

**ANÁLISIS DE DEFECTOS ESTRUCTURALES EN TEXTILES MEDIANTE PROCESAMIENTO  
DIGITAL DE IMÁGENES**

**LEONEL MAURICIO OTERO NEIRA**

**WILLIAM DARÍO VALENZUELA SIERRA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECANICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES  
BUCARAMANGA  
2009**

**ANÁLISIS DE DEFECTOS ESTRUCTURALES EN TEXTILES MEDIANTE PROCESAMIENTO  
DIGITAL DE IMÁGENES**

**WILLIAM DARÍO VALENZUELA SIERRA  
LEONEL MAURICIO OTERO NEIRA**

**Este proyecto se presenta como requisito para optar al título de  
Ingeniero Electrónico**

**Director**

**ING. LEANDRO F. ARIZA JIMÉNEZ**

**Codirector**

**PH.D OSCAR GUALDRÓN GONZÁLEZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECANICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES  
BUCARAMANGA  
2009**

## **AGRADECIMIENTOS**

En primera instancia quisiéramos agradecer a nuestros padres su apoyo incondicional en todos los aspectos de nuestras vidas, para alcanzar juntos todas nuestras metas.

A nuestra Universidad Industrial de Santander, que atreves de nuestros profesores y todas las personas que aportaron a nuestra formación hizo realidad este continuo proceso de crecimiento y de aprendizaje a nivel profesional y personal, que nos motivaron a seguir investigando y a adquirir conocimientos.

A nuestros compañeros y amigos que hicieron parte en esta etapa de la vida, que con sus discusiones, ideas, y su colaboración hicieron posible la culminación de este proceso de formación académica.

Les agradecemos a todos los que de alguna forma u otra hicieron parte en la elaboración del trabajo de grado, que con sus aportes y conocimientos hicieron posible la ejecución y culminación de este. Especialmente al grupo de investigación, a nuestros director y codirector de trabajo de grado, al grupo TecnoParque del Sena así como a los empresarios de confecciones y de textiles de la ciudad por sus invaluable aportes y disposición para colaborar.

## DEDICATORIA

Dedico este proyecto a mi familia y amigos que me brindaron con su apoyo incondicional ayudándome a ampliar mis conocimientos y estar más cerca de mis metas. Esto fue posible primero que nadie con la ayuda de Jehová, por otorgarme la sabiduría, paciencia, perseverancia y la salud para alcanzar esta meta. Gracias a los profesores que estuvieron durante mi proceso de formación profesional y a mis compañeros por sus intercambios y exposiciones de ideas.

***Leonel Mauricio.***

Quiero dedicar este trabajo a mis amigos entre los que están mis padres, compañeros y profesores que siempre están dispuestos a colaborar, y a aportar ideas, así como a brindar apoyo y motivación, gracias a ellos he podido conseguir siempre la manera de superarme y acercarme a cumplir mis metas.

***William Darío***

## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	1
1 FUNDAMENTOS DE UN SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL.....	3
1.1 PROCESO DE FORMACIÓN DE IMÁGENES .....	3
1.2 ASPECTOS DE UN SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL.....	5
1.2.1 La iluminación.....	5
1.2.2 Los sensores .....	5
1.2.3 Tarjeta de captura o adquisición de imágenes.....	6
1.2.4 Algoritmos de análisis de imagen .....	6
1.2.5 Computador o módulo de proceso.....	6
1.2.6 Sistema de respuesta .....	6
1.3 ILUMINACIÓN.....	7
2. OBJETO DE ESTUDIO Y SUS CONDICIONES DE REGISTRO.....	9
2.1 CARACTERÍSTICAS Y PROCESOS DE FABRICACIÓN DE TEXTILES.....	9
2.1.1 Proceso de Producción Textil .....	9
2.1.1.1 Procesado de la Fibra.....	10
2.1.1.2 Hilado .....	10
2.1.1.3 Tejido.....	11
2.1.1.4 Procesos de Acabado .....	12
2.1.2 Defectos Estructurales en Textiles.....	16
2.1.2.1 Tipos de defectos estructurales.....	17
2.2 ESTABLECIMIENTO DE CONDICIONES DE REGISTRO PARA EL ANÁLISIS DE DEFECTOS EN TEXTILES.....	18
2.2.1 Iluminación.....	19
2.2.2 Tamaño mínimo de los defectos .....	19
2.2.3 Velocidad de captura .....	20
2.2.4 Tipos de defectos.....	20
2.3 DISEÑO DEL PROTOTIPO PARA LA DETECCIÓN DE DEFECTOS .....	22
2.3.1 Iluminación Back Light .....	23

2.3.2 Iluminación Dark field .....	24
2.3.3 Cámara Digital .....	24
2.3.4 Motor .....	25
2.4 COMPONENTES DE LA ESTRUCTURA DE LA MRS .....	26
3. ANÁLISIS MEDIANTE PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES.....	30
3.1 DETECCIÓN MEDIANTE PROCESAMIENTO ESPACIAL .....	31
3.2 DETECCIÓN MEDIANTE FILTRADO NO LINEAL .....	36
3.3 DETECCIÓN MEDIANTE EL USO DE LA TRANSFORMADA DE FOURIER.....	41
CONCLUSIONES.....	44
RECOMENDACIONES.....	47
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	48
ANEXOS .....	50
Anexo A. FUNDAMENTOS DE PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES.....	51
A.1 REPRESENTACIÓN MATEMÁTICA DE UNA IMAGEN.....	51
A.2 PROCESAMIENTO ESPACIAL .....	52
A.2.1 Mejoramiento del Contraste y Umbralización .....	54
A.2.2 Procesamiento a Nivel del Histograma.....	55
A.2.2.1 Ecuación del histograma:.....	55
A.2.3 Filtrado Espacial Lineal.....	58
A.2.4 Filtrado Espacial No Lineal .....	60
A.3 PROCESAMIENTO EN EL DOMINIO DE LA FRECUENCIA .....	60
A.3.1 Filtrado En El Dominio De La Frecuencia .....	63
ANEXO B. COMPARACIÓN ENTRE LOS ANÁLISIS BASADOS EN CADA TIPO DE FILTRADO .....	65

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Analogía Cámara Ojo.....	4
Figura 2. Esquema de un Sistema de Control basado en PDI .....	7
Figura 3. Estructura del Tejido.....	12
Figura 4. <i>Vista Isométrica del Modulo de Registro de Superficie (MRS)</i> .....	22
Figura 5. Descripción Física De Fluorescentes Para Iluminación Back light .....	23
Figura 6. Descripción Física de Reflectores para Iluminación Dark field.....	24
Figura 7. Cámara Empleada en el Proyecto .....	25
Figura 8. Descripción Física del Motor .....	25
Figura 9. Partes Y Componentes del Modulo de Registro de Superficie (MRS) Para La Detección De Defectos .....	26
Figura 10. (a) Vista Superior, (b) Vista Isométrica, (c) Vista Frontal, (d) Vista Lateral del Modulo de Registro de Superficie (MRS). .....	28
Figura 11. Etapas para el Análisis de Imágenes a partir de los Diferentes Algoritmos .....	30
Figura 12. Diagrama Para Detección Mediante Procesamiento Espacial .....	31
Figura 13. Esquema De Detección Mediante Filtrado Estadístico .....	36
Figura 14. Resumen del Método Basado en Filtrado No Lineal.....	37
Figura 15. Diagrama De Detección Mediante El Uso De La Transformada De Fourier .....	41
Figura 16 . Resumen De Detección Mediante El Uso De La Transformada De Fourier .....	42
Figura 17. Resultados De Los Diferentes Análisis Basados En Cada Filtrado. ....	43
Figura 18. Representación De Una Imagen Por Medio De Una Matriz .....	51
Figura 19. Representación De Una Imagen A Color .....	52
Figura 20. Una Vecindad De 3x3 Alrededor De Un Punto X, Y Dentro De Una Imagen En El Espacio.....	53
Figura 21. (a) Función de Contraste, (b) Función de Umbralización. ....	54
Figura 22. (a) imagen original, (b) su correspondiente histograma. (c) imagen con histograma ecualizado (d) su correspondiente histograma. ....	57
Figura 23. Aplicación De Un Filtrado Espacial Lineal Mediante Una Máscara De 3x3 .....	59

Figura 24. (a) imagen original, (b) espectro en Fourier , (c) espectro centrado, (d) espectro ajustado para su visualización mediante logaritmo .....	62
Figura 25. Diagrama De Bloques Básico Para El Filtrado En El Dominio De La Frecuencia.....	63

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Técnicas de Iluminación.....	8
Tabla 2. Nombre y Característica de las Telas.....	13
Tabla 3. Causas de Marras en Telas Planas .....	18
Tabla 4. Categorías de Defectos Estructurales .....	21
Tabla 5. Referencia, Nombre y Descripción de los Componentes de la estructura de la MRS de la Figura 9 .....	27
Tabla 6. Resumen del método basado en filtrado espacial utilizando segmentación por morfología.....	32
Tabla 7. Resultados Utilizando método Basado En Filtrado Espacial Y Segmentación por Morfología.....	34
Tabla 8. Resultados Utilizando el Método Basado en Filtrado No Lineal.....	38

## **LISTA DE ANEXOS**

**ANEXO A. FUNDAMENTOS DE PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES 51**

**ANEXO B. COMPARACIÓN DE LAS DIFERENTES METODOLOGÍAS DE ANÁLISIS 65**

## RESUMEN

**Título:** Análisis De Defectos Estructurales En Textiles Mediante Procesamiento Digital De Imágenes

**Autores:** Otero Neira, Leonel Mauricio y Valenzuela Sierra, William Darío.

**Palabras clave:** Inspección visual automática, detección de defectos en tela, la inspección de textiles, procesamiento digital de imágenes. \*

El desarrollo de un sistema automatizado de control de calidad textil presenta beneficios económicos, aumento de la calidad y otros beneficios asociados, la implementación de un sistema de inspección de tejidos totalmente automatizado que sea robusto y eficiente, la detección en textiles reales es especialmente complicada dado el gran número de clases de defectos que existen, y el especial cuidado que se debe tener a la hora de capturar las imágenes a procesar, además los defectos que se caracterizan por una imprecisa y ambigua descripción. Un gran número de técnicas han sido desarrolladas con el objetivo de analizar imágenes de textiles a fin de detectar posibles defectos y el propósito de este trabajo es utilizar un conjunto de esas técnicas para analizar mediante procesamiento digital de imágenes superficies de telas a fin de detectar errores en su estructura.

Este trabajo presenta una investigación acerca de la manera de analizar imágenes a fin de ser la primera etapa en el desarrollo de un sistema de inspección automatizado de textiles. Se indica la manera de hacer el registro, se incluye un esquema de un sistema que permite capturar imágenes, se analiza mediante tres diferentes tipos de filtrado así como se presentan y comparan los resultados obtenidos.

Dada la naturaleza de los defectos en la estructura de los textiles las técnicas usadas representan formas de filtrar anomalías en las superficies; bien sea por detección de cambios, por sus características estadísticas o analizando patrones repetitivos. Para determinar que técnica de filtrado de estas presenta un mejor desempeño se utiliza la misma secuencia de pasos anteriores y posteriores a la etapa de filtrado, así se puede llegar a una conclusión sobre las formas de filtrado.

---

\* Proyecto de grado

\*\* Facultad de Ingeniería Físicomecánicas, Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones. Director. Ing. ARIZA, Leandro F.

## **ABSTRACT**

**Title:** Analysis Of Structural Defects On Textiles By Digital Image Processing

**Authors:** Otero Neira, Leonel Mauricio and Valenzuela Sierra, William Darío.

**Keywords:** Automated visual inspection, fabric defect detection, textile inspection, digital image processing.

The development of an automated fabric defect detection system presents not only economical benefits when increment of quality and associated benefits is considered. The development of a fully automated web inspection system requires robustness and efficiency. The inspection of real fabric defects is particularly challenging due to the large number of fabric defect classes existing further more, defects are characterized by their vagueness and ambiguity and also the special consideration witch have to be taken in order to capture the images to process. Numerous techniques have been developed to analyze fabric in order to detect feasible defects. The purpose of this report is to use a number of those techniques to analyze fabric surfaces by digital image processing in order to detect feasible defects in their structure.

This report presents a research about the way to analyze digital images with the aim of be the first step in the development of an automated fabric defect detection system. The manner to make registration of the images is shown, a diagram of system witch permits the capture of images is included, by three different type of filtering the images of textile surfaces are analyzed and the results is presented.

Based on the nature of fabric surfaces, the proposed approaches represent different ways to filter anomalies on the surface, either by detecting changes, by statistical characteristics or by analyzing repetitive patterns. With the intention of determinate witch of those filtering techniques present a better performance the same previous and following steps to the filtering are used, then a conclusion about their performance and adaptation can be drawn.

---

\* Proyecto de grado Degree project

\*\* Faculty of Fisicomechanical Engineering, School of Electrical Electronics and Telecommunications Engineerings, Director. Ing ARIZA, Leandro F.

## INTRODUCCIÓN

La competitividad de las industrias textiles y de confecciones tiene gran importancia a nivel local. Por consiguiente, todo aquello que la mejore significa un progreso para la región. Uno de los aspectos donde se debe hacer énfasis en mejorar es el control de la calidad de los textiles debido a que es uno de los procedimientos a los que estas empresas dedican mayor esfuerzo, teniendo en cuenta que la fabricación de prendas con telas defectuosas significan una gran pérdida, el procedimiento de detección de defectos estructurales demanda gran cantidad de tiempo, experiencia por parte de la persona que lo realiza y aún así el porcentaje de detección no se acerca al ideal. Partiendo del hecho de que el procesamiento digital de imágenes es un campo en continua y rápida expansión dentro del cual cada vez se fortalecen más las bases y procedimientos, mientras se encuentran nuevos campos de acción.

Los sistemas de control de calidad son parte fundamental de la industria moderna, y la industria textil no es diferente a las demás industrias en este sentido. Sin embargo, en algunos casos tales controles dependen exclusivamente del criterio humano. En efecto, en la industria textil es común que los controles correspondan a inspecciones visuales que realizan los operarios. Si bien, es posible que se trate de personal que cuenta con una gran experticia, de todas formas se sigue llevando a cabo un control subjetivo. Ahora bien, el desarrollo de sistemas automatizados de inspección visual basados en procesamiento digital de imágenes es la respuesta ante las deficiencias que presenta la inspección realizada por personal.

La detección de fallas en los textiles puede ser considerada un problema de segmentación de imágenes digitales dado que las fallas más comunes en la fabricación de textiles son de tipo estructural y su detección se basa en determinar cuando las características estructurales de un tejido

carecen de homogeneidad como se tienen idealmente para el tejido original. La segmentación de texturas se ha estudiado utilizando gran cantidad de enfoques y cada uno de estos enfoques ha demostrado funcionar en lo que a la detección de los defectos se refiere.

Por otra parte, trabajos anteriores se han limitado a demostrar teóricamente el correcto funcionamiento de algoritmos, que emplean alguno de los diferentes enfoques de detección, analizan un número limitado de imágenes y exponen de esta manera la confianza que tiene cada uno de los métodos de detección. Sin embargo, el propósito de este trabajo es retomar varios de los métodos que han demostrado su correcto funcionamiento para determinar cuál de ellos tendrá un mejor desempeño en la industria textil local.

Con base en lo dicho con antelación, está claro que se requiere una alternativa superior a la capacidad humana bajo las condiciones descritas, de tipo computacional: un algoritmo de rápida ejecución y con una eficiente detección de errores. Por consiguiente, en este trabajo se plantea el desarrollo de una metodología computacional que basada en el procesamiento digital de imágenes pueda ser aplicada a la detección de defectos estructurales en textiles en industrias a nivel local.

## **1 FUNDAMENTOS DE UN SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL**

El Procesamiento Digital de Imágenes (PDI), ha sido ampliamente utilizado en diversas disciplinas tales como Medicina, Biología, Física e Ingeniería. Mediante el PDI se puede analizar imágenes digitales con el fin de detectar y/o caracterizar el ente de la escena captada por la cámara, que permite visualizar defectos, anomalías, estructuras, texturas, detalles que son útiles e indispensables en su correspondiente área de estudio. A continuación se explicara de una manera sencilla la homologación que existe entre el sistema de visión artificial y el sistema visual humano que hacen posibles su aplicación para nuestro correspondiente campo de aplicación el análisis de defectos estructurales en textiles.

### **1.1 PROCESO DE FORMACIÓN DE IMÁGENES**

La formación de imágenes se puede comprender como un proceso en el cual una escena en tres dimensiones pasa a ser proyectada en un plano de dos dimensiones. Este proceso, que tiene lugar de manera natural en el ojo, es imitado por las cámaras. Esta homologación, de un sistema de visión natural mediante dispositivos ópticos y electrónicos, se conoce como visión artificial. Se debe decir que aunque existen aspectos similares, como se muestra en la figura 1, en cuanto a la estructura y funcionamiento del órgano de la visión humana y de la cámara fotográfica el sistema humano aún sigue superando a la cámara en muchos aspectos.

El sistema de visión humano es bastante complejo, básicamente consta de la pupila que es la abertura por donde ingresa la luz, la cual contiene la información para la creación de la imagen. Análogamente un sistema de visión artificial consta de una abertura, el diafragma, que deja entrar la luz a la cámara; un sistema óptico que está formado por un conjunto de lentes

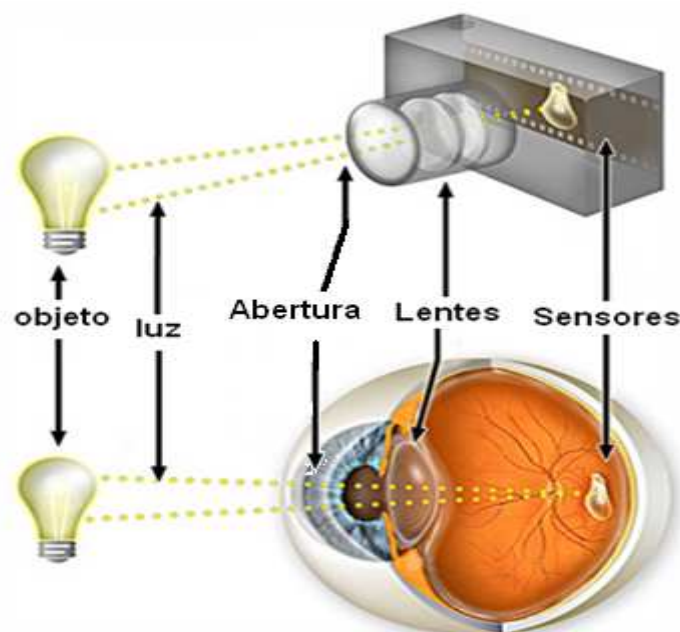
y un sistema de sensores foto-detectores, que convierten la información óptica de la imagen en señales eléctricas.

