

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO PARA
DETECCIÓN DE DEFECTOS EN TELAS DURANTE EL PROCESO DE
PRODUCCIÓN**



LEYDER HARLEY GARCÉS SINISTERRA

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE INGENIERÍA FÍSICA
POPAYÁN
2008**

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO PARA
DETECCIÓN DE DEFECTOS EN TELAS DURANTE EL PROCESO DE
PRODUCCIÓN**

LEYDER HARLEY GARCÉS SINISTERRA



**Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de
Ingeniero Físico**

Director

LUIS FERNANDO ECHEVERRI

Magíster en física

Grupo de Óptica Láser

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE INGENIERÍA FÍSICA
POPAYÁN
2008**

NOTA DE ACEPTACIÓN

Director: _____
Magíster, Luis Fernando Echeverri E.

Jurado: _____
Ingeniero Físico, Mario Milver Patiño V.

Jurado: _____
Ingeniero Textil, Renán Andrés Valencia

Fecha de Sustentación: miércoles, 9 de julio de 2008

...Cada ente y más aun cada individuo como materia viva y racional, tiene su propio mundo que evoluciona permanentemente gracias a la interrelación con su entorno...

...En ese proceso evolutivo, los sueños se convierten en el catalizador que acelera las transiciones, que nos permiten alcanzar cada etapa o estado de crecimiento personal y profesional...

...Hace algún tiempo tuve un sueño, que se consolida con la realización de este trabajo; gracias a él, he podido escalar un peldaño más en la búsqueda de la auto realización o perfección, razón de ser de todo ser. Y quiero dedicarlo fundamentalmente a **DIOS**, principio motor de todo cuanto existe...

...De manera fervorosa y efusiva a mis padres **Misaél Garcés Bonilla y Agripina Sinisterra de Garcés**, quienes se privaron de muchos placeres para que yo alcanzara ese sueño...

...También a mis **hermanos**, a quienes de manera involuntaria les afecté su desarrollo normal, al absorber todo el interés de nuestros padres durante este periodo y sin embargo supieron comprender...

"Entra al mundo de la física y el universo no te parecerá un misterio"

Leyder Harley Garcés Sinisterra

AGRADECIMIENTOS

"Cultiva virtudes y cosecharas glorias"
Leyder Harley Garcés Sinisterra

El autor manifiesta sus más sinceros agradecimientos:

A **Dios**, por concederme la fortuna de contar con la presencia y amor de mis padres, por ayudarme a completar este ciclo y en general por todas las bendiciones que me brinda día tras día.

De manera inconmensurable a mis padres, **Misaél Garcés Bonilla** y **Agripina Sinisterra de Garcés**, por su completa abnegación y apoyo irrestricto durante toda mi vida y de manera especial durante el curso de mi carrera. A todos mis **hermanos** por su apoyo moral y espiritual.

A los directivos de la empresa **Empaques del Cauca S. A.**, por brindarme la oportunidad de realizar mis practicas en sus instalaciones y de manera especial al jefe de producción **Renán Andrés Valencia**, por haber creído en esta propuesta; a **Nelson Castillo** electricista de la empresa, por su invaluable colaboración en el montaje y calibración de los componentes en el telar.

Al Magíster **Luis Fernando Echeverri**, por haber aceptado y asumido la dirección de este proyecto y por sus valiosas orientaciones en el desarrollo del mismo. A todos los **profesores de la Universidad del Cauca**, en especial a los del Departamento de Física que me enriquecieron con una vastedad de conocimientos.

A mis **amigos**, por su compañía y por esas voces de aliento que me azuzaron para continuar en esta lucha, cuando mi espíritu amenazaba con claudicar.

A **Carlos Andrés Ramírez** y al Ingeniero Físico **Gerardo Antonio Idrobo** amigos incondicionales, por sus aportes a la realización de este trabajo. Sus ideas fueron sin duda alguna de gran ayuda.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
RESUMEN	13
INTRODUCCIÓN	14
1. SISTEMAS DE VISIÓN ARTIFICIAL	
1.1. INTRODUCCIÓN	17
1.2. GENERALIDADES Y CONCEPTO	18
1.3. ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE VISIÓN POR COMPUTADOR	20
1.3.1. Fuentes de luz	21
1.3.1.1. Fundamentos de la iluminación	21
1.3.2. Sensor de imagen	38
1.3.2.1. Resolución	40
1.3.2.2. Cuantización	41
1.3.3. Tarjeta de captura	42
1.3.3.1. Aspectos importantes	42
1.3.4. Algoritmos	43
1.3.4.1. Preprocesamiento	43
1.3.4.2. Segmentación	44
1.3.4.3. Extracción de características	44
1.3.4.4. Clasificación	51
1.3.5. Módulo de proceso	51
1.3.6. Sistema de respuesta	51
2. TEXTILES	53
2.1. DEFINICIÓN DE TELA	53
2.2. PROCESOS PARA LA ELABORACIÓN DE LAS TELAS	54
2.2.1. Telas elaboradas a partir de soluciones	54
2.2.2. Telas elaboradas directamente de fibras	54
2.2.3. Telas elaboradas a partir de hilos	55
2.2.4. Telas compuestas	64
2.2.5. Telas de espuma y fibra	65
2.2.6. Telas afelpadas	65
2.2.7. Telas de componentes múltiples	65

2.3. TIPOS DE TEJIDOS O LIGAMENTOS	66
2.3.1. Tejido liso o tafetán	66
2.3.2. Sarga o tejido cruzado	67
2.3.3. Tejido raso, satén o satín	67
2.4. ELECCIÓN DE LAS FIBRAS	68
2.5. APLICACIONES DE LOS TEXTILES	69
2.6. DEFECTOS EN LAS TELAS	69
2.7. EL TELAR	73
2.8. INSPECCIÓN AUTOMÁTICA Y DETECCIÓN DE DEFECTOS EN TELAS	74
3. FUNDAMENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS PROCEDIMIENTOS EN LA CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA	76
3.1. CAPTURA DE LA IMAGEN	77
3.1.1. La cámara	77
3.1.2. Tarjeta digitalizadora	78
3.1.3. Algoritmo de captura	79
3.2. PREPROCESAMIENTO	79
3.2.1. Umbralización	80
3.2.2. Convolución	80
3.2.3. Etiquetado	81
3.3. DETECCIÓN DE DEFECTOS	82
4. PRUEBAS Y RESULTADOS	86
4.1. PROTOTIPO	89
5. CÓDIGO IMPLEMENTADO	93
6. CONCLUSIONES	96
7. SUGERENCIAS Y RECOMENDACIONES	98
8. BIBLIOGRAFÍA	100
ANEXOS	
A. DISPOSICIÓN DE LA CÁMARA EN EL TELAR	103
B. IMÁGENES DEL SISTEMA EN EJECUCIÓN	104
C. IMÁGENES DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOTIPO	106

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1.1. Esquema simplificado de un sistema de visión artificial	21
Figura 1.2. Iluminando un objeto	22
Figura 1.3. Tipos de reflexión	23
Figura 1.4. Iluminación posterior	24
Figura 1.5. Iluminación frontal	25
Figura 1.6. Dispositivos comerciales de iluminación frontal oblicua y direccional	26
Figura 1.7. Dispositivo de iluminación frontal axial	26
Figura 1.8. Estructura interna del dispositivo de iluminación frontal axial	27
Figura 1.9. Dispositivo comercial de CDI	28
Figura 1.10. Iluminación de campo oscuro	29
Figura 1.11. Esquema del campo claro	30
Figura 1.12. Esquema de iluminación estructurada	31
Figura 1.13. Fibra óptica	33
Figura 1.14. Tubo fluorescente	34
Figura 1.15: Arreglo de <i>leds</i>	35
Figura 1.16. Esquema de iluminación con <i>array</i> de luces	36
Figura 1.17. Spot (luz puntual)	37
Figura 1.18. <i>Array</i> de <i>leds</i> comercial	37
Figura 1.19: láser de <i>Nd-YAG</i>	38
Figura 2.1. Telar para tejido plano	57
Figura 2.2. El fique	64
Figura 2.3. Tejido liso o de tafetán	66
Figura 2.4. Tejido cruzado	67
Figura 2.5. Tejido de satén o satín	68

Figura 2.6. Defectos en telas	71
Figura 2.7. Defectos en telas de fibra de fique	72
Figura 2.8. Partes del telar	73
Figura 2.9. Telar semiautomático	74
Figura 3.1. Etapas del sistema de detección de defectos	76
Figura 3.2. Cámara utilizada	77
Figura 3.3. Tarjeta utilizada	78
Figura 3.4. Imagen capturada	79
Figura 3.5. Imagen umbralizada	80
Figura 3.6. Imagen filtrada	81
Figura 3.7. Definición de camino	82
Figura 3.8. Ejemplo de componentes conexas	82
Figura 3.9. Principales defectos a detectar	83
Figura 3.10. Parámetros de detección de los defectos	84
Figura 4.1. Prototipo, vista lateral y oblicua	90
Figura 4.2. Prototipo, vista frontal	90
Figura 4.3. Sistema de iluminación	91
Figura 5.1. Diagrama de estados	94

LISTA DE TABLAS

	Página
Tabla 1: Resultados obtenidos utilizando luz ambiente	87
Tabla 2: Resultados obtenidos utilizando lámpara fluorescente	88
Tabla 3: Resultados de la combinación de características	89
Tabla 4: Datos obtenidos con el prototipo	91

RESUMEN

En este informe, se describe el diseño e implementación de un sistema automático para la detección de defectos en telas de tejido plano, durante la etapa de elaboración o fabricación y que tiene como marco de desarrollo las técnicas de visión artificial y procesamiento digital de imágenes.

El sistema se basa fundamentalmente en la adquisición automática de imágenes bidimensionales a través de una cámara. Estas imágenes son analizadas mediante la aplicación combinada de los métodos: estadísticos (descriptores de la matriz de coocurrencia de niveles de gris) y estructural (topología de la imagen), con el objeto de extraer **características** idóneas que permitan una detección óptima de los defectos presentes en las mismas.

Por medio de este método podemos obtener dos posibles resultados, *imagen en buen estado o imagen con defecto*. En el primer caso el sistema continúa con el análisis de la siguiente sección de tela y en el segundo caso, se desplegará un cuadro mostrando la imagen con el defecto resaltado y emitiendo un sonido de alerta. El video de lo que está registrando la cámara en el telar, en todo momento puede ser visto por el operario, no importa si hay o no defecto en la tela.

Para efectos de captura, análisis de las imágenes y visualización de los resultados de dicho análisis, se construyó una aplicación utilizando la plataforma Visual C++ 6.0. Esto debido a que permite un adecuado manejo del entorno gráfico, ya que está orientado a la realización de programas para "Windows".

INTRODUCCION

A través de la historia, una de las grandes preocupaciones de las empresas manufactureras y específicamente del sector textil en Colombia, ha sido la generación de altos volúmenes de producción de muy buena calidad, que les permita competir en un mercado amplio y hostil, sin el riesgo de perecer; pero, de manera general, obtener altos estándares de calidad implica hacer un control minucioso tanto de los procesos de producción como de los productos e incluso, del cumplimiento de las normas de Seguridad Industrial.

Sin duda alguna el control de calidad es uno de los aspectos más importantes en la competitividad industrial. El alto costo de la inspección visual humana que no se escapa de los errores, al ser susceptible de fatiga, cansancio y distracción, ha hecho promover y desarrollar sistemas capaces de resolver las tareas de forma automática.

Una de las mayores dificultades dentro de la inspección es la supervisión de la apariencia visual. Ésta es encargada, en la mayoría de las ocasiones, a inspectores humanos; pero el funcionamiento del sistema de visión humano es adecuado en un mundo de variedad y cambio, mientras que el proceso de inspección visual industrial, requiere de la observación de una escena repetida de forma que se puedan detectar anomalías.

La exactitud del sistema humano de visión empeora con el trabajo repetitivo y monótono, el resultado es una inspección lenta, cara y errática. La inspección visual automatizada es obviamente, la alternativa a los inspectores humanos.

Existen en Colombia actualmente muchas empresas en donde el control de calidad de las telas durante el proceso de producción, es llevado a cabo por un

operario que inspecciona de manera visual y táctil la superficie de la tela durante su elaboración; este método evidentemente no garantiza que la tela sea homogénea y que presente las características deseadas, en razón a que como se anotó en el párrafo anterior, el sistema de visión humano se deteriora con el paso del tiempo disminuyendo su capacidad de análisis y se hace mucho más deficiente cuando el trabajo es repetitivo.

De otro lado, cada día se observa con mayor frecuencia que el usuario final interroga sobre las características inherentes a los textiles: la versatilidad de las prendas, duración, comodidad, apariencia, acabados, protección en relación con el medio ambiente, etc. son una serie de preguntas para las que muchas veces no se está preparado, inclusive los que trabajan en el sector del diseño, fibras, textil y confección. Todos estos interrogantes conllevan a que las empresas den una mirada retrospectiva hacia la calidad de sus productos que en el caso específico de la fabricación de telas, se refiere a la elaboración de un producto con un porcentaje mínimo de defectos.

Por otra parte, la existencia de defectos en la superficie puede volver inaceptable una porción del lote que ha sido intensamente trabajada en procesos anteriores, lo que supone una pérdida no solo de material y recursos, sino también de tiempo y trabajo.

Las partes defectuosas de las telas, en general pueden ser reprocesadas; pero esto es económicamente inviable para la mayoría de las empresas, que optan por desechar la parte afectada. Esto último agrega al problema un factor ecológico: el desperdicio de recurso natural.

El problema que se plantea es que, a pesar de que las empresas contratan personas para realizar única y exclusivamente esta tarea, es necesario realizar

dos y tres inspecciones más al término del proceso de fabricación de las telas para detectar ciertos defectos que, pudiendo ser detectados durante el proceso, se podrían corregir.

En este informe se expone el desarrollo de un sistema automático de visión artificial, que permite hacer la inspección de las telas de fibra de fique, en la propia línea de producción, empleando técnicas de procesamiento digital de imágenes.

1. SISTEMAS DE VISION ARTIFICIAL

1.1. INTRODUCCION

La **Visión artificial**, también conocida como **Visión por Computador**, es un subcampo de la inteligencia artificial que se encuentra en una continua y rápida expansión; cada vez se fortalecen más sus bases y procedimientos, además se encuentran nuevos campos de acción. El propósito de la visión artificial es programar un computador para que "entienda" una escena o las características de una imagen, con el fin de alcanzar alguno de los objetivos que se mencionan a continuación.

Objetivos típicos de la visión artificial, se incluyen:

- La detección, segmentación, localización y reconocimiento de ciertos objetos en imágenes (por ejemplo, caras humanas).
- La evaluación de los resultados (Ej.: registro).
- Registro de diferentes imágenes de una misma escena u objeto (Ej.: hacer concordar un mismo objeto en diversas imágenes).
- Seguimiento de un objeto en una secuencia de imágenes.
- Mapeo de una escena para generar un modelo tridimensional de la escena; tal modelo podría ser usado por un robot para navegar por la escena.
- Estimación de las posturas tridimensionales de humanos.
- Búsqueda de imágenes digitales por su contenido.

Estos objetivos se consiguen por medio de reconocimiento de patrones, aprendizaje estadístico, geometría de proyección, procesamiento de imágenes, teoría de grafos y otros campos. La visión artificial cognitiva está muy relacionada con la psicología cognitiva y la computación biológica.

1.2. GENERALIDADES Y CONCEPTO

Expresiones como *visión de juego*, *amplitud de miras* o *tener vista*, indican la importancia que la información visual tiene para los hombres. Los sentidos son los medios por los que se interactúa con el mundo circundante y la vista se destaca como el más importante y complejo de todos: frente a las treinta mil fibras nerviosas dedicadas al sentido auditivo, existen dos millones para el visual y algunos estudios fijan su importancia en un 75% de la información sensorial procesada por el cerebro. A través de los ojos se obtiene información de la posición de los objetos del entorno, se determina el camino libre de obstáculos, se distingue lo que se mueve de lo estático, se calculan trayectorias, se reconocen personas o cosas, se detecta la presencia de posibles peligros, se analizan los colores de las imágenes, etc.

Se pueden establecer algunas analogías entre la visión humana y la visión por computador ya que ambas tendrán un elemento sensor (el ojo y la cámara) y un procesador de la información (el cerebro y el procesador). Una vez que la señal luminosa ha sido transformada en eléctrica, es procesada por el cerebro. En este se realiza una labor de extracción de características.

Debido a la importancia del sentido de la vista humana, era lógico que con la aparición de los primeros computadores, una de las primeras aplicaciones en las que se investigara fuera la *visión artificial*: el análisis de imágenes a través de computadores para obtener una descripción de los objetos físicos que son captados por la cámara.

La visión artificial o por computador es una técnica basada en la adquisición de imágenes, generalmente en dos dimensiones, para luego procesarlas digitalmente mediante algún tipo de CPU (Computadora, Microcontrolador, DSP, etc.), con el

fin de extraer y medir determinadas propiedades de la imagen adquirida. Se trata, por tanto de una tecnología que combina las computadoras con las cámaras de video para adquirir, analizar e interpretar imágenes de una forma equivalente a la inspección visual humana.

Aunque la visión por computador está relacionada con otras tecnologías, se destacan sobre todo tres:

- El procesamiento de imágenes, cuya finalidad es la transformación de una imagen en otra con el fin de favorecer alguna característica presente en la imagen original o eliminar alguna otra que esté ocultando lo que se busca en la imagen.
- La generación de gráficos por computador, cuya finalidad es el paso o transformación de una descripción de los objetos a una imagen. Se recorre el mismo camino pero en sentido contrario al análisis de imágenes, donde se quiere recoger una información abstracta a partir de lo captado por la cámara.
- Reconocimiento de patrones, cuya finalidad es clasificar un objeto entre un conjunto de candidatos a partir de unas características.

Actualmente se utiliza en diversos procesos científicos y militares, extendiéndose su uso además, en un amplio rango a sectores industriales. Este incremento en la utilización industrial es debido a que se trata de una tecnología especialmente útil en labores de inspección o supervisión, siendo cuantitativamente más objetiva y consistente que la inspección humana. Un segundo aspecto complementario de esta técnica es la automatización derivada de esta inspección que brinda la posibilidad de actuar sobre el proceso de fabricación o de inspección, modificando parámetros de la máquina de producción. Especialmente tienen un gran potencial

de uso en la automatización de aquellas tareas en las que la inspección humana resulta ineficiente o costosa.

1.3. ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE VISION POR COMPUTADOR

Cuando en el mundo de la industria se nombra el término visión artificial, se asocia, inequívocamente a un producto de alta tecnología y por tanto de elevado precio. El continuo abaratamiento de la tecnología parece no afectar a los componentes que integran un sistema de visión artificial; sin embargo cada vez hay más personas que ofrecen soluciones domesticas que no se alejan demasiado de las bases sobre las que se asientan los sistemas industriales de visión artificial: una cámara blanco y negro o color con un sensor CCD (requiere tarjeta de captura) o CMOS que digitaliza aquello que ve y lo envía al PC que procesa la información, habitualmente mostrándola por pantalla, como es el caso de las, cada vez mas populares, *webcams*.

De lo anterior, se deduce que combinando componentes estándar de mercado, con un buen software que procese la información que llega del dispositivo de captura, es posible crear un sistema de visión artificial potente, fiable, sencillo y lo que es más importante, escalable y económico.

Uno de los factores que más negativamente afecta a los sistemas de visión artificial es la iluminación ambiente, dado lo variable de su naturaleza. Pero si se trabaja con cámaras a color, el software tendría una mayor gama cromática para compensar las deficiencias o cambios que puedan producirse en el exterior.

