



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

VISIÓN ARTIFICIAL APLICADA A LA INDUSTRIA TEXTIL DE GUATEMALA

Balfre Ernesto Martínez Villatoro

Asesorado por la Inga. Ingrid Salomé Rodríguez

Guatemala, septiembre de 2006

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**VISIÓN ARTIFICIAL APLICADA A LA INDUSTRIA TEXTIL
DE GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

BALFRE ERNESTO MARTÍNEZ VILLATORO
ASESORADO POR LA INGENIERA INGRID SALOMÉ RODRÍGUEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO EN ELECTRÓNICA

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2006

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Lic. Amahán Sánchez Álvarez
VOCAL III	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Inga. Ingrid Salomé Rodríguez de Loukota
EXAMINADOR	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
EXAMINADOR	Ing. Marvin Marivo Hernández Fernández
SECRETARIO	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

VISIÓN ARTIFICIAL APLICADA A LA INDUSTRIA TEXTIL DE GUATEMALA,

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Mecánica Eléctrica, 8 de abril de 2006.

Balfre Ernesto Martínez Villatoro

Guatemala 3 de agosto del 2006

Ingeniero
Julio César Solares Peñate
Coordinador del Área de Electrónica
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC.

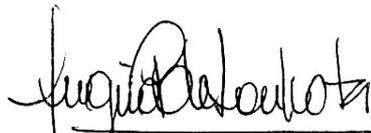
Estimado Ingeniero Solares.

Me permito dar aprobación al trabajo de graduación titulado: **“Visión artificial aplicada a la industria textil de Guatemala”**, del señor **Balfre Ernesto Martínez Villatoro**, por considerar que cumple con los requisitos establecidos.

Por tanto, el autor de este trabajo de graduación y, yo, como su asesora, nos hacemos responsables por el contenido y conclusiones del mismo.

Sin otro particular, me es grato saludarle.

Atentamente,



Inga. Ingrid Rodríguez de Loukota
Colegiada 5,356
Asesora

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



Guatemala, 21 de agosto 2006.

FACULTAD DE INGENIERIA

Señor Director
Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado:
Visión artificial aplicada a la industria textil de Guatemala,
desarrollado por el estudiante; Balfre Ernesto Martínez Villatoro, por
considerar que cumple con los requisitos establecidos para tal fin.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Julio César Solares Peñate
Coordinador Area de Electrónica



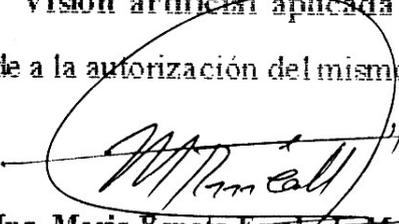
JCSP/zo

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante: Balfre Ernesto Martínez Villatoro titulado: *Visión artificial aplicada a la industria textil de Guatemala*, procede a la autorización del mismo.


Ing. Mario Renato Escobedo Martínez

DIRECTOR



GUATEMALA, 29 DE AGOSTO 2006.

Universidad de San Carlos
de Guatemala



Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref. DTG.331.06

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al trabajo de graduación titulado: **VISIÓN ARTIFICIAL APLICADA A LA INDUSTRIA TEXTIL DE GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario **Balfre Ernesto Martínez Villatoro**, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
DECANO

Guatemala, Septiembre 2006

/cc

Todo por ti, Carolinyia Mía
Dr. Carlos Martínez Durán
2006: Centenario de su Nacimiento

AGRADECIMIENTO A

DIOS	Por culminar este trabajo de graduación, dándome la fuerza y el entendimiento necesario.
MIS PADRES	Quienes me apoyaron y me dieron el aliento necesario para terminar el presente trabajo de graduación.
FAMILIARES	Con cariño sincero
COMPAÑEROS Y AMIGOS	Por los momentos compartidos.
FACULTAD DE INGENIERÍA	Por haberme brindado la oportunidad de estudiar una carrera universitaria.
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA	Por haberme brindado la oportunidad de estudiar una carrera universitaria .