El objeto es la parte de la escena que es de interés, es lo que se enfoca y lo que se desea capturar para su posterior análisis.

Aberturas o diámetro de la pupila, equiparado con el diafragma de la cámara, permite funcionar en un rango mucho más amplio de intensidades de iluminación que la cámara.

Los lentes permiten enfocar un determinado objeto de la escena. El cristalino es equivalente al lente de la cámara, pero a diferencia de este el cristalino se encuentra en una posición fija, con el objetivo de hacer un buen enfoque el ojo humano utiliza un grupo especial de músculos que hacen cambiar su curvatura, por su parte el enfoque en la cámara se hace moviendo los lentes hacia adelante y atrás.

Figura 1. Analogía Cámara Ojo.



Fuente: <http://www.suncoastretina.com/EyeAnatomy.htm>

## **1.2 ASPECTOS DE UN SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL**

Los elementos básicos de un sistema de visión ya sea natural o artificial representados en la figura 1 y explicados a continuación son:

### **1.2.1 La iluminación**

La iluminación es fundamental, para el caso de la visión artificial no es necesaria una iluminación en el espectro visible. Nuestro sistema de visión natural diariamente, capta la luz del ambiente para poder ver, sin embargo, en las aplicaciones de visión artificial la luz del ambiente de trabajo no es la más adecuada debido a que puede cambiar súbitamente. Por esta razón se necesita una iluminación controlada de manera que se acentúen las características de interés y se minimicen aquellas intrascendentes, esto teniendo en cuenta que para que una característica aparezca en la imagen captada, la luz debe pasar de la fuente de iluminación, reflejarse en el objeto, ser recolectada por la lente y llegar al sensor.

### **1.2.2 Los sensores**

Los sensores en el ojo se ubican en la retina, y son de dos tipos: los conos y bastones, su distribución hacen que el grado de sensibilidad en la retina no sea homogéneo mientras en la cámara fotográfica el sensor es el encargado de recoger las características del objeto bajo estudio donde este contiene los elementos fotosensibles de manera que se encuentran homogéneamente distribuidos. La capa fotosensible, en el ojo humano, es curva, lo que compensa la curvatura del lente y permite un enfoque más rápido y eficaz.

### **1.2.3 Tarjeta de captura o adquisición de imágenes**

Tarjeta de captura o adquisición de imágenes es la interfaz entre el sensor y el computador o módulo de proceso que permite al mismo disponer de la información capturada por el sensor de imagen.

### **1.2.4 Algoritmos de análisis de imagen**

Algoritmos de análisis de imagen es la parte inteligente del sistema. Su misión consiste en aplicar las transformaciones necesarias y extracciones de información de las imágenes capturadas, con el fin de obtener los resultados para los que haya sido diseñado.

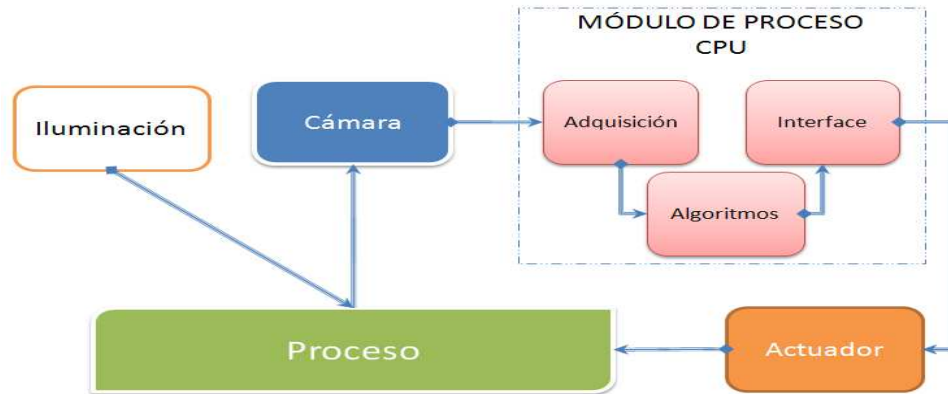
### **1.2.5 Computador o módulo de proceso**

Computador o módulo de proceso es el sistema que analiza las imágenes recibidas por el sensor para extraer la información de interés en cada uno de los casos implementando y ejecutando los algoritmos diseñados para la obtención de los objetivos.

### **1.2.6 Sistema de respuesta**

Sistema de respuesta con la información extraída los sistemas de visión artificial pueden tomar decisiones que afecten al sistema productivo, incluso puede ser en tiempo real, esto con el fin de mejorar la calidad global de producción.

Figura 2. Esquema de un Sistema de Control basado en PDI



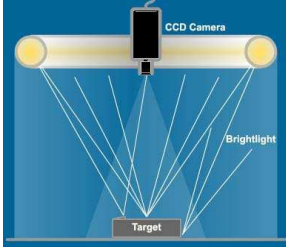
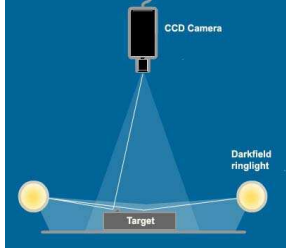
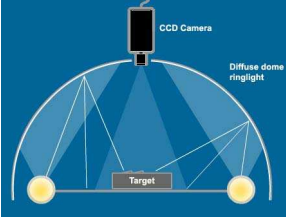
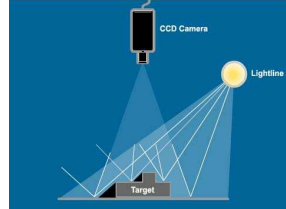

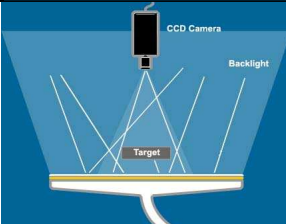
Fuente: Autores del proyecto

### 1.3 ILUMINACIÓN

La iluminación es clave para cualquier sistema de inspección visual. Las cámaras no son tan versátiles como lo es el ojo humano, y las condiciones de iluminación deben ser optimizadas para resaltar los detalles de interés. El objetivo en este caso es aumentar el contraste del objeto de forma tal que los aspectos relevantes sean detectables por parte del sistema de visión artificial. La interacción de la luz con la superficie, es decir, la parte que se absorbe y que se refleja de vuelta a la cámara es muy importante. Una iluminación cuidadosa puede evitar la necesidad de programas muy complejos para realzar determinados detalles de la imagen.

El fin de una buena iluminación es, básicamente, separar las condiciones del entorno y resaltar las propiedades de interés para una determinada aplicación. La fuente de luz es un factor de vital importancia en los sistemas de visión artificial y definen los algoritmos de procesamiento digital que se vayan a utilizar. Bajo estas circunstancias, una iluminación arbitraria del entorno dará como resultado que se obtengan imágenes con bajo contraste, reflexiones especulares, además de sombras y detalles espurios.

Tabla 1. Técnicas de Iluminación

NOMBRE	DESCRIPCIÓN	ESQUEMA
<b>Ring light</b>	Ideal para aplicaciones estándar, proporciona una iluminación uniforme. No es apto para superficies altamente reflectantes. Tamaños para adaptarse a todos los objetivos estándar desde tamaños microscópicos hasta tamaños más grandes que van desde 44 mm a 202 mm.	
<b>Dark field ring light</b>	Adecuada para superficies altamente reflectantes y hace visibles las estructuras y detalles de la superficie. Disponible en tamaños de 44 mm a 281mm con diversos ángulos de corte.	
<b>Dome light</b>	Proporciona luz no direccional difusa, lo que elimina las sombras y resplandores. Disponible en tamaños de 44 mm a 202 mm	
<b>Light line</b>	Disponible en casi cualquier longitud necesaria. También existe una gama de líneas de luz LED con refrigeración por agua, que proporcionan tanta intensidad como una fibra óptica equivalente.	
<b>Coaxial</b>	Sólo permite la reflexión de la superficie plana en la cámara, lo cual permite un buen contraste con los objetos brillantes.	
<b>Back light</b>	Proporciona siluetas nítidas de los objetos para la detección de bordes es muy útil para la iluminación de blancos opacos y objetos transparentes. Tamaños varían desde 51x84 mm hasta 195x444 mm.	

Fuente: <http://www.lambdaphoto.co.uk/products/120.105>

## **2. OBJETO DE ESTUDIO Y SUS CONDICIONES DE REGISTRO**

En este capítulo se desglosara la manera de implementar la máquina de registro de superficies (MRS), teniendo en cuenta las condiciones de registro como las dimensiones de la tela, la iluminación, la velocidad de captura, el tamaño de defectos estructurales así como los elementos fundamentales para la implementación de un prototipo preliminar del sistema automatizado de control de calidad textil.

### **2.1 CARACTERÍSTICAS Y PROCESOS DE FABRICACIÓN DE TEXTILES**

El objeto de estudio las telas de tejido plano, a continuación en esta sección se presentan los diferentes tipos de telas según su construcción. Además se da una pequeña explicación del proceso de fabricación y elaboración de las telas a partir de su materia prima, así como su uso y aplicación. Esto con el fin de familiarizarse con los diferentes procesos que implica la confección, con distintas clases de telas, sus usos y las principales causas de defectos textiles. Para de esta manera comprender el alcance y la importancia del análisis de defectos estructurales en textiles planos.

#### **2.1.1 Proceso de Producción Textil**

La producción y distribución de textiles depende la clase de tela, la materia prima ya sean fibras vegetales o animales así como los productos químicos pueden prepararse o no de forma independiente, esto hace que el número y el tipo de procesos implicados en la producción varía según cada producto textil. Dentro del proceso de manufactura textil la primera etapa en la fabricación de textiles implica la obtención de la materia prima, ya

sea de una fuente animal, vegetal o química. A continuación, la fibra se hila para posteriormente usarla para confeccionar las telas. Este proceso se explica más detalladamente a continuación:

#### **2.1.1.1 Procesado de la Fibra**

Dependiendo de la materia prima que se tenga, ya sea, la fibra de algodón, la lana de las ovejas, la seda de los gusanos o el lino; estas materias primas deben ser procesadas de diferentes maneras antes de hilarlos.

El algodón en bruto se procesa con la desmotadora, que elimina las semillas y otras impurezas, antes de ser transportado a la hilatura. Para obtener a partir del lino una fibra susceptible de ser hilada se utilizan diversas operaciones mecánicas y químicas. La lana debe ser clasificada y lavada antes de su hilado.

La seda se desenrolla de los capullos después de ablandar la goma natural en agua caliente, lo que permite una separación fácil sin romper las finas fibras. Los filamentos continuos se agrupan y se tuercen para formar hilos de varias hebras; los filamentos rotos y el material de desecho se hilan de forma similar a la empleada para las fibras de algodón, lana o lino.

Las fibras sintéticas se suministran en forma de filamentos o de fibras cortas; la fibra de filamento continuo se convierte en hilo igual que la seda. Las fibras sintéticas cortas se procesan antes del hilado de forma similar al algodón crudo o la lana.

#### **2.1.1.2 Hilado**

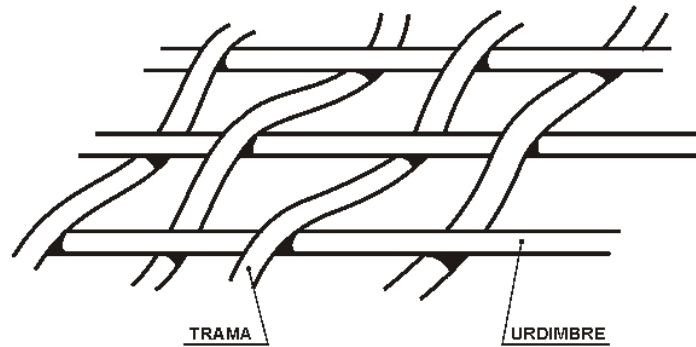
Para obtener hilo a partir de filamentos continuos basta torcerlos, pero en el caso de las fibras cortas hay que alisarlas para combinar las fibras en una estructura continua semejante a la de una cuerda, peinarlas para

estirar las fibras largas y torcer las hebras continuas resultantes. El torcer más o menos los hilos determina algunas de sus características; una torsión ligera proporciona telas de superficie suave, mientras que los hilos muy torcidos producen tejidos de superficie dura, resistentes a la abrasión y menos propensos a ensuciarse y arrugarse; sin embargo, los tejidos hechos con hilos muy torcidos encogen más.

### **2.1.1.3 Tejido**

Para tejer se utiliza el telar y dos conjuntos de hilos, denominados respectivamente urdimbre, o pie, y trama mostrados en la figura 3. Los hilos de la urdimbre van a lo largo del telar, mientras que los de la trama van en dirección transversal. La urdimbre está arrollada en enormes bobinas, situadas a los pies del telar, y se enhebra en el telar formando una serie de hilos paralelos. La trama se suministra por los lados del telar desde unas bobinas que se cambian automática o manualmente cuando se acaba el hilo. La lanzadera del telar hace pasar los hilos de la trama a través del telar, entrelazándolos perpendicularmente con la trama. Modificando el número de hilos de la trama y alterando la secuencia con la que se levanta o se bajan se logran diferentes dibujos y texturas. Durante el tejido, una capa protectora provisional conocida como imprimación protege los hilos de la trama para evitar que se dañen.

Figura 3. Estructura del Tejido



Fuente: [http://www.cnrt.gov.ar/viayobra/NOTGVO\(V\)%20001%20Anexo%20Fig%201.jpg](http://www.cnrt.gov.ar/viayobra/NOTGVO(V)%20001%20Anexo%20Fig%201.jpg)

En este proceso de la manufactura de la tela es donde se presentan los errores de fabricación que conducen a los defectos en la estructura del tejido, los cuales son el objeto de análisis del proyecto. En la figura 3 se presenta la manera general como se conforma un tejido textil, los defectos estructurales corresponde a fallas en la uniformidad del tejido, ya sea debido a discontinuidad en la densidad en la estructura o malla que forma la trama y el urdimbre, o a la falta de tensión en alguno de los dos conjuntos de hilos, urdimbre o trama. Otros tipos de defectos estructurales son huecos o motas, que se pueden introducir en este o en procesos siguientes de acabado.

#### 2.1.1.4 Procesos de Acabado

Además del teñido y el estampado, la tela recibe otros acabados para mejorar su aspecto y cualidades, como por ejemplo métodos para mejorar la resistencia a las arrugas en textiles como el algodón, el lino o el rayón hilado, que no tienen la elasticidad de la lana o la seda. Los últimos avances en cuanto a acabados resistentes a las arrugas son los de planchado duradero o planchado permanente; además de lograr resistencia

a las arrugas, estos acabados proporcionan pliegues permanentes. Mediante diversos tratamientos químicos también es posible mejorar la resistencia al encogido, a las manchas y a la suciedad. Otros procesos de acabado protegen contra el deslizamiento de los hilos o contra los daños provocados por el moho, las polillas o el fuego.

**Tabla 2. Nombre y Característica de las Telas**

Telas	Construcción	Características	Usos
<b>Acetato</b>		Tela artificial con apariencia de seda, fabricada con hilos de fibra de acetato de celulosa. No encoge, no destiñe, no se arruga.	Lencería, blusas, vestidos.
<b>Acrílicos</b>		Tela artificial que semeja al tejido de lana. Colores nítidos.	Reemplaza a la tela de lana natural en cualquier tipo de prenda.
<b>Alpaca</b>		Tela fabricada con fibras de lana de Alpaca. Tejido fino, sedoso y liviano.	Abrigos, suéteres.
<b>Angora (Mohair)</b>	<i>Plana o de punto.</i>	Lana de cabra, suave, brillante, pelos rígidos.	Suéteres, forros, telas crudas. Material para decoración y combinación en vestidos, sombreros, tapices.
<b>Cabra de Angora</b>		Lana de pelo largo, sedoso y fino que se obtiene de la cabra, originaria de Ankara, nombre antiguo de la capital de Turquía. Suave, resistente y lustrosa.	Alfombras, tapicería y cortinas.
<b>Cachemira</b>		Suave, sedosa y muy liviana	Tejidos para suéter y también vestidos para damas.
<b>Castor</b>		Suave con brillo sedoso.	Abrigos de piel.
<b>Chalís</b>	<i>Plana.</i>	Tela ligera de lana, suave y muy liviana.	Blusas y vestidos para damas y niños. Corbatas, kimonos y ropa deportiva.
<b>Chifón o Tul</b>	<i>Plana.</i>	Liviana y semi-transparente (Velo, Gasa de Seda).	Para usar al atardecer en blusas y chalinas.
<b>Conejo Angora</b>		Lanilla fina, peso bajo, abrigadora.	Bufadas, guantes, suéteres, gorras.