Un sistema de visión artificial se compone básicamente de los siguientes elementos:

- Fuente de luz
- Sensor de imagen
- Tarjeta de captura o adquisición de imágenes
- Algoritmos de análisis de imagen
- Módulo de proceso
- Sistema de respuesta

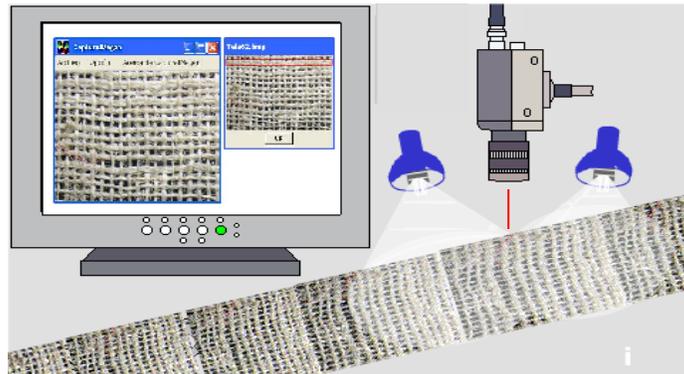


Figura 1.1: Esquema simplificado de un sistema de visión artificial. Se aprecia una forma de disponer e integrar cada uno de los elementos en el sistema, para inspeccionar un producto.

1.3.1. Fuentes de luz

Es un aspecto de vital importancia ya que deben proporcionar unas condiciones de iluminación uniforme e independientes del entorno, facilitando además, si es posible, la extracción de los rasgos de interés para una determinada aplicación.

1.3.1.1.- Fundamentos de la iluminación

Existen reglas bien establecidas para la elección de un tipo de lente. Por el contrario, son mucho menos las reglas establecidas para la elección de una buena iluminación, aún cuando esta última es tan importante como la elección adecuada de la lente para obtener imágenes utilizables. Para que una característica aparezca en una imagen, la luz debe venir de la fuente de iluminación, reflejarse en el objeto y ser recolectada por la lente (**figura 1.2**). Como ya se mencionó, en las aplicaciones de visión artificial la luz del ambiente de trabajo no es aconsejable

debido a que puede cambiar de manera intempestiva; por esta razón, necesitamos proveer de luz controlada de manera que se acentúen las características de interés y se minimicen aquellas intrascendentes.

La óptica (lentes) del dispositivo utilizado para tomar las imágenes y la iluminación se diseñan mucho mejor tomándolos como un mismo sistema. El que diseña la iluminación debe procurar que todos los haces de luz reflejados por el objeto sean tomados por la lente como parte de la imagen. Al mismo tiempo, debe evitar aquellos haces que no serán parte de la imagen (por ejemplo, los rayos que caen fuera del campo de visión de la lente).

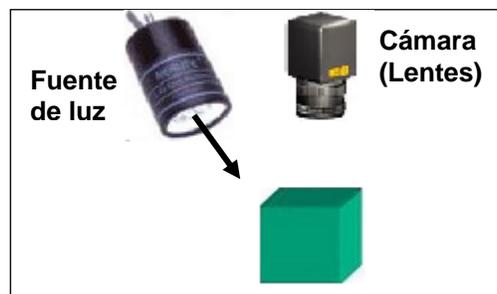


Figura 1.2: Iluminando un objeto. Disposición de la fuente de luz y la cámara para capturar la imagen de un objeto.

Estos rayos interferentes solo pueden contribuir a producir resplandor, lo que disminuye el contraste de la imagen. A menos que la óptica y la iluminación del sistema de visión sean diseñadas conjuntamente, la coordinación de estas dos es difícil de realizar.

- Tipos de reflexión

La luz es reflejada por los objetos de dos maneras, a saber: *reflexión especular* y *reflexión difusa* **figura 1.3**. En la reflexión especular, cada rayo incidente se refleja en una única dirección (los rayos reflejados son paralelos). Una pista de estaño en

un circuito o un espejo exhiben reflexión especular. Por otro lado, en la reflexión difusa los rayos incidentes son dispersados en un rango de ángulos salientes. Un pedazo de papel es un reflector difuso.

En realidad, los objetos exhiben todas las clases de conductas entre los extremos de la reflexión especular y la difusa. Los rayos de luz reflejados por una superficie pulida de metal tienen una componente direccional dominante (reflexión especular) pero que es difundida parcialmente por irregularidades de la superficie (reflexión difusa). El papel presenta algunas propiedades especulares, como se puede comprobar al leer con luz muy intensa; pero también hay que decir que existen muchos objetos cuyas partes reflejan de manera diferente. Por ejemplo, un conector eléctrico posee pines brillantes (especular) de metal y partes opacas (difusa) de plástico.

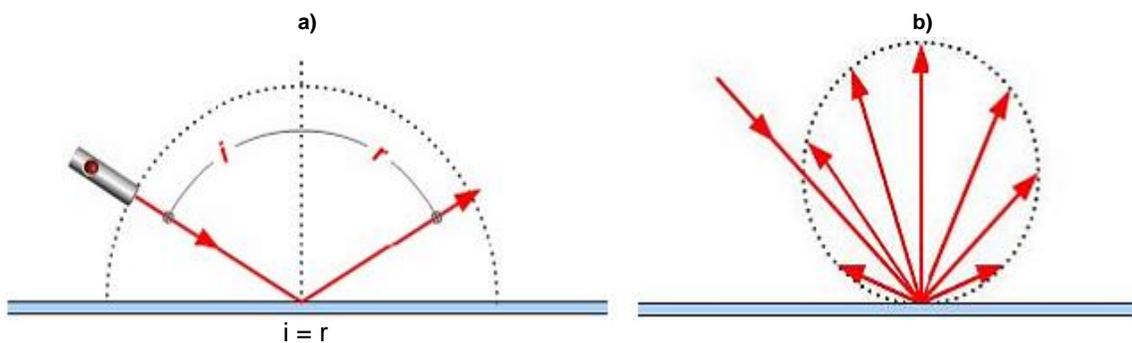


Figura 1.3: Tipos de reflexión, a) Especular, en la que el ángulo de incidencia es igual al de reflexión; b) Difusa, la luz reflejada se difunde en todas las direcciones.

- **Reflexiones Especulares;** las reflexiones especulares son brillantes pero poco confiables. Son brillantes porque la intensidad de la reflexión es comparable con la intensidad de la luz que proviene de la fuente. En muchos casos, las reflexiones especulares saturan al sensor de la cámara. Este tipo de reflexión no es muy confiable debido a que un pequeño cambio en el ángulo entre la fuente de luz, el objeto y las lentes puede causar que la reflexión especular desaparezca completamente. A menos que estos ángulos estén bien controlados, es mejor

evitar la presencia de este tipo de reflexiones. El mejor método para iluminar partes que producen reflexiones especulares es la iluminación difusa.

- **Reflexiones Difusas;** las reflexiones difusas son tenues pero estables. La intensidad de la reflexión puede ser de 10 a 1000 veces menor que la intensidad de la fuente de luz. La intensidad de la luz reflejada cambia lentamente con el ángulo. Las superficies difusas pueden ser iluminadas correctamente usando fuentes de luz difusas como también fuentes de luz puntuales.

- Técnicas de iluminación

En la literatura se pueden encontrar muchos tipos de iluminación, sin embargo las técnicas más utilizadas son:

- **Iluminación posterior (*back Light*);** consiste en iluminar el objeto por detrás de forma que la fuente luminosa, el objeto y la cámara estén alineados (**Figura 1.4**). Produce imágenes prácticamente con solo dos niveles de gris (imágenes binarias). El principal inconveniente es la pérdida de todos los detalles. Una preocupación a considerar es el posible deslumbramiento de la cámara. La iluminación puede ser direccional (vertical) o difusa.

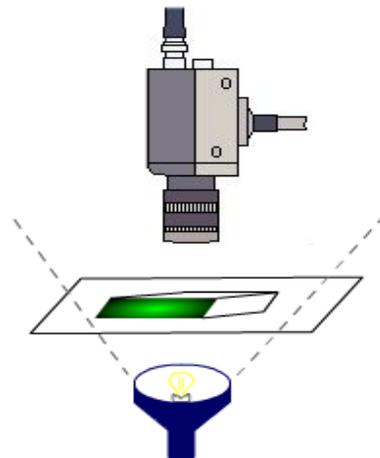


Figura 1.4: Iluminación posterior. Esta técnica se adapta muy bien en aplicaciones en las cuales la silueta de los objetos es suficiente para su reconocimiento.

Esta técnica se adapta muy bien en aplicaciones diseñadas para la localización de piezas por que permite delinear su contorno, análisis dimensional y presencia de taladros internos, en las cuales la silueta de los objetos es suficiente para su reconocimiento; también se incluyen la medición de las dimensiones exteriores, la ubicación de los puntos de sujeción (perforaciones para tornillos) y la medición de la opacidad de materiales traslúcidos o de su espesor.

- **Iluminación Frontal Oblicua y Direccional**; la dirección de la iluminación, conocida como el ángulo de incidencia, es el ángulo formado por el plano normal a la superficie y el rayo incidente. Cuando los haces de luz forman un ángulo de 20 grados con la superficie (iluminación oblicua, **Figura 1.5a**), se puede maximizar el contraste en objetos con relieves de manera que los bordes aparezcan brillantes frente al fondo oscuro que forman las superficies planas del objeto. En la iluminación frontal direccional, el ángulo entre los rayos incidentes y la superficie suele ser mayor o igual a 30° (**Figura 1.5b**), lo que reduce un poco el contraste pero incrementa la cantidad de información obtenible de las superficies planas.

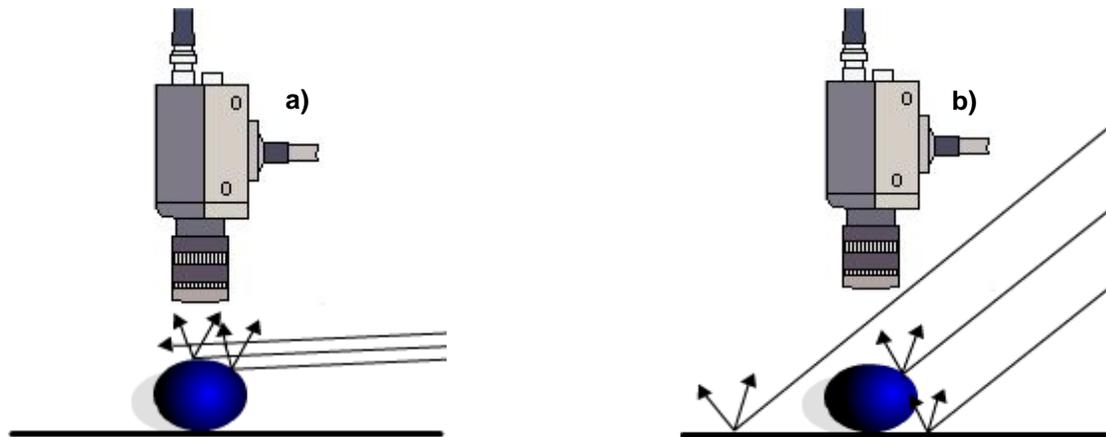


Figura 1.5: Iluminación frontal, a) Oblicua, el objetivo principal es la creación de sombras encargadas de aumentar el contraste de las partes tridimensionales; b) Direccional, ideal para inspeccionar la superficie de los objetos, resalta la presencia de defectos.

Entre los dispositivos comerciales se pueden encontrar los anillos y los domos. Los anillos son adecuados para superficies planas y difusas. Están disponibles en

espectro blanco, rojo, IR, UV, azul, verde, iluminación continua o pulsante, con lente difusor o no difusor. Los domos producen una iluminación difusa y uniforme. Se utilizan para iluminar superficies reflexivas. Están disponibles con luz continua o pulsante y fuentes conectadas mediante fibra óptica.

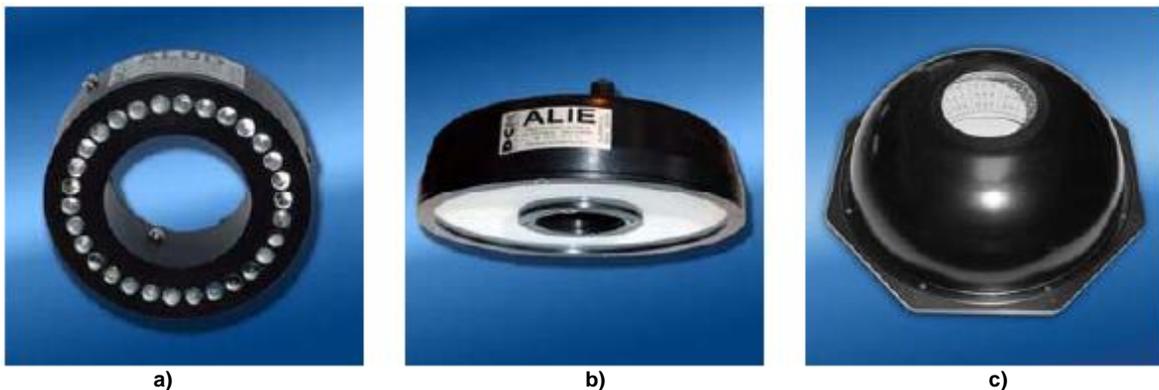


Figura 1.6: Dispositivos comerciales de iluminación frontal oblicua y direccional, a) Anillo, b) Anillo con difusor, c) Domo. Pie de página [1]

- **Iluminación Frontal Axial (difusa);** Mediante esta técnica se puede iluminar desde el mismo eje de la cámara con luz uniforme, incluyendo el centro de la imagen. Permite iluminar uniformemente superficies reflectivas, realza detalles grabados y crea contraste entre superficies especulares y difusas / absorbentes.



Figura 1.7: Dispositivo de iluminación frontal axial. Pie de página [1]

El dispositivo comercial de la **figura 1.7**, envía luz mediante el divisor de haces prácticamente a 90 grados. Provee iluminación uniforme para superficies

reflexivas planas. De esta forma, las superficies reflexivas perpendiculares a la cámara se ven iluminadas, mientras que aquellas que se encuentran a otros ángulos aparecen oscuras.

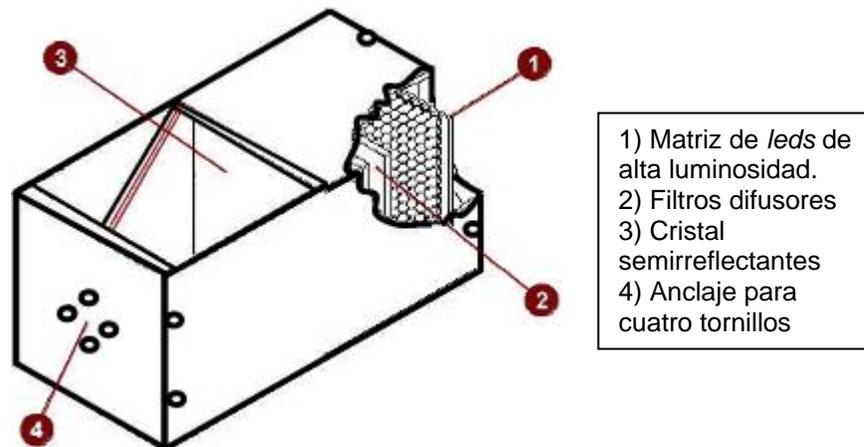


Figura 1.8: Estructura interna del dispositivo de iluminación frontal axial

Por entregar una mayor uniformidad, logra incrementar la precisión y repetibilidad del sistema de visión.

- **Iluminación de Día Nublado (*cloudy day illumination, CDI*)**; suministra iluminación difusa en la misma dirección que el eje de la cámara. Ha sido diseñada para las aplicaciones más complejas y difíciles con superficies especulares irregulares que necesitan luz completamente uniforme¹.

La CDI proporciona una completa uniformidad, con un máximo de desviación del 10% en el campo de visión; es el sistema de iluminación difusa de mayor prestancia en la actualidad, el efecto que se consigue con este tipo de iluminación es el de "Un Día Nublado".

¹ Tipos de Iluminación, Universidad Nacional de Quilmes – Ing. en Automatización y Control Industrial, Cátedra: Visión Artificial Agosto de 2005.

La CDI combina un sistema óptico con una esfera difusora para proporcionar un ambiente de iluminación difusa de óptima calidad en el mundo de la tecnología de iluminación. **La figura 1.9**, muestra un dispositivo comercial típico de CDI.



Figura 1.9: dispositivo comercial de CDI

La CDI ha sido diseñada para aplicaciones críticas que están basadas en objetos con superficies altamente especulares donde cualquier reflexión puede confundirse con un defecto. Ejemplos de este tipo de aplicaciones incluyen: verificación de discos compactos, y la inspección de patrones en circuitos impresos o placas electrónicas. Los dispositivos comerciales de CDI permiten inspeccionar productos incluso dentro de su envoltorio, tales como ampollas farmacéuticas o chips de computadores dentro de su envoltura transparente.

- **Iluminación de Campo Oscuro (*dark field*)**; bajo esta denominación se encuentran varias disposiciones, algunas bastante parecidas al *back Light*; pero se diferencian en que la iluminación a contra luz (*back Light*) se aplica a objetos opacos, mientras que la iluminación de campo oscuro se aplica a objetos transparentes.

Se trata de luz directa de alta intensidad que se hace incidir sobre el objeto con un ángulo muy pequeño respecto a la superficie donde descansa (**figura 1.10**). De esta manera se logra que sobre superficies que presentan hendiduras o elevaciones, éstas interfieran en la trayectoria de la luz produciéndose zonas brillantes.

Esta técnica consiste en hileras de *leds* montadas a 75 o 90° con respecto al eje óptico. La iluminación puede ser continua o pulsante (*strobe*). Además del modelo en anillo, también se fabrican con haces paralelos ajustables individualmente. La iluminación de campo oscuro realza el contraste de los detalles superficiales tales como grabados, marcas y defectos.

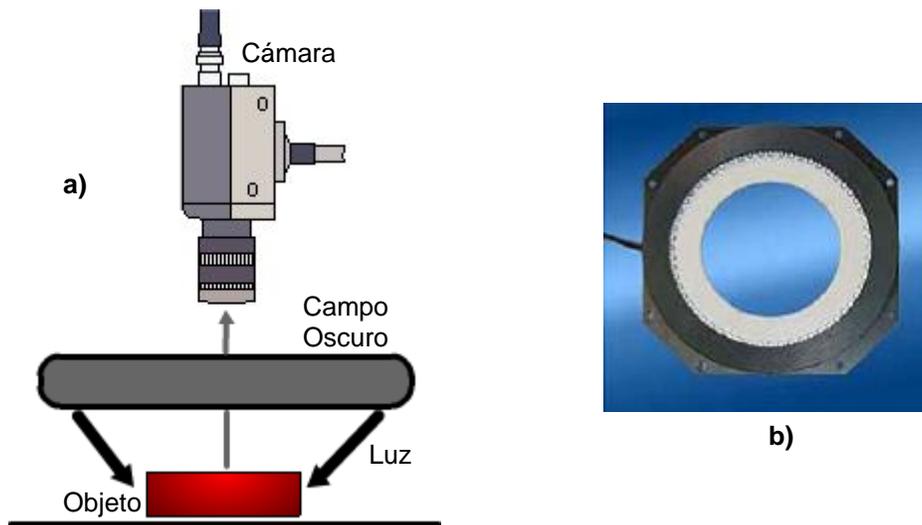


Figura 1.10: Iluminación de Campo Oscuro, a) Esquema, b) Dispositivo comercial. Técnica de iluminación para objetos transparentes.

- **Iluminación de campo claro (o brillante);** la fuente de luz es uniforme y difusa (suave) e incide con un pequeño ángulo sobre la superficie reflectante del objeto a inspeccionar. La cámara se coloca con el mismo ángulo de forma que obtenga una imagen reflejada de la fuente de luz en la superficie del objeto inspeccionado.

Una posible imperfección en el mismo producirá una mancha oscura en la imagen captada por la cámara. La mancha oscura que se apreciará en la cámara es debida a la variación del ángulo de reflexión que produce la imperfección con respecto al ángulo de la luz incidente, perdiéndose el reflejo de la fuente de iluminación.

Indicado para detectar rayas, fisuras y deformaciones en objetos con superficies planas y brillantes. La técnica de campo claro o brillante puede realizarse con un *array* de *leds*.