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
GLOSARIO	VII
RESUMEN	XIII
OBJETIVOS	XV
INTRODUCCIÓN	XVII
1. GENERALIDADES DE LA INDUSTRIA TEXTIL DE GUATEMALA	1
1.1 Descripción de la industria textil en Guatemala	1
1.2 Importancia de la industria textil en la región centroamericana	2
1.3 Importancia en la generación de empleo	4
1.4 Principales productos de exportación de la industria textil	5
1.5 Marco legal en la industria textil-confección, establecido por el gobierno de Guatemala	6
1.5.1 Leyes que rigen la industria textil	6
2. VISIÓN ARTIFICIAL	9
2.1 Percepción de la imagen	9
2.2 Fuentes de luz	11
2.2.1 Tipos de iluminación	11
2.2.2 Sistemas de iluminación	14
2.2.3 Parámetros de funcionamiento	14
2.2.4 Tipos de lámparas	15
2.2.4.1 Iluminación convencional	16
2.2.4.2 Iluminación de alta frecuencia	17
2.2.4.3 Otros sistemas de iluminación	18

2.2.4.4 Fuentes de luz	22
2.2.5 Efectos de la frecuencia	22
2.3 Sensores de imagen	24
2.3.1 Arquitectura de los sensores	25
2.3.2 Cuantización	26
2.3.3 Evolución de las capacidades y características de los sensores	27
2.4 Tarjetas de captura	28
2.4.1 Multitap	28
2.4.2 Procesador digital de señal	30
2.5 Algoritmos de análisis de imagen y reconocimiento de formas	31
2.5.1 Filtrado o pre-procesamiento	31
2.5.2 Segmentación o aislamiento de los objetos de interés	32
2.5.3 Reconocimiento de formas e inteligencia artificial	33
2.5.4 Extracción y selección de características	35
2.6 Computador o módulo de proceso	36
2.6.1 Evolución de los módulos de proceso	37
2.6.2 Mejoras a las tarjetas capturadoras	38
2.6.3 Arquitectura de algunas tarjetas capturadoras en el mercado	40
2.7 Sistemas de respuesta	42
3. MAQUINARIA TEXTIL CON VISIÓN ARTIFICIAL	43
3.1 Sistemas de control de calidad	43
3.1.1 Tejidos en crudo y tintados	43
3.1.2 Tejidos Demin	46
3.1.3 Tejidos estampados	48
3.1.4 Urdido	51
3.1.5 Hilatura	52

3.1.6 Género de punto_____	54
3.1.7 Tejidos Jacquard_____	56
3.2 Control de procesos_____	57
3.2.1 Sistemas guiados por visión artificial_____	58
3.2.2 Control del color_____	59
4. ESTUDIOS DE IMPLANTACIÓN_____	61
4.1 Subárea tejidos Jacquard_____	61
4.1.1 Estudio de implantación de sistemas con visión artificial para tejidos Jacquard_____	61
4.1.2 Necesidades de la empresa de tejidos Jacquard_____	62
4.2 Subárea tejidos estampados_____	63
4.2.1 Estudio de implantación de la visión artificial para tejidos estampados_____	64
4.2.2 Necesidades de la empresa de tejidos estampados_____	65
4.3 Subárea urdido_____	66
4.3.1 Estudio de implantación de la visión artificial para urdidores_____	66
4.3.2 Necesidades de la empresa urdidora _____	68
4.4 Subárea hilatura_____	68
4.4.1 Estudio de implantación de la visión artificial en hilatura_____	68
4.4.2 Necesidades de la empresa de hilatura_____	69
4.5 Subárea tintura y acabados_____	70
4.5.1 Estudio de implantación de sistemas con visión artificial en tintura y acabados_____	71
4.5.2 Necesidades de la empresa de tintura y acabados_____	71
5. VIABILIDAD DE LA VISIÓN ARTIFICIAL APLICADA A LA INDUSTRIA TEXTIL DE GUATEMALA_____	73

5.1 Tejidos Jacquard	75
5.1.1 Errores de interés	76
5.1.2 Adquisición de imagen	76
5.1.3 Repetitividad del diseño	77
5.1.4 Elasticidad del tejido y registrador local	78
5.1.5 Comparación de imágenes	79
5.2 Tejidos tintados	79
5.2.1 Control del color	80
5.2.2 Adquisición de datos y cómputo	81
CONCLUSIONES	83
RECOMENDACIONES	85
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	87
BIBLIOGRAFÍA	89