<b>Crepé</b>	<i>Plana.</i>	Tela delgada y liviana de seda o algodón y otros tipos de tejidos. De apariencia áspera y arrugada.	Se utiliza en vestidos de todo tipo, dependiendo del espesor. Incluye vestidos largos, trajes y abrigos.
<b>Damasc o (Damask )</b>	<i>Jacquard</i>	Reversible con patrones ondulados.	Manteles, cortinas, colchones.
<b>Douppio ni</b>	<i>Plana.</i>	Superficie irregular. Se imita en rayón y otros materiales sintéticos.	
<b>Dril</b>	<i>Tejido plano</i>	Tela firme de algodón, similar a la mezclilla. Con líneas de refuerzo más cercanas y planas que la gabardina.	Uniformes, ropa de trabajo, cobertores, ropa deportiva y aplicaciones industriales.
<b>Dry Feet</b>	<i>Tejido plano.</i>	Para ropa deportiva anti-traspirante.	Polera, blusas, pantalones.
<b>Franela (Lanilla)</b>	<i>Sarga y plana.</i>	Suave, con la superficie satinada que casi anula la textura del tejido. Terminación deslucida. Dull finish. Made in a variety of weights. Encoge si no es tratada.	Chaquetas, vestidos, faldas, trajes, sobretodos.
<b>Gabardi na</b>	<i>Sarga reforzada.</i>	Terminación nítida, tejido denso, durable, resistente al desgaste. Difícil de planchar, brilla con el uso.	Trajes para damas y caballeros, abrigos, impermeables, uniformes y camisas de hombre.
<b>Gasa</b>	<i>Plana.</i>	Semi-transparente y liviana.	Vestidos, blusas.
<b>Georgette</b>	<i>Plana.</i>	Seda sintética, nítida, delgada, muy buena duración.	Blusas dama, vestidos.
<b>Ipora</b>	<i>Plana.</i>	Similar al Gorotex, tela impermeable que permite la respiración.	Casacas, parkas, ropa de alta montaña
<b>Lona</b>		Tela áspera y resistente de hilos de algodón puro o mezclado con poliéster.	Carpas para camping, cobertores de estructuras y sillas de playa.
<b>Mezclilla (Dril de algodón)</b>	<i>Sarga.</i>	Azul, café o gris oscuro, tejido de alta torsión, para ropa de trabajo. Grueso, delgado y crudo.	Pantalones, gorros, uniformes, cubrecamas, tapices y ropa deportiva.
<b>Nailon o Nilón (Nylon)</b>		Tela de material sintético resistente a la abrasión y acción de químicos. Es elástica, fácil de lavar, de aspecto lustroso. Recupera su forma con facilidad, no es absorbente, seca rápido y admite algunos tipos de	Se emplea en la fabricación de géneros de punto y tejidos diversos. Medias, pantimedias, ropa interior para damas, calcetines y

		teñido.	sweaters.
<b>Organdí</b>		Tela liviana de algodón semi-transparente. Fabricada con hebras de alta torsión, buena rigidez temporal que se consigue con aprestos o rigidez permanente conseguida con químicos. Al to porcentaje de encogimiento salvo que sea tratada.	Cuellos, refuerzos, flores artificiales, sombreros, blusas, sobretodos.
<b>Oxford</b>	<i>Plana.</i>	Fabricada con hilados de algodón cien por ciento o mezclado con poliéster.	Mayormente para camisas de hombre. También chaquetas, faldas, poleras de verano y ropa deportiva.
<b>Paño</b>		Tejido denso y textura suave.	Abrigos, mesas de pool, mesas de poker.
<b>Pelo de Camello</b>	<i>Plana o Sarga.</i>	Poco peso, suave y brillante.	Sobretodos, abrigos, trajes, chaquetas deportivas, frazadas, alfombras finas.
<b>Pie de Pool</b>	<i>Sarga asimétrica.</i>	Tejido disperejo que forma estrellas de cuatro puntas.	Abrigos, pantalones, chaquetas y trajes deportivos.
<b>Poliéster</b>		Tela liviana, no encoge ni estira, resistente al moho, polillas y abrasión. Lavable, no la afecta la luz solar ni el clima.	Diversos usos dependiendo del hilado con que se mezcla. Ropa resistente a productos químicos.
<b>Pongee</b>	<i>Plana.</i>	Seda sintética fabricada en poliéster, peso bajo y medio.	Vestidos, blusas, trajes de verano.
<b>Punto Espiga</b>	<i>Sarga.</i>	Normalmente de lana y diferentes calidades.	Pantalones, chaquetas, tapados y abrigos deportivos.
<b>Quick Dry</b>	<i>Plana.</i>	Secado ultra rápido.	Ropa deportiva para exteriores, (outdoor).
<b>Raso o Satín</b>		Tela suave, usualmente presenta una cara lustrosa y la otra deslucida. Se fabrica en diversos colores, pesos, calidades y rigidez.	Ropa interior de damas, abrigos, capas, bufandas y chaquetas. También utilizada en sombreros.
<b>Rayón (Viscosa)</b>		Seda artificial, suave, acepta teñido, tiende a encogerse Resiste temperaturas altas, aprestos y químicos.	Prendas de vestir.
<b>Rip Stop</b>	<i>Plana.</i>	Construido con amarres entre cada sección. Resistente al roce y rajaduras.	Uniformes para alto desgaste, uniformes

			militares.
<b>Satén</b>	<i>Plana.</i>	Algodón o lino brillante. El de alta calidad es mercenizado para obtener brillo nítido.	Vestidos, ropa interior fina, bufandas, pijamas, ropa deportiva.
<b>Seda Natural</b>	<i>Plana y de punto.</i>	Tela áspera, resistente, tejido disperejo.	Seda liviana para vestidos. Seda pesada para abrigos, trajes y conjuntos.
<b>Supplex</b>	<i>Plana</i>	Tela sintética de nilón, liviana, con textura más suave que el algodón. Permite la ventilación de la piel a través de sus fibras.	Prendas para practicar gimnasia aeróbica, fitness, ciclismo y deportes acuáticos.
<b>Tafetán</b>	<i>Plana con cordones.</i>	Tela delgada de seda sintética muy tupida y de superficie lustrosa.	Dressy evening wear: suits and coats, slips, ribbons, blouses, dresses.
<b>Tela Elástica</b>		Liviana, flexible y durable, resistente a la transpiración, cremas corporales y detergentes.	Ropa para deportistas y prendas modeladoras de cuerpo.
<b>Terciopelo (Velvet)</b>	<i>Tejida con hebras adicionales desviadas.</i>	Tela delicada, resistente al agua y arrugas. Se limpia en seco y debe plancharse sobre tabla. Los terciopelos finos son de algodón 100%.	Ropa formal, cortinajes tapices.
<b>Vellón</b>		Resistente al encogimiento. Se renueva con la humedad.	Prendas de vestir, sábanas, ropa de invierno.
<b>Velur</b>	<i>Plana o tejida</i>	Tela parecida a la felpa, de diferentes espesores. Hilado sintético normalmente de poliéster, de algodón o similar.	Tapicería, cortinajes, vestidos.

Fuente: <http://www.todotelas.cl/definicion-telas.htm> 13/05/2009

### 2.1.2 Defectos Estructurales en Textiles

Los defectos estructurales presentes en los diferentes tipos de telas son el objeto de estudio de este proyecto, para una mayor comprensión se definirán cuales son las clases de defectos que corresponden a esta categoría y que se han de analizar utilizando algoritmos de PDI.

### **2.1.2.1 Tipos de defectos estructurales**

Las telas de tipo plana o tejido rígido son muy utilizadas en la industria textil dado que son livianas, relativamente baratas y cómodas. Además de tener otras ventajas; pero a menudo hay problemas que tienen que enfrentar con frecuencia los fabricantes, y quienes en última realizan su proceso de transformación para el consumidor en general [11].

Los errores estructurales más comunes en telas planas son las marras, una marra aparece como una raya horizontal o vertical en la tela que puede ser continua o intermitente. Dichas rayas pueden estar asociadas sólo con una dirección, es decir, una fila horizontal o vertical de hilos dependiendo si corresponde a la urdimbre o a la trama. Las Marras son uno de los problemas que las fábricas con frecuencia tienen que aprender a identificar, prevenir, minimizar o al menos resolver; pueden ser causadas en primera instancia por las características de los filamentos que se utilizan para tejer la tela, además de los parámetros asociados con la máquina tejedora empleada, entre otros factores se podrían incluir los procedimientos utilizados, las condiciones de temperatura y humedad, etc. Estos factores se presentan de forma detallada en la tabla 3, mostrando un listado de las causas más importantes y comunes por las que se presenta Marras en el proceso de fabricación textil [11].

**Tabla 3. Causas de Marras en Telas Planas**

<b>Causas de Defectos Estructurales en Telas Planas</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conteo de hilos mixtos</li> <li>• Altas variaciones de hilo</li> <li>• Conteo incorrecto de filamentos</li> <li>• Mal embobinado del paquete</li> <li>• Uso de hilos rebobinados</li> <li>• Fusiones de hilos mixtos</li> <li>• Fibras mixtas</li> <li>• Niveles de giro o entorchado mixtos</li> <li>• Registros de calor inconsistente</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Incorrecta alineación de paquetes</li> <li>• Tensión de hilo alta</li> <li>• Ranuras de aguja contaminadas</li> <li>• Vibración de máquina</li> <li>• Formas cruzadas de hilos mixtos</li> <li>• Posiciones incorrectas de hilos</li> <li>• Hilos envejecidos</li> <li>• Densidades de paquete inconsistente</li> <li>• Paquetes dañado</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Caminos de hilo inconsistentes</li> <li>• Tableros de control inclinados</li> <li>• Tensión de hilo inconsistente</li> <li>• Grupos de agujas desgastadas</li> <li>• Excesiva velocidad de máquina</li> <li>• Distribuidores inclinados</li> <li>• Mezcla de hilos de diferentes proveedores</li> </ul>

Fuente: [http://www.vestex.com.gt/revista/2004/02/p\\_34rm.htm](http://www.vestex.com.gt/revista/2004/02/p_34rm.htm)

## **2.2 ESTABLECIMIENTO DE CONDICIONES DE REGISTRO PARA EL ANÁLISIS DE DEFECTOS EN TEXTILES**

El establecimiento de las condiciones de registro es indispensable y precede cualquier diseño de software, dentro de las aplicaciones basadas en PDI. Dado que de estas condiciones dependen las características de procesamiento de las imágenes en este caso para la detección y análisis de defectos en textiles. Dentro de estas condiciones de registro se

encuentran: Iluminación, velocidad de captura (cuadros por segundo), tamaño mínimo de los defectos, velocidad lineal y ancho de la tela.

### 2.2.1 Iluminación

La calidad de las imágenes adquiridas es vital a la hora de simplificar la inspección automática, esta calidad se ve drásticamente afectada tanto por el tipo como por el nivel de iluminación. Para lograr esto en el análisis de defectos textiles se debe utilizar un tipo de iluminación que elimine las sombras y evite los destellos. Por sus características, ya mencionadas en la tabla 1, existen dos tipos de iluminación que se pueden aplicar de tal manera que se cumplan las condiciones requeridas, estas son: La iluminación posterior (back light) y la iluminación lateral (Dark field). La primera es ideal para esta aplicación, dado que permite delinear el contorno de los defectos estructurales, un fondo uniforme y visualizar perforaciones pasantes [2] [3]. Esta técnica brinda un contraste muy alto y es fácil de implementar. La iluminación lateral (Dark field) produce en la tela un efecto de relieve bastante particular haciendo evidentes las estructuras y los detalles del área de la tela a inspeccionar [2] [3].

### 2.2.2 Tamaño mínimo de los defectos

Los defectos que se desean analizar deben tener una dimensión mínima de 1mm, considerando esto se puede establecer que la resolución de la imagen es de por lo menos 2 puntos por milímetro. Partiendo de que se desea implementar la detección de defectos mediante una cámaras digital cuya resolución debe determinarse teniendo en cuenta que el ancho de la tela a inspeccionar es de 80 cm se podrá establecer la resolución adecuada.

$$resolución \geq 800mm \cdot 2 \frac{puntos}{mm} = 1600 puntos$$

Considerando una relación de aspecto 4:3 la resolución que satisface la condición anterior es: 3.2 Mega Píxeles, es decir, 2048x1536 píxeles.

### **2.2.3 Velocidad de captura**

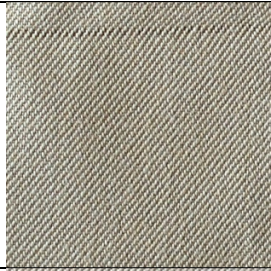
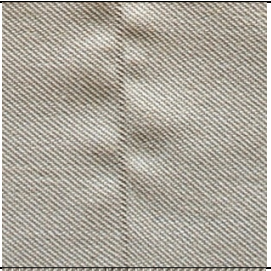


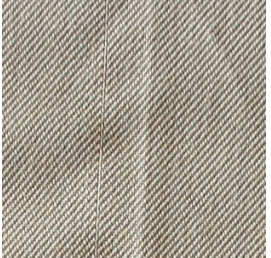
La velocidad de captura se expresa en frames por segundo (fps) o en Hertz (Hz), que representa cada una de las impresiones realizadas en un foto-sensor mediante la entrada de luz a una cámara regulada mediante un obturador. Este es un factor que podría llegar a limitar la rapidez en la inspección de telas. Partiendo del hecho que la velocidad de la tela oscila entre 20 m/min y 200 m/min [2], y que en cada imagen se capturan aproximadamente 60 cm de tela, luego, a partir de estas cifras se puede establecer que el número mínimo de frames por segundo es de 0.556 fps.

### **2.2.4 Tipos de defectos**

Los distintos defectos en la estructura de los textiles se pueden organizar dentro de grandes categorías para su clasificación la cuales se presentan a continuación:

En la tabla 4 se muestra la clasificación de los defectos estructurales basándose en la apariencia que presentan y la forma en que aparecen en las imágenes capturadas dentro de seis categorías. Estas categorías de defectos estructurales se deben a las diferencias que aparecen en la representación matricial de cada imagen.

**Tabla 4. Categorías de Defectos Estructurales**

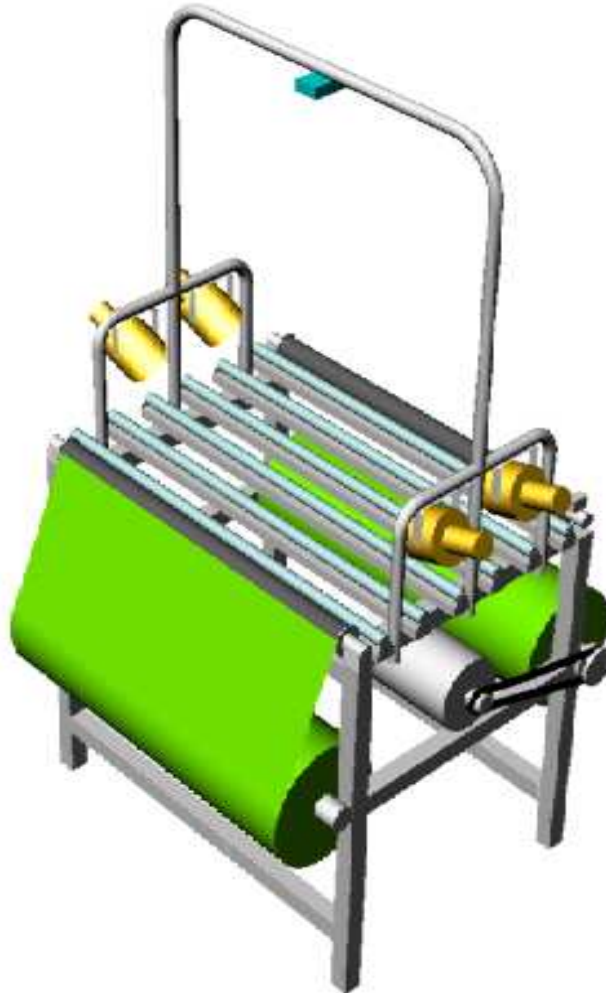
	<b>Horizontales</b>	<b>Verticales</b>	<b>Puntuales</b>
<b>Oscuros</b>			
<b>Claros</b>			

*Fuente: Autores del Proyecto*

Como resultado de ello los defectos claros se deben a ausencia de hilos viéndose como una falla en la continuidad de la direccionalidad en la tela. Por otra parte los defectos oscuros son causados por falta de uniformidad en el tejido, producidos por falta de suficiente tensión en la estructuración del tejido, esto aparece en la imagen como una franja oscura ya sea horizontal o vertical. Los defectos puntuales aparecen en la imagen y son causados por hebras de hilo que por error se salen del tejido, en el caso de las claras. Los defectos puntuales oscuros se relacionan con huecos en la tela.

## 2.3 DISEÑO DEL PROTOTIPO PARA LA DETECCIÓN DE DEFECTOS

Figura 4. *Vista Isométrica del Modulo de Registro de Superficie (MRS)*



*Fuente : TecnoParque-SENA, Autores*

Tomando en cuenta las condiciones que se deben cumplir para un adecuado registro de las imágenes que se analizan por medio de los diferentes algoritmos de detección de defectos estructurales se establecen las características físicas y funcionales para la toma de imágenes de las telas para su posterior análisis. En la figura 4 se muestra el prototipo de construcción del Modulo de Registro de Superficie (MRS), donde presenta

los componentes fundamentales para su implementación, como son el tipo de iluminación, su mecanismo de funcionamiento mediante un motor que aplica movimiento a la rotativa de tal forma la velocidad de la tela oscila entre 20 m/min y 200 m/min [2], y permita la captura sistemática de la región seleccionada y a su vez ejecute mediante los algoritmos la automatización del sistema de control de calidad textil. A continuación se indica los elementos que lo conforman.

### 2.3.1 Iluminación Back Light

Este sistema de iluminación se encuentra como su nombre lo indica por debajo de la tela. Está constituida por una secuencia de seis tubos fluorescentes de 30 W, luz blanca fría, cuyo diámetro es de 26 mm y 895 mm de largo. Se utilizan para cubrir un área de aproximadamente 80 cm por 60 cm de tela, que corresponde al área de captura de la cámara digital. Las características principales se muestran en la figura 5.

Figura 5. Descripción Física De Fluorescentes Para Iluminación Back light



Tipo Denominación	Potencia W	Color	Casquillo	Dimensiones L mm	D	Emisión Luminosa lm
F30W/CW/133	30	Blanca Fría	G13	895	26	2200

*Fuente: Catálogo Silvana 2009*

### 2.3.2 Iluminación Dark field

A su vez se dispone de cuatro reflectores los cuales estarán ubicados en la parte lateral de la maquina a 30 cm de altura de la misma como se muestra en la figura 4, donde sus correspondientes especificaciones se muestran en la figura 6.

**Figura 6. Descripción Física de Reflectores para Iluminación Dark field**



#### Specification

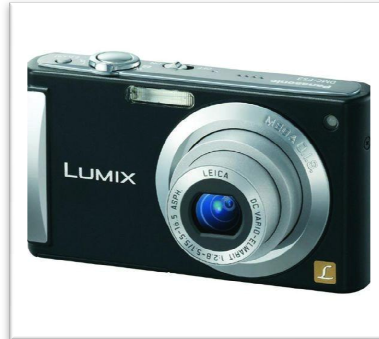
Attribute	Value
Our Part Number	1305
Cap Description	Bayonet Cap (B22d)
Wattage	60W
Voltage	240V
Finish	Diffused
Length	110mm
Diameter	80mm
Rated Life	1000hrs

Fuente: <http://www.lightbulbs-direct.com/product/1305/r80-reflector-spot-60w-bc/30/04/2009>

### 2.3.3 Cámara Digital

Para la toma de imágenes se emplea una cámara digital de 3.2 Mega Píxeles, es decir, 2048x1536 píxeles, con opción de ser variable, colocadas a una distancia de aproximadamente 80 cm de altura. La exposición de captura de la cámara es de 60 cm de ancho por 80 cm de largo aproximadamente, dentro las especificaciones en materia de óptica de la cámara se debe cumplir que dentro del rango de la profundidad de campo se incluya 80 cm. El modelo de cámara empleada en esta investigación para adquirir las imágenes de prueba se muestra en la figura 7.

**Figura 7. Cámara Empleada en el Proyecto**




**Fuente:** <http://www.shopping.iespana.es>

#### 2.3.4 Motor

Se propone dos posibles referencias para el control de la rotativa de la tela por medio de un servo motor eléctrico DC, pues estos nos permite controlarlos de manera sencilla al igual que presenta suficiente torque y velocidad para esta aplicación, sus especificaciones se presentan en la figura 8.