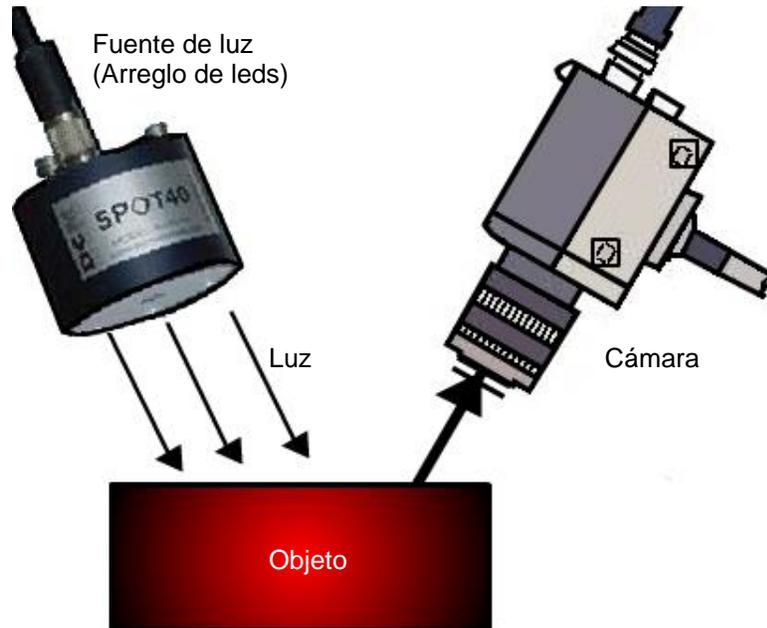


Figura 1.11: Esquema del campo claro. Indicado para detectar rayas, fisuras y deformaciones en objetos con superficies planas y brillantes.

- **Iluminación estructurada;** la iluminación estructurada se utiliza normalmente para resaltar o determinar la tercera dimensión de un objeto mediante la proyección de puntos, franjas o rejillas sobre la superficie del mismo. El método utilizado es colocar la fuente de luz láser en un ángulo conocido con respecto al objeto a iluminar y con respecto a la cámara (el análisis matemático es complejo y no es de interés para el desarrollo de este trabajo); viendo la distorsión de la luz puede interpretarse la profundidad de los objetos a medir.

La luz estructurada se utiliza en muchas aplicaciones para obtener la percepción de profundidad y para inspecciones en 3D. Para hacerse una idea, se genera una línea de luz y se visualiza de forma oblicua. Las distorsiones en la línea (haz láser sobre el objeto) se traducen en variaciones de altura. Y de aquí se pueden

desprender los cambios de profundidad o altura de un objeto. Por tanto se puede también determinar la falta o exceso de material, o bien se puede llegar a hacer una reconstrucción en tres dimensiones del objeto.

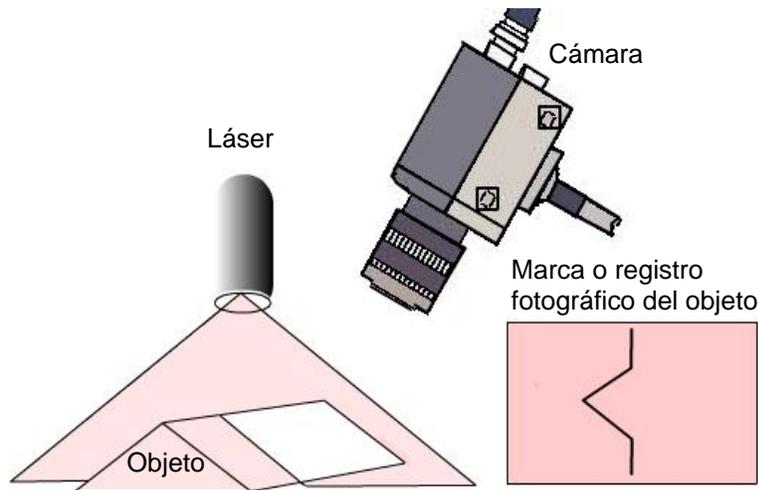


Figura 1.12: Esquema de iluminación estructurada. Esta técnica establece un patrón de luz conocido sobre la superficie de trabajo y las diferencias con este patrón indican la presencia de un objeto (o defecto). Analizando la forma en que este patrón es distorsionado es posible obtener información de las características tridimensionales del objeto.

Para obtener la mejor reconstrucción 3D se debe obtener un tamaño de línea lo más delgada posible sobre un fondo con muy baja o nula iluminación. La mayoría de láser que se utilizan en visión industrial, usan lentes cilíndricas para convertir el punto láser en un patrón. Aunque a primera vista este sistema parece correcto, la intensidad lumínica a lo largo presenta una forma *gausiana*, haciendo la detección mucho más difícil a nivel de *software*. Los sistemas de láser más avanzados utilizan sistemas complejos no *gaussianos* que proporcionan una iluminación relativamente constante a lo largo de toda la línea, y que de esta forma facilitan las medidas en las aplicaciones de visión.

Existe un gran número de patrones disponibles, entre los que se incluyen: una línea, múltiples líneas paralelas, patrones de puntos, círculos concéntricos, mallas,

y cruces, que se utilizan dependiendo de la aplicación. Los sistemas de luz estructurada láser están disponibles en distintos tipos de potencia y longitudes de onda. Así mismo se han realizado diseños específicos para aplicaciones concretas tales como: sistemas de líneas ultra finas, o sistemas láser conectados a fibra óptica para aplicaciones en ambientes con peligro de deflagración.

- Otro punto de vista de la elección del tipo de iluminación

Anteriormente, se presentaron las distintas formas de iluminar un objeto teniendo en cuenta las técnicas de iluminación existentes para las diferentes aplicaciones. A continuación, el enfoque estará puesto en los dispositivos comerciales que se utilizan en la actualidad: Fibra óptica, Fluorescentes, *Leds* y Láser. Cada uno de ellos tiene sus ventajas y desventajas con respecto a los otros. Y dependiendo del tipo de aplicación deberá utilizarse uno u otro.

Hay cuatro factores que condicionan el tipo de iluminación, ellos son: Intensidad lumínica, Duración, Flexibilidad de diseños y Precio. Los sistemas de iluminación para aplicaciones industriales pueden emitir luz de forma continua o de forma pulsada (estroboscópica).

- Iluminación por Fibra Óptica; la iluminación por fibra óptica, es actualmente, la que puede proporcionar la luz más intensa de todos los tipos de iluminación que se utilizan en visión artificial. La idea básica es conducir la luz procedente de una bombilla halógena, o de xenón, a través de un haz de fibras ópticas que termina en un adaptador específico para cada tipo de aplicación. Estos adaptadores pueden tener forma circular, lineal, puntual o de panel, y puede ser de distintos tamaños y dimensiones.

En los haces de fibra óptica hay cierta pérdida de intensidad con relación a la longitud o distancia. Normalmente no se aconseja utilizar haces de fibra óptica de

una longitud superior a 5 metros, ya que por una parte se pierde intensidad y por otra el precio se hace un factor determinante. Una de las ventajas de la fibra óptica es que proporciona luz fría, y por tanto es ideal en aplicaciones donde los sistemas que puedan emitir calor sean un inconveniente o también en entornos deflagrantes.



Figura 1.13: Fibra óptica²

Las fuentes de iluminación acostumbran a incorporar una bombilla halógena y generalmente incluyen un estabilizador de corriente, con una fuente de alimentación para la lámpara halógena (150W) que se aloja en un espacio donde se conecta el haz de fibra óptica. La potencia de iluminación de la lámpara halógena se controla mediante un reóstato.

La vida media de las lámparas halógenas utilizadas con este tipo de iluminación oscila entre 1000 y 2000 horas. Algunas fuentes de iluminación incorporan control de intensidad vía puerto serie RS-232 de forma que se puede controlar desde un elemento externo como un PC.

- **Iluminación por Fluorescente;** los tubos fluorescentes se usan en muchas ocasiones en aplicaciones de visión artificial, aunque debido a su limitada variedad de formas, también es limitada su utilización. Para las aplicaciones industriales es importante que los fluorescentes funcionen a alta frecuencia, al menos a 25kHz.

² www.inde.com.ar/marcos/marco_cursos.htm

En aplicaciones de visión no pueden utilizarse fluorescentes estándar debido a su efecto de parpadeo, que dependiendo de la velocidad a la que la cámara funcione, puede verse reflejado en la intensidad de la imagen capturada.

Los tubos fluorescentes estándar no presentan un balance de color uniforme, incorporando longitudes de onda mayoritariamente azules. Para aplicaciones de visión artificial es necesario utilizar fluorescentes con espectro conocido. Es habitual utilizar según la aplicación, fluorescentes casi monocromáticos: ultravioletas, amarillos, verdes, azules, etc. Para aplicaciones donde se requiere una gran intensidad de iluminación y una larga longitud, se utilizan fluorescentes de apertura, en estos fluorescentes la luz se emite solo en una dirección y con un ángulo muy estrecho, esto permite que la intensidad lumínica pueda ser hasta 10 veces superior a la de un fluorescente estándar.



Figura 1.14: Tubo fluorescente³

Las fuentes de alimentación que proporcionan electricidad a los fluorescentes pueden venir equipados con fotodiodos, que permiten controlar y regular automáticamente la estabilidad de la luz en todo momento, de forma que cuando la intensidad de la luz del fluorescente disminuye la fuente hace que aumente la potencia hasta devolver la intensidad anterior. La vida media de los tubos fluorescentes es algo superior a las 10000 horas.

³ www.lowes.com/.../engefflight.html&sec=esp

- **Iluminación por LED;** para aplicaciones donde no se requiera una gran intensidad de iluminación se puede utilizar la iluminación por *LED (Light Emitting Diodes)*. Los leds proporcionan una intensidad de iluminación relativa y son generalmente económicos, además tienen una larga vida, aproximadamente 100.000 horas. Otra consideración a tener en cuenta es que sólo requieren un cable de alimentación y no un haz de fibra óptica que en ocasiones es muy delicado.



Figura 1.15: Arreglo de leds. Pie de página [1]

Como se dijo antes, la intensidad de los sistemas de iluminación continua por *leds* no es tan fuerte como otros tipos de iluminación; pero actualmente se están introduciendo los *leds* de alta intensidad que empiezan a proporcionar una iluminación mucho más potente. Si los *leds* se conectan a un sistema estroboscópico se pueden alcanzar potencias lumínicas muy similares a los de la luz halógena.

Recientemente se ha introducido una nueva tecnología de *leds* que se denomina *chip-on-board* y que permite concentrar un gran número de *leds* en una superficie muy reducida y por tanto aumentar aún más el poder lumínico. Aunque los sistemas con *leds* más comunes emiten luz de color rojo y se utilizan para aplicaciones monocromas, actualmente se está extendiendo el uso de otros tipos y colores como infrarrojo, verde, azul o blanco respectivamente. El motivo por el que

los *leds* rojos son los más utilizados en los sistemas de visión es porque son los más fáciles de encontrar y los más baratos.

- **Arreglo de luces;** la luz producida por los *array* de luces llega directamente al objeto. Produce un gran contraste y resalta las texturas, relieves y fisuras del objeto iluminado debido a que cualquier relieve, por pequeño que sea, produce una sombra muy definida. El ángulo de incidencia de la luz respecto al plano de iluminación determinará el grado de resalte de los relieves. Para ángulos muy pequeños respecto a la horizontal, la luz producirá sombras en los relieves de la pieza. Para ángulos cercanos a 90 grados respecto a la horizontal, solo será detectable la sombra en los grandes relieves (Iluminación de campo oscuro y claro).

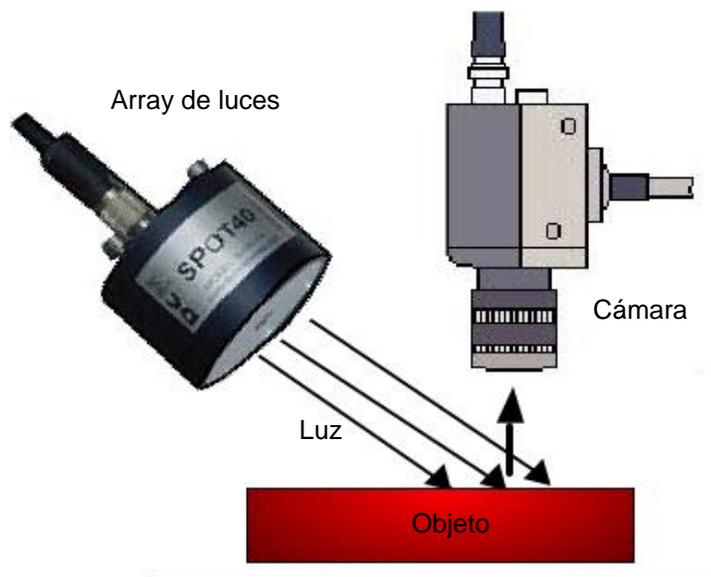


Figura 1.16: Esquema de iluminación con *array* de luces

Se encuentran en el mercado en forma de fuente puntual (**figura 1.17**), cuadrada, rectangular (**figura 1.18**), etc. Provee iluminación económica de uso general unidireccional. Puede utilizarse para los métodos de campo oscuro (creando sombras y reflexión especular) y para los métodos de campo claro (o brillante) en el caso de superficies difusas.



Figura 1.17: Spot (luz puntual)⁴



Figura 1.18: Array de leds comercial⁴

- **Iluminación por LÁSER;** un **láser** (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*, Amplificación de Luz por Emisión Estimulada de Radiación) es un dispositivo que utiliza la emisión inducida o estimulada, para generar un haz de luz de un medio adecuado con el tamaño, la forma y pureza controlados. El haz de luz láser es extremadamente coherente, es decir, que todas las ondas luminosas que proceden de él se acoplan ordenadamente entre sí.

El láser está formado por un núcleo donde se generan los fotones; éste puede ser una estructura cristalina, por ejemplo rubí, o un tubo de vidrio que contiene un material que posee electrones fácilmente excitables y que no emiten inmediatamente de forma espontánea sino que pueden quedar excitados durante un tiempo mínimo (generalmente dióxido de carbono o la mezcla de helio-neón), es precisamente este pequeño intervalo de tiempo el que se necesita para que los electrones produzcan emisión estimulada, no espontánea.

Junto al núcleo se halla el excitador, un elemento capaz de provocar la excitación de electrones del material que se halla en el núcleo, a partir de una lámpara de destellos o de dos electrodos que producen una descarga eléctrica de alta tensión.

⁴ Tipos de Iluminación, Universidad Nacional de Quilmes – Ing. en Automatización y Control Industrial, Cátedra: Visión Artificial Agosto de 2005.

El tercer componente del láser son dos espejos paralelos emplazados en los extremos del núcleo. Uno de ellos es reflectante, mientras el segundo es semirreflectante, es decir, permite el paso de una parte de la luz que le llega.

En la actualidad el láser constituye un instrumento muy potente para la ciencia y la tecnología, con aplicaciones en comunicación, medicina, navegación, metalurgia, fusión y corte de materiales; en visión artificial se usa comúnmente para generar la técnica de iluminación estructurada.

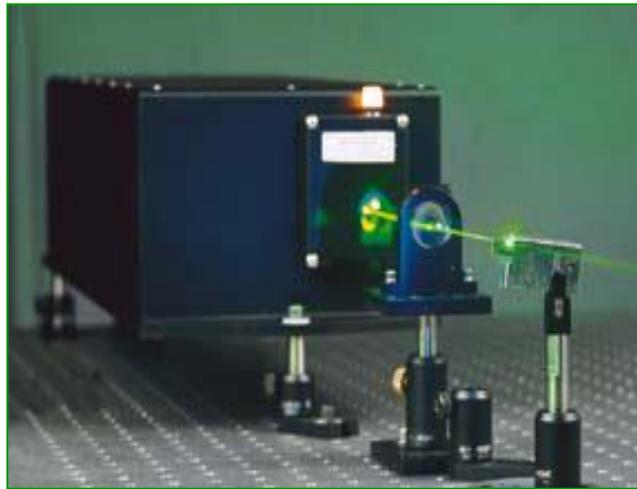


Figura 1.19: láser de Nd-YAG (Pulsado)

Dependiendo de la longitud de onda y de la potencia de los láseres estos se clasifican según su grado de afectación o peligrosidad. Los láseres utilizados para visión artificial acostumbran a corresponder a las Clases II, IIIA, o IIIB.

1.3.2. Sensor de imagen

Es el elemento de una cámara fotográfica digital encargado de recoger las características del objeto bajo estudio, captando la luz que emana del mismo. Se trata de un chip formado por millones de componentes sensibles a la luz que al ser expuestos forman la imagen fotográfica.

En la fotografía digital el sensor electrónico es el equivalente a la película fotográfica convencional. El sensor es una matriz de elementos fotosensibles que funciona convirtiendo la luz que capta, en señales eléctricas que pueden recogerse, medirse y convertirse en una representación electrónica del patrón global de iluminación que llegó al sensor. Finalmente, el fichero informático que almacena ese patrón puede ser representado en una pantalla (o en papel fotográfico realizando ciertos procesos) de modo que nuestros ojos lo perciban como una imagen.

Cada uno de los elementos fotosensibles del sensor se denomina píxel (*picture element*). El número de píxeles del sensor se suele medir en millones de píxeles (o mega píxeles, Mpx). De forma general se puede decir que un mayor número de elementos fotosensibles, indican la posibilidad de imprimir (o visualizar) fotos a tamaños más grandes con pérdidas de calidad menores. Una resolución de 2Mpx se suele considerar la mínima para la impresión de fotografías a tamaño 10x15cm. Una resolución de 3Mpx permite imprimir normalmente fotografías a tamaño 20x25cm.

Otro factor importante con respecto al sensor es el tamaño y forma del mismo. Un sensor grande que contenga un número relativamente pequeño de píxeles debería tener una gran área por píxel; y viceversa: un sensor pequeño con el mismo número de píxeles tendrá una reducida área por píxel.

La forma del sensor suele ser rectangular y la proporción entre alto y ancho del sensor también es importante ya que esto afecta sensiblemente al tamaño global de la cámara y a su precio.

En cuanto a la tecnología de los sensores, las más extendidas actualmente son:

- Sensor CCD
- Sensor CMOS

En los sensores **CCD** (*Charge Coupled Devices* o dispositivos de acoplamiento de carga), se integra en un mismo chip los elementos fotosensibles y el conjunto de puertas lógicas y circuitería de control asociada. En éstos, la señal eléctrica que transmiten los fotodiodos es función de la intensidad luminosa que reciben, su espectro, y el **tiempo de integración** (*tiempo durante el cual los fotodiodos son sensibles a la luz incidente*).

La tecnología **CMOS** (*Complementary Metal Oxide Semiconductor*) está empezando a extenderse dadas las ventajas de los sensores CMOS sobre los CCD. En cuanto al **rango dinámico** (*rango de amplitud entre los valores máximos y mínimos que un elemento puede producir, medido en decibeles*) se pasa de los 70dB de los sensores CCD a los 120dB de los sensores CMOS, valor más cercano a los 200dB del ojo humano, lo que facilita la autoadaptación en el propio chip al brillo existente en el entorno. El sensor CMOS puede amplificar de forma individual la respuesta de los píxeles en función de sus respectivas condiciones de iluminación. El acceso multipíxel permite configurar individualmente distintos intervalos de tiempo de integración, mejorando la calidad de imagen mediante la selección del mejor tiempo de exposición de cada píxel.

1.3.2.1. Resolución

Se refiere al número de elementos fotosensibles embebidos en el chip. Existen diferentes arquitecturas de sensores; en primer lugar están los *sensores lineales*. En éstos, el sensor es una línea de fotodiodos. Esta arquitectura permite la utilización de sensores de 1x1024, 1x2048, 1x4096, e incluso 1x6000 píxeles, lo que la hace muy adecuada para trabajar con altas resoluciones sobre superficies en movimiento. Para condiciones de iluminación muy exigentes o velocidades de trabajo muy altas existe la posibilidad del uso de sensores **TDI** (*time delay integrated*). Esta tecnología consiste en el uso de varias líneas de captura sobre la misma línea del objeto, con el fin de sumar su carga y obtener así una mayor

sensibilidad. En segundo lugar están los *sensores de área*. Estos alcanzan resoluciones habituales de 1024x1024, aunque existen en el mercado algunas casas que disponen de cámaras especiales con resoluciones mayores. En este caso existen tecnologías de adquisición de imágenes, entrelazada y no entrelazada. El método entrelazado captura las líneas pares e impares que forman una imagen en instantes de tiempo diferentes. La tecnología de no entrelazado (*progressive scan*) captura todas las líneas en el mismo instante de tiempo. Es más costoso económicamente, pero indispensable para trabajar con objetos en movimiento.

