y columna son automáticamente establecidos en fila cero y columna cero por el sensor; y de igual manera estos registros son incrementados automáticamente para su respectiva conversión. Este modo es el seleccionado para la adquisición de la imagen de la huella dactilar en este proyecto. En la figura, se ilustra un algoritmo para realizar la captura de la imagen completa de la huella.

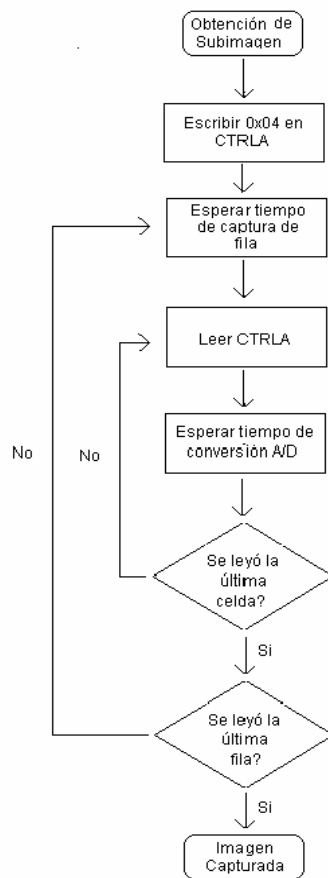
Diagrama de flujo para la captura de una imagen completa de la huella.



### Modo obtención de subimagen.

En el modo obtención de subimagen, el sensor captura sólo una región de la huella, la región es delimitada por los registros RAH 0x00 y RAL 0x01 indicando la dirección de la fila donde inicia la captura, el registro CAL 0x02 (en ingles, column address register) indicando la columna donde inicia la captura, los registros REH 0x03 (en ingles, Row address end register high) y REL 0x04 (en ingles, Row address end register low) indicando la dirección de la fila donde termina la captura y por último, el registro CEL 0x05 (Column address end register) indicando la columna donde termina la captura. En la figura, se ilustra un algoritmo para realizar la captura de una subimagen de la huella.

### Diagrama de flujo para la captura de una subimagen de una huella.



## CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS

### Valores máximos absolutos.

SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDADES
VDD	Fuente de voltaje	+ 7.0	V
Vin, Vout	Voltaje en los pines (relative a Vss)	- 0.5 a + 7.0	V
Iout	Corriente de salida por los pines I/O	8.0	mA
TSTG	Temperatura de almacenamiento	- 65 a + 150	°C

### Rango de operación.

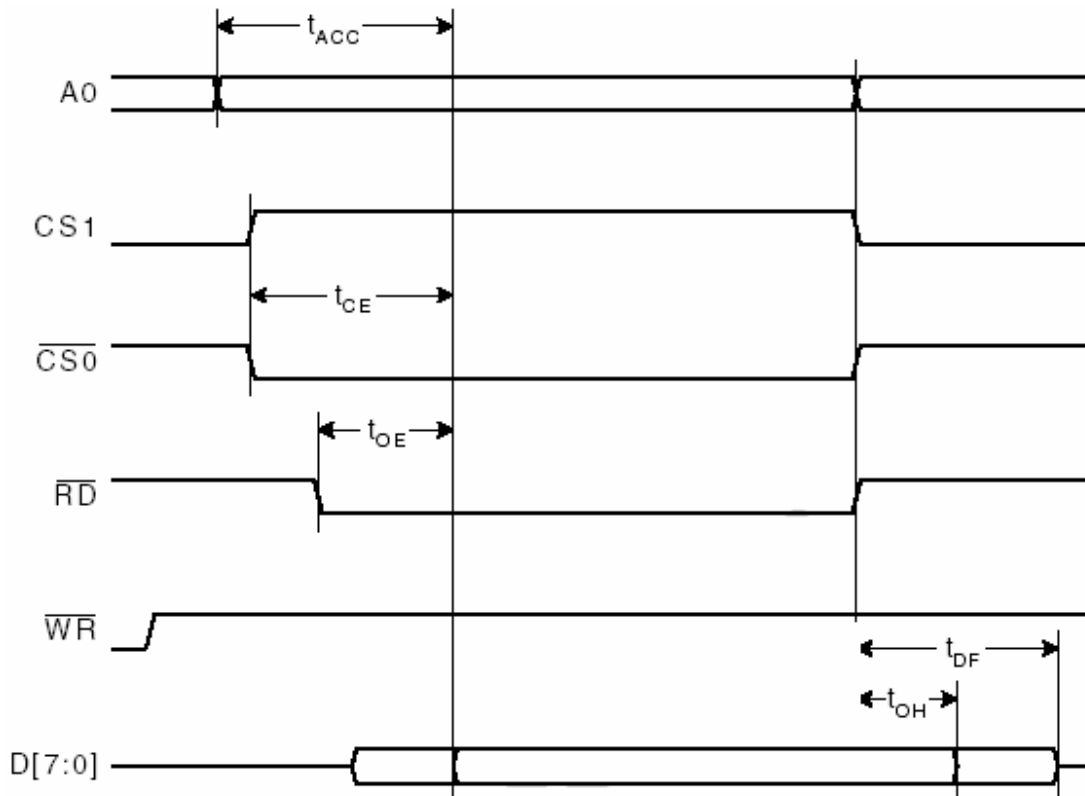
SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN	MIN.	MÁX.	UNIDADES
VDD	Fuente de voltaje	3.3	5.5	V
VDD	Fuente de voltaje (USB)	3.3	3.6	V
TA	Temperatura ambiente	0°C	60°C	°C