**Figura 8. Descripción Física del Motor**

**Servomotor eléctrico DC brushless**



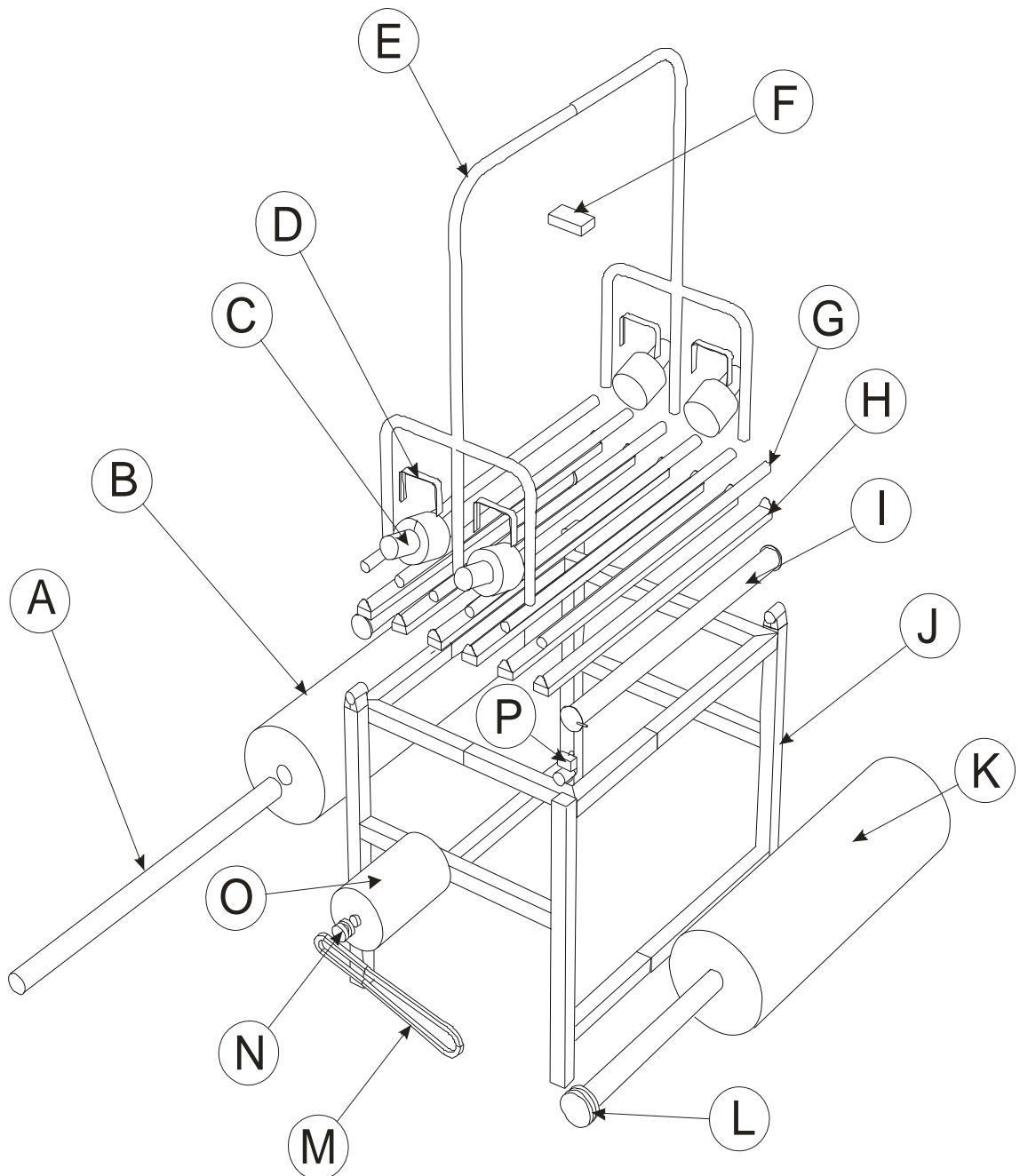
DC1500:  
Brushless direct current motor in compact design for flange mounting with integrated incremental encoder  
- Pnom = 400W;  
- Mmax = 3 Nm;  
- Nmax = 9000 rev/min

DC1550:  
Brushless direct current motor in compact design for flange mounting with integrated incremental encoder  
- Pnom = 600W;  
- Mmax = 8 Nm;  
- Nmax = 5000 rev/min

**Fuente:** <http://www.directindustry.es/prod/efka/servomotor-electrico-dc-brushless-54913-359382.html> 30/04/2009

## 2.4 COMPONENTES DE LA ESTRUCTURA DE LA MRS

Figura 9. Partes Y Componentes del Modulo de Registro de Superficie (MRS) Para La Detección De Defectos



*Fuente: TecnoParque-SENA, Autores*

En esta sección se presenta de forma detallada las partes y componentes del modulo de registro de superficie (MRS) para la detección de defectos estructurales en telas que hará parte del sistema automatizado de control de calidad textil, que se presentan a continuación en la tabla 5.

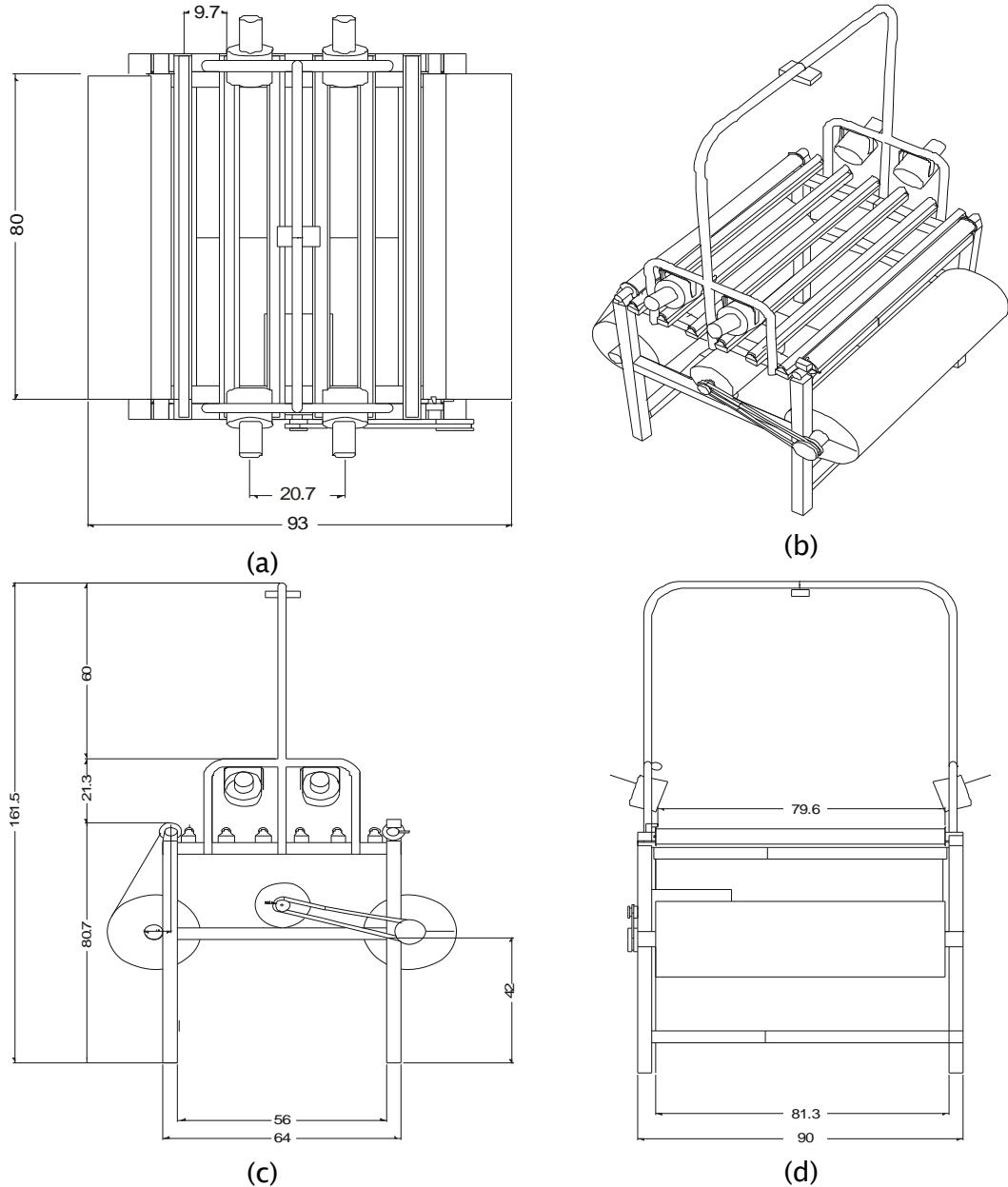
**Tabla 5. Referencia, Nombre y Descripción de los Componentes de la estructura de la MRS de la Figura 9**

Referencia	Nombre	Descripción
A	<i>Rodillo</i>	Elemento sobre el cual esta enrollada la tela
B	<i>Rollo de Tela</i>	
C	<i>Reflectores</i>	Iluminación Dark field
D	<i>Soporte del Reflector</i>	
E	<i>Soporte Cámara</i>	Marco de altura ajustable que sostiene la cámara.
F	<i>Cámara</i>	
G	<i>Fluorescente</i>	Iluminación Back light
H	<i>Soporte del Fluorescente</i>	
I	<i>Pivote</i>	Rodamiento donde se desliza la tela
J	<i>Estructura</i>	Estructura de Soporte General
K	<i>Rollo de tela</i>	
L	<i>Engranaje</i>	Engranaje que se hace girar con el motor
M	<i>Banda</i>	Transmite movimiento al engranaje
N	<i>Eje del Motor</i>	
O	<i>Motor</i>	
P	<i>Sensor</i>	Para controlar el disparo de la cámara

***Fuente: Autores del Proyecto***

A continuación se muestran las dimensiones en centímetros de la máquina de registro de superficie (MRS), con cada una de sus diferentes vistas como son: superior, frontal, lateral e isométrica.

**Figura 10. (a) Vista Superior, (b) Vista Isométrica, (c) Vista Frontal, (d) Vista Lateral del Modulo de Registro de Superficie (MRS).**



**Fuente: TecnoParque-SENA**

Teniendo en cuenta las especificaciones de la estructura de la MRS, así como el establecimiento de los distintos parámetros que permiten condicionar el registro para adecuarlo y el respectivo estudio de diseño, que se han realizado, es de similar importancia aclarar si es justificada su construcción e implementación el sector de confecciones y/o textil, en este caso a nivel local. Para este fin se indago al respecto en diferentes empresas que hacen parte de este sector tan importante para la economía regional. Representantes de las empresas manifestaron considerar que un eventual uso de un sistema de control de calidad textil de este tipo traería beneficios, al mejorar la calidad de los productos ofrecidos por esta empresa, por lo tanto su implementación estaría justificada, siempre y cuando se demuestre el retorno de la inversión.

### 3. ANÁLISIS MEDIANTE PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES

En este capítulo se presenta una serie de formas de detección para el análisis de imágenes registradas a partir de muestras de telas, con el fin de segmentar defectos en su estructura, en la figura 11 se detalla la secuencia de pasos a seguir por los diferentes algoritmos de segmentación de defectos, los cuales se diferencian en la etapa central, la de filtrado. De esta manera, se pueden determinar las fortalezas de distintas formas de análisis así como sus falencias, con el fin de llegar a un algoritmo que nos acerque a la implementación de un sistema automatizado de control de calidad textil.

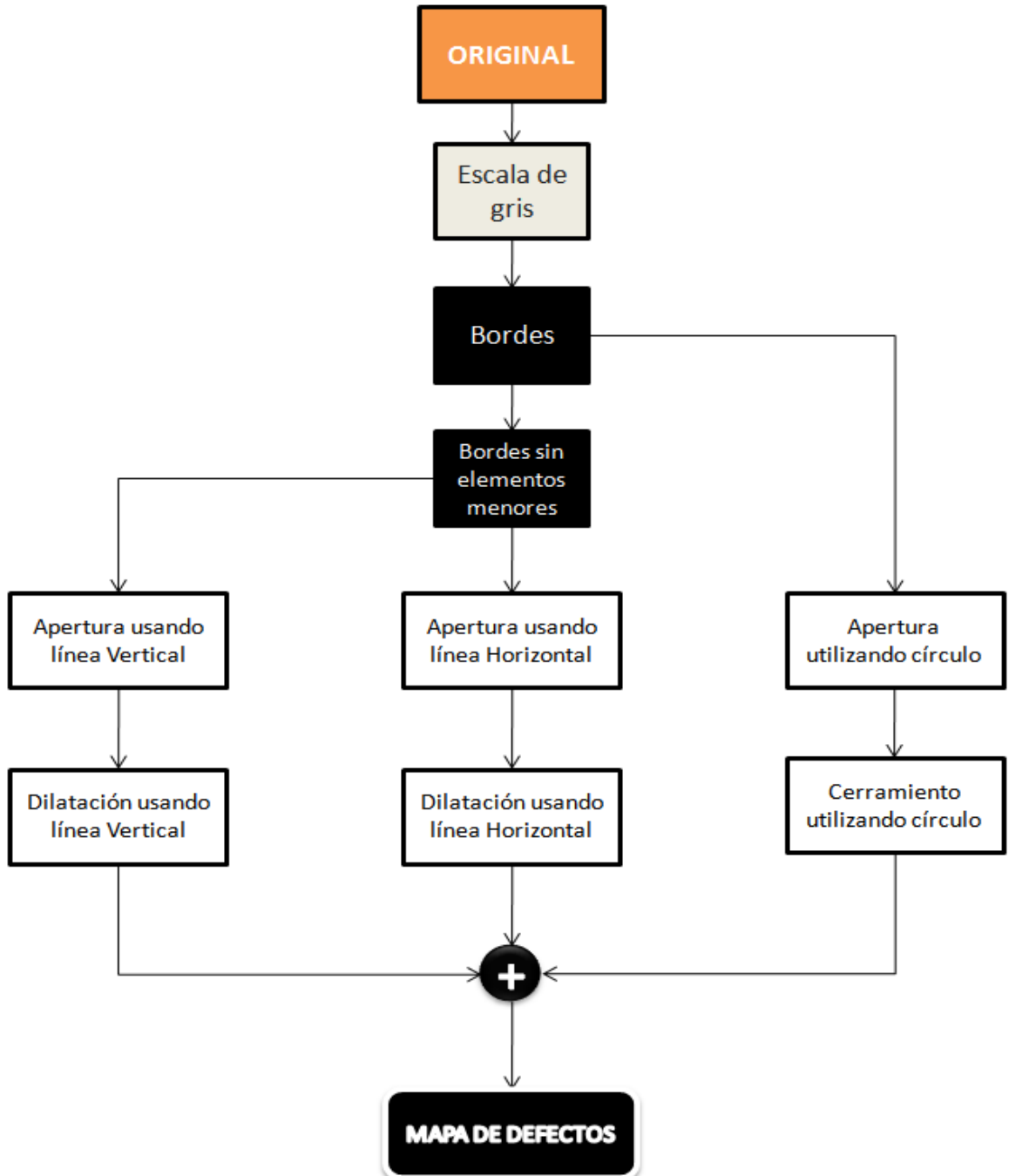
Figura 11. Etapas para el Análisis de Imágenes a partir de los Diferentes Algoritmos



*Fuente: Autores del Proyecto*

### 3.1 DETECCIÓN MEDIANTE PROCESAMIENTO ESPACIAL

Figura 12. Diagrama Para Detección Mediante Procesamiento Espacial


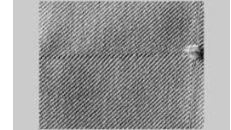




*Fuente: Autores Del Proyecto*

La figura 12 muestra mediante un diagrama de bloques el método de detección basado en procesamiento en el espacio, mediante filtros estadísticos y umbralización, el proceso de detección es el siguiente: primero por medio de la cámara digital se adquiere la imagen a inspeccionar, esta imagen digital se representa la escena mediante una matriz, en este caso se utiliza representación en escala de grises, seguidamente se hace el proceso de ajuste de la imagen utilizando filtros estadísticos que reducen el ruido y mejoran la uniformidad de la iluminación, así como usando la ecualización del histograma esto permite que los niveles de gris que contiene la imagen se distribuyan sobre todo el rango disponible. A continuación se utiliza el operador Sobel que sirve para la detección de bordes, en este caso se obtienen los patrones verticales y horizontales que se encuentran sobre la superficie de la tela, estos patrones se analizan utilizando operaciones de morfología matemática, para lograr la detección de los diferentes tipos de defectos estructurales.

A continuación mediante una tabla se resume un ejemplo que ilustra el funcionamiento del algoritmo.