1.3.2.2. Cuantización

Independientemente de la arquitectura utilizada, existen otros aspectos importantes en los sensores. La cuantización (*conversión analógica-digital*) que determina el número de bits usados para representar la información capturada. Por ejemplo, usando un sistema blanco y negro de 8 bits tenemos 256 niveles diferentes, mientras que, usando un sistema de 10 bits, obtendríamos 1024 niveles de gris diferentes, lo que permite una mayor definición.

La evolución de las capacidades y características técnicas de estos dispositivos ha seguido una tendencia muy favorable, potenciado en parte por el mayor uso industrial de estos sistemas. Por tanto, en el mercado existen hoy en día numerosos dispositivos para abordar cualquier tipo de aplicación, ya sea en blanco y negro o color, a las velocidades requeridas en los procesos de producción.

Entre los avances más significativos, además de la utilización de puertos de comunicación cada vez más potentes y fiables, está una capacidad de proceso más o menos relevante e integrado en la propia cámara. Por ejemplo, la cámara lineal OPSIS 5150ALC dispone de FPGA (*Field Programmable Gate Array*, matriz

de puertas programable por campo) programable y de un microprocesador *Motorola Power PC* con sistema operativo en tiempo real *VxWorks* que permite realizar procesamiento de imágenes. De esta forma se puede transmitir la imagen, la imagen preprocesada, o los resultados del procesamiento de la imagen a través de los puertos de comunicación de que dispone la cámara, haciendo innecesario el uso de tarjetas de captura.

1.3.3. Tarjeta de captura

Es la interfaz entre el sensor y el computador o modulo de proceso, que permite al mismo disponer de la información capturada por el sensor de imagen.

1.3.3.1. Aspectos importantes

Los de mayor interés son: velocidad de transmisión, el formato de los datos, la profundidad de píxel, la capacidad de captura por disparo, la capacidad de preprocesado de la imagen, la velocidad de transferencia de la imagen de la memoria de la tarjeta a la memoria de la computadora, el reset asíncrono o la capacidad de controlar parámetros de la cámara en tiempo real.

Todos los datos relativos a velocidades de transmisión son especialmente importantes para poder trabajar con sistemas de respuesta automática. Este aspecto ha mejorado notablemente en los últimos años. Otro parámetro que ha evolucionado muy favorablemente es el formato de los datos. Con la estandarización definitiva de los formatos EIA-644 o LVDS, y del IEEE 1394, se consigue no sólo aumentar la velocidad de transferencia, sino que también se hace con una mayor inmunidad al ruido y con longitudes de cableado aceptadas mucho mayores (de 2-10 metros a 25 metros de distancia cámara – tarjeta).

La capacidad de sincronizar la captura de las imágenes con una señal externa también se ha mejorado con el *reset asíncrono*, lo que habilita el inicio de la

captura sin tener que esperar el siguiente *vertical blank* (es decir, sin necesidad de finalizar completamente la captura anterior). La capacidad de controlar la cámara con salidas RS-232 de la tarjeta facilita la variación de parámetros de la cámara, fundamentalmente la ganancia de los canales RGB, o de ópticas motorizadas en tiempo real.

Un aspecto relativamente reciente es la capacidad de poder trabajar con *multitap*. Existen tarjetas capaces de trabajar con varias cámaras a la vez (hasta 6 cámaras de 8 bits por píxel), o usar los canales de que dispone para trabajar con cámaras multitap que transmiten a la vez varios píxeles por cada uno de los canales. Por ejemplo, a 40 MHz, una tarjeta puede recibir la información por un canal de 8 bits a 40 Mbytes/seg mientras que si usa dos canales, la información la puede recibir a 80Mbytes/seg, incrementándose de forma proporcional al número de canales la velocidad de transmisión⁵. Otra de las recientes ventajas en cuanto a las tarjetas de captura de imágenes, es la integración de la tarjeta de captura, la visualización, y el módulo de proceso (CPU) en un solo elemento. Estos equipos se proporcionan en un chasis adecuado para trabajar en entornos industriales.

1.3.4. Algoritmos

Son la parte inteligente del sistema. Su misión consiste en aplicar las necesarias transformaciones y extracciones de información de las imágenes capturadas, con el fin de obtener los resultados para los cuales haya sido diseñado. Generalmente involucran etapas de preprocesamiento, segmentación, cálculo o extracción de características y una etapa final de clasificación.

1.3.4.1. Preprocesamiento: En este proceso se modifica la imagen que se acaba de adquirir con el fin de mejorarla de acuerdo a los parámetros a analizar, con los

⁵ Aspectos de un sistema de visión artificial. Universidad Nacional de Quilmes – Ing. en Automatización y Control Industrial, Cátedra: Visión Artificial Octubre de 2005.

siguientes objetivos: Eliminar ruido; acentuar o perfilar las características de una imagen tales como bordes y límites; contrastar la imagen para que sea más útil la visualización gráfica y el análisis de la misma; mejorar la calidad de algunas partes de la imagen; transformar la imagen a otro espacio de representación.

1.3.4.2. Segmentación: Su objetivo es dividir la imagen en las partes que la constituyen o los objetos que la forman. Dicho de otra forma, la segmentación permite detectar automáticamente los bordes entre los elementos o regiones. En este proceso se diferencia el objeto y el fondo. Las operaciones de segmentación de una escena dependen de la propia escena y de la información que se busque dentro de la imagen.

Industrialmente, se usa como primer paso para la medición de piezas, para determinar la correcta disposición del etiquetado de los envases (aislar el envase, aislar la etiqueta, determinar si la relación entre estos dos objetos es correcta), para la medición de irregularidades en superficies homogéneas, para la detección de cambios de texturas en las que el sistema ha de determinar si es un defecto o no lo es, etc.

1.3.4.3. Extracción de características: Con los objetos a estudiar ya definidos, es necesario extraer una serie de medidas que los caractericen adecuadamente, en forma de vector de características las cuales pueden ser: estadísticas de texturas, que se obtienen principalmente de los momentos estadísticos del histograma y matrices de coocurrencia; o geométricas, basadas en la configuración espacial de los objetos presentes en la imagen.

- Momentos Estadísticos

Los momentos estadísticos están aplicados al histograma de una imagen, o al histograma de cada componente si es una imagen a color.

Antes de definir los momentos es necesario introducir la media de un histograma:

$$m = \sum_{i=0}^{n-1} x_i f_d(x_i) \quad (1)$$

Aquí x es una variable aleatoria discreta con una función de densidad f_d . n , es el valor máximo que puede tomar x y $f_d(x_i)$ es la probabilidad de que $x = x_i$, debido a que es una variable aleatorio discreta. El histograma debidamente normalizado es la función de densidad, que debe cumplir con todas las propiedades estadísticas de cualquier función de densidad. Aquí m indicará el valor esperado de la variable aleatoria x que, a propósito, en este caso significa el valor de intensidad de un píxel. Así entonces, $f_d(0)$ nos indicaría la probabilidad de que un píxel sea de color negro (valor de intensidad cero). Luego se define el momento n -ésimo como:

$$\mu_n(x) = \sum_{i=0}^{N-1} (x_i - m)^n f_d(x_i) \quad (2)$$

Se puede comprobar que $\mu_0 = 1$ y $\mu_1 = 0$. El segundo momento se denomina varianza y se representa por $\sigma^2(x)$ en donde σ se le llama la desviación estándar y está ligada directamente con la distribución *gaussiana* e indica que tan dispersos están los valores de x con respecto a su media y se puede normalizar con la siguiente transformación:

$$R = 1 - \frac{1}{1 + \sigma^2} \quad (3)$$

En donde $R = 0$ para varianzas pequeñas y se aproxima a uno para valores grandes de la varianza.

El tercer momento es una medida de la desviación del histograma, mientras el cuarto mide la monotonía relativa. Los momentos de orden superior no están

fácilmente relacionados con la forma del histograma pero proporcionan información acerca de éste.

Las medidas extraídas directamente del histograma no tienen en cuenta la información proporcionada por la posición relativa de cada píxel, una forma de adquirir esta información es tomar en cuenta no solamente la distribución de intensidades, sino también las posiciones de los píxeles que tienen iguales o casi iguales valores de intensidad.

Cuando se dice que tiene un valor de intensidad casi igual se refiere a que la intensidad de los píxeles se encuentra en esa franja de intensidades que se pierde al cambiar de resolución una imagen, por ejemplo, si en una imagen se tiene un píxel que puede tener intensidades entre [0-255] y se reduce la resolución a 64 niveles, entonces los píxeles que estén dentro de la misma franja de 4 píxeles de los últimos dos bits serán asignados al mismo nivel en la nueva resolución.

- Matriz de coocurrencia

Los elementos de esta matriz, $P(i,j)$ ⁶, representan las frecuencias relativas de los niveles de gris i y j , tomando los píxeles dos a dos y separados una distancia d según una dirección dada.

Así, cuanto mayores sean los valores de su diagonal principal más homogénea será la textura que representa, mientras que cuanto más repartidos estén los valores fuera de la diagonal más heterogénea será.

Para calcular esta matriz, se define un operador de posición P y una matriz A cuyo elemento a_{ij} es el número de veces que aparecen píxeles con nivel x_i en la

⁶ L. A. Ruiz, A. Fdez-Sarría, J.A. Recio, " texture feature extraction for classification of remote sensing data using wavelet decomposition: a comparative study "

posición especificada por \mathbf{P} en relación a píxeles con nivel x_j . Por ejemplo, considérese una imagen en tres niveles de *intensidad* $X_1 = 0$, $X_2 = 1$ y $X_3 = 2$ de la siguiente forma:

0	0	0	1	2
1	1	0	1	1
2	2	1	0	0
1	1	0	2	0
0	0	1	0	1

Si se define el operador posición \mathbf{P} como “dirección -45° , distancia 1”, distancia dada en el sentido D_8 , es decir, uno de los ocho píxeles vecinos circundantes, se genera la siguiente matriz:

$$A = \begin{bmatrix} 4 & 2 & 1 \\ 2 & 3 & 2 \\ 0 & 2 & 0 \end{bmatrix}$$

En donde el elemento a_{11} es el número de veces que un punto con nivel $x_1 = 0$ aparece en la dirección -45° , distancia 1 de un píxel con el mismo nivel; y a_{13} es el número de veces que un punto con nivel $x_1 = 0$ aparece en la posición dada por el operador de un píxel con nivel $x_3 = 2$. El tomar la fila como el primer píxel y la columna como segundo píxel o al revés, lo único que hace es hallar la misma matriz pero traspuesta. El tamaño de \mathbf{A} está determinado únicamente por la cantidad de niveles que se estén utilizando, por esta razón normalmente se requiere que la imagen se vuelva a cuantificar en unas cuantas bandas de niveles para mantener el tamaño de \mathbf{A} razonable.

Hasta ahora tenemos una matriz de enteros, se procede a formar una matriz \mathbf{C} dividiendo \mathbf{A} por la suma de todos sus componentes, entonces c_{ij} es una estimación de la probabilidad conjunta de que un par de puntos, que satisfacen \mathbf{P} , tengan valores (x_i, x_j) . \mathbf{C} se denomina *matriz de coocurrencia de niveles*. Ya que \mathbf{C}

depende del operador posición \mathbf{P} para hallarse, se puede detectar la presencia de un patrón de textura dado eligiendo un operador de posición apropiado. Por ejemplo, el operador utilizado en el ejemplo anterior es sensible a bandas de intensidad constante ejecutándose a -45° .

De manera general, el problema de caracterizar una textura consiste en analizar una matriz \mathbf{C} con el fin de establecer la categoría de dicha textura en la región sobre la cual se calculó \mathbf{C} . Para este fin se pueden utilizar las variables o descriptores estadísticos de primero y segundo orden (propuestos por *Haralick* - 1973) tales como:

- **Máxima probabilidad:**

$$\text{máx}_{i,j}(C_{ij}) \quad (4)$$

que indica la respuesta más fuerte a \mathbf{P} (operador de posición).

- **Momento diferencial de orden K:**

$$\sum_i \sum_j (i-j)^k C_{ij} \quad (5)$$

Este descriptor tiene un valor relativamente bajo cuando los mayores valores de \mathbf{C} están próximos a la diagonal principal, debido a que las operaciones $(i-j)$ son menores en esta región.

- **Momento diferencial inverso de orden K:**

$$\sum_i \sum_j \frac{C_{ij}}{1+(i-j)^k} \quad (6)$$

Este descriptor tiene el efecto opuesto al descriptor anterior, se hace relativamente grande cuando los valores mayores de \mathbf{C} están alrededor de la diagonal principal. El uno que suma en el denominador es tan sólo para evitar valores infinitos.

- Entropía:

$$-\sum_i \sum_j C_{ij} \text{Log}(C_{ij}) \quad (7)$$

Este descriptor es una medida de la aleatoriedad, que alcanza su valor máximo cuando todos los elementos de \mathbf{C} son iguales.

- Uniformidad:

$$\sum_i \sum_j C_{ij}^2 \quad (8)$$

Este descriptor es opuesto al anterior, es mínimo cuando los C_{ij} son todos iguales.

- Homogeneidad:

$$\sum_i \sum_j \frac{C_{ij}}{1+|i-j|} \quad (9)$$

Este descriptor es similar al elemento momento inverso diferencia de orden 2.

- Contraste:

$$\frac{\sum_k \sum_i \sum_j k^2 C_{ij}}{N} \quad (10)$$

en donde N es el número de niveles y para $k = |i - j|$. Este descriptor mide la información que tiene la matriz en las diagonales a medida que se alejan de la principal.

- Correlación:

$$\sum \sum \frac{(i - \mu_i)(j - \mu_j)C_{ij}}{\sigma_i \sigma_j} \quad (11)$$

en donde se define:

$$\begin{aligned} \mu_i &= \sum_j i \sum_j C_{ij} ; \\ \mu_j &= \sum_i j \sum_i C_{ij} ; \\ \sigma_i &= \sum_j (i - \mu_i)^2 \sum_j C_{ij} ; \\ \sigma_j &= \sum_i (j - \mu_j)^2 \sum_i C_{ij} \end{aligned} \quad (12)$$

Este descriptor toma la matriz de coocurrencia, que es una función de densidad conjunta, y halla el grado de interacción o correlación entre los ejes de la matriz, siendo cada eje una variable aleatoria que puede tomar tantos valores discretos como niveles tenga la imagen. El propósito es utilizar estos descriptores para diferenciar una textura de otra.

- Características geométricas

Las características geométricas contienen información de forma, posición, tamaño y orientación de la región; las que se usan comúnmente para la identificación de un objeto bidimensional son las siguientes:

- Área; número de píxeles de una componente conexa
- Longitud del perímetro; número de píxeles en el borde de una región
- Diámetro; distancia máxima entre dos píxeles del borde de una región
- Rectángulo de cierre mínimo; rectángulo mas pequeño que circunscribe a la región de interés
- Centro de gravedad
- Redondez; cociente área – perímetro
- Delgadez; es la medida de lo delgado que es un objeto (también conocido como compacidad).

1.3.4.4. Clasificación: Con base en los datos analizados se efectúa el control de calidad o la identificación de aquellos patrones presentes en la imagen y que han sido caracterizados previamente o definidos de manera a priori.

1.3.5. Módulo de proceso

Se trata del sistema encargado de recibir y analizar las imágenes captadas por el sensor, extrayendo la información de interés en cada uno de los casos mediante la ejecución de los algoritmos diseñados, a velocidades que permitan interactuar con el entorno en cortos intervalos de tiempo. Es, pues, la parte del sistema encargada de implementar las funciones y objetivos para los que se haya diseñado el sistema.

1.3.6. Sistema de respuesta

Con la información extraída, los sistemas de visión artificial pueden tomar decisiones que afecten al sistema productivo con el fin de mejorar la calidad global de la producción.

Son fundamentalmente automatismos que responden electromecánicamente con el fin de corregir o evitar, por ejemplo, en los sistemas de producción, las causas generadoras de los problemas de detección. Otra de las funciones de estos

sistemas es la generación de estadísticas e informes del proceso al que están asociados, lo que permite disponer de una información global de los procesos para facilitar la toma de decisiones.

2. TEXTILES

La palabra Textil (derivada del latín *texere*, 'tejer') fue aplicada originalmente a las telas tejidas, pero hoy, es un término genérico utilizado también para filamentos, hilazas e hilos sintéticos, así como para los materiales tejidos, hilados, fieltros, acolchados, trenzados, adheridos, anudados o bordados que se fabrican a partir de los mismos. También se usa para referirse a telas no tejidas producidas mediante la unión mecánica o química de fibras.

La producción y distribución de textiles es relativamente compleja. Según el tipo de tela, la materia prima: tanto las fibras vegetales o animales como los productos químicos, pueden prepararse de forma independiente o como etapa preliminar en la fabricación de la tela; en consecuencia, el número de procesos distintos implicados en la producción varía según cada producto textil.

La primera etapa en la fabricación de textiles implica la producción de la materia prima, ya sea el cultivo de algodón, lino u otras plantas, la cría de ovejas o gusanos de seda, o la producción química de fibras; a continuación, la fibra se hila y posteriormente se usa el hilo para tejer las telas. Después del teñido y el acabado, el material puede suministrarse directamente a un fabricante de productos textiles o a un minorista que lo vende a particulares que confeccionan prendas de vestir o ropa de casa.

2.1. DEFINICIÓN DE TELA

Una tela es una estructura más o menos plana, lo bastante flexible como para poder transformarse en prendas de vestir y en textiles para uso doméstico, así como para usos industriales en donde se requiere cierta flexibilidad.

2.2. PROCESOS PARA LA ELABORACIÓN DE LAS TELAS

Las telas se elaboran a partir de soluciones, directamente de fibras, hilos y de la combinación de estos elementos junto con una tela o material hecho previamente. El proceso de fabricación de las telas determina el aspecto y la textura, el costo, su aspecto durante el uso y la conservación. Con frecuencia, el proceso determina el nombre de la tela; por ejemplo, fieltro, encaje, tejido, doble de punto, jersey. A continuación una breve descripción de los procesos de fabricación de telas y de las características sobresalientes de las telas típicas:

2.2.1. Telas elaboradas a partir de soluciones; son fundamentalmente de dos tipos:

2.2.1.1. Películas; la solución se hace pasar a través de rendijas delgadas hacia una corriente de aire caliente o se deposita en un cilindro revolvente. Los polvos para moldeo se prensan entre rodillos calientes. Son de bajo costo, a prueba de agua, resistentes a la suciedad y no son fibrosas. Tienen permeabilidad deficiente, son de baja resistencia a menos que tengan un soporte de tela; pueden tener el mismo acabado de cualquier otra tela o tener su propio aspecto característico.

2.2.1.2. Espuma; se elabora introduciendo aire en una sustancia elástica. Los que se utilizan más comúnmente son el hule y el poliuretano. Combinada con telas de moda en prendas de vestir proporciona calor y peso a bajo costo.

2.2.2. Telas elaboradas directamente de fibras; entre ellas se encuentran las siguientes

2.2.2.1. Fieltro; las fibras de lana se cardan (y peinan), se depositan en forma de una lamina gruesa, se rocían con agua y se hacen pasar a través de unas placas

calientes que las agitan, haciendo que las fibras se enreden e imbriquen unas sobre otras. No tiene grano, no se deshilacha ni se rasga, absorbe el sonido, no tiene flexibilidad, resistencia ni se recupera del alargamiento.

2.2.2.2. Telas no tejidas (Aglomerados); la estructura textil de una tela no tejida se logra uniendo o entrelazando las fibras con métodos mecánicos, químicos o térmicos, utilizando disolventes o combinando los métodos anteriores.