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1	Empleo generado por el sector textil-confección en Guatemala	4
2	Espectro y sensibilidad, electromagnéticos	10
3	Tipos de iluminación	13
4	Espectro electromagnético de distintos tipos de fibras ópticas	20
5	Comportamiento de dos ondas de luz con distinta frecuencia	23
6	Diferencia entre cámaras CCD y CMOS	24
7	Diagrama de bloques de la cámara OPSIS 5150ALC	27
8	Etapas de reconocimiento de formas	31
9	Diagrama de reconocimiento de formas aplicado a la visión artificial	34
10	Evolución de la microprocesadores Intel [®]	37
11	Arquitectura del C80	40
12	Diagrama de bloques de la tarjeta PYTHON/C6	41
13	Jerarquía de comunicaciones industriales	42
14	Máquinas de la casa EVS	44
15	Verificadora CAIPO	45
16	Máquina de inspección Demin, casa USTER	47
17	Máquina de inspección Demin, casa BARCO	48
18	Verificador de estampado RSPI	49
19	PRINT TEX, casa EVS	50
20	TensoScan 5370, casa PROTECHNA	51
21	Warpscan, casa Enka técnica	52
22	Inspección de bobinas	53

23	Sistema Barco_____	54
24	Montaje del sistema ProCam 5310, casa PROTECHNA_____	55
25	Máquina KNI-TEX, casa EVS_____	56
26	Sistemas BARCO_____	57
27	Sistema OPTOCUTTER, casa OPTOTEX_____	58
28	Sistema MAP control, casa Orintex_____	59
29	Sistema Eye-Open, casa BARCO_____	60

TABLAS

I	Empresas del sector textil, confección, accesorios y empleo generado en Centroamérica, año 2003_____	2
II	Indicadores de competitividad en el sector textil-confección_____	4
III	Tipos de balastro, su frecuencia de alimentación y frecuencia de salida_____	18
IV	Especificaciones de fibras ópticas Fostec_____	19
V	Algunos modelos de cámaras lineales existentes en el mercado_____	26
VI	Algunos modelos de frame grabbers_____	29
VII	Características de los DSP_____	30
VIII	Algoritmos de selección de características_____	35
IX	Operaciones del módulo de proceso_____	36

GLOSARIO

Algoritmo	Es la descripción gráfica paso a paso, de un procedimiento, el cual especifica cómo obtener la solución a un problema.
Ampolla	Es una cápsula o cavidad de cristal al vacío, en la cual se encuentran los filamentos incandescentes de una lámpara.
Arquitectura interna de los microprocesadores	Configuración de un microprocesador siendo estos: registros internos, bus de datos, bus de dirección, ALU, control y temporización, control de interrupciones, etc.
Automatismo	Son dispositivos programables, se utilizan para la automatización de un proceso industrial.
Bandas	Es el intervalo de frecuencias, en hertz, en el cual se encuentra localizada la onda electromagnética.
Bits	Es un dígito binario, que puede ser 1 ó 0.
Campana de Gauss	Es una gráfica exponencial simétrica, en forma de campana, la cual depende de la desviación típica de una señal aleatoria.

Canal	Es el medio de comunicación entre un transmisor y un receptor.
Candela (cd)	Unidad luminosa, en una dirección, de una fuente que emite una radiación monocromática de frecuencia $540 \cdot 10^{12}$ Hz y cuya intensidad energética en dicha dirección es 1/683 W por estereorradián.
Cuerpo negro de Planck	Es la superficie idealizada que emite radiación, es la energía emitida por la materia en forma de ondas electromagnéticas, a una tasa máxima.
Chip	Es un circuito integrado que contiene componentes eléctricos como: transistores, diodos, resistores y capacitores.
Decibelio	Es la relación de entrada/salida expresada en escala logarítmica.
Diodos	Es un dispositivo semiconductor que consta de material tipo P y un tipo N.
Efecto estroboscópico	Este depende de la frecuencia de encendido y apagado en la fuente de luz, generándose una sensación de cámara lenta en los movimientos realizados por el objeto iluminado.

Espectro electromagnético	Es la distribución de la amplitud -energía- de una onda electromagnética.
Fibra óptica	Son fibras transparentes, flexibles y delgadas, las cuales se utilizan para la conducción de luz, se fabrican de cristal o plástico.
Filtrado	Es lo mismo a eliminar el ruido en una imagen, es el resultado de convolucionar la imagen con ruido y una máscara de tamaño determinado, la máscara es la que determina el tipo de filtro que se utilizara.
Fotodiodo	Es un diodo sensitivo de luz cuya conducción es directamente relacionada a la intensidad de ésta.
Frecuencia	Es lo inverso al período de la señal, ésta se mide en hertz.
Histograma	Para una imagen digital está función tendrá valores discretos y muestra que tanto se repiten los valores de luminancia en la imagen.
Husos	Se le llaman, así, a los espacios de la máquina hiladora en la cual se van generando las bobinas de hilo.
Imagen	Es una ordenación de minúsculas áreas iluminas y otras oscuras, o, conjunto de píxeles.