**Tabla 6. Resumen del método basado en filtrado espacial utilizando segmentación por morfología**

	<p>Se muestra la imagen original de 512x512 pixeles</p>		<p>Como primera medida se convierte la imagen original en una imagen en escala de gris</p>
<p>1. Imagen original en RGB</p>		<p>2. Imagen en escala de gris</p>	
	<p>Mediante el operador de Sobel se binariza la imagen en escala de grises</p>		<p>Se eliminan elementos pequeños, de menos de 30 pixeles, para obtener una imagen de mejor resolución que permita visualizar los posibles defectos</p>
<p>3. Aplicando el operador Sobel</p>		<p>4. Eliminando elementos pequeños</p>	





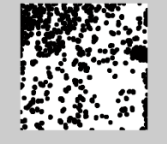


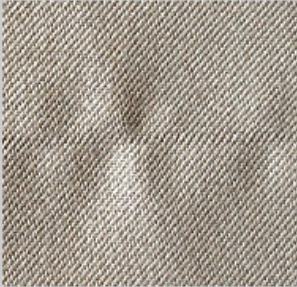
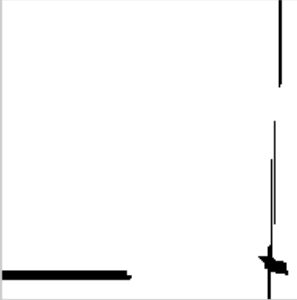


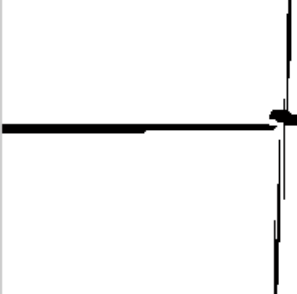
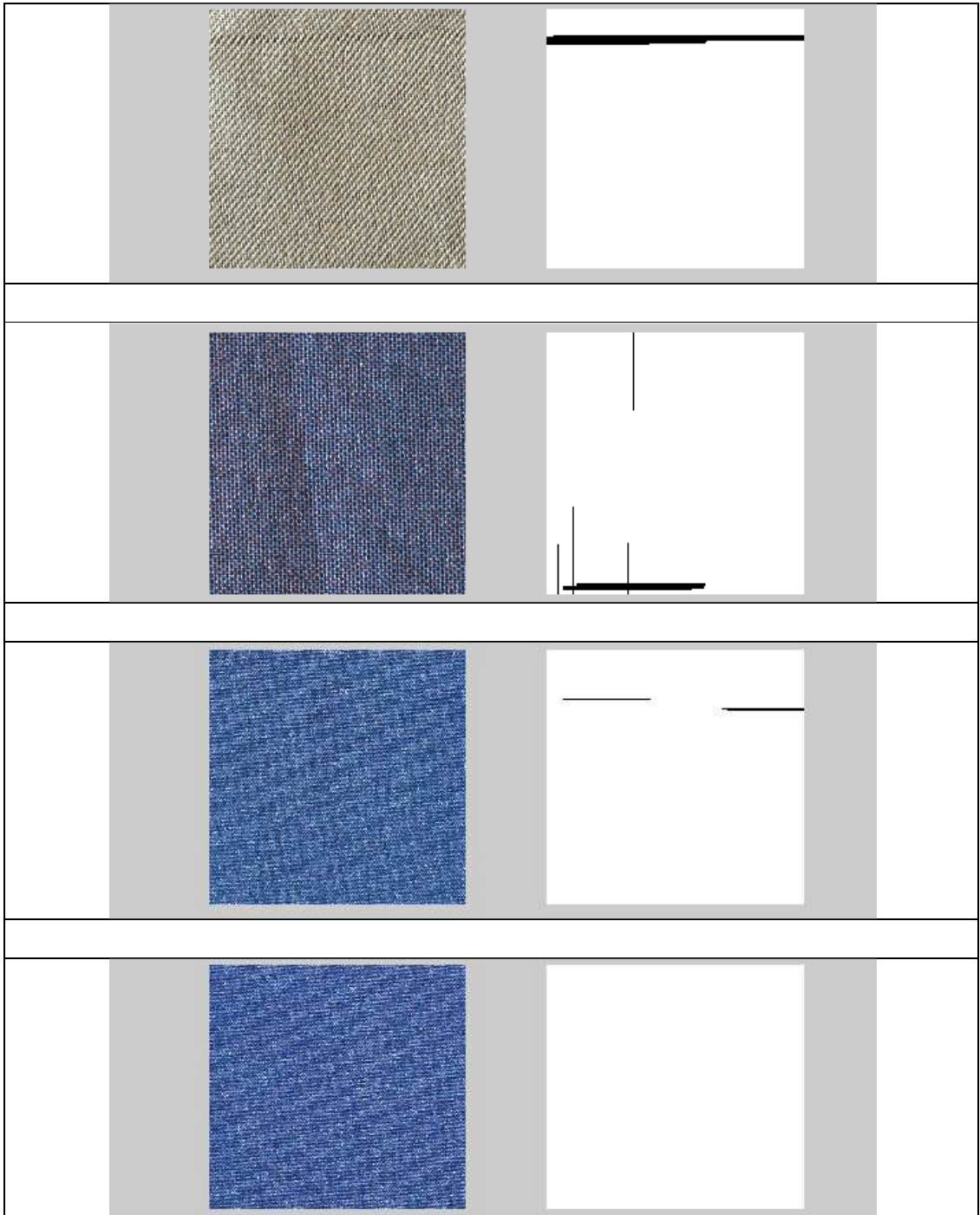
	La segmentación de defectos Horizontales se efectúa mediante apertura usando una línea horizontal como máscara		Para resaltar los defectos horizontales detectados se hace una dilatación con una línea horizontal como máscara
5. Apertura usando línea horizontal		6. Dilatación usando línea horizontal	
	Mediante un cerramiento de la imagen de Sobel sin elementos pequeños se logra segmentar defectos verticales		Luego de dejar solo los posibles defectos verticales se hace una dilatación para resaltarlos
7. Cerramiento usando línea vertical		8. Dilatación usando línea Vertical	
	En la imagen obtenida con el operador de Sobel se aplica una apertura con un disco que hace que las áreas circulares se resalten		un cerramiento permite segmentar las formas que realmente corresponden con círculos que permiten identificar a los defectos puntuales en la estructura del tejido
9. Apertura utilizando círculo		10. Cerramiento utilizando círculo	
	Sumando las diferentes imágenes con defectos detectados se obtiene un mapa de los defectos estructurales encontrados		
11. Mapa de defectos detectados.			

Tabla 7. Resultados Utilizando método Basado En Filtrado Espacial Y Segmentación por Morfología

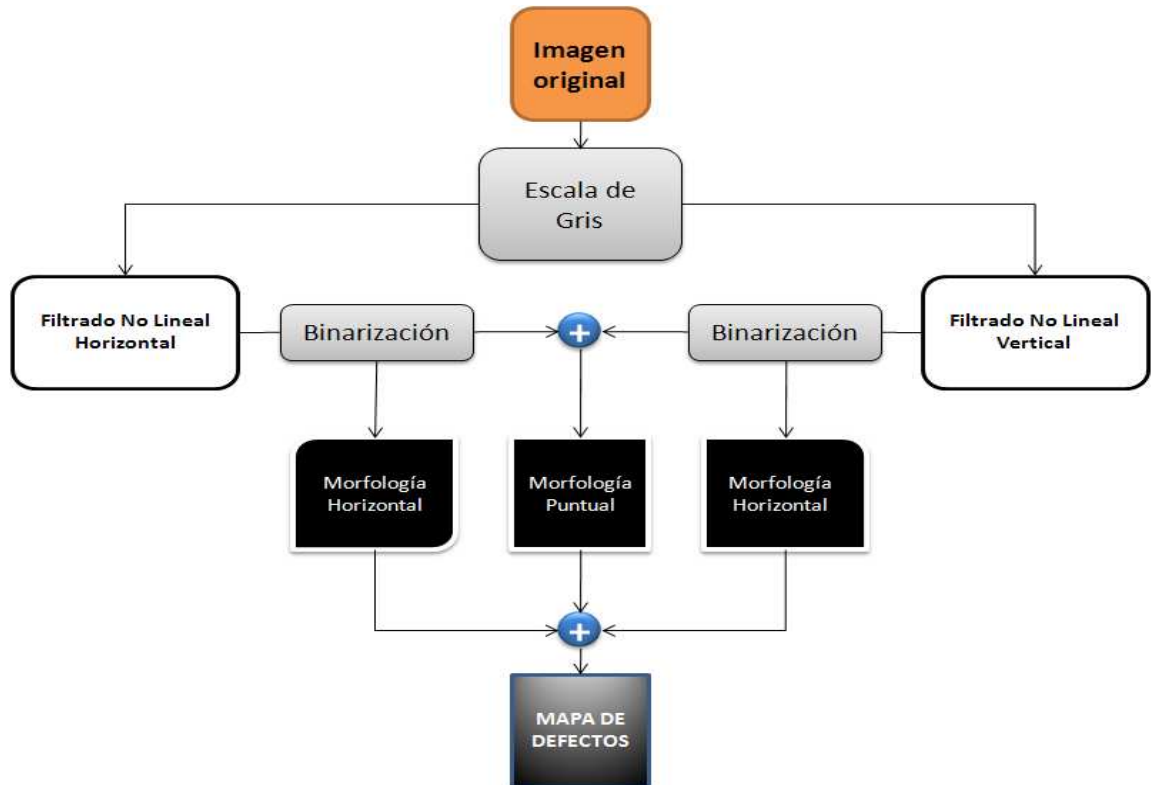
IMAGEN ORIGINAL	DEFECTOS DETECTADOS
	
	
	
	



Fuente: Autores Del Proyecto

### 3.2 DETECCIÓN MEDIANTE FILTRADO NO LINEAL

Figura 13. Esquema De Detección Mediante Filtrado Estadístico



*Fuente: Autores Del Proyecto.*

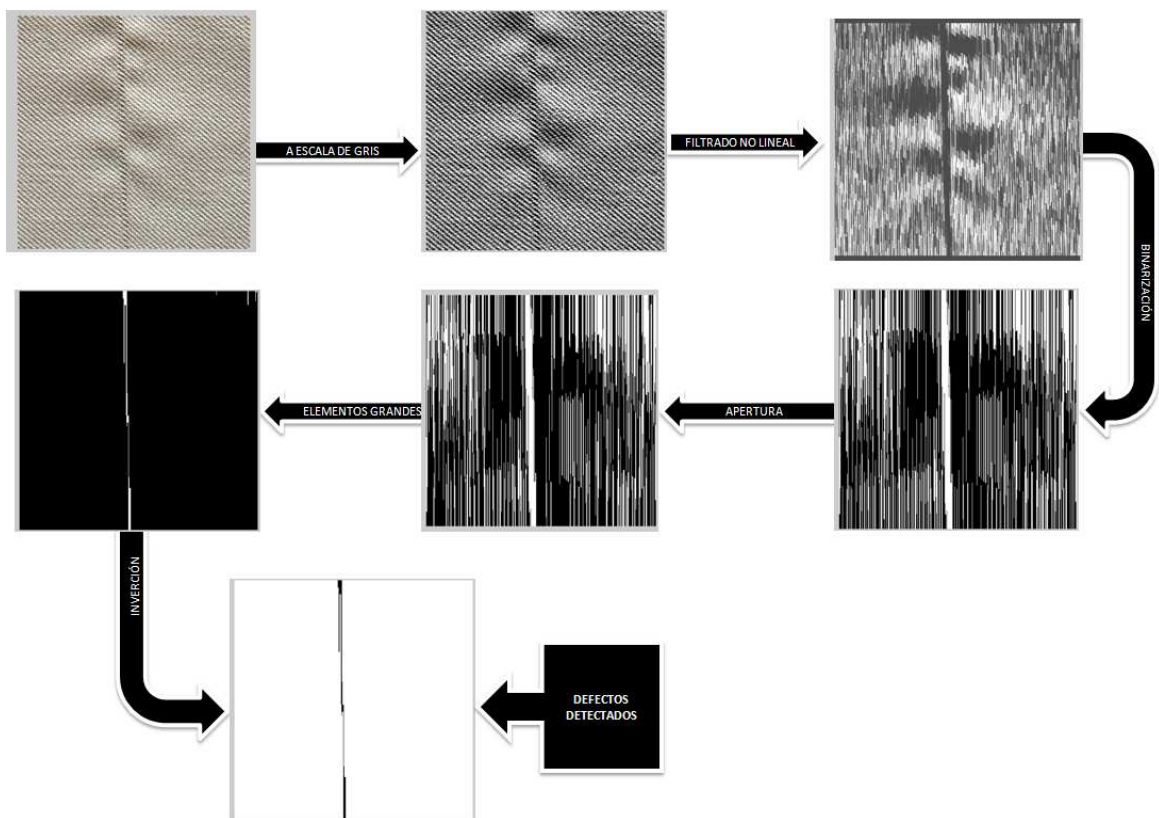
En la figura 13 está representado el proceso para la detección de defectos estructurales basada en filtrado no lineal, en este caso el filtrado es estadístico que en este caso puede ser de dos tipos horizontal o vertical, teniendo en cuenta que corresponde con los tipos de defectos que se desean inspeccionar.

Entonces, como primer paso se pasa la imagen a escala de grises, luego se aplica un filtrado estadístico, que como ya se mencionó toma una vecindad de forma vertical u horizontal según sea el caso, luego se procede a binarizar las imágenes resultantes, mediante morfología horizontal o vertical se segmentan los diferentes errores detectados, para el caso de los

errores puntuales se segmenta la suma de las imágenes resultantes de la binarización tanto del filtrado horizontal como del filtrado vertical, estas tres imágenes contienen el mapa de los 5 diferentes tipos de defectos que se detectan, luego se combinan para producir el mapa de defectos total detectados en la tela.

Para una mejor comprensión del método anteriormente explicado se ilustra, en la figura 14, un resumen del proceso por el cual se logra obtener el mapa de defectos, con una muestra de cada uno de sus etapas de manera generalizada.

**Figura 14.** Resumen del Método Basado en Filtrado No Lineal



Fuente: Autores Del Proyecto.

Tabla 8. Resultados Utilizando el Método Basado en Filtrado No Lineal


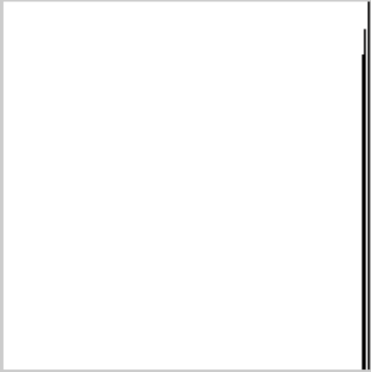

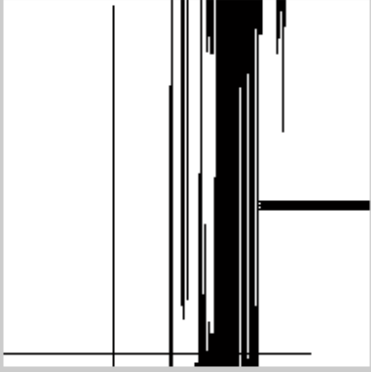

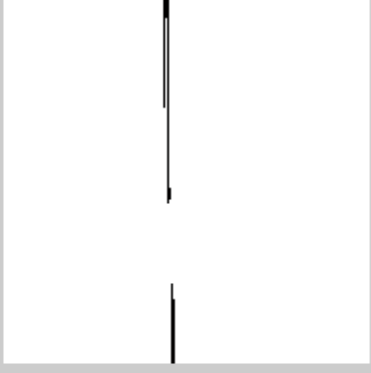
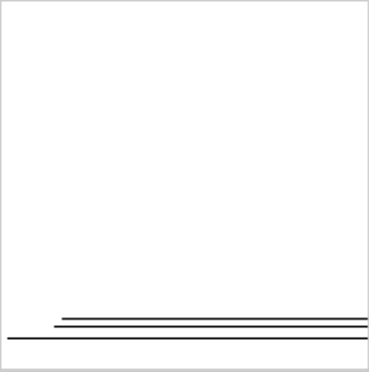

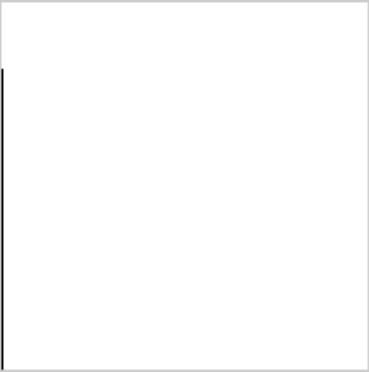

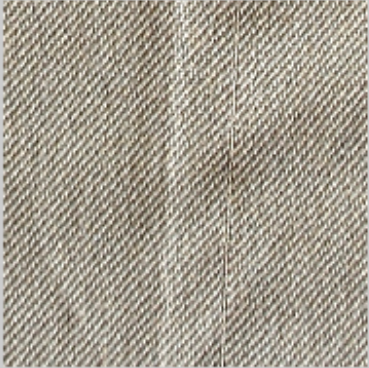
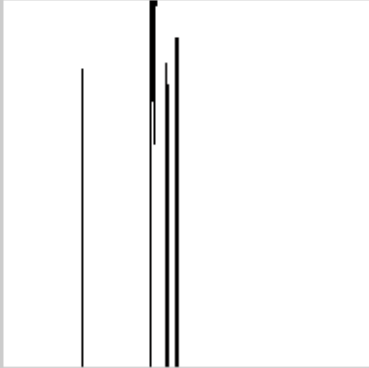

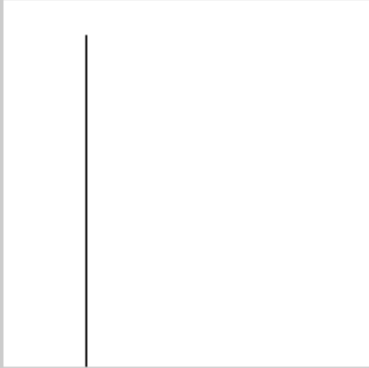
IMAGEN ORIGINAL	DEFECTOS DETECTADOS
	
	
	

Tabla 8 (Continuación). Resultados Utilizando el Método Basado en Filtrado No Lineal

IMAGEN ORIGINAL	DEFECTOS DETECTADOS
	
	
	

**Tabla 8 (Continuación). Resultados Utilizando el Método Basado en Filtrado No Lineal**

IMAGEN ORIGINAL	DEFECTOS DETECTADOS
	
	

**Fuente: Autores Del Proyecto.**

### 3.3 DETECCIÓN MEDIANTE EL USO DE LA TRANSFORMADA DE FOURIER

Figura 15. Diagrama De Detección Mediante El Uso De La Transformada De Fourier

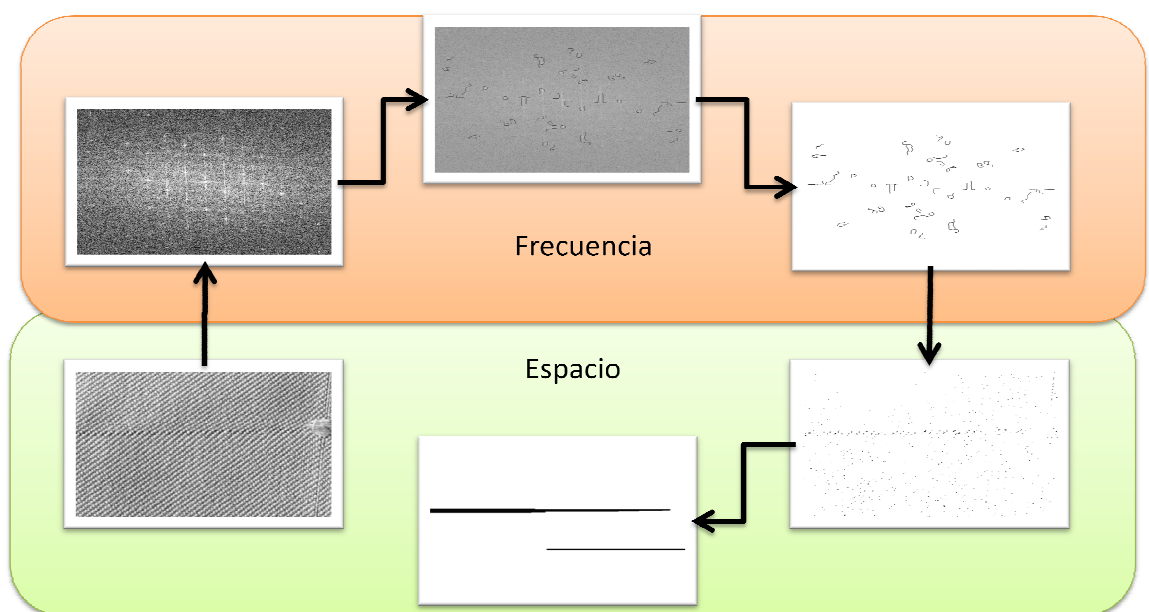


*Fuente: Autores Del Proyecto*

En la figura 15 se presenta el diagrama de bloques correspondiente a la detección mediante la aplicación de la transformada discreta de Fourier, la cual permite analizar las características de la imagen en el dominio de la frecuencia, la imagen de la tela a inspeccionar es representada por un arreglo matricial en donde cada elemento representa el nivel de gris en cada punto de la fotografía, a esta imagen se le aplica la transformada discreta de Fourier (DTF) con lo cual se lleva al dominio de la frecuencia, o dominio de Fourier, de esta manera se calcula su espectro, el cual contiene las diferentes componentes en frecuencia de la imagen original, el tejido de las telas presentan un patrón que se repite, esto en el espectro de la imagen se visualiza como líneas uniformes mientras que los defectos aparecen representados de forma aleatoria, por medio de una detección de los valores máximos se hace una localización dentro del espectro de las partes que representan superficie libre de defectos, se eliminan, dejando solo el espectro correspondiente a los defectos, luego se aplica la

transformada inversa discreta de Fourier (ID) al espectro que solo contiene información sobre posibles defectos. Inmediatamente se umbraliza esta imagen, es decir, se binariza y segmenta de tal manera que se obtenga una imagen en la cual se pueden diferenciar claramente los defectos presentes en la tela.