Los principales sistemas son la unión con resina y la unión de fibras termoplásticas. En el primer caso, la resina se pulveriza o se aplica en forma de espuma directamente sobre el retículo de fibras que va saliendo de la máquina formadora; a continuación, el retículo se seca, se polimeriza mediante calor y en algunos casos se plancha. En la adhesión termoplástica se mezcla con la fibra de base una fibra termoplástica con menor punto de fusión, formando un retículo, el cual se prensa entre rodillos calientes que adhieren las fibras termoplásticas a las fibras de base.

El principal método mecánico para producir textiles no tejidos es el uso de una troqueladora de agujas diseñada básicamente para producir mantas; esta máquina utiliza pequeñas agujas con ganchos para entrelazar las fibras. Este tipo de telas es utilizado ampliamente para artículos desechables.

2.2.3 Telas elaboradas a partir de hilos; las telas de este tipo son las más utilizadas para fabricar la indumentaria habitual (prendas de vestir) del ser humano. En este grupo encontramos los siguientes procesos:

2.2.3.1 Entretejido (trencilla); los hilos se entrelazan en forma diagonal y a lo largo. Las telas son angostas. Se utilizan principalmente para ornamentos. En

forma circular se utilizan para agujetas de calzado. Es generalmente elástica y fácil de amoldar a cualquier forma.

2.2.3.2. Tejido de punto; en este tipo de tejido, uno o mas hilos dan lugar a una serie de bucles o mallas que se entrelazan. Esta técnica es más rápida que el tejido plano. Requiere más cantidad de hilo por unidad para lograr el cubrimiento. Son telas elásticas, porosas y resistentes.

2.2.3.3. Tejido en telar, de calada o plano; El tejido plano en su estructura, está conformado por dos conjuntos de hilos entrelazados perpendicularmente. Los hilos que van en dirección longitudinal se llaman hilos de *urdimbre* y los que van en dirección transversal son los hilos de *trama* o de relleno.

Los hilos de urdimbre también se conocen como de *pie* y los hilos de trama como de *pasada*. La posición perpendicular de los hilos proporciona a la tela mayor rigidez y firmeza de la que tienen los hilos enlazados por trenzado, tejidos de punto y encajes. Las telas tejidas varían en la cuenta (número de hilos de urdimbre y trama por pulgada cuadrada) y en el balance (relación de hilos de urdimbre a hilos de trama). Las telas tejidas tienen un gran uso y el tejido en telar es uno de los métodos o procesos más antiguos de elaborar telas y de mayor implementación en el campo industrial.

- **Etapas del proceso de tejido plano:** en el proceso de obtención de tejido plano, se pueden identificar una serie de etapas comunes:

- **Procesado de la fibra;** la fibra de algodón, fique, el vellón de las ovejas o el lino etc., deben ser procesados antes de hilarlos, por ejemplo: el algodón en bruto se procesa con la desmotadora, que elimina las semillas y otras impurezas antes de ser transportado en balas 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, mientras que los filamentos rotos y el material de desecho se hilan de forma similar a la empleada para las fibras de algodón, fique, lana o lino.

Las fibras sintéticas se suministran en forma de filamentos o de fibras cortadas; 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 lana.



Figura 2.1: Telar para tejido plano

- **Montaje del castillo de la urdidora**; se colocan los conos de hilado respectivos en el castillo de la urdidora según el orden que indique la disposición técnica del artículo a urdir.
- **Urdido**; consiste en obtener a partir de varios grupos de hilos la urdimbre. Dichos hilos se pasan a través de un peine del castillo de la urdidora, enrollando

uno por uno todos los grupos de hilos denominados portadas en el tambor de la urdidora. Una vez obtenidos los hilos longitudinales, estos son enrollados en carretes, los cuales serán transportados a los telares.

- **Secado**; la urdimbre hecha, es enrollada en el plegador de urdimbre o enjullo; este procedimiento se lleva a cabo en el saca-rollos de la urdidora.

- **Pasado a lizos**; los hilos de la urdimbre luego son pasados por los lizos según la disposición técnica del artículo a fabricar.

- **Montaje de lizadas**; los marcos de lizos y el rollo de la urdimbre pasada son montados en el telar respectivo.

- **Calibrado del telar**; para el funcionamiento del telar (automático) se tiene que preparar el mismo, calibrando el movimiento de pinza y lizada según el artículo a tejer.

- **Tejido**; para tejer se utiliza el telar y dos conjuntos de hilos, denominados respectivamente urdimbre y trama. Los hilos de la urdimbre van a lo largo del telar, mientras que los de la trama van en dirección transversal. La urdimbre está enrollada en enormes bobinas llamadas enjullios o enjullos, 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 urdimbre.

Modificando el número de hilos de la urdimbre 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 urdimbre para evitar que se dañen.

- **Corte de la pieza tejida**; una vez terminada de tejer una pieza de tela, es marcada y tejida su cabecera para posteriormente cortarse.

- **Revisión del tejido**; la pieza de tela tejida es revisada en la mesa respectiva para detectar posibles errores que no se vieron durante su proceso de tejido y que probablemente continúen sucediéndose.

- **Acabado de la tela**; conjunto de procesos físicos, químicos y mecánicos que pasa una tela a través de una ruta y que modifican o agregan una característica especial de acuerdo al uso final del artículo. Algunos de los procesos que se siguen en el acabado son:

- **Teñido y estampado**; los textiles pueden teñirse de distintas formas: las telas pueden colorearse una vez tejidas (tinte en la pieza), pueden teñirse las fibras sueltas en una cuba (tinte en bruto) y, por último, puede teñirse el hilo o filamento antes de tejerlo (tinte en el hilo). Los hilos sintéticos también pueden recibir un tinte previo, incorporando pigmentos coloreados en la solución de hilado antes de extrudir los filamentos a través de las boquillas de hilatura (tinte en masa o solución).

El principal método para estampar dibujos en textiles es el rotograbado mediante rodillos, en este proceso el dibujo se graba en rodillos de cobre (un rodillo para cada color) y se llenan las depresiones de los rodillos con pasta de estampado; a continuación se pasa la tela por los rodillos. Otro proceso de estampado es la impresión en relieve; en este caso, el dibujo está elevado sobre la superficie del rodillo y las partes altas se cubren con tinta.

El estampado con retícula se realiza trazando el dibujo en una retícula plana o cilíndrica que sirve como plantilla, la cual se coloca sobre el tejido y se aplica el tinte haciéndolo pasar por las aberturas de la plantilla. El estampado manual con retícula está siendo sustituido por máquinas automáticas.

- Otros procesos de acabado

Además del teñido y el estampado, la tela recibe otros acabados para mejorar su aspecto y cualidades, como por ejemplo tratamientos 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.

Existen otras actividades o subprocesos que se realizan para mejorar la calidad del producto, a saber:

- **Medido de la pieza;** después de retirar la pieza del telar, se mide en la mesa respectiva para saber cual es el metraje real en crudo de la misma.

- **Pesado de la pieza;** la pieza es pesada en la balanza para luego determinar con su longitud el peso por metro lineal y controlar si éste se encuentra dentro del

rango del artículo respectivo, si no fuera así, corregir el error en el telar de las piezas que faltan por tejerse.

- **Zurcido**; la pieza es revisada en el banco de zurcido, corrigiéndose manualmente el defecto de tejido que pudiera tener.

- **Revisión de la tela zurcida**; al finalizar el zurcido la pieza es revisada minuciosamente en el banco respectivo para poder detectar cualquier posible defecto no encontrado en el proceso anterior.

- **Pinzado**; existen artículos que por el material que tienen y el color, deben ser pinzados para eliminar motas, pajas u otros objetos extraños que estén en el tejido.

- **Flecado**; todos los artículos terminados como las chalina, mantas, mantones, tienen en sus dos extremos los hilos de urdimbre sin los hilos de trama en una longitud de aproximadamente de 5 a 20 cm, los cuales serán torcidos manualmente en grupos de 10 a 20 hilos formándose así los flecos.

- **Desmanchado**; cuando una tela presenta manchas de difícil limpieza, se realiza el desmanchado manual de las mismas con sustancias especiales.

- **Cosido en saco**; la pieza de tela es cosida tomando orillo con orillo a todo lo largo de la misma.

- **Lavado a lo ancho**; se trata de un enjuagado propiamente, el cual se da en la lavadora respectiva (efectuándose con agua y sustancias auxiliares), donde la pieza se carga para girar a todo su ancho sobre los rodillos, los cuales van friccionando y por ende enjuagando.

- **Centrifugado**; la pieza de tela se carga en la centrifugadora, la cual, al hacerla girar permite que el agua contenida en la tela sea expulsada por acción de la fuerza centrífuga. Se trata básicamente de un exprimido.

- **Batanado**; la tela debe tener un determinado peso por metro lineal, así como ancho en el acabado; para ello se le hace pasar por un proceso de batanado, que consiste básicamente en ingresar la tela en la máquina denominada batán, con un baño de agua y sustancias auxiliares que ayudan a enfurtirla para sacudir los residuos presentes de procesos previos. Un extremo de la pieza pasa por un rodillo giratorio para luego coserse con el otro extremo: al hacer funcionar la máquina, gira el rodillo, el cual con sus aletas va golpeando transversalmente ocasionando que el hilo de trama se vaya recogiendo, mientras que dos topes regulares presionan perpendicularmente uno frente al otro a la tela, la cual al ir girando ejerce presión sobre el hilado provocando una reducción en el ancho de la tela.

- **Mojado o Exprimido**; cuando una pieza necesita cierto grado de humedad para procesos posteriores se pasa por la máquina denominada *Foulard*, la cual está provista de rodillos los cuales ejercen una presión determinada sobre la tela para quitar la humedad que contiene luego que ha pasado por una tina de agua que la moja.

- **Perchado húmedo o seco**; la tela húmeda o seca es cargada en la máquina denominada Percha, la cual está provista de un tambor giratorio que tiene en su contorno varios cilindros pequeños con monturas metálicas cilíndricas, que también giran junto con la tela, ya sea en el mismo sentido o contrario, pero a mayor velocidad, produciendo una fricción que saca pelo al hilado de la misma dando como resultado la tela a pelo.

- **Perchado en cardos**; básicamente es el mismo principio de trabajo que la percha, con la diferencia que a acción de las guarniciones de la máquina denominada cardo es menos enérgica por el hecho que son de origen vegetal (del fruto del Cardo, el cual tiene la forma de un huevo, pero con una superficie cubierta de púas que son las que sacan levemente el pelo de la tela o lo peinan).

- **Stricca**; es un cepillado en baño de agua y sustancias auxiliares que permiten el acomodo del pelo de tal manera que esté peinado y pegado a la tela; para ello también reposa enrollada por un periodo de tiempo que le permita la fijación.

- **Tundido**; la pieza se carga a la máquina Tundidora, cosiendo sus dos extremos entre sí para luego girar las vueltas que sean necesarias y lograr que las cuchillas helicoidales corten el pelo de la tela a una altura previamente determinada en la tundidora, pudiendo incluso dejar sin nada de pelo a una tela.

- **Vaporizado**; la pieza de tela es pasada por las cámaras de vapor de la máquina denominada vaporizadora, con el fin de eliminar las tensiones que se han acumulado en la misma, producto de los continuos procesos por los que pasó.

- **Planchado**; la pieza es pasada por la plancha, máquina que está provista de un cilindro de base pulida que gira sobre su respectiva área convexa, que igualmente es lisa; entre ambas circula la tela, siendo presionada por el cilindro que está a una temperatura elevada, eliminando arrugas y deformaciones en el tejido.

- **Decatizado**; la tela es cargada en la máquina denominada decatizadora, enrollándola con la lona para luego iniciar el proceso, el cual consiste en proporcionar presión y vapor a la tela que le proporcionen estabilización, textura y cuerpo al tejido en una determinada dimensión y aspecto, evitando deformaciones futuras.

- **Revisión de la tela acabada;** una vez acabada la pieza de tela, es revisada minuciosamente mientras se va enrollando en la mesa respectiva, para detectar posibles defectos que pudieran tener; asimismo se hacen las pruebas de resistencia y aspecto para finalmente darle la calificación que le corresponde.

2.2.3.4. Encaje; los hilos se anudan, se entrelazan los bucles o se tuercen para formar telas abiertas, casi siempre con algunas figuras. Se elaboran a mano o a maquina.

2.2.3.5. Telas de fibra de fique; estas se obtienen a partir de los hilos formados con fibra de fique usando cualquiera de los tres principales tipos de ligamento. Su principal aplicación es en la conformación de sacos empleados para enfardelar productos agrícolas como: café, papa, arroz, etc. Es una tela burda que se produce casi en todos los talleres caseros. También se utiliza para hacer tapices, tapetes, alpargatas, zapatos, adornos caseros, sombreros y vestidos.

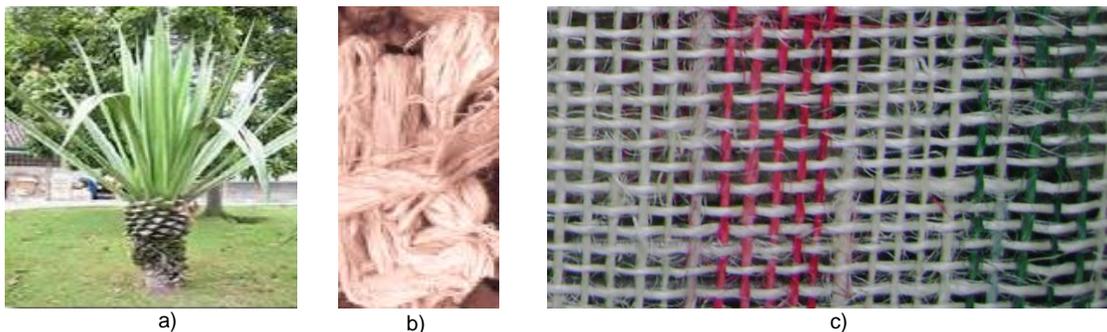


Figura 2.2: El fique, a) Planta, b) Fibra, c) Tela

2.2.4. Telas compuestas; en este grupo encontramos:

2.2.4.1. Tejido revestido; aplicación de un material semilíquido a tela que actúa como base. Los materiales para el revestimiento más usuales son el hule, cloruro

de polivinilo y el poliuretano. Es una tela más fuerte y más estable que las telas sin soporte. Son muy utilizadas para tapicería, bolsas de mano y prendas de imitación de piel.

2.2.4.2. Flocadura; las fibras se fuerzan a penetrar en la base de una tela y se mantienen allí por medio de un adhesivo o enlace electrónico para construir un dibujo de pelusilla sobre la tela o bien para dar un aspecto aterciopelado general.

2.2.5. Telas de espuma y fibra; las fibras y la solución de poliuretano se mezclan, se moldean sobre un tambor o se hacen pasar a través de una rendija para formar una película, se forman pelillos en ambos lados. Las fibras utilizadas son poliéster, nylon y rayón. La apariencia y textura son similares a la gamuza.

2.2.6. Telas afelpadas; los hilos son transportados por medio de agujas y se hacen pasar a través de una base de tela donde se conforman en rizos que pueden rasurarse. Son muy usadas en tapetes y alfombras, tapicerías, forros de abrigos y colchas.

2.2.7. Telas de componentes múltiples; pertenecen a este grupo las siguientes:

2.2.7.1. Telas adheridas o “laminados”; dos o mas telas se adhieren entre si por medio de un adhesivo o de un proceso a base de flamas y espumas; este tipo de tela puede separarse por capas, conservan el calor sin tener demasiado peso, hacen posible el manejo de telas ligeras para prendas de uso a la intemperie.

2.2.7.2. Acolchadas; una o dos telas con un relleno, estopa o espuma se cosen ya sea a mano, a máquina o por medio de vibraciones sónicas. Son muy usadas en chaquetas para esquiar, batas, abrigos, colchas y tapicería; son generalmente muy voluminosas y conservan el calor corporal.

2.3. TIPOS DE TEJIDO O LIGAMENTOS

Se refiere a la forma en que se entrecruzan los hilos para dar origen a la tela; variando el método de tejido es posible producir muchas telas diferentes. Los de mayor empleo son el tejido liso o de tafetán, la sarga o tejido cruzado y el tejido de satén o satín.

2.3.1. Tejido liso o de tafetán

El método básico de tejido, en el que cada hilo de la urdimbre se entrelaza con el hilo de trama, se denomina tejido liso o de tafetán. (Esta palabra se deriva probablemente del persa *taftha*, que quiere decir 'vuelta'). Algunas telas tejidas con este método son la batista, la manta, el calicó, el lino, el cambray, el crespón o crepé, la estopilla o *cheesecloth*, el *chintz*, la muselina, el organdí, el percal, el *seersucker*, voilé (velo), cloqué o el *tweed*. Otras variaciones del tejido liso son el tejido reticulado o el tejido acanalado (*acanalé*); la tela escocesa es un ejemplo del primero y el popelín o popelina, la bengala o el piqué lo son del segundo.

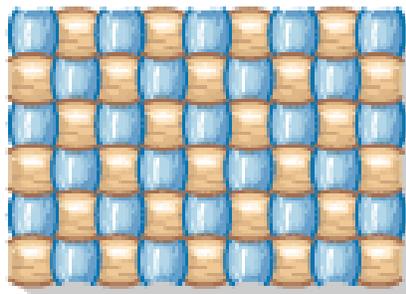


Figura 2.3: Tejido liso o tafetán⁷

⁷ Britannica-Salvat Online Enciclopedia Multimedia Compacta Británica, <<http://www.ebrisa.com/portalc/articulo-B/429706>>

2.3.2. Sarga o tejido cruzado

El tejido cruzado se caracteriza por las líneas diagonales muy marcadas producidas por el entrelazado de dos hilos de la urdimbre con un hilo de la trama en filas alternas. Este efecto puede observarse en tejidos como la espiguilla o palmeado, la sarga, el cheviot, el *foulard*, el *twill*, el *suráh*, la gabardina, el cutí, la mezclilla, el *denim* o el dril. El tejido cruzado proporciona a la tela una gran resistencia, útil para prendas de trabajo.

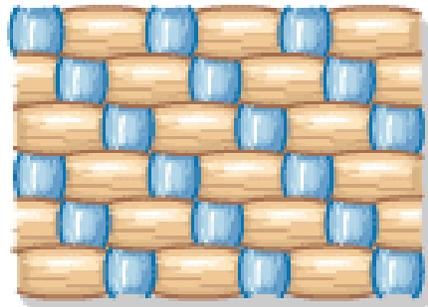


Figura 2.4: Tejido cruzado⁸

2.3.3. Tejido satén o satín

Los satenes tienen una textura más densa que los tejidos cruzados, pero su principal característica es la suavidad que se consigue a expensas de la resistencia. La superficie suave del tejido de satén se logra pasando los hilos de la urdimbre encima de unos cuantos hilos de la trama, con un entrelazado mínimo; la reflexión de la luz en los hilos libres produce su brillo característico.

En un satén de trama, los hilos de la misma se pasan encima de unos cuantos hilos de urdimbre. Como los hilos de la trama son más débiles que los de la urdimbre, los tejidos de satén son menos resistentes a la abrasión, pero a pesar de todo son populares por su belleza. Los más conocidos son el satén de

⁸ Britannica-Salvat Online Enciclopedia Multimedia Compacta Británica, <<http://www.ebrisa.com/portalc/articulo-B/429706>>

crepón o crepé satín, la piel de ángel, el raso y el damasco. La palabra *satén* se deriva del puerto chino de *Chüanchow*, antes llamado *Zaytun*, desde donde comenzó a exportarse este tipo de telas en la edad media.

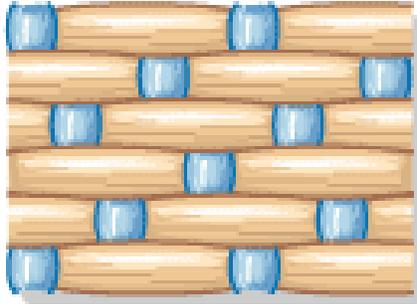


Figura 2.5: Tejido satén o satín⁹

2.4. ELECCIÓN DE LAS FIBRAS

Para fabricar una tela lo primero que se determina es el tipo de fibra o materia prima que se utilizará en el tejido. Una vez que se tiene la materia prima las fibras se transforman en rollos de hilo (se hilan) para ser utilizadas en un telar que fabrica la tela. Después viene la etapa de la coloración donde la tela se tiñe con pigmentos minerales, vegetales o sintéticos.