Longitud de onda	Es la relación entre la velocidad de la luz ($3 \cdot 10^8$ m/seg) y la frecuencia de la onda (Hz).
Lúmenes (lm)	Es la cantidad por la cual se mide el flujo luminoso, sus unidades están relacionadas por $1 \text{ lm} = 1.496 \cdot 10^{-10} \text{ W}$.
Lux	Es la iluminación producida por una candela o por una bujía decimal sobre una superficie de 1m^2 que se encuentra a 1 metro de distancia.
Microprocesador	Es un circuito integrado digital que puede ejecutar funciones aritméticas y lógicas, transferir información desde y hacia dispositivos externos.
Onda electromagnética	Es la energía radiante producida por la oscilación de una carga eléctrica, esta viaja a una velocidad cercana a la velocidad de la luz.
Optoelectrónicos	Son dispositivos electrónicos sensibles a la luz, o sea, es el campo de la electrónica que combina el uso de energía óptica y energía eléctrica.
Píxel	Es una minúscula área de luz o sombra, que en conjunto forman la imagen o detalle de la imagen.
Potencia	Es el trabajo -que se mide en Joules, J- realizado por unidad de tiempo (seg), y se mide en Watts (W). Siendo $1\text{W} = 1 \text{ J/seg}$.

Sanforización

Es un proceso tintóreo mediante el cual se le da estabilidad dimensional a las telas de algodón, en este proceso se puede llegar a tener un encogimiento residual, pero este es muy pequeño y en caso de aparecer, sólo se manifiesta en el primer lavado.

Ruido

Es cualquier señal aleatoria -señal no periódica, amplitud y frecuencia variables- que distorsiona a la señal original.

Sensores

Convierte una cantidad física a una señal eléctrica proporcional que puede introducirse a un circuito electrónico.

Transistor

Son dispositivos que contienen semiconductores en forma de capas -configuraciones NPN o PNP- ellos pueden controlar corrientes grandes cuando se hace circular una corriente pequeña en su base.

Vcc

Voltaje de corriente continua. Es la señal de voltaje resultante a la salida de un rectificador.

Wolframio

Es llamado también Tungsteno, este elemento se emplea mucho en filamentos de lámparas incandescentes, porque mantendrá su dureza aún cuando estuviera candente o al rojo vivo.

RESUMEN

La industria textil-confección representa un aporte económico, sumamente, significativo al Estado, ya que, constituye el segundo lugar en el rubro económico de Guatemala, superado por la industria agrícola. La industria textil-confección en el 2,005 genero más de 85,000 empleos en forma directa o indirecta, generando, así, un amplio campo laboral y favorece al incremento de la calidad de vida de las personas que en ella trabajan.

La visión artificial o por computador es un técnica basada en la adquisición de imágenes, generalmente en dos dimensiones, para su posterior procesamiento por el computador, con el fin de extraer y medir determinadas propiedades de la imagen adquirida. Se trata, por tanto, de un tecnología que combina los computadores con las cámaras de vídeo para adquirir, analizar e interpretar imágenes de un forma equivalente a la inspección visual humana

En lo referente a la implantación de los sistemas con visión artificial en la industria textil, se puede decir que es una de las industrias con un desarrollo tecnológico bastante evolucionado. Generándose un desarrollo profesional, tanto al estudiante como al profesional de ingeniería.

Este trabajo presenta a la visión artificial, para ser aplicada en la industria textil de Guatemala, y, a la vez, sirva como un material de apoyo en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

OBJETIVOS

- **General**

Contribuir al fortalecimiento del futuro ingeniero electrónico, en el área de visión artificial aplicada a la industria textil, mediante el desarrollo de conceptos básicos propios de visión artificial y como está se puede aplicar a procesos en la industria textil.