**Figura 16 . Resumen De Detección Mediante El Uso De La Transformada De Fourier**

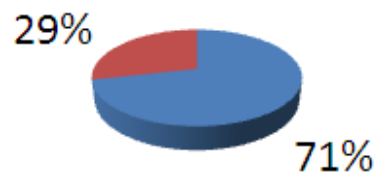


*Fuente: Autores Del Proyecto*

Figura 17. Resultados De Los Diferentes Análisis Basados En Cada Filtrado.

### Filtrado Lineal

■ ACIERTOS ■ NO ACIERTOS



### Filtrado No Lineal

■ ACIERTOS ■ NO ACIERTOS



### Filtrado En Fourier

■ ACIERTOS ■ NO ACIERTOS



*Fuente: Autores Del Proyecto*

## CONCLUSIONES

- ✓ En el proyecto se lograron establecer las diferentes condiciones para obtener el registro de imágenes de telas, de tal manera que sirvan para analizarlas con el propósito de detectar errores en su estructura, dentro de estas condiciones se especificaron las características de los defectos estructurales a detectar, tales como los diferentes tipos, su tamaño más frecuente y sus principales causas. Así como el tipo de iluminación adecuado para destacar la estructura de los textiles, la resolución adecuada para la cámara digital que se ha de usar para capturar las imágenes de tal forma que se haga de manera eficiente, al igual que sea económicamente viable para su implementación dentro de la máquina, además se especifica también la velocidad de captura necesaria para lograr una velocidad de inspección de las telas que supera ampliamente a la velocidad de la inspección manual. Esta primera parte compone la base fundamental para el desarrollo del resto del proyecto, debido a que en esta etapa inicial se definieron los requisitos que debe cumplir la implementación de un sistema de inspección automatizado aplicado al control de calidad de textiles.
- ✓ Utilizando algoritmos de procesamiento digital de imágenes se pudieron analizar imágenes de superficies de telas para conseguir la detección de defectos estructurales en textiles, se logro no solo su detección sino también su clasificación dentro de grandes conjuntos de tipos de defectos, este conjunto de algoritmos muestran ser eficientes, y tener aplicabilidad si se desea emplearlo en la implementación de un sistema automatizado de control de calidad textil. Entre sus características tenemos: detección gran variedad de

defectos, se concentra en los defectos en la estructura de la tela y así como evitar revelar como errores otros elementos; como son arrugas, defectos de tintura, objetos relacionados con defectos del color y con la no homogeneidad de la iluminación.

- ✓ El método de análisis fundamentado en la utilización de filtrado espacial lineal utiliza un operador tipo Sobel que resalta los bordes horizontales y verticales, esto lo hace muy adecuado en este caso donde principalmente se desea detectar patrones verticales y horizontales que corresponden a posibles defectos, lo cual lo hace menos susceptible a falsas detecciones, como en el caso de presencia de arrugas, es también útil para la diferenciación de los distintos tipos de defectos, la combinación entre la detección de bordes y la segmentación mediante los respectivos elementos estructurales hacen de este método muy efectivo y eficiente para resolver el problema planteado en este proyecto.
  
- ✓ La utilización del filtrado no lineal en este caso filtros estadísticos mínimos, toman una kernel horizontal o vertical, para la detección de los respectivos defectos, haciendo posible que las estadísticas de los niveles de gris de la imagen muestren la posible presencia de defectos, esto hace que en algunos casos patrones horizontales o verticales que no corresponden a defectos estructurales sean segmentados como tales, mediante morfología se busca minimizar estas detecciones erróneas usando elementos estructurales horizontales, verticales y discos para la detección de cada clase de defecto.

- ✓ La trama de la tela que posee características repetitivas, lo que la hacen mostrar patrones de cierta periodicidad espacial, se puede filtrar en el dominio de la frecuencia, al cual se lleva la imagen mediante la transformada discreta de Fourier en dos dimensiones, este forma de filtrado permitió buena segmentación de defectos horizontales y verticales.
  
- ✓ Se consiguió una activa participación de la industria que eventualmente se vería beneficiada ante los resultados de este tipo de trabajos, para el caso, la industria de textiles y de confecciones, de tal manera que se logra apreciar que el contacto entre la universidad y el sector productivo, beneficia el desarrollo de la región y del país, así como permite a autores de las investigaciones tener un mejor contacto con la realidad y llevar sus conocimientos a la práctica.

## RECOMENDACIONES

- ✓ Las diferentes referencias de los dispositivos y elementos que conforma el sistema automatizado de control de calidad no son inflexiblemente alterables pueden ser mejorados o remplazados para otros usos y/o por los que ofrezcan un mejor desempeño o un servicio similar.
- ✓ El diseño que se propone para la máquina de registro de superficie MRS se hizo para aplicarlo a la captura de un área de 80 cm por 60 cm de tela, esto debido a que es de esta manera se hace aplicable el proyecto a la industria local, es importante mencionar que también se puede implementar a otros tamaños de telas haciendo cambios sutiles en el diseño de la MRS.
- ✓ Es de vital importancia para el desarrollo de este tipo de proyectos y su verdadera aplicabilidad en la realidad productiva que no se pierda el contacto entre la universidad y el sector productivo, se requiere buscar llevar los conocimientos sobre todo como en este caso en materia de desarrollo y gestión tecnológica a las industrias nacionales, para con ello buscar mejorar la competitividad ante la industria mundial.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Universidad Nacional de Quilmes, Aspectos de un Sistema de Visión Artificial, Ing. en Automatización y Control Industrial, 2005
2. Radovan Stojanovicw, Panagiotis Mitropulos, Christos Koulamas, Yorgos Karayiannis\*, Stavros Koubias and George Papadopoulos; Real-Time Vision-Based System for Textile Fabric Inspection; Applied Electronics Laboratory and VLSI Laboratory, Department of Electrical and Computer Engineering, University of Patras, Patras, Grecia, 2001.
3. Srinivasan, K., Dastor, P.H., Radhakrishnaihan P., Jayaraman, S.; A Knowledge-based Frame-detection work for Analysis of Defects in Woven textile Structures, J. Text. Institute, 2008.
4. Erik Valdemar Cuevas Jimenez, Daniel Zaldivar Navarro, Visión por computador utilizando matlab y el toolbox de procesamiento digital de imágenes, 2006.
5. Teresa Navarro Gonzalo, Aplicación de las ondículas al análisis de imágenes, Departament de Matemàtica Aplicada III. Universitat Politècnica de Catalunya. 2006.
6. Ahmed Abouelela, Hazem M. Abbas, Hesham Eldeeb, Abdelmonem A. Wahdan and Salwa M. Nassar, Automated vision system for localizing structural defects in textile fabrics, Computers and Systems Department, Electronics Research Institute (ERI), Giza 12622, Egypt Department of Computer and Systems Engineering, Ain Shams University, El Cairo Egipto 2004.
7. D. Chetverikov, A. Hanbury, Finding Defects In Texture Using Regularity And Local Orientation Computer and Automation Research Institute, Budapest, Hungría, 2001.

8. M. Ralló, J. Escofet, M.S. Millán, Segmentación automática de defectos en tejidos mediante filtrado en el espacio de Fourier, Departamento de Matemática Aplicada, UPC. Departamento de Óptica y Optometría, UPC, 2002.
9. Chi-ho Chan and Grantham Pang, Fabric defect detection by Fourier analysis, Dept. of Electrical and Electronic Engineering The University of Hong Kong, 1999.
10. Cárdenas León, Lia Joyce; Cifuentes Castro, Ludy Emerita; Caracterización de tejidos por medio de la representación paramétrica de la Transformada de Fourier. Escuela De Ingeniería De Sistemas E Informática UIS, 1995
11. Dr. Gary Mock & Dr. Gary Smith, Defectos específicos en telas de trama tejida algunas causas comunes, Department of Textile Technology and Management College of Textiles North Carolina State University, 2004.
12. Digital Image Processing Using MATLAB R.C. Gonzalez - R. E. Woods, Third Edition, 2002.

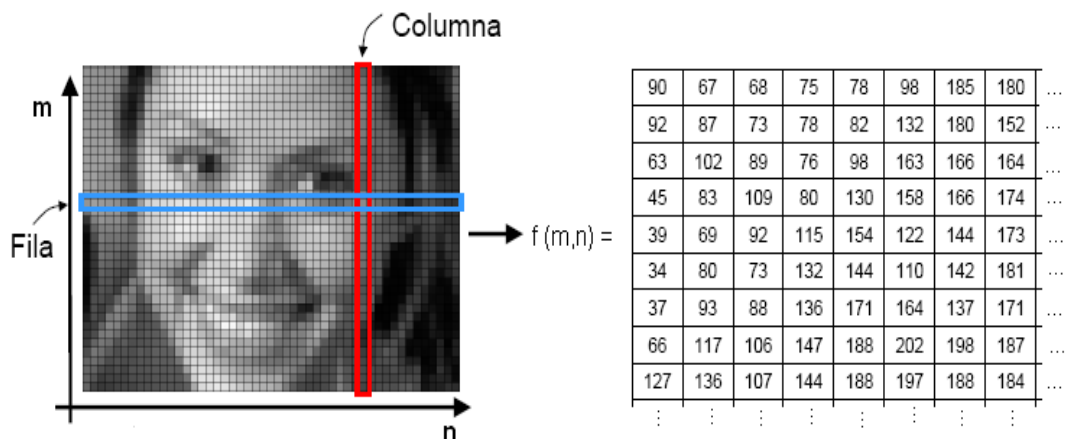
## **ANEXOS**

## Anexo A. FUNDAMENTOS DE PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES

### A.1 REPRESENTACIÓN MATEMÁTICA DE UNA IMAGEN

Una imagen en escala de grises se puede representar por medio de una matriz de dos dimensiones de  $m \times n$  donde  $m$  es el número de filas y  $n$  el de columnas. Cada elemento de la matriz de la imagen tiene un valor de cero (negro) hasta 255 (blanco), representado en la figura 18.

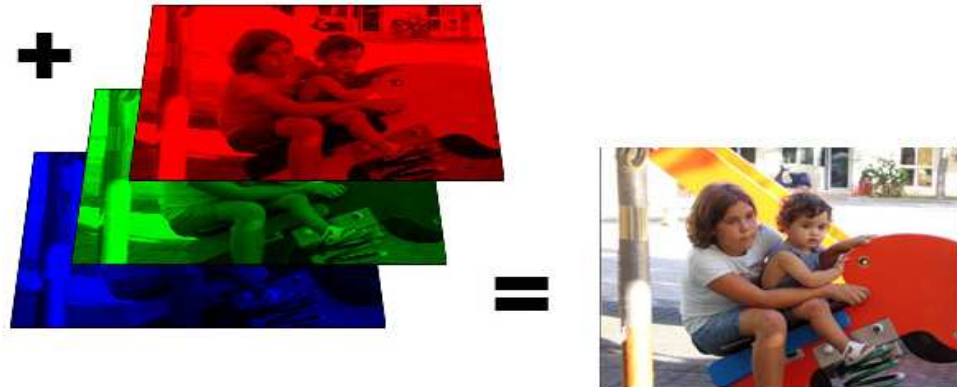
Figura 18. Representación De Una Imagen Por Medio De Una Matriz



Fuente: <http://dis.um.es/profesores/ginesgm>, Universidad De Murcia

Por otro lado una imagen de color RGB es representada por una matriz de tres dimensiones de  $m \times n \times p$ , como se muestra en la figura 19, en este caso  $p$  representa un determinado plano, que puede ser 1 para el rojo, 2 para el verde y 3 para el azul.

Figura 19. Representación De Una Imagen A Color



Fuente: [http://creatividadnatural.blogspot.com/2009\\_02\\_01\\_archive.html](http://creatividadnatural.blogspot.com/2009_02_01_archive.html)

## A.2 PROCESAMIENTO ESPACIAL

El término dominio espacial se refiere a la imagen en sí misma, y los métodos de procesamiento dentro de esta categoría están basados en la manipulación directa de los píxeles que componen la imagen.

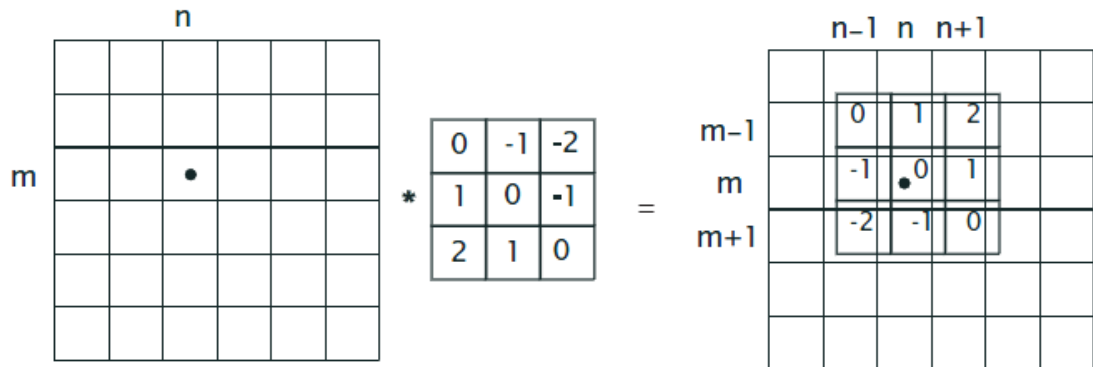
Las dos principales categorías del procesamiento espacial son: Transformaciones a nivel de gris y filtrado espacial. La diferencia entre estas dos categorías es que mientras las transformaciones de nivel gris operan sobre un solo píxel y su principal propósito es manipular el contraste de la imagen y su umbralización, el filtrado espacial ejecuta ciertas operaciones como: suavizado de la imagen trabajando no solo con cada píxel sino con sus vecinos. Generalmente las técnicas en el dominio espacial son computacionalmente más eficientes y requieren menos recursos de procesamiento para implementarlas.

Las operaciones en el dominio espacial se denotan de la siguiente manera:

$$g(x, y) = T[f(x, y)] \quad (1.1)$$

Donde  $f(x,y)$  es la imagen de entrada,  $g(x,y)$  es la imagen de salida y  $T$  es una operación sobre  $f(x,y)$  definida sobre la vecindad de un punto  $(x,y)$ .

**Figura 20. Una Vecindad De 3x3 Alrededor De Un Punto X, Y Dentro De Una Imagen En El Espacio**



**Fuente: Digital Image Processing Bernd Jähne 6th Edición**

La figura 20 muestra una implementación básica de la ecuación (1.1). El punto  $(x, y)$  representa una ubicación determinada dentro de la imagen, la pequeña región mostrada contiene la vecindad del punto  $(x,y)$ , típicamente la vecindad es rectangular, centrada en  $(x,y)$ , y mucho más pequeña con relación de la imagen.

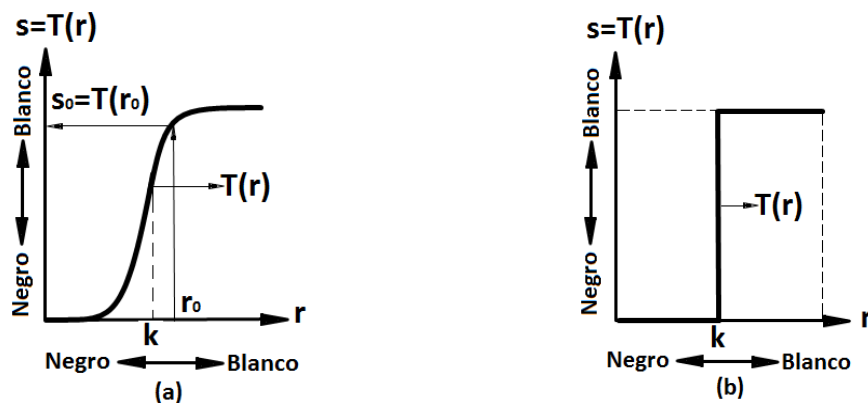
El procesamiento que se representa en la figura 20, consiste en mover el origen de la vecindad por cada pixel y aplicar el operador  $T$ , a los pixeles de la vecindad para producir la salida en esa ubicación. Por consiguiente, para una ubicación específica  $(x,y)$ , el valor de la imagen de salida  $g$  en estas coordenadas es igual al resultado de aplicar  $T$  al vecindario con origen en  $(x,y)$  en  $f(x,y)$ .

La vecindad más pequeña posible es de tamaño  $1 \times 1$ . En este caso,  $g$  solo depende del valor de  $f$  en cualquier punto  $(x,y)$  y  $T$  en la ecuación (1.1) se convierte en una operación del nivel de gris entre los que se encuentra el mejoramiento del contraste y la umbralización.

### A.2.1 Mejoramiento del Contraste y Umbralización

Las imágenes de bajo contraste pueden ser el resultado de una pobre iluminación, un bajo rango dinámico del sensor e incluso una mala configuración en la apertura del lente durante la adquisición de la imagen. El mejoramiento del contraste es un proceso que expande el rango de los niveles de gris en una imagen de tal manera que ocupa completamente el rango de intensidades disponibles. La figura 21 (a) muestra una transformación típica usada para el mejoramiento del contraste, la localización de los puntos  $(r_1, s_1)$  y  $(r_2, s_2)$ , producen varios grados de distribución. Si  $r_1 = s_1$  y  $r_2 = s_2$  la transformación no produce cambios en los niveles de grises de la imagen. Si  $r_1 = r_2$ ,  $s_1 = 0$  y  $s_2 = L-1$ , la transformación se convierte en una umbralización que produce una imagen binaria como se presenta en la figura 21 (b). Valores intermedios de  $(r_1, s_1)$  y  $(r_2, s_2)$ , producen varios grados de distribución del nivel de gris de la imagen de salida el cual afecta su contraste, en general,  $r_1 \leq r_2$  y  $s_1 \leq s_2$  de tal manera que la función es monótonamente incremental, esta condición además preserva el orden de intensidad de los niveles de gris.