Los nombres de los tejidos indican el método de entrelazar los hilos y no la fibra que contienen. Cualquier fibra o combinación de fibras puede usarse con cualquier clase de tejido. Inicialmente algunos tejidos sólo estaban asociados con una fibra determinada, como ocurría con el tafetán o el satén, hechos de seda, con la sarga un tejido cruzado limitado en el pasado a la lana, o con el *denim*, un tejido cruzado que originalmente sólo se hacía con algodón. Hoy se

⁹ Britannica-Salvat Online Enciclopedia Multimedia Compacta Británica, <<http://www.ebrisa.com/portalc/articulo-B/429706>>

produce tafetán de nylon, satén de algodón, sarga de seda o *denim* de fibras mixtas.

La introducción de fibras sintéticas ha hecho que se estudie el contenido de fibra más apropiado para las distintas aplicaciones. Las características deseadas se logran mediante diversas combinaciones y mezclas de fibras, métodos de tejido y procesos de tinte y acabado.

2.5. APLICACIONES DE LOS TEXTILES

Además de prendas de vestir y objetos domésticos, los textiles se usan en productos industriales como filtros para acondicionadores de aire, balsas salvavidas, cintas transportadoras, carpas, neumáticos de automóvil, piscinas, cascos de seguridad o ventiladores de mina.

En muchas aplicaciones los textiles con recubrimientos protectores de plástico proporcionan mayor flexibilidad, menor peso y mejores resultados que los metales.

Aunque para los productos industriales se utiliza toda clase de fibras, muchos se fabrican con una combinación de fibras sintéticas sobre una base de algodón, las fibras sintéticas hacen que la tela sea resistente al moho y se seque rápidamente, mientras que el algodón, más barato, proporciona volumen y estabilidad.

2.6. DEFECTOS EN LAS TELAS

En Colombia existe una norma técnica (NTC 1046. Telas: Definiciones de los defectos), en la cual se encuentran consignados una gran variedad de defectos

que pueden presentarse en las telas durante el proceso de fabricación, muchos de ellos no son muy frecuentes, razón por la cual no hay una gran base de datos con imágenes que refieran tales defectos, también están la NTC 2794 Telas de tejido de punto: definiciones de los defectos y la NTC 2567 Textiles: telas de tejido plano y tejido de punto, definiciones de los defectos; que se encuentran en etapa de estudio actualmente por parte del ICONTEC. A continuación se hace una breve descripción de algunos de los defectos mas frecuentes en las telas:

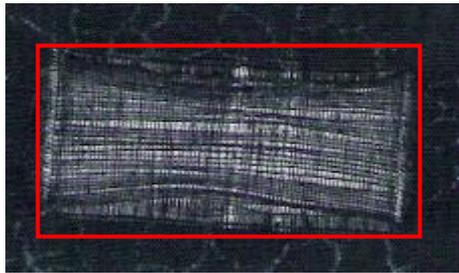
a.-) Moños: se presenta como hilos de trama entorchados en el tejido en forma de argollas; es causado generalmente por la falta de tensión en la trama, mal ajuste en el mecanismo de frenado de la trama o deficiencias en el proceso de vaporizado de la trama.

b.-) Vacío grave: se presenta cuando faltan varias pasadas juntas en la tela, causado básicamente por que el para trama está mal ajustado y por la mala operación del tejedor.

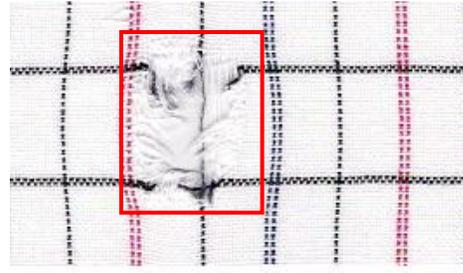
c.-) Llagas: se presenta cuando una porción de urdimbre y trama queda sin tejer, este defecto es causado por que el para-urdimbres no está bien ajustado, limpiezas deficientes, nudos mal hechos.

d.-) Rotos: se presenta como agujeros en la tela de hilos de trama y/o urdimbre, causado por la presencia de objetos extraños adheridos a los rodillos del antepecho y por que los cilindros del enrollamiento se encuentran en mal estado o no son aptos para esa referencia.

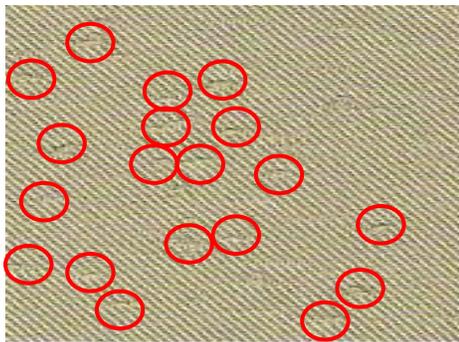
e.-) Pisa lienzo: separación de los hilos de urdimbre o trama a veces acompañados de pequeños rotos. El defecto es causado generalmente por que las púas de pisa lienzo se pegan a la tela o por el ajuste del pisa lienzo.



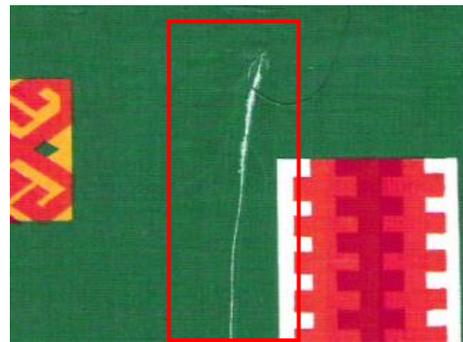
a) Llaga



b) Roto



c) Moños



d) Cola

Figura 2.6: Defectos en telas

f.-) Neps: pequeñas motas que no dejan penetrar el colorante, es causado por la mala calidad del algodón o por malos ajustes en el proceso de cardado.

g.-) Materia extraña: porciones o tramos diferentes a la mezcla, generalmente causados por la contaminación del algodón.

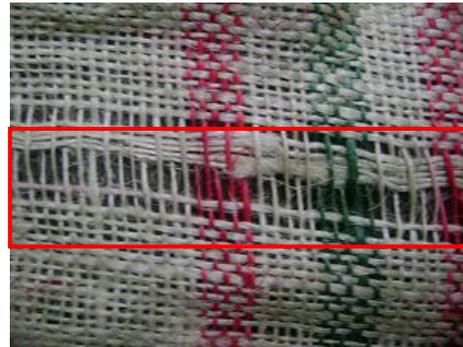
h.-) Motas y nudos: se presenta en la tela como protuberancias en sentido urdimbre y trama, se presenta por la mala graduación del purgador, limpiezas deficientes o nudos mal hechos por el operario.

i.-) Arranque de telar: mayor concentración de pasadas en el tejido, con apariencia corrugada; causado por malos ajustes mecánicos o mala operación de la maquina.

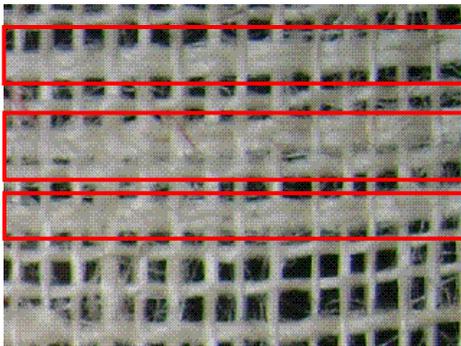
j.-) Colas: se presenta cuando quedan hilos flotantes en la tela y es causado cuando el tejedor no corta el sobrante del hilo que pasó.



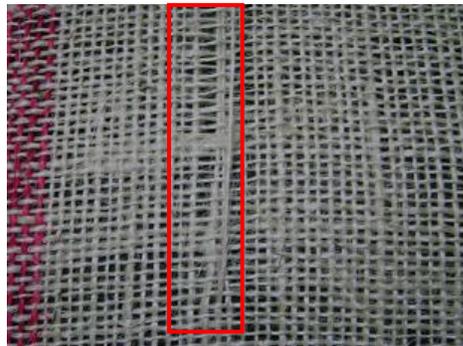
a) Mota



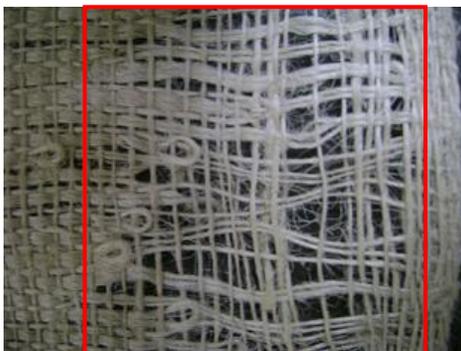
b) Ralo



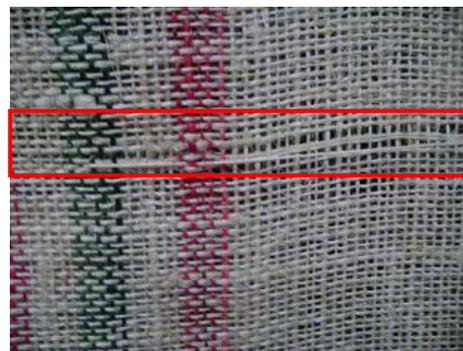
c) Pasada doble



d) Basta de urdimbre



e) Ralo de orilla



f) Basta de trama

Figura 2.7: Defectos en telas de fibra de fique

En las telas de fibra de fique también se presentan defectos, muchos de los cuales se corresponden con algunos de los que se mencionan en el apartado anterior y que figuran en la NTC 1046, a saber: Basta de trama o urdimbre-Colas; Ralovación grave; Pasada doble-Arranque del telar; etc. Sin embargo en Colombia aún no existe una norma técnica que refiera de manera exclusiva los defectos que se presentan en las telas de fibra de fique, se muestran algunos en la figura anterior.

2.7. EL TELAR

El tejido se lleva a cabo en una máquina llamada *telar*. Este ha sufrido muchos cambios desde su diseño original, pero los principios y operaciones básicas siguen siendo los mismos. Los hilos de urdimbre se sostienen entre dos soportes y los hilos de trama se insertan y compactan para formar la tela. La figura 2.8 muestra la estructura básica de un telar.

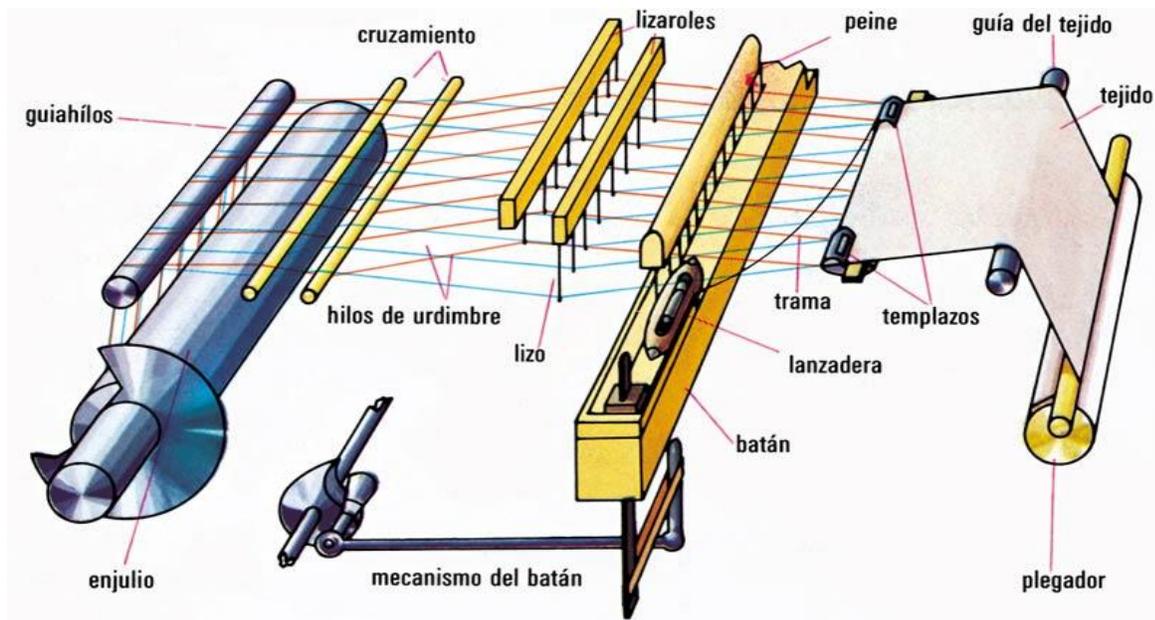


Figura 2.8: Partes del Telar¹⁰

¹⁰ Britannica-Salvat Online Enciclopedia Multimedia Compacta Británica, <<http://www.ebrisa.com/portalc/articulo-B/429706>>

En el telar, el proceso de tejer consiste de las siguientes etapas:

- **Formación de la calada:** elevación de uno o más lizos para separar los hilo de urdimbre y formar una calada.
- **Picada:** pasar la lanzadera a través de la calada para insertar la trama.
- **Ajustar la trama:** el peine empuja el hilo de trama para acomodarlo y apretarlo en su sitio en la tela.
- **Enrollado:** la tela terminada se enrolla sobre el enjulo delantero



Figura 2.9: Telar semiautomático

2.8. INSPECCIÓN AUTOMÁTICA Y DETECCIÓN DE DEFECTOS EN TELAS

Para dar una definición poco rigurosa de la inspección visual automática, podemos decir que consiste en realizar la inspección de una característica concreta de un producto, utilizando una computadora ya sea para controlar directamente el proceso de producción o para monitorear la calidad del producto.

La principal misión que tiene la inspección automática en el sector textil es la detección de defectos, aunque también puede ser útil para llevar un riguroso control de calidad del producto.

La homogeneidad de las texturas a analizar, junto con los sensores lineales de alta velocidad y los sistemas de iluminación de alta frecuencia por

retroiluminación, permiten la **captura de imágenes** donde se incrementa el contraste de los defectos, lo que permite su detección y segmentación.

Se puede diseñar el sistema de tal manera que si detecta un defecto se logre emitir una señal a los operarios supervisores o actuar automáticamente sobre la causa del defecto para la corrección de éste. En algunos procesos es interesante detener la producción si se detecta un fallo para no seguir produciendo material defectuoso.

En los algoritmos de detección de defectos en tejidos, dependiendo del nivel de complicación que se necesite y de la textura de la tela puede requerirse el uso de técnicas como redes neuronales y/o lógica difusa.

3. FUNDAMENTACION Y ANALISIS DE LOS PROCEDIMIENTOS EN LA CONSTRUCCION DEL SISTEMA

El algoritmo empleado en la construcción del sistema de inspección visual automática de telas, sigue los lineamientos o etapas consignadas en el diagrama de bloques que se muestra a continuación:

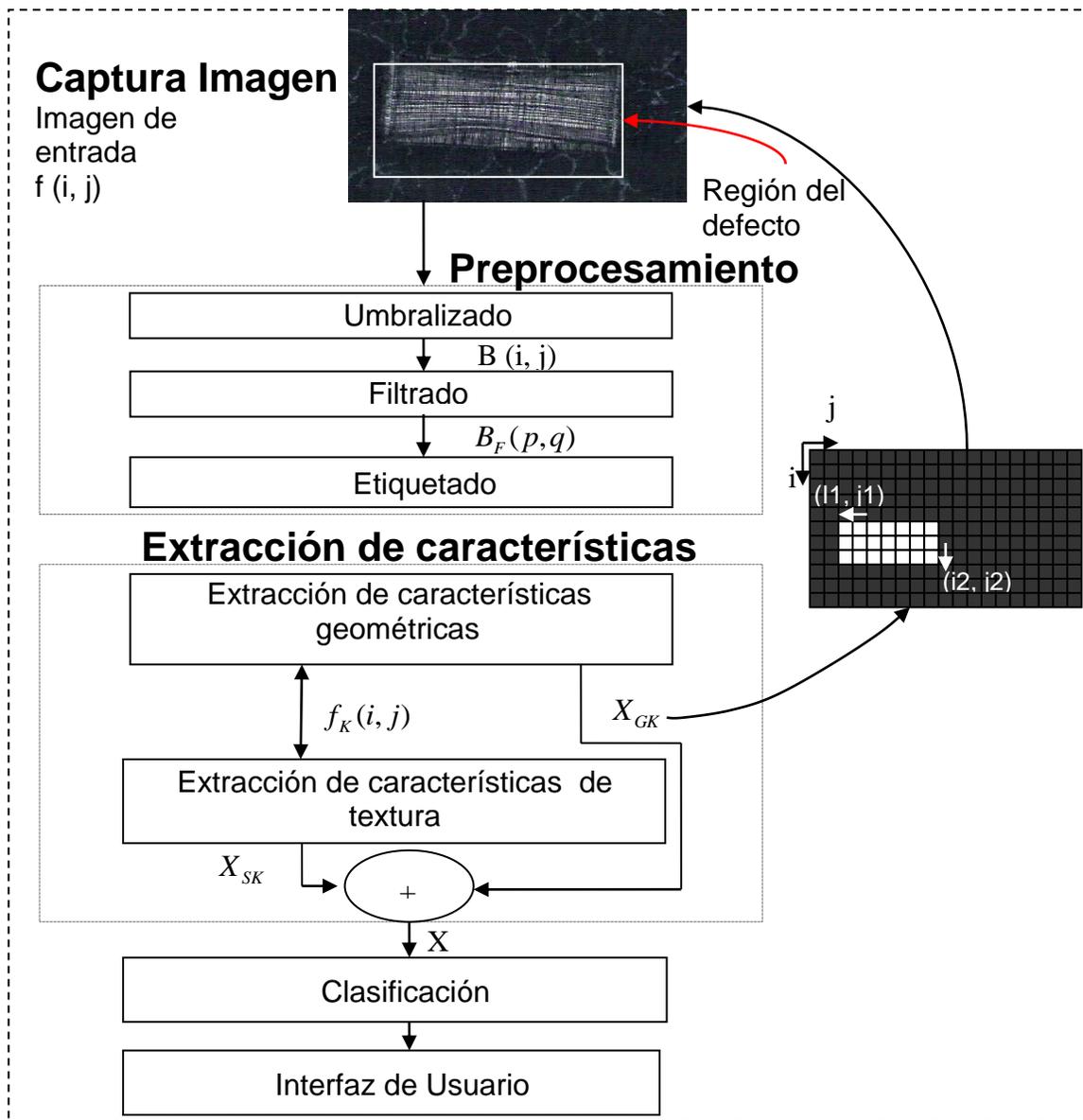


Figura 3.1: Etapas del sistema de detección de defectos

Muchos de estos procedimientos se encuentran ampliamente expuestos en libros, algunos de ellos consignados en la bibliografía que se adjunta, por ello, se tocarán sólo los aspectos más relevantes de tales procedimientos.

3.1. CAPTURA DE LA IMAGEN

Esta es quizás la parte más importante a la hora de realizar investigaciones y experimentos relacionados con tratamiento de imágenes, de hecho, la obtención de buenas imágenes puede reducir etapas en el tratamiento posterior de la imagen; y el diseño de un buen sistema de iluminación, contribuye de manera preponderante a ese propósito.

En este proyecto, las imágenes fueron tomadas y procesadas de forma continua en la línea de producción. El intervalo de captura está íntimamente relacionado con la velocidad con que se desplaza la tela en el telar (*en nuestro caso 2,15 cm/s*) y el campo visual de la cámara (área de enfoque).

3.1.1. La cámara; se utilizó una cámara CBS – 317AC color, con las siguientes especificaciones técnicas:



Figura 3.2: Cámara utilizada

- Sensor: 1/3" CMOS
- Sistemas: PAL/CCIR NTSC/EIA
- Píxeles efectivos: PAL:628*582 NTSC:510*492
- Área de la imagen: PAL: 5.78*4.19mm NTSC:4.69*3.45
- Resolución horizontal: >380 TVL
- Frecuencia de escaneo: PAL/CCIR:50Hz NTSC/EIA:60Hz
- Iluminación mínima: 3 Lux / F1.2
- Sensibilidad: +18DB-AGCON-OFF
- Fuente de alimentación: +8V DC a +12V DC
- Consumo de potencia: 200MW

3.1.2. Tarjeta digitalizadora; se utilizó una *KWorld PlusTV Analog Lite PCI* capturadora de video, con una resolución de hasta 720 x 480 píxeles.