- **Específicos**

1. Dar a conocer la importancia y desarrollo económico de la industria textil en el proceso productivo de Guatemala.
2. Dar a conocer que es la visión artificial e indicar sus elementos esenciales de los cuales está compuesta.
3. Dar a conocer algunas máquinas con visión artificial utilizadas en la industria textil, existentes en el mercado, en cuanto al control de calidad y control de proceso, se refieren.
4. Investigar las necesidades de las empresas que se dedican a la fabricación de telas en Guatemala, por medio de un estudio de implantación, para la utilización de sistemas con visión artificial en la elaboración de telas.
5. Dar a conocer la viabilidad de la visión artificial en los tejidos Jacquard y tintados.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de graduación, tiene por objeto dar a conocer la importancia que tiene esta área tecnológica en la industria guatemalteca, la necesidad de formar ingenieros capaces de mantener un alto nivel competitivo ante el desarrollo que han cobrado los otros países de la región centroamericana y el mundo.

El uso de la visión artificial se está extendiendo, cada día más, entre los diferentes sectores industriales, tanto en procesos de control de producto como en control de procesos. La utilización de esta tecnología, y los beneficios que su uso conlleva, se aplican en la industria textil para mejorar la calidad, presentación, precio y tiempo de producción de telas.

El conocimiento de las posibles soluciones a determinados problemas de la industria textil es una valiosa información que permitirá la realización de acciones con una fuerte influencia en la competitividad de las empresas textiles, como ha demostrado el uso de la visión artificial en otros sectores.

Se pretenden determinar aquellos procesos textiles donde la visión artificial pueda aportar soluciones viables, técnica y económicamente, no obstante, el impacto socioeconómico de este proyecto se ha de medir a mediano plazo

El desarrollo de la industria textil y confección genera más de 85,000 empleos en Guatemala, dado el desarrollo e innovación tecnológica en esta área, hace necesaria la incursión de ingenieros en electrónica dentro de esta industria, puesto que, la competitividad tiende a mejorar y ser más exigentes hoy en día.

1. GENERALIDADES DE LA INDUSTRIA TEXTIL DE GUATEMALA

El sector industrial textil-confección está compuesto por tres áreas productivas, la primera (textil) comprende la fabricación de fibras, hilados y telas, la segunda (confección) corresponde a todo producto que tiene un grado de elaboración, y la tercera (accesorios) que es la proveedora de accesorios como remaches, botones, etc., que en conjunto permite la transformación de la materia prima en prendas de vestir.

1.1 Descripción de la industria textil en Guatemala

La industria de textiles en Guatemala está organizada dentro de la comisión de vestuario y textiles, VESTEX, y pertenece a la Asociación Gremial de Exportadores de Productos no Tradicionales (AGEXPRONT), con la cual se promueve el sector por medio de asistencia técnica, capacitación, información, mercadeo, promoción de exportaciones y relaciones a nivel internacional y gobierno.

Guatemala cuenta con la industria textil más grande de la región centroamericana. Existen alrededor de 36 empresas textileras, produciendo anualmente 135 millones de libras, de las cuales el 34.91% corresponde a tejido plano y el 65.09% de tejido punto. La industria cuenta con 260 empresas suplidoras de servicios y accesorios que proveen en su mayoría a las 231 fábricas de vestuario que se encuentran inscritas oficialmente a la comisión de vestuario y textiles¹.

La mayor parte de la industria textil y de vestuario se encuentra localizada en la región metropolitana y en el área circunvecina, distante a no más de 30 minutos de la ciudad capital.

1.2 Importancia de la industria textil en la región centroamericana

La industria de vestuario y textiles, tiene una importancia fundamental para Centroamérica. Este sector, además de representar el principal generador de divisas para la región, también constituye la principal fuente de empleo directo, la principal fuente de inversión extranjera directa y una base sólida para el desarrollo industrial de la región.

En el año 2003 se registró que Centroamérica fue el segundo exportador más grande de confecciones hacia Estados Unidos de América, con el 12% del total de exportaciones hacia este país. Asimismo, existen cerca de 1,000 empresas en el área centroamericana, lo cual genera empleos directos a más de 383 mil personas tal como se muestra en la tabla I.

Tabla I. Empresas del sector textil, confección, accesorios y empleo generado en Centroamérica, año 2003

País	Textiles	Confección	Accesorios	Total por país	Empleo generado
Costa Rica	2	48	5	55	19,078
El Salvador	15	179	66	260	87,030
Guatemala	35	231	147	413	140,346
Honduras	8	159	31	198	96,602
Nicaragua	1	35	1	37	39,539
Total por sector	31	652	250	963	383,245

Fuente: Luis Figueroa, Luis Obando, Luis Morales y Roy Zúñiga, **Textiles en Centroamérica, CLACDS-INCAE**, página 5.