Figura 21. (a) Función de Contraste, (b) Función de Umbralización.



Fuente: Adaptada de Digital Image Processing. R.C. Gonzalez - R. E. Woods Third Edition

## A.2.2 Procesamiento a Nivel del Histograma

El histograma de una imagen digital con niveles de gris entre un rango  $[0, L-1]$  es una función discreta  $h(r_k) = n_k$  donde  $r_k$  es el  $k$ -ésimo valor del nivel de gris y  $n_k$  es número de pixeles en la imagen con intensidad  $r_k$ . Es una práctica común normalizar el histograma dividiendo cada uno de sus componentes por el número total de pixeles de la imagen, denotado por  $mn$ , donde  $m$  y  $n$  las dimensiones de la filas y columnas de la imagen. Luego, un histograma normalizado esta dado por  $p(r_k) = n_k/mn$ , para  $k = 0, 1, 2, 3, \dots, L - 1$ . desde otro punto de vista  $p(r_k)$  estima la probabilidad de ocurrencia del nivel de gris  $r_k$  en una imagen. La suma de todos los componentes de un histograma normalizado es igual a uno.

Los histogramas son la base para muchas técnicas de procesamiento espacial. La manipulación de los histogramas incluye su expansión, su compresión, y su reubicación. Además, proveen estadísticas acerca de la imagen que se calculan de manera simple, lo que los convierte en una herramienta muy popular a la hora de implementaciones de bajo costo y alta velocidad computacional.

### A.2.2.1 Ecuación del histograma:

Consideremos una imagen con valores de nivel de gris continuos normalizados en un rango de  $[0, 1]$  y sea  $p_r(r)$  la función de densidad de probabilidad (FDP) de los valores de niveles de gris de la imagen dada, donde el subíndice se usa para diferenciar entre la FDP de la imagen de entrada y la de la salida. Supongamos que se realiza la siguiente transformación a los niveles de gris para obtener unos nuevos niveles de gris  $s$ :

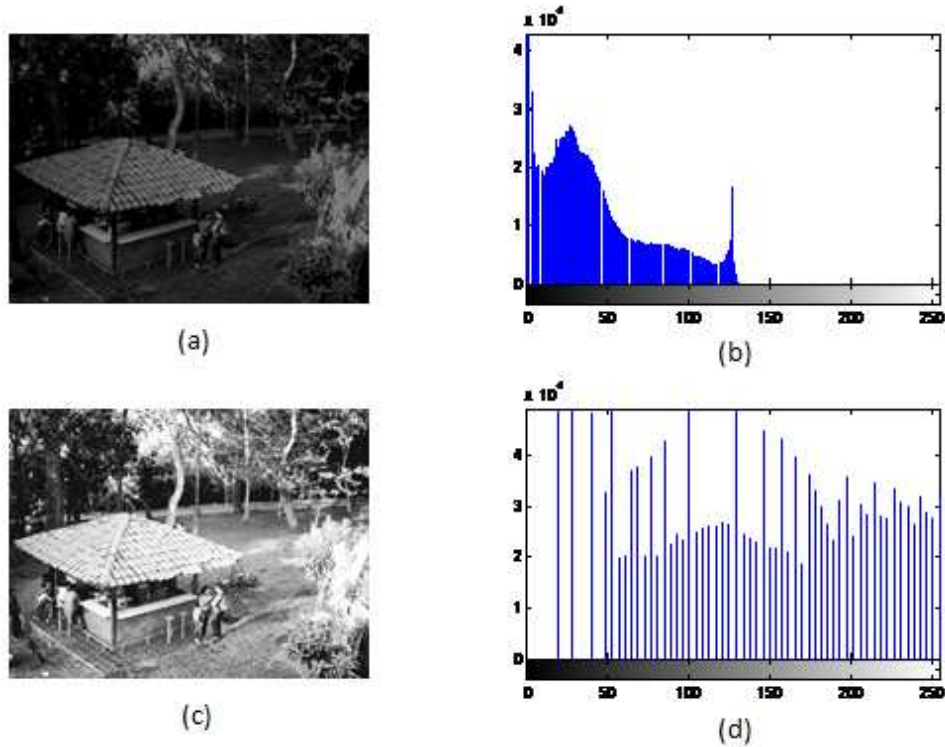
$$s = T(r) = \int_0^r p_r(w)dw \quad (1.2)$$

Donde  $w$  solo se usa como variable de integración, el efecto de esta transformación se puede mostrar que la FDP de los niveles de grises de la salida es uniforme de tal forma que:

$$p_s(s) = \begin{cases} 1 & \text{para } 0 \leq s \leq 1 \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases} \quad (1.3)$$

En otras palabras esta transformación genera una imagen para la cual los valores de nivel de gris son similarmente equivalentes, y además cubren total mente el rango  $[0,1]$ . El resultado de esta transformación conocida como ecualización es una imagen en la cual se incrementa el rango dinámico, lo cual la hará tender a un mayor contraste. Se debe resaltar que esta transformación no es nada más que la función de distribución aculada (FDA). Cuando se manejan cantidades discretas se trabaja con histogramas y esta técnica de procesamiento se conoce como ecualización del histograma, aunque en general el histograma de la imagen procesada no es completamente uniforme dado la naturaleza discreta de las variables.

Figura 22. (a) imagen original, (b) su correspondiente histograma. (c) imagen con histograma ecualizado (d) su correspondiente histograma.



Fuente : Autores Del Proyecto

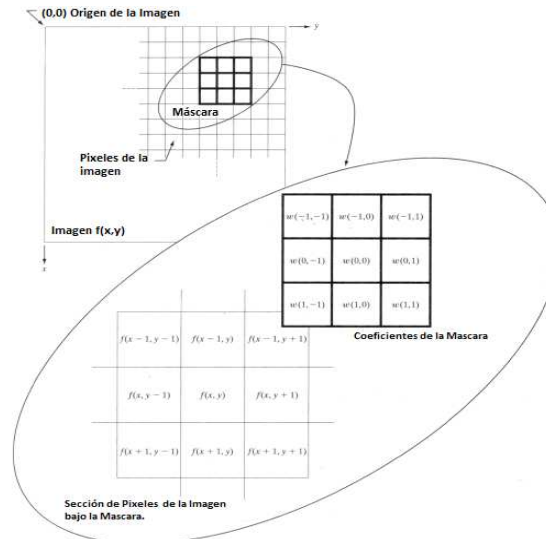
La figura 22 (a) muestra una imagen que necesita mejorar su contraste se observa que es oscura y que tiene un bajo rango dinámico. Esto también se puede observar en su histograma figura 22 (b). Por otra parte, la figura 22 (c) muestra la imagen resultante de ecualizar el histograma. Las mejoras en la intensidad promedio y el contraste son bastante evidentes, estas características también se observan en la figura 22 (d). El incremento en el contraste se debe a que la distribución sobre el rango de valores del nivel de gris es más alta que la original. Aunque el método de ecualización del histograma que se acaba de discutir no produce un histograma plano, sí, presenta la característica deseada de proveer un incremento en el rango dinámico de los niveles de gris de la imagen.

Se debe anotar que la transformación  $T(r)$ , consiste simplemente en una suma acumulativa de los valores del histograma normalizado. Sintetizando, el resultado más visible de aplicar esta transformación consiste en que un rango estrecho en el valor de niveles de gris como entrada se transforma en una imagen de salida que cubre totalmente la escala de valores de niveles de gris, es decir, su intensidad.

### **A.2.3 Filtrado Espacial Lineal**

Como se menciono anteriormente y como se observa en la figura 20 el filtrado espacial consiste en una serie de pasos que son: Primero, definir el punto central  $(x,y)$ ; Segundo, definir la operación que involucra solamente a los pixeles dentro de la vecindad predefinida; Tercero, obtener el resultado de la operación el cual será la “respuesta” del procesamiento en el punto  $(x,y)$ ; y Cuarto, repetir este proceso para cada punto de la imagen. Si las operaciones que se realizan sobre los pixeles de la vecindad son lineales, la transformación se llama filtrado espacial lineal. De lo contrario, se le conoce como filtrado espacial no lineal.

**Figura 23. Aplicación De Un Filtrado Espacial Lineal Mediante Una Máscara De 3x3**



**Fuente: Adaptada De Digital Image Processing Using MATLAB R.C. Gonzalez – R. E. Woods**

En la figura 23 se ilustra los pasos a seguir para un filtrado espacial que como ya se ha mencionado consiste simplemente en mover el centro de la máscara de filtrado  $w$  por cada píxel de la imagen  $f$  en cada punto  $(x,y)$ , la respuesta del filtro en dicho punto es la suma de los productos de los coeficientes del filtro y los correspondientes píxeles de la vecindad en el área cubierta por la máscara de filtrado. Para una máscara de tamaño  $m \times n$  donde se satisface que  $m=2a+1$  y  $n=2b+1$  donde  $a$  y  $b$  son enteros no negativos, es decir, las dimensiones de la máscara deben ser números impares, dado que estas tienen un único punto central.

Existen dos conceptos que están estrechamente relacionados y que se deben entender claramente a la hora de realizar filtrado espacial. Por una parte se emplea la correlación, la cual consiste en pasar la máscara  $w$  sobre el arreglo  $f$  de la manera descrita en la figura 8; mientras que la convolución radica en realizar la misma operación pero rotando  $w$  un ángulo de  $180^\circ$  antes de pasarlo por  $f$ .

#### A.2.4 Filtrado Espacial No Lineal

Este tipo de filtrado también se basan en operaciones que involucran una vecindad de píxeles, este procesamiento se fundamenta en desplazar el punto central por cada uno de los píxeles de la imagen de la misma manera que se explico en el ítem anterior. Sin embargo, debido a que el filtrado espacial lineal es el cálculo de una suma de producto la cual es una operación lineal, el filtrado espacial no lineal como su nombre lo indica se basa en operaciones no lineales que involucran píxeles de una vecindad. Otra diferencia básica es que el concepto de máscara no prevalece en el procesamiento no lineal. Aunque la idea de filtrado continúa el filtro se debe visualizar como una función no lineal que depende de los píxeles en la vecindad y cuya respuesta consiste en el resultado de la operación en el píxel central de la vecindad.

### A.3 PROCESAMIENTO EN EL DOMINIO DE LA FRECUENCIA

El filtrado en el dominio de la frecuencia por medio de la transformada de Fourier permite una considerable flexibilidad en cuanto al diseño e implementación de filtros que tienen aplicación en áreas tales como restauración y realce de imágenes, así como en su compresión. Primero se definirá la transformada discreta de Fourier en dos dimensiones: sea  $f(x, y)$ , para  $x = 0, 1, 2, 3, \dots, M - 1$  y  $y = 0, 1, 2, 3, \dots, N - 1$  denota una imagen de  $M \times N$ , la transformada discreta de Fourier (DTF) en dos dimensiones (2-D) de  $f$  denotada como  $F(u, v)$ , viene dada por la ecuación:

$$F(u, v) = \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) e^{-j2\pi\left(\frac{ux}{M} + \frac{vy}{N}\right)} \quad (1.4)$$

Para  $u = 0, 1, 2, 3, \dots, M - 1$  y  $v = 0, 1, 2, 3, \dots, N - 1$   $u$  y  $v$  son las direcciones espectrales, se puede expandir la exponencial en funciones seno y coseno donde las variables  $u$  y  $v$  determinan su frecuencia. El dominio de la frecuencia conforma simplemente un nuevo sistema coordenado para  $F(u, v)$  con  $u$  y  $v$  como variables –frecuenciales–. Luego, el dominio de la frecuencia es análogo al espacial, en donde el sistema coordenado es abarcado por  $f(x, y)$ , con  $x$  y  $y$  como variables –espaciales–. La región rectangular definida por  $u = 0, 1, 2, 3, \dots, M - 1$  y  $v = 0, 1, 2, 3, \dots, N - 1$  se conoce usualmente como rectángulo frecuencial, claramente, este rectángulo es del mismo tamaño que la imagen en el espacio. La transformada inversa de Fourier en 2-D está dada por:

$$F(u, v) = \frac{1}{MN} \sum_{u=0}^{M-1} \sum_{v=0}^{N-1} F(u, v) e^{j2\pi\left(\frac{ux}{M} + \frac{vy}{N}\right)} \quad (1.5)$$

Para  $x = 0, 1, 2, 3, \dots, M - 1$  y  $y = 0, 1, 2, 3, \dots, N - 1$  de esta manera dada  $F(u, v)$ , se puede obtener  $f(x, y)$  mediante la fórmula de la transformada inversa de Fourier (IDFT). Los valores de  $F(u, v)$  en esta ecuación se conocen también como coeficientes de Fourier. Se resalte que el coeficiente correspondiente al origen de coordenadas en la frecuencia –por ejemplo  $f(0,0)$ – se llama componente de DC y representa el valor promedio de la imagen  $f(x, y)$ , gen multiplicado por  $M$ .

Incluso si  $f(x, y)$  es real, en general su transformada de Fourier es compleja. El principal método de análisis visual de la transformada es mediante el cálculo de su espectro –magnitud de  $F(u, v)$  –, se define el espectro de Fourier como:

$$|F(u, v)| = [R^2(u, v) + I^2(u, v)]^{1/2} \quad (1.6)$$

El ángulo de fase de la transformada está definido como:

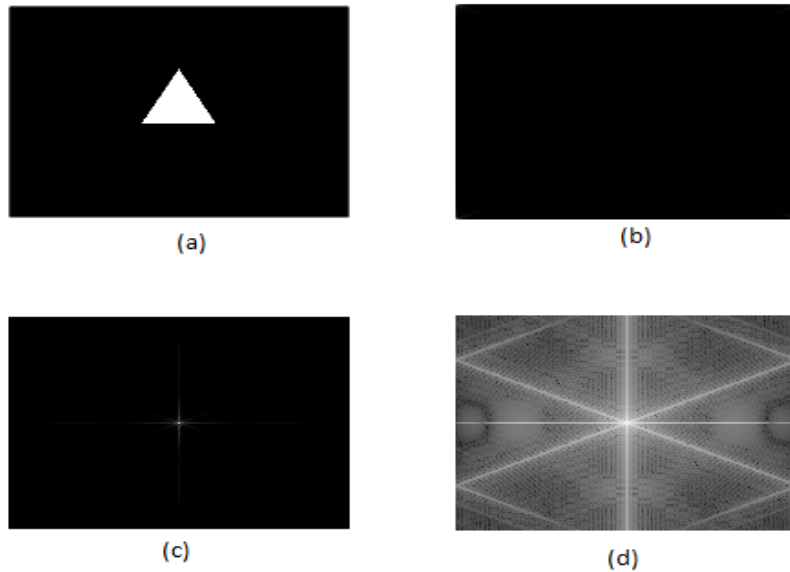
$$\varphi(u, v) = \tan^{-1} \left[ \frac{I(u, v)}{R(u, v)} \right] \quad (1.7)$$

La potencial espectral se define como el cuadrado de la magnitud:

$$P(u, v) = |F(u, v)|^2 = R^2(u, v) + I^2(u, v) \quad (1.8)$$

Para propósitos de visualización es irrelevante si se utiliza  $|F(u, v)|$  o  $P(u, v)$ , esto se explica a continuación mediante un ejemplo sencillo. La figura 24 (a) se presenta una imagen a la que se le desea calcular la transformada de Fourier, la figura 24 (b) corresponde al valor absoluto de la transformada de Fourier, que se conoce como el espectro, en la figura 24 (c) se ha cambiado el origen de coordenadas al centro de la imagen, seguidamente en la figura 24 (d) se incrementaron los detalles visuales mediante una transformación logarítmica.

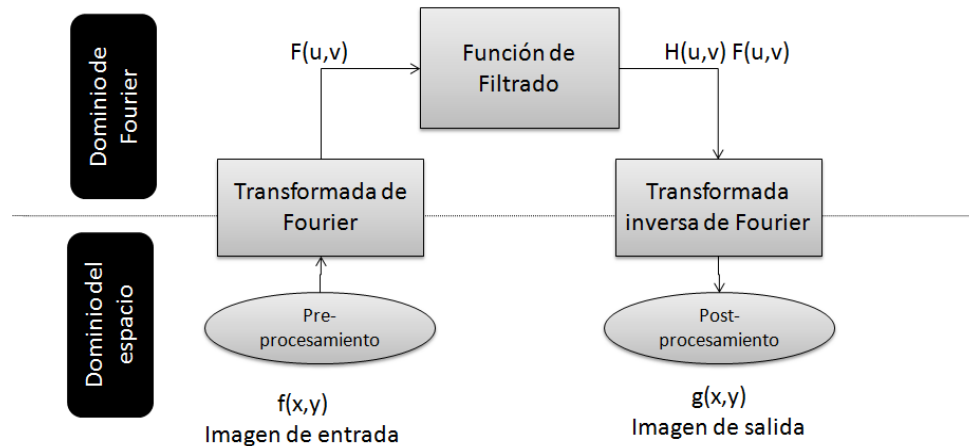
**Figura 24. (a) imagen original, (b) espectro en Fourier , (c) espectro centrado, (d) espectro ajustado para su visualización mediante logaritmo**



**Fuente : Autores Del Proyecto**

### A.3.1 Filtrado En El Dominio De La Frecuencia

Figura 25. Diagrama De Bloques Básico Para El Filtrado En El Dominio De La Frecuencia




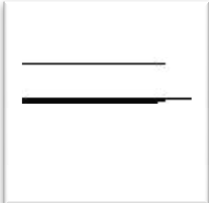
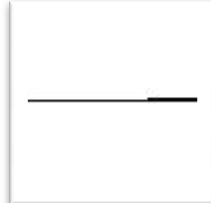
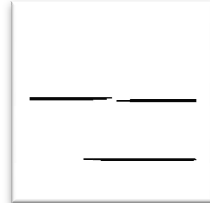
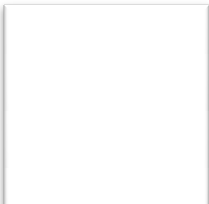
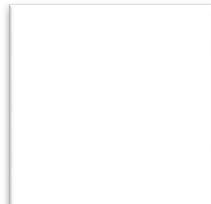
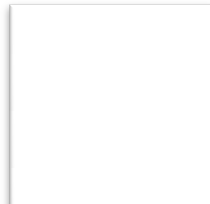
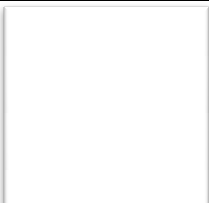
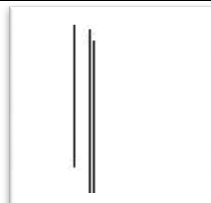
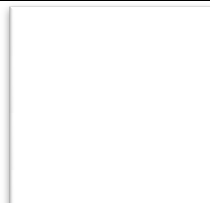
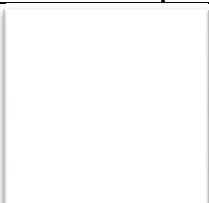
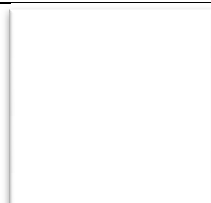
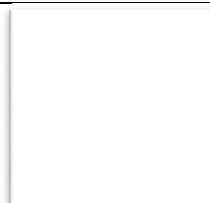


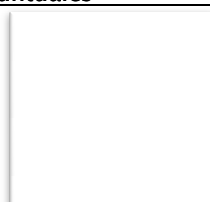
Fuente : Autores Del Proyecto

El procedimiento para filtrar una imagen en el dominio de la frecuencia se ilustra en la figura 25, la etapa de pre-procesamiento precede al resto y sirve entre otros para determinar el tamaño de la imagen, obtener los parámetros de necesarios, y generar un filtro. El post-procesamiento consiste en calcular la parte real del resultado, recortar la imagen y ajustarla para su almacenamiento. La función  $H(u,v)$  multiplica tanto la parte imaginaria como la parte real de  $F(u,v)$ . Si  $H(u,v)$  es real, entonces la fase resultante no cambia, este hecho se puede observar en la ecuación (1.7). Simplemente si hay un mismo factor en la parte real y en la imaginaria este factor se cancelará al dividir. Dejando la fase sin cambios. Los filtros que operan de esta manera se llaman filtros de cambio de fase cero.