Figura 3.3: Tarjeta utilizada

3.1.2.1. Especificaciones:

- *Chipset philips 7134*
- Radio FM
- Interfaz PCI
- Control remoto infrarrojo

- Soporta estándar NTSC/PAL/SECAM
- Graba video y captura imágenes de alta calidad
- Captura AVI hasta 30fps
- Soporta grabación en MPEG-1, MPEG-2, MPEG-4
- Entrada y salida de audio, entrada de video RCA y S-video

3.1.3. Algoritmo de captura; se implementó una función para guardar el área cliente de la ventana donde se despliega el video, como una imagen de mapa de bits con un tamaño de 320 x 240, una profundidad de bits de 24 bits por píxel equivalente al modo de representación del color RGB.

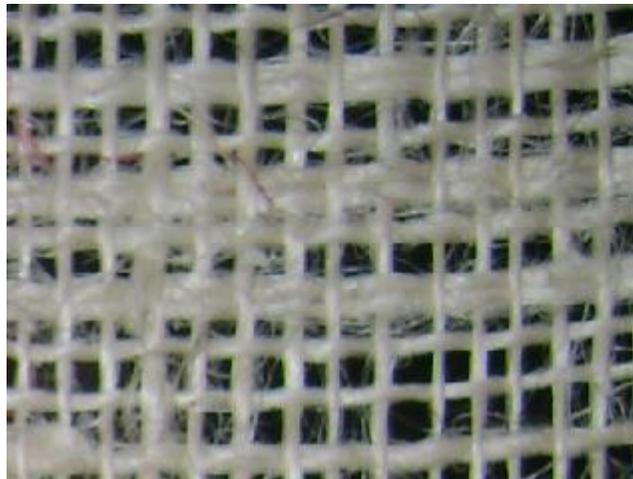


Figura 3.4: Imágen capturada

3.2. PREPROCESAMIENTO

El preprocesamiento tiene por objeto la adecuación de la imagen, es decir, disminuir el ruido presente y resaltar las características de interés. En el caso particular se aplicaron procedimientos de umbralización, convolución y cálculo de componentes conexas o etiquetado.

3.2.1. Umbralización; es una técnica utilizada para convertir imágenes en color o escala de grises a imágenes binarias, a partir de un determinado valor umbral. El procedimiento es como se muestra a continuación.

Se recorre la imagen de arriba hacia abajo y de izquierda a derecha.

Si píxel $(i, j) < \text{valor umbral} \longrightarrow \text{píxel}(i, j) = 0$

Si píxel $(i, j) \geq \text{valor umbral} \longrightarrow \text{píxel}(i, j) = 1$



Figura 3.5: Imagen umbralizada

3.2.2. Convolución; en la convolución de una imagen el concepto de máscara juega un papel muy importante: una máscara es una matriz de tamaño $N \times M$ que se aplica a un entorno o parte de una imagen centrada en el píxel (i, j) . La aplicación de la máscara consiste en multiplicar cada elemento de la misma por el equivalente en el entorno o parte de la imagen en cuestión, sumar todos los productos, y asociarlo al píxel (i, j) , la operación se describe en la siguiente fórmula.

$$Pixel(i, j) = \sum_{i=0}^K \sum_{j=0}^L (Máscara(i, j) * Subimager(i, j)) \quad (13)$$

En este proyecto la convolución que tiene por objeto mejorar la imagen umbralizada, se llevó a cabo con un filtro¹¹ (máscara) *gaussiano* de segundo orden; este filtro en dos dimensiones tiene la forma:

$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} \quad (14)$$

donde σ , es la desviación estándar de la distribución y se ha asumido una media igual a cero.

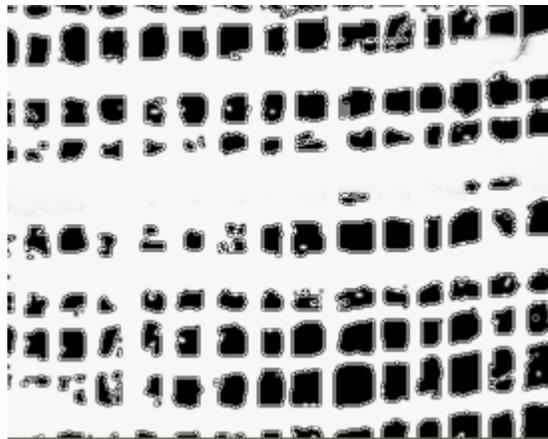


Figura 3.6: Imagen filtrada

3.2.3. Etiquetado; esta técnica permite dividir una imagen binaria en componentes conexas, donde se espera que cada componente conexas corresponda a objetos o superficies diferentes. Para su implementación es importante manejar de manera clara dos conceptos, a saber:

¹¹ A. Muñoz, F. Prieto, G. Osorio, F. Angulo, “**Detección de patologías celulares empleando visión artificial**”, es una herramienta importante para comprender muchos filtros suavizantes como el gaussiano.

- **Camino:** Es una sucesión de puntos $P_0, P_1, P_2, \dots, P_N$ tal que la distancia entre P_i y P_{i+1} es 1 (Ya sea en 8-adyacencia ó 4-adyacencia).

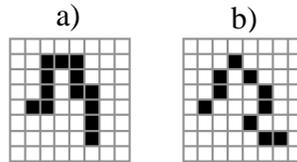


Figura 3.7: Definición de camino en, a) 4-adyacencia, b) 8-adyacencia.

- **Componente conexa:** Se llama así a un conjunto de píxeles mutuamente conectados, tal que para cualquier par de píxeles del conjunto, existe un camino que los une.

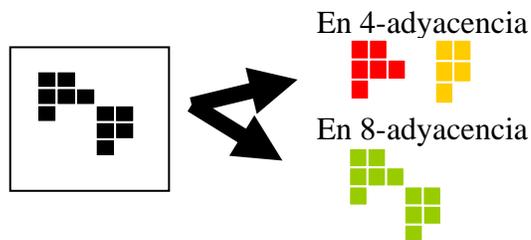


Figura 3.8: Ejemplo de componentes conexas

3.3. DETECCIÓN DE DEFECTOS

En este punto es importante decir que el sistema de inspección que se desarrolló, fue implementado como un proyecto piloto en la empresa **Empaques del Cauca S. A.** Dedicada a la fabricación de empaques o sacos con telas de fibra de fique, por tanto los procedimientos que se plantean y los resultados que se muestran en este informe, son producto de las pruebas que se desarrollaron en dicha empresa.

Las telas de fibra de fique que se fabrican en la empresa para la posterior obtención de los sacos de almacenamiento de productos agrícolas: café, arroz, papa, etc. pueden presentar defectos como: mota, basta de trama y urdimbre, entre otros; sin embargo existen dos tipos de defectos que la empresa considera muy graves, por que generan perdidas en materia prima para la empresa (defecto:

pasada doble) y porque disminuyen la calidad de la tela (defecto: ralo) **figura 3.9**; por esta razón el sistema tuvo por objeto, detectar estos dos tipos de defectos en particular.

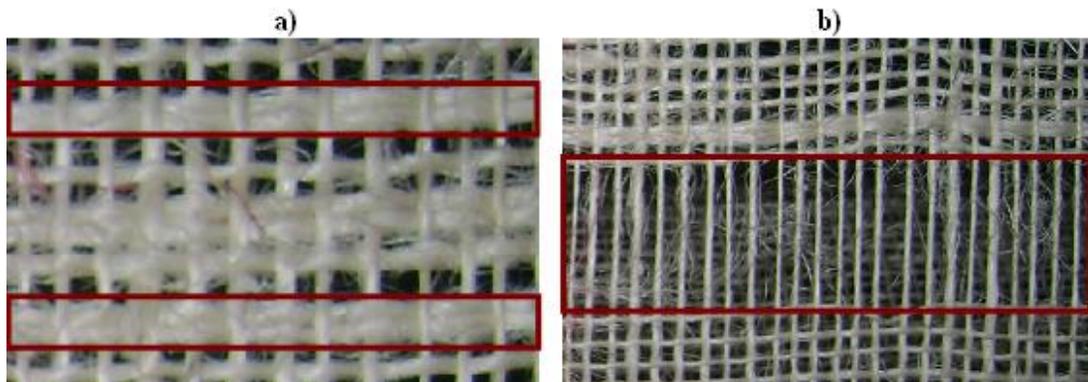


Figura 3.9: Principales defectos a detectar; a) Pasada doble, b) Ralo.

- **El defecto pasada doble**, se presenta en la tela como la unión de dos hilos de trama sin cruce aparente de los hilos de urdimbre, figura 3.9a. Se produce fundamentalmente por la presencia de material extraño en las espadas del telar, tensión incorrecta de los hilos de urdimbre, presencia de motas o por hilos de trama con escasa torsión (muy gruesos).
- **El defecto ralo** en cambio, es un vacío grave que se presenta en la tela, por la ausencia de hilos de trama debido principalmente a una afectación mecánica del telar o por conos de hilos defectuosos.

Para detectar estos defectos en línea de producción y considerando las características de los mismos, se utilizó como parámetro el **área**¹² ocupada por un hilo y el área ocupada por un hueco o espacio entre hilos, entendida ésta como el

¹² Se exponen algunos tips sobre area en: L. Lefebvre, P. Poulin **“Analysis and Synthesis of Structural Texturas”**.

número de píxeles que en una imagen forman una componente conexa. Primero se estableció “digitalmente” (en la imagen) el diámetro de un hilo de fibra de fique (figura 3.10) y se encontró que éste varía entre 5 y 12 píxeles, consecuentemente pudo establecerse el área considerando imágenes de 320x240 entre 1600 a 3840 píxeles. Cuando aparecen dos hilos unidos como en el caso del defecto pasada doble (figura 3.9a), esta área evidentemente se desborda, aumenta considerablemente y he allí el mecanismo de identificación y detección de este tipo de defectos.

De presentarse como de hecho ocurre, que el área de dos hilos unidos no supere el valor máximo previamente establecido, el sistema no lo toma como un defecto y tiene sentido por que puede ocurrir que en virtud de la naturaleza de los hilos, el diámetro de dos de ellos unidos sea equivalente al diámetro encontrado para uno muy grueso (12 píxeles).

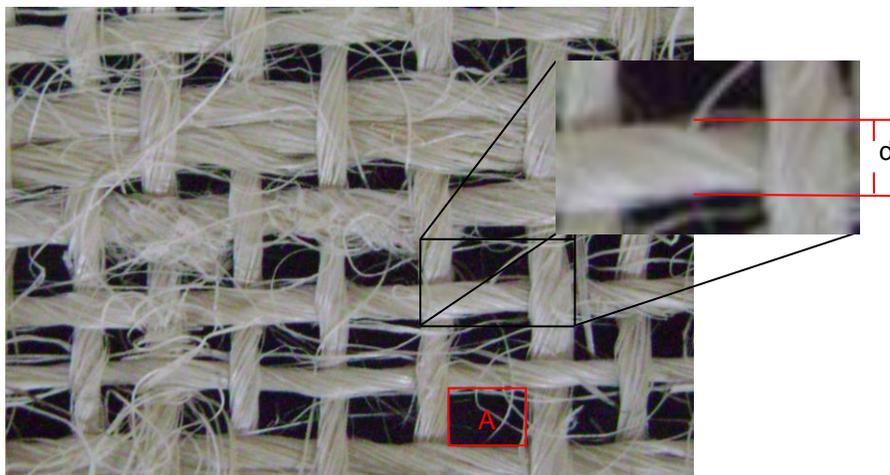


Figura 3.10: Parámetros de detección de los defectos

De igual forma, en la referencia o ligamento analizado en la empresa el valor promedio del área de la componente conexa correspondiente a los espacios entre hilos contiguos que se estableció fue de 3025 píxeles; de modo que cuando el

sistema encuentra más de tres componentes conexas consecutivas en el sentido del recorrido de la imagen con áreas superiores a este valor, toma esto como un defecto y traza un rectángulo para resaltar toda esa área como tal.

Todo el análisis de la imagen el sistema lo realiza horizontalmente, es decir en el sentido de los hilos de trama, por que son éstos los que en razón al mecanismo de impulsión de la lanzadera para introducirlos en el tejido, generan mas frecuentemente estos dos tipos de defectos.

4. PRUEBAS Y RESULTADOS

En principio el soporte para la cámara se instaló sobre el propio telar; pero la vibración que se genera en el, es bastante fuerte y repercute de manera negativa en la cámara, afectando en materia grave su estabilidad y posición correcta de la lente en relación con el sensor y consecuentemente la calidad de las imágenes.

Esta dificultad obligó a la formulación de muchas propuestas para la disposición final de la cámara en el telar, entre ellas: taladrar el piso en una zona adyacente al telar para empotrar una varilla y sujetar en ella el dispositivo sensor, esta solución alternativa, disminuía los efectos de la vibración sobre la cámara; pero incorporaba otro problema, la afectación operativa en el telar, es decir, le reducía espacio de maniobra a los operarios encargados de corregir algún fallo.

Finalmente después de muchas conjeturas, se optó por dejar el soporte instalado sobre el telar aumentando su peso (Inercia), de modo que las vibraciones se transmitieran a la cámara en menor grado y modificando la forma (**Ver anexo A**) del soporte ya que originalmente, por la posición del sistema de iluminación propio de la empresa, producía sombra sobre la tela.

Otra dificultad que se presentó, es que como el software se desarrolló para capturar, almacenar en disco local y luego cargar la imagen para su correspondiente análisis, el sistema se tornaba poco eficiente (disminución de la velocidad de respuesta) dadas las características técnicas del sistema de computo con el que inicialmente se trabajó (computador obsoleto), el problema se solucionó con la asignación de un nuevo equipo.

Las pruebas iniciales se realizaron con luz ambiente durante un día soleado. Cabe resaltar que la edificación de la empresa dispone de claraboyas o lucernas en el

techo para permitir convenientemente el paso de la luz solar. Los resultados de este proceso se muestran en la **tabla 1**.

Tabla 1: Resultados obtenidos utilizando luz ambiente

Prueba	Numero de imágenes capturadas y analizadas	Numero de aciertos	Efectividad del sistema (%)
1	82	69	84,15
2	40	33	82,50
3	57	46	80,70
4	61	53	86,89
5	78	72	92,31

La variación en la efectividad del sistema entre una prueba y la siguiente, se debe en este caso a que las condiciones de iluminación no son estables y como en la umbralización de las imágenes se utilizó un número o umbral fijo, obtenido a partir del análisis previo de imágenes tomadas en condiciones similares, cuando disminuye la intensidad del sol la imagen puede resultar muy clara o muy oscura tornándose como defectuosa de manera acertada o desacertadamente o bien podría mostrarse como transparente para el sistema, en el sentido de que no mostraría la imagen aun cuando esta tenga defecto.

El intervalo de tiempo entre una prueba y la otra, fue de 3 minutos para aprovechar que las condiciones de iluminación permanecieran relativamente estables y procurar de éste modo un menor desfase en el porcentaje de aciertos en cada prueba.

El porcentaje de desaciertos también se le atribuye a las irregularidades de los hilos utilizados –no tienen todos el mismo diámetro– en la elaboración de las telas.

También se hicieron pruebas durante la noche utilizando el sistema de iluminación normal de la empresa (iluminación frontal difusa con lámpara fluorescente, luz blanca) y se obtuvieron los siguientes resultados tabla 2.

Tabla 2: Resultados obtenidos utilizando lámpara fluorescente

Prueba	Numero de imágenes capturadas y analizadas	Numero de aciertos	Efectividad del sistema (%)
1	60	54	90,00
2	98	85	86,73
3	100	89	89,00
4	77	64	83,12
5	86	73	84,88
6	87	71	81,61

Adicionalmente se hicieron unas pruebas utilizando descriptores obtenidos a partir de la matriz de coocurrencia, los cuales permiten decir si una imagen presenta algún defecto o no; sin embargo, no es posible con ellos la localización de tales defectos al obtener la respuesta de este clasificador. Para localizar los defectos se hizo un análisis estructural basado en el área que en la imagen ocupa un hilo en forma individual y la de los espacios entre hilos; esto permitió poder ubicarlos y

resaltarlos en la imagen de salida. Los resultados obtenidos se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 3: Resultados la combinación de características

Prueba	Numero de imágenes capturadas y analizadas	Numero de aciertos	Efectividad del sistema (%)
1	59	37	62,71
2	66	45	68,18
3	47	36	76,60
4	54	41	75,93

Los filtros en procesamiento digital de imágenes generalmente se usan para contrarrestar los efectos negativos inherentes a las condiciones en que fueron captadas las imágenes. En el marco de este proyecto fueron implementados con el objeto de mejorar el contraste y eliminar pequeñas fibras que se presentan en el hilo en forma de ramificaciones, este factor también contribuyó en la reducción del porcentaje de acierto del sistema, por que no existe un parámetro estándar y genérico que permita decir cuantas veces aplicar un filtro a una imagen como las que se trabajaron en este proyecto, para eliminar completamente esas ramificaciones.

4.1 Prototipo

Con objeto de tener un mejor control sobre las condiciones de operación del software, especialmente de la iluminación, se consideró importante desarrollar un modelo a escala de un telar (un montaje que simula una banda transportadora, con la banda sustituida por la tela de fibra de fique, **Fig. 4.1 y 4.2**).



Figura 4.1: Prototipo, vista lateral y oblicua

En este caso, Para resaltar los detalles de interés en las telas de fibra de fique, se optó por luz blanca difusa como iluminación. Para ello, se implementó la técnica de iluminación frontal, utilizando como fuentes de luz dos farolas con bombillas que emiten luz blanca. Inicialmente se montó una sola lámpara, pero luego de examinar las imágenes obtenidas se observó que no presentaban una iluminación uniforme, por lo cual fue necesario incluir una segunda lámpara, poniendo especial cuidado en que estuviera a igual altura de la tela y a igual distancia de la cámara en comparación con la otra lámpara ver figura 4.2 y 4.3.



Figura 4.2: Prototipo, vista frontal

Por otro lado, la cámara que se utilizó en estas pruebas fue una cámara *Web* corriente, conectada directamente al computador a través del puerto USB. Los

resultados obtenidos con la utilización del prototipo se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 4: Datos obtenidos con el prototipo

Prueba	Numero de imágenes capturadas y analizadas	Numero de aciertos	Efectividad del sistema (%)
1	20	19	95,00
2	20	19	95,00
3	20	18	90.00

En este caso los resultados son mucho mas alentadores, como se puede apreciar en la tabla; sin embargo es importante anotar que se tomaron únicamente veinte imágenes en cada prueba por que estaba la limitante de que solo se contaba con cuatro metros de tela de fibra de fique (400 cm.) y la cámara cubría veinte centímetros para cada imagen a través de su campo visual.

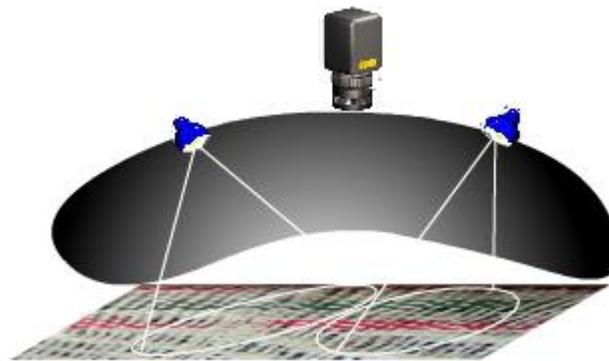


Figura 4.3: Sistema de iluminación

En todos los casos, el porcentaje de acierto fue tomado con base en una característica particular del software, que consiste en mostrar en la barra de titulo del cuadro donde se despliega la imagen (si tiene defecto), el nombre de la imagen que se analizó. Como ésta imagen queda almacenada en el disco duro del

equipo, al terminar cada prueba se verificaba la condición de la misma, para compararla con lo que el sistema había arrojado como resultado para esa imagen correspondiente. Lo anterior es necesario en la etapa de validación del sistema, sin embargo, cuando el sistema esté funcionando y no se necesite corroborar su funcionamiento no es necesario guardar la imagen en el computador, lo que acelera el proceso de medida.