Con una superficie de 411 mil kilómetros cuadrados, tiene una posición física envidiable, constituyendo un puente natural entre norte y sur América, y un paso natural entre el Atlántico y el Pacífico. Esta ventaja económica, significa, que Centroamérica se encuentra precisamente en el centro de cruce del mayor comercio mundial, siendo entre la Unión Europea, Asia (Japón) y América latina.

La ubicación geográfica ha permitido que toda la región centroamericana tenga una mayor participación en el mercado de la industria textil-confección, por lo que se ha convertido en una región sumamente competitiva. La mano de obra constituye un factor fundamental y puede marcar la diferencia entre las diferentes regiones que compiten por cuotas de producción. Guatemala, ha cobrado mayor participación en esta industria por la importancia de la ubicación geográfica, lo que permite reducir costos en transporte y entregar embarques en un menor tiempo a los clientes que en su mayoría son los Estados Unidos de América.

El costo de la mano de obra en Guatemala es el tercero más bajo de la región². Este se ha constituido en un factor importante para la competitividad de sus empresas, lo que ha permitido el incremento de inversión. Asimismo, los costos de combustibles son los más bajos de la región, y el costo de la electricidad es el segundo más bajo (véase tabla II). Este último es sumamente importante debido al auge de la rama textilera, en las cuales el costo y la calidad del servicio eléctrico son fundamentales.

Se destaca también el costo de fletes marítimos, muy por debajo de algunos países en la región, y esto es por las ventajas naturales de la posición geográfica, lo que permite competir y brindar el servicio de transporte a otros países como el El Salvador a través del Océano Atlántico. En costos es difícil, competir contra los productores asiáticos, pero en rapidez de respuesta, la balanza está a favor de Centroamérica.

Dos o tres semanas promedio desde el momento que se pide la orden en Centroamérica hasta el momento que llega el producto a su destino dentro de los EE.UU., comparado con los dos o tres meses si la orden se envía a Asia.

Tabla II. Indicadores de competitividad en el sector textil-confección

País	Salario mínimo vigente 2002 US\$ / día	Precio interno gasolina US\$ / galón	Electricidad Uscent / Kwh. tarifa industrial	Costo flete marítimo US\$ / kg manufactura
Costa Rica	11.28	2.16	7.41	0.08
El Salvador	4.8	2.25	13.56	0.12
Guatemala	3.85	1.78	7.41	0.05
Honduras	3.38	2.33	5.87	0.11
Nicaragua	1.94	1.97	10.98	0.14

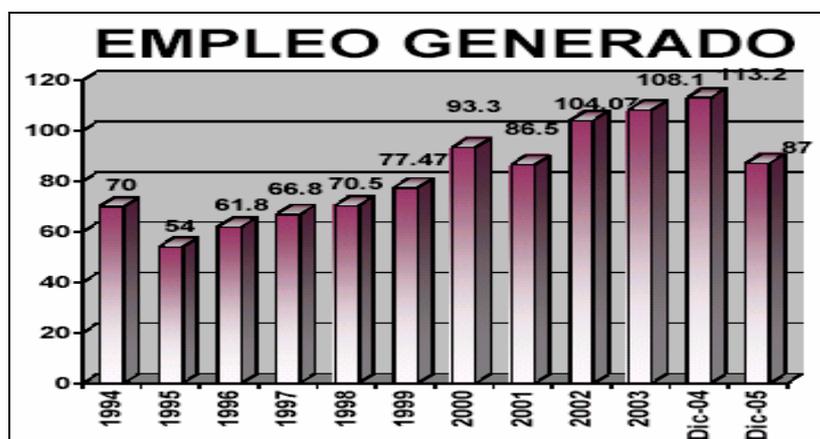
Fuente: Textiles & Apparel Summit Speed to Market, **Perfil de la industria guatemalteca**, <http://www.fullpackage.org/servicedet.asp?id=292#>, consulta en línea, mayo 2006.

1.3 Importancia en la generación de empleo

La fuerza laboral empleada en esta actividad ha ido en aumento (véase figura 1). Según los datos estadísticos en la generación de empleo en la industria textil-confección, el incremento experimentado entre 1994 y el 2004, creciendo a una tasa del 6.6% anual, y un decremento del 76% respecto al año anterior en el 2005.