Es bien conocido de la teoría de sistemas lineales que bajo ciertas condiciones básicas, la respuesta del sistema ante una entrada tipo impulso caracteriza totalmente al sistema. Cuándo se trabaja datos finitos

discretos como se hace en el procesamiento digital de imágenes, las respuestas de un sistema lineal, incluyendo la respuesta al impulso también son finitas si el sistema lineal es simplemente un filtro espacial, entonces se puede caracterizar completamente al filtro simplemente obteniendo su respuesta al impulso. Un filtro con esta característica es llamado un filtro con respuesta finita al impulso (FIR). En general los filtros espaciales lineales son filtros FIR.

**ANEXO B. COMPARACIÓN ENTRE LOS ANÁLISIS  
BASADOS EN CADA TIPO DE FILTRADO**

<b>Imagen original '01.jpg'</b>		
		
<b>Análisis para detección de defectos horizontales oscuros</b>		
<b>Lineal</b>	<b>No lineal</b>	<b>Fourier</b>
		
<b>Análisis para detección de defectos horizontales brillantes</b>		
		
<b>Análisis para detección de defectos verticales oscuros</b>		
		
<b>Análisis para detección de defectos verticales brillantes</b>		
		
<b>Análisis para detección de defectos puntuales</b>		
		

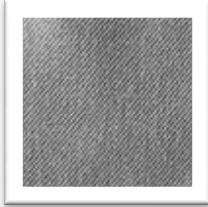

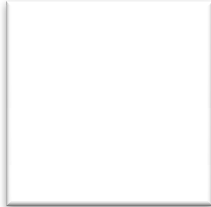

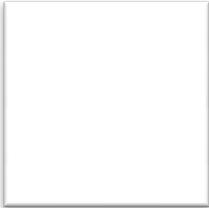
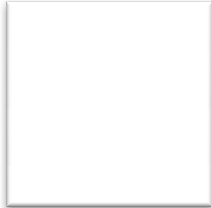
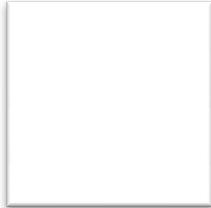
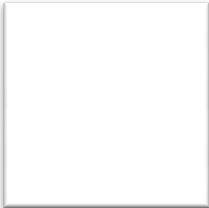
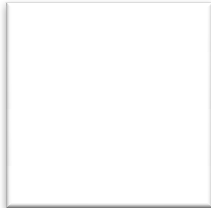







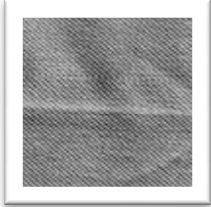



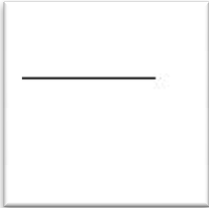
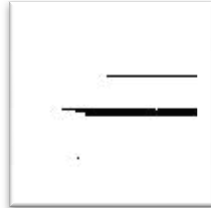
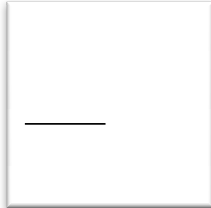

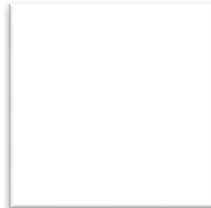

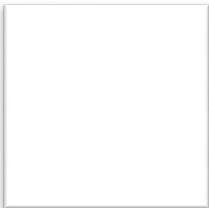
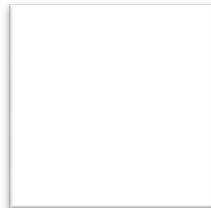


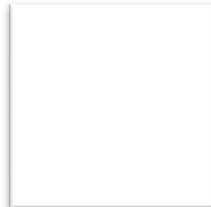

<b>Imagen original '02.jpg'</b>		
		
<b>Análisis para detección de defectos horizontales oscuros</b>		
<b>Lineal</b>	<b>No lineal</b>	<b>Fourier</b>
		
<b>Análisis para detección de defectos horizontales brillantes</b>		
		
<b>Análisis para detección de defectos verticales oscuros</b>		
		
<b>Análisis para detección de defectos verticales brillantes</b>		
		
<b>Análisis para detección de defectos puntuales</b>		
		

Imagen original '03.jpg'		
		
Análisis para detección de defectos horizontales oscuros		
Lineal	No lineal	Fourier
		
Análisis para detección de defectos horizontales brillantes		
		
Análisis para detección de defectos verticales oscuros		
		
Análisis para detección de defectos verticales brillantes		
		
Análisis para detección de defectos puntuales		
		

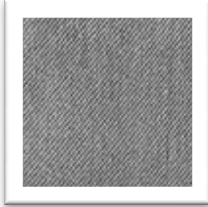





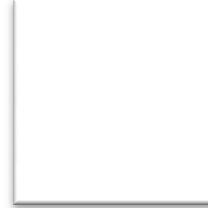

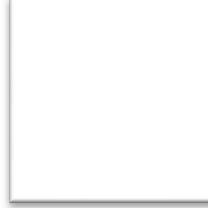
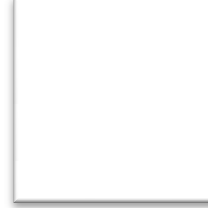


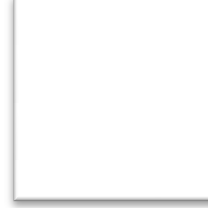

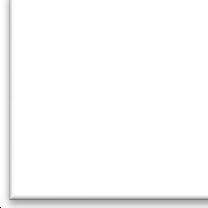

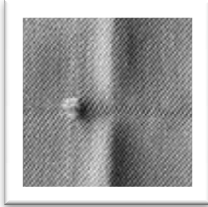



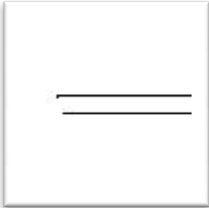
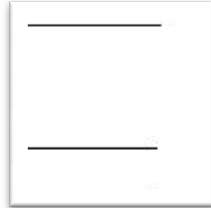
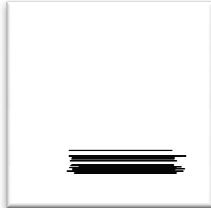
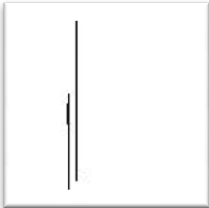

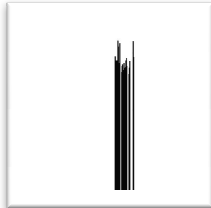
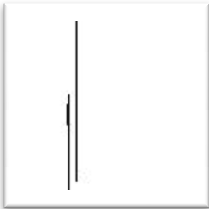
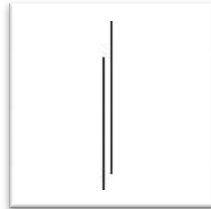
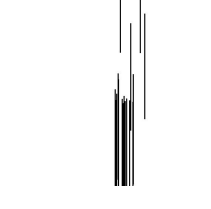
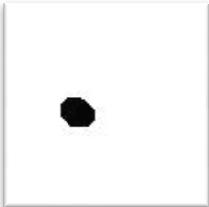

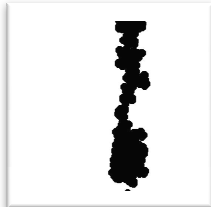




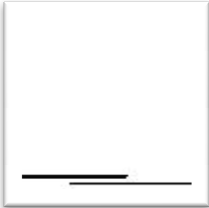

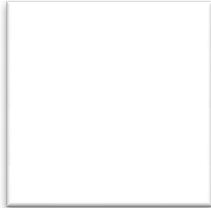
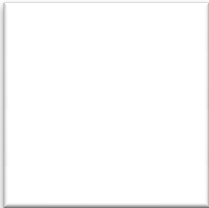
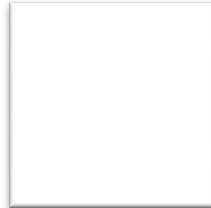


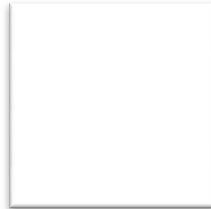


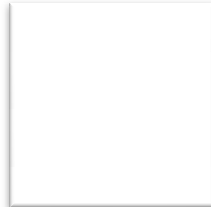

<b>Imagen original '04.jpg'</b>		
		
<b>Análisis para detección de defectos horizontales oscuros</b>		
<b>Lineal</b>	<b>No lineal</b>	<b>Fourier</b>
		
<b>Análisis para detección de defectos horizontales brillantes</b>		
		
<b>Análisis para detección de defectos verticales oscuros</b>		
		
<b>Análisis para detección de defectos verticales brillantes</b>		
		
<b>Análisis para detección de defectos puntuales</b>		
		

Imagen original '06.jpg'		
		
Análisis para detección de defectos horizontales oscuros		
Lineal	No lineal	Fourier
		
Análisis para detección de defectos horizontales brillantes		
		
Análisis para detección de defectos verticales oscuros		
		
Análisis para detección de defectos verticales brillantes		
		
Análisis para detección de defectos puntuales		
		

<b>Imagen original '07.jpg'</b>		
		
<b>Análisis para detección de defectos horizontales oscuros</b>		
<b>Lineal</b>	<b>No lineal</b>	<b>Fourier</b>
		
<b>Análisis para detección de defectos horizontales brillantes</b>		
		
<b>Análisis para detección de defectos verticales oscuros</b>		
		
<b>Análisis para detección de defectos verticales brillantes</b>		
		
<b>Análisis para detección de defectos puntuales</b>		
		

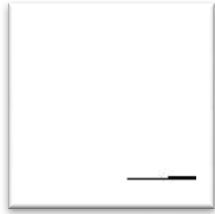
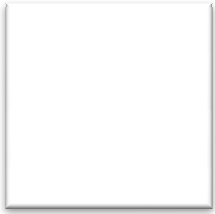


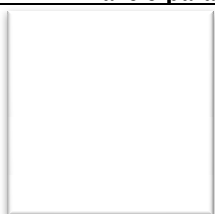
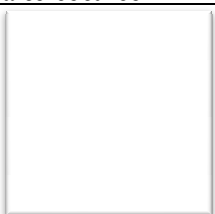
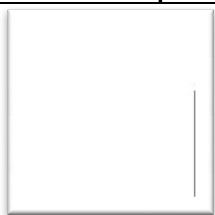
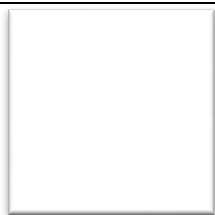
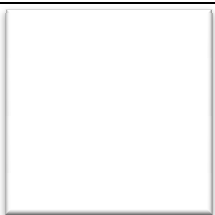
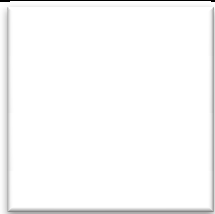
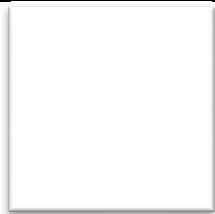
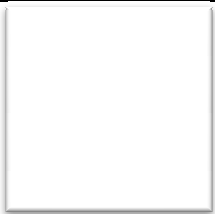
<b>Imagen original '08.jpg'</b>		
		
<b>Análisis para detección de defectos horizontales oscuros</b>		
<b>Lineal</b>	<b>No lineal</b>	<b>Fourier</b>
		
<b>Análisis para detección de defectos horizontales brillantes</b>		
		
<b>Análisis para detección de defectos verticales oscuros</b>		
		
<b>Análisis para detección de defectos verticales brillantes</b>		
		
<b>Análisis para detección de defectos puntuales</b>		
		

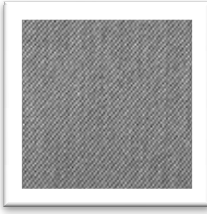

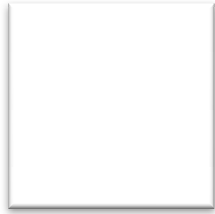
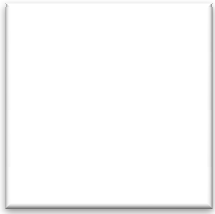
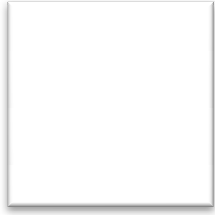
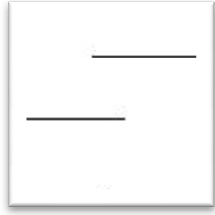
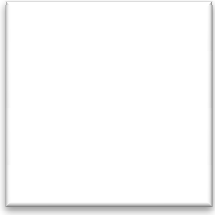
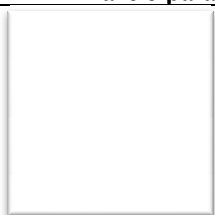
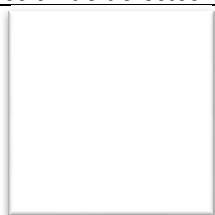
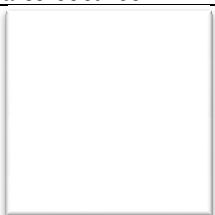
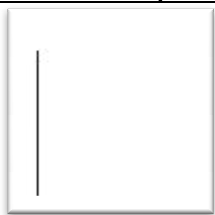
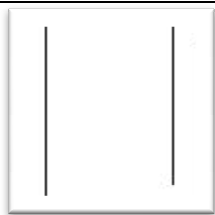
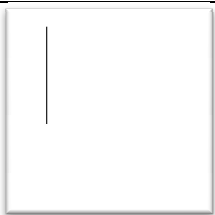
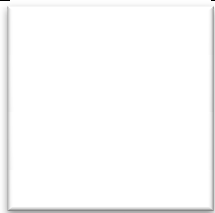
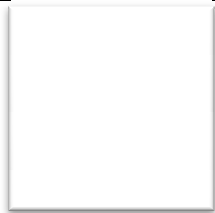
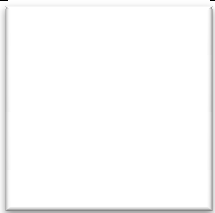
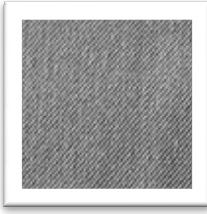
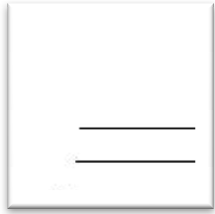

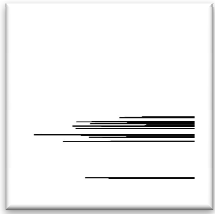
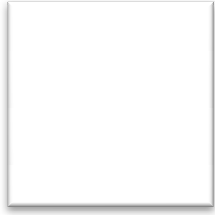
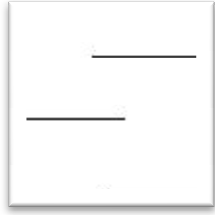
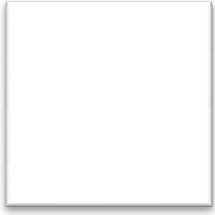
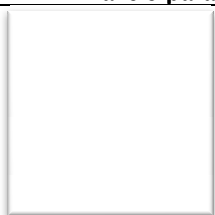
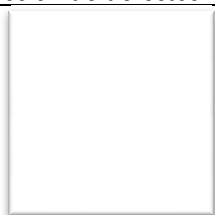
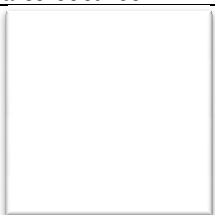
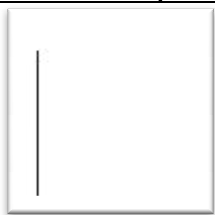
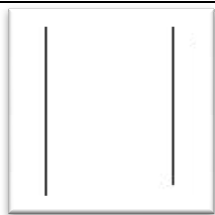
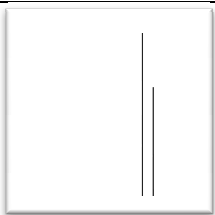
Imagen original '09.jpg'		
		
Análisis para detección de defectos horizontales oscuros		
Espacial	No lineal	Fourier
		
Análisis para detección de defectos horizontales brillantes		
		
Análisis para detección de defectos verticales oscuros		
		
Análisis para detección de defectos verticales brillantes		
		
Análisis para detección de defectos puntuales		
		

Imagen original '10.jpg'		
		
Análisis para detección de defectos horizontales oscuros		
Espacial	No lineal	Fourier
		
Análisis para detección de defectos horizontales brillantes		
		
Análisis para detección de defectos verticales oscuros		
		
Análisis para detección de defectos verticales brillantes		
		
Análisis para detección de defectos puntuales		