5. CODIGO IMPLEMENTADO

Para la realización de este proyecto se desarrolló una aplicación usando el lenguaje de programación Microsoft Visual C++ 6.0, la cual implementa todos los procedimientos explicados en este documento. Esto incluye algoritmos para la captura, Análisis y procesamiento de la imagen, detección de defectos en telas de fibra de fique y la visualización de la imagen con el defecto resaltado.

Aunque se consume mucho código en visualización e interfase, las funciones más importantes y específicas para la implementación del sistema de detección de defectos en telas de fibra de fique, son las siguientes:

Bool DVentanaABmp(CString szFile, CDC *pDC)

Al comenzar la aplicación se llama a esta función cada cierto intervalo de tiempo, para que guarde la imagen. Se le entrega el nombre que queremos para nuestra imagen y el contexto de dispositivo de la ventana actual, es decir en la se ha desplegado el video.

Void ClasificarTela(CDC* pDC)

Es de donde se llama a casi todas las otras funciones involucradas en el proceso de detección de los defectos. Se le entrega el contexto de dispositivo donde se dibujara la imagen si presenta algún defecto.

CManejoDib *CVisorDlg::CargLeelmgUnaUna()

Esta función carga y lee la imagen. Devuelve un objeto de la clase *CManejoDib* que es un mapa de bits independiente del dispositivo, compuesto por dos estructuras (*BITMAPFILEHEADER*, *BITMAPINFOHEADER*) y los bits de datos.

Int CalcularAreaB(CPoint punto1, CPoint punto2, int *img)

Calcula el área de una región dentro de la imagen, recibe los dos puntos que definen el rectángulo y un apuntador a la imagen; devuelve el área de la región.

Int ContarPixelesCompConexa(int i, int j, int *p)

Esta función cuenta el número de píxeles que tiene la componente conexa, recibe la posición inicial de la componente conexa en la imagen y un apuntador a la imagen.

Int EsAislado(int i, int j, int* p_IMG)

Dice si un píxel es aislado o no, aquí solo se considera la 8-adyacencia. La función recibe las coordenadas del píxel y un apuntador a la imagen.

Int* Mcoocurrencelmg(int* p_IMG)

Esta función calcula la matriz de coocurrencia y obtiene los valores de los descriptores estadísticos de ella. Recibe un apuntador a la imagen y devuelve un apuntador a un vector que contiene las propiedades o características de la matriz de coocurrencia.

Se implementaron además funciones para obtener los planos de color de la imagen, para obtener el negativo de la imagen, para el sepia, para obtener la imagen en nivel de gris, para darle brillo a la imagen, entre otras; sin embargo estas funciones no son tan preponderantes como las que se describieron antes.

La aplicación se ejecuta al dar doble clic en el icono  . Cuando ya no deseamos que el programa continúe realizando la operación para la cual se concibió (*detección de defectos*), se cierra dando clic en el icono  que aparece en la parte superior derecha de la ventana principal del programa.

En la siguiente figura se puede apreciar el diagrama de flujo que muestra esquemáticamente la forma en que trabaja el software.

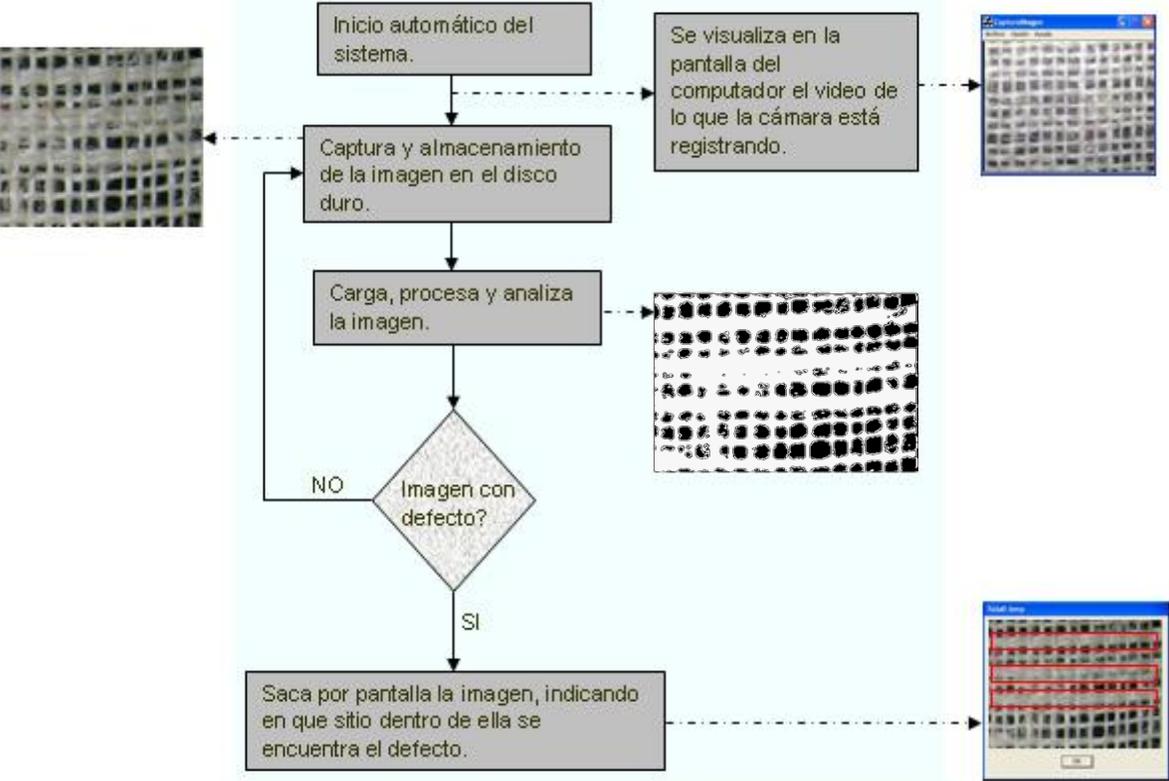


Figura 5.1: Diagrama de estados.

6. CONCLUSIONES

Para el caso específico de la detección de defectos en telas de fibra de fique, las características de textura obtenidas de la matriz de coocurrencia, no son una buena elección, especialmente cuando se pretende desarrollar sistemas de inspección con altos porcentajes de efectividad; por que estos descriptores son muy sensibles a las variaciones en rotación, traslación y forma de los objetos, lo que es muy frecuente en este tipo de telas, dada su naturaleza.

Pese a la complejidad de los cálculos realizados y a los considerables requerimientos de memoria dinámica por parte del equipo de cómputo, el sistema respondió adecuadamente a cada una de las tareas, en los tiempos presupuestados.

Teniendo en cuenta las condiciones en las que se realizó la detección de defectos en las telas de fibra de fique en la empresa *Empaque del Cauca S.A.*, un porcentaje de acierto considerable como el mostrado en las tablas 1, 2 y 3 nos permite pensar en una implementación del sistema a escala industrial, dados los beneficios que la detección de éstos brindarían a la empresa desde el primer momento.

Se implemento un software para la identificación de defectos en telas de fibra de fique por medio de análisis estructural de imágenes. La implementación fue realizada en el lenguaje de programación, Visual C++ 6.0.

Se ha verificado experimentalmente que el procesamiento digital de imagen a través del método de análisis estructural de las mismas, resulta adecuado para representar, clasificar e identificar defectos en imágenes de telas de fibra de fique.

Asimismo se ha construido un prototipo en el que se imita la operación que se realiza en un telar, con el propósito de tener un mayor control de las diferentes variables implicadas en el proceso de análisis de las imágenes capturadas.

Al igual que los resultados obtenidos en la literatura sobre la detección automática de defectos en telas de tejido plano, utilizando las fibras mas populares como el algodón, seda, nylon, etc. En este trabajo con las telas de fibra de fique, se ha demostrado experimentalmente que el análisis estructural de imágenes es muy sensible a las condiciones “externas” en que las imágenes a analizar son tomadas; pero completamente transparente a las variaciones de rotación y traslación. Particularmente se ha analizado el caso de imágenes tomadas utilizando luz ambiente y con dos sistemas de iluminación diferentes que también fueron implementados.

7. SUGERENCIAS Y RECOMENDACIONES

Para optimizar el sistema propuesto, de modo que pueda ser implementado a nivel industrial es pertinente plantear algunas sugerencias. Para el caso particular de la empresa *Empaques del Cauca S.A.*, argüiría como primera medida la disposición de los recursos suficientes que permitan la consecución de una cámara de barrido progresivo ideales para este tipo de aplicaciones y el (los) lentes que permitan enfocar toda el área correspondiente a la sección de tela que se desea analizar.

Si la empresa tiene interés en la implementación definitiva de este sistema, se le sugiere diseñar o adquirir un sistema de iluminación que garantice la eliminación de las fluctuaciones de luz que pudieran presentarse en la tela, es decir que mantenga las condiciones de iluminación estables.

Se requiere que la cámara esté ubicada de manera que los efectos de la vibración del telar no tengan tanto impacto sobre ella y utilizar cámaras con señal de video no estándar o de barrido progresivo. La distancia a la cual debe ubicarse la cámara en relación con el objeto, puede obtenerse a partir de la siguiente ecuación:

$$Distfocal = \frac{TamSensor * DistObjeto}{TamObjeto} \quad (15)$$

Donde: *DistFocal*; corresponde a la distancia focal de la lente u óptica utilizada
TamObjeto; se refiere al tamaño del objeto a inspeccionar
DistObjeto; es la distancia a la cual se encuentra el objeto
TamSensor; corresponde al tamaño del sensor en la cámara

En lo que se refiere al software, también es recomendable hacer algunas mejoras, por ejemplo: elegir el valor de umbral para la imagen durante la ejecución del programa (calcularlo dinámicamente) para contrarrestar las fluctuaciones en la iluminación.

Implementar un método que permita registrar el momento en que por efectos de factores externos o defectos presentes en el producto, el telar se haya parado y cronometrar ese intervalo de tiempo, para llevar un registro de tiempos perdidos en telares.

Enviar una señal al microprocesador del telar, con el propósito de hacer que éste se detenga siempre que el sistema haya detectado un defecto.

Pensando en la implementación a nivel industrial del sistema, una sugerencia importante sería que éste evolucionara a tal punto que un computador pueda controlar varias cámaras dispuestas en diferentes telares o en su defecto utilizar sistemas embebidos (DSP, etc.) en los cuales es más factible la implementación de dicha operación. Con ese propósito, en lugar de capturar la imagen, almacenarla en el disco duro para luego cargarla y hacer el análisis correspondiente, se debería trabajar directamente sobre el video que se observa en pantalla.

Agregar un menú que contenga las opciones correspondientes a cada tipo de ligamento utilizado en la empresa y desarrollar los procedimientos adecuados para el análisis de cada uno de ellos.

8. BIBLIOGRAFÍA

[1].- PRATT K. William “Digital Image Processing” PIKS Scientific Inside. 4 ed, WILEY, 2007.

[2].- CEBALLOS Fco. Javier, “Microsoft Visual C++ 6” Aplicaciones para Win32, 2 ed, editorial Alfaomega.

[3].- CASTLEMAN Kenneth R. “*Digital Image Processing*” Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey 07632, 1996.

[4].- DE LA ESCALERA HUESO Arturo “Visión por Computador: Fundamentos y Métodos” Prentice-Hall; Pearson Educación, S.A. Madrid 2001.

[5].- CORPORACIÓN TECNOLÓGICA EMPRESARIAL, “Industria Textil en Colombia”; Bogota Abril de 2004.

[6].- MINISTERIO DE CIENCIA Y TECNOLOGIA DE ESPAÑA, “Análisis de la Tecnología de Visión Artificial Aplicada al Sector Textil”; Instituto Tecnológico Textil AITEX, 2002.

[7].- MERY Domingo, “Inspección visual Automática”, Departamento de Ingeniería Informática; Universidad de Santiago de Chile. www.diinf.usach.cl/~dmery.

[8].- DEL CARPIO SALINAS Jorge A., HUN CHOO Frank, MARTÍNEZ CHUNGA Ronald, “Inspector de Cajas de Botellas Vacías para Líneas Embotelladoras”.

[9].- MOLINA SORIANO Rafael, “Visión Artificial”, Dpto. Ciencias de la Computación, Universidad de Granada.

[10].- GUTIÉRREZ MLOT Esteban, URQUIZA ORTIZ José Miguel, “Aplicaciones de la Visión Artificial”.

[11].- HOLLEN Norma, SADDLER Jane, LANGFORD Anna L., “Introducción a los Textiles” Editorial LIMUSA S. A. DE C. V., NORIEGA EDITORES, Balderas 95, México, D. F. 2004.

[12]. - HAJIMOWLANA Hossain, PhD, PE. “*Compact Web Manufacturing Process Defect-Detection System Uses a Camera and ADI Blackfin Processor*”, hossain.hajimowlana@analog.com.

[13]. - WILEY John & Sons, “*Model-Based Methods for Textile Fault Detection*”

[14].- ESCRIBANO SANCREZ Isabel, MALVA Adrián E., “Desarrollo de un Sistema de Visión Artificial para el Control Eficiente de Pulverizadores de Cera en el Tratamiento Post-Cosecha de la Fruta”, U. Politécnica de Valencia, España. 2005.

[15].- GÜRTLER Max, KIND W., Traducción de FERRER D. Ricardo, “La Industria Textil” Editorial LABOR, S. A. MADRID – BARCELONA – BUENOS AIRES.

[16].- CEBALLOS Francisco Javier, “Microsoft Visual C++ 6” Programación Avanzada en Win32, Editorial Alfaomega.

[17].- WRIGHT Charles, “Visual C++ 6 for Dummies” Quick reference, IDG Books WorldWide, Inc.

[18].- ARNDT Jörg, “Algorithms for programmers” ideas and source code, <http://www.jjj.de/fxt>, 2002.

[19].- PAJARES Gonzalo, DE LA CRUZ Jesús M. “Visión por computador: Imágenes digitales y aplicaciones”, Alfaomega, Ra-Ma 2002-2004.

[20].- MONTILLA PERAFÁN Diana Carolina, RUIZ HOYOS Amanda, “Modelo de un sistema de clasificación del fruto chontaduro *Bactris Gasipaes* por su tamaño, forma y color mediante el sistema de inspección visual artificial”. Trabajo de grado, programa de Ingeniería Física – Universidad del Cauca.

[21].- TRUJILLO MACHADO Isaías, “Estudio sobre viabilidad de utilización de un sistema de visión artificial para la realización del control de calidad en la fabricación de adhesivos sólidos en *H. B. Fuller* Colombia”. Trabajo de grado, programa de Ingeniería Física – Universidad del Cauca.

[22].- PENCUE FIERRO Edgar Leonairo, “Implementación de un sistema de visión artificial para la clasificación y el control de calidad de frutas”. Trabajo de grado, programa de Ingeniería Física – Universidad del Cauca.

ANEXO A. DISPOSICIÓN DE LA CÁMARA EN EL TELAR

a)



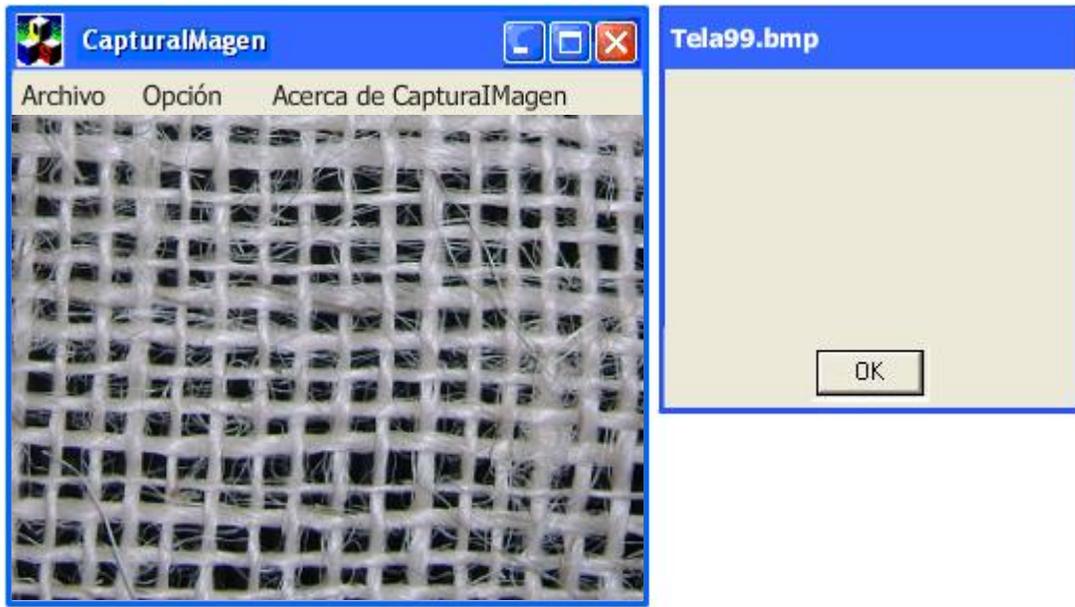
b)



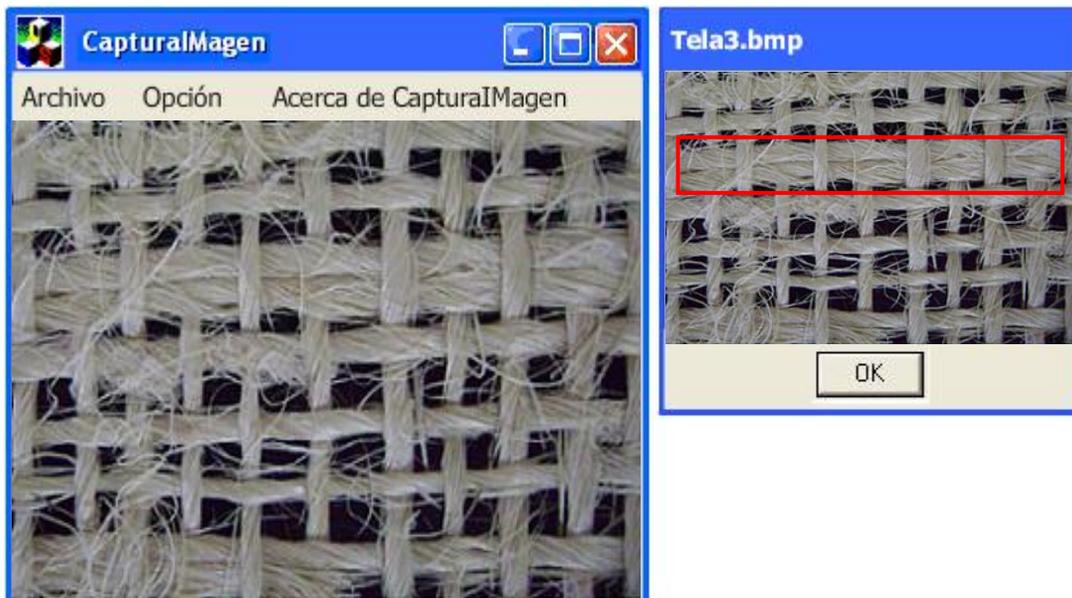
a) Cámara en el telar, b) Enjulio con hilos de urdimbre

ANEXO B: IMÁGENES DEL SISTEMA EN EJECUCIÓN

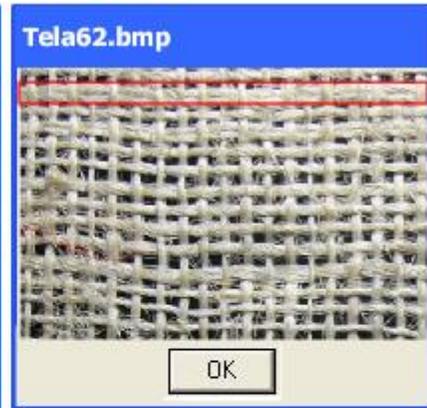
Sin defecto



Con defecto



Con defecto



Sin defecto



ANEXO C: IMÁGENES DE LA IMPLEMENTACION DEL PROTOTIPO