De acuerdo con el Directorio Regional de la comisión de vestuario y textiles, operan en Guatemala 35 empresas textiles y 147 empresas que proporcionan accesorios. Las 88 empresas establecidas en Ciudad de Guatemala y las 64 en Mixco emplearon el 39% y el 23.6% de la fuerza laboral en esta industria respectivamente, le siguen en orden de importancia Villanueva (19 empresas) y Sacatepequez (23 empresas), con el 11.5% y 7.2% respectivamente.

Figura 1. Empleo generado por el sector textil-confección en Guatemala



Fuente: Comisión de Vestuario y Textiles (VESTEX). **Estadísticas Generales.**
<http://www.vestex.com.gt>, consulta en línea, mayo 2006.

1.4 Principales productos de exportación de la industria textil

Las exportaciones guatemaltecas se basan en productos elaborados en tejidos de algodón más que en otras fibras. El tipo de tela usado puede considerarse un indicativo del grado de sofisticación de las exportaciones. Las telas más baratas por unidad son las elaboradas con algodón, seguidas por la fibra sintética.

En el área textil se encuentran los siguientes productos ³:

- Hilo de algodón y, algodón teñido
- Tejidos planos (denim, teñidos, mantelerías, estampados, otros)
- Fibras sintéticas (poliéster, popelina, otras)
- Poliéster-algodón
- Terry 100% algodón

1.5 Marco legal en la industria textil-confección, establecido por el Gobierno de Guatemala

La importancia del comercio y la expansión de los mercados en lo referente a la industria textil y de la confección, es reconocida por el gobierno de Guatemala, ya que los beneficios alcanzados en las negociaciones industriales van mas allá del aporte económico al país, obteniendo un valor agregado inimaginable, ya que no se pueden contabilizar monetariamente los beneficios que ha traído el desarrollo industrial en este sector.

Algunos factores relevantes y notorios que está industria ha generado, son el reconocimiento de la industria guatemalteca a nivel mundial. Se eleva el nivel competitivo en toda la región latinoamericana, con la fabricación de telas de alta calidad, atracción, generación y expansión de los mercados internacionales, gracias a la calificación de la mano de obra, que es reconocida como una fortaleza en la industria guatemalteca, y el desarrollo e incremento tecnológico que garantiza el crecimiento y sostenimiento de está industria en nuestro país.

1.5.1 Leyes que rigen la industria textil

Ante la preocupación del gobierno por promover el desarrollo en este sector, la legislación guatemalteca ha promulgado la ley de Fomento y Desarrollo de la actividad exportadora de Maquila (Decreto 29-89), cuyo objetivo es incentivar, promover y desarrollar en el territorio nacional la producción de mercancías con destino a países fuera del área centroamericana, según reza el decreto 29-89, que textualmente dice:

“Decreto No. 29-89 del Congreso de la Republica de Guatemala⁴

CONSIDERANDO:

Que la constitución Política de la República de Guatemala establece entre otras, como obligaciones fundamentales del estado la promoción del desarrollo ordenado y eficiente del comercio exterior del país, así como crear las condiciones adecuadas para promover la inversión de capitales nacionales y extranjeros.

CONSIDERANDO:

Que el estado también debe orientar la economía nacional para lograr la utilización adecuada de los recursos naturales y el potencial humano para incrementar la riqueza, tratar de lograr el pleno empleo y la equitativa distribución del ingreso nacional.

CONSIDERANDO:

Que para cumplir con los objetivos enunciados anteriormente es procedente emitir una ley de fomento a las exportaciones y a la maquila, que permita a nuestro país colocarse en un nivel adecuado de competitividad frente al resto de nacionales:

POR TANTO,

En el ejercicio que le confiere el artículo 171 a) y conforme a lo establecido en los Artículos 118 y 119 de la Constitución de Guatemala,

DECRETA:

LEY DE FOMENTO Y DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD EXPORTADORA Y DE MAQUILA

Esta ley tiene como objetivo velar por el desarrollo de la industria textil a nivel nacional, brindándole ciertos incentivos promoviendo así la inversión en este sector, con el único fin de incrementar las exportaciones nacionales a países dentro y fuera de la región Centroamericana.

Para los efectos de la aplicación de esta ley, las mercancías pueden ser objeto de los siguientes Regímenes de Perfeccionamiento:

Régimen de Admisión Temporal: permite recibir dentro del territorio aduanero nacional, en suspensión de derechos arancelarios, impuestos a la importación e Impuesto al Valor Agregado, mercancías destinadas a ser exportadas o reexportadas en el período de un año después de haber sufrido una transformación o ensamble.