### Características DC, (VDD=5V).

SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN	CONDICIONES DE PRUEBA	MÍN.	MÁX.	UNIDAD
VIL	Voltaje entrada bajo	VDD = 4.5	-0.5	0.8	V
VIH	Voltaje entrada alto	-	2	VDD	V
VOL	Voltaje salida bajo	VDD = mín, IOL = 8mA	-	0.4	V
VOH	Voltaje salida alto	VDD = mín, IOH = - 4mA	2.4	-	V
ILI	Corriente fuga entrada	VDD = máx, VIN = VSS a VDD	-5	5	uA
ILO	Corriente fuga salida	VDD = 3.6V, VOUT = VSS a VDD	-5	5	uA

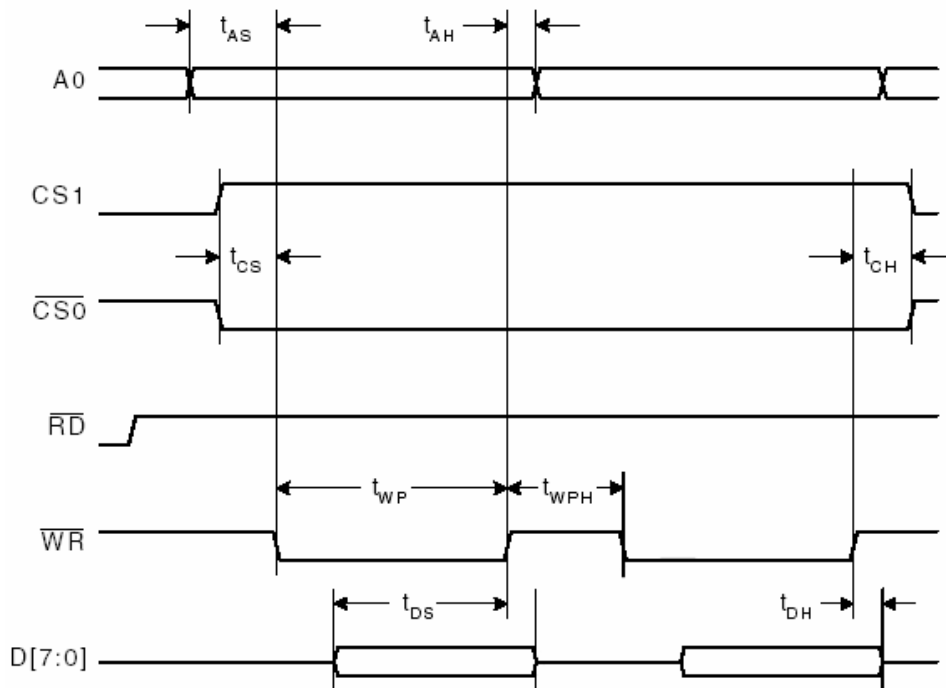
**CARACTERISTICAS AC  
CICLO DE LECTURA.**

SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN	MÍN.	MÁX.	UNIDADES
$t_{ACC}$	Retardo dirección a salida de datos	5	35	nS
$t_{CE}$	Retardo Chip select a salida de datos	5	35	nS
$t_{OE}$	Retardo habilitación de lectura a salida de datos	5	35	nS
$t_{OH}$	Tiempo de retención	5	-	nS
$t_{DF}$	Tiempo de paso a alta impedancia	-	10	nS



### CICLO DE ESCRITURA.

SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN	MÍN.	MÁX.	UNID ADES
$t_{AS}$	Ajuste de dirección hasta WR=0	0	-	nS
$t_{CS}$	Ajuste de CS0 y CS1 hasta WR=0	0	-	nS
$t_{AH}$	Tiempo de retención de dirección desde WR=1	5	-	nS
$t_{CH}$	Tiempo de retención de CS0 y CS1 desde WR=1	0	-	nS
$t_{WP}$	Ancho de pulso de WR=0	10	-	nS
$t_{WPH}$	Ancho de pulso de WR=1	10	-	nS
$t_{DS}$	Tiempo de dato mientras WR=0	8	-	nS
$t_{DH}$	Tiempo de sostenimiento de dato hasta WR=1	0	-	nS



ANEXO C