Régimen de Devolución de Derechos: permite, una vez efectuada la exportación o reexportación, obtener el reembolso de los derechos arancelarios impuestos a la importación e Impuesto sobre el Valor Agregado pagados en depósito que hubiere grabado mercancías internadas, productos contenidos en ellas o consumidos durante su proceso.

Régimen de Reposición con Franquicia Arancelaria: permite importar con exoneración de derechos arancelarios e impuestos a la importación pagados por el exportador indirecto. Esta franquicia será utilizada para la reposición de materias primas, productos semielaborados, productos intermedios, materiales, envases, empaques, etiquetas que están directamente relacionados con su proceso de producción.

Régimen de Exportación de Componente Agregado Nacional Total: es aplicable a las empresas cuando dentro de su proceso productivo utiliza en su totalidad mercancías nacionales o nacionalizadas, para la fabricación o ensamble de productos de exportación.”

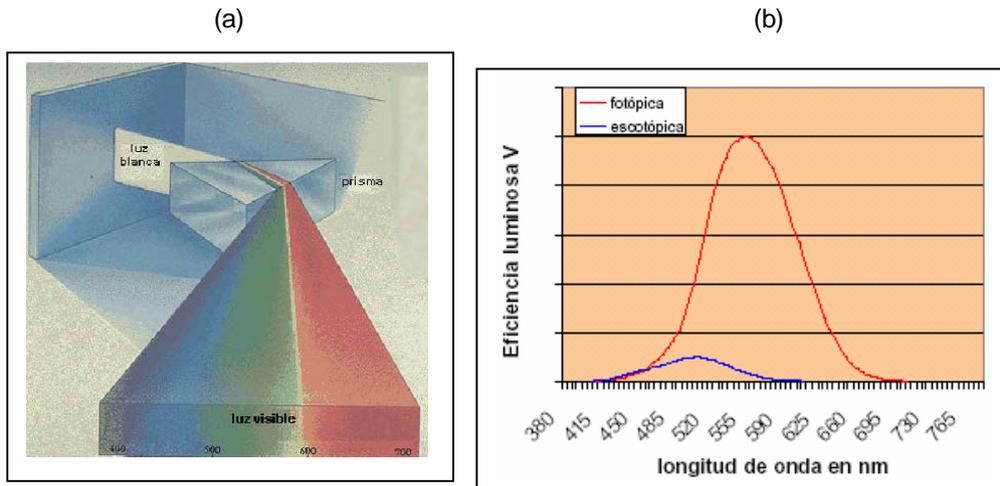
2. VISIÓN ARTIFICIAL

La visión artificial o por computador, es una técnica, basada en la adquisición de imágenes, generalmente en dos dimensiones, para su posterior procesamiento por el computador, con el fin de extraer y medir determinadas propiedades de la imagen adquirida. Se trata por tanto de una tecnología que combina computadoras, con cámaras de video, para adquirir, analizar e interpretar imágenes de una forma equivalente a la inspección visual humana. Un sistema de visión artificial se compone de: fuentes de luz, sensor de imagen, tarjetas de captura, algoritmos de análisis de imagen, computador o módulo de proceso y sistemas de respuesta.

2.1 Percepción de la imagen

La luz visible es un fenómeno físico por el cual se estimula nuestra respuesta visual. Se trata de una forma de energía que se propaga en forma de ondas electromagnéticas, donde la longitud de onda es una característica importante de la misma y puede variar desde fracciones de nanómetros ($1 \text{ nm} = 1 \cdot 10^{-9} \text{ m}$) hasta kilómetros. Las características de las ondas electromagnéticas cambian con las longitudes de onda y debido a esto, las ondas que se encuentran en bandas distintas se identifican mediante diferentes nombre como rayos gamma, rayos x, rayos ultravioleta, rayos visibles, rayos infrarrojos, microondas y ondas de radio. Por tanto, la luz se puede representar como una distribución espectral de energía $L(\lambda)$, donde λ representa la longitud de onda. Es visible la región que abarca desde los 350 nm hasta los 780 nm del espectro electromagnético (véase figura 2a).

Figura 2. Espectro y sensibilidad, electromagnéticos. (a) Longitud de onda en nm. (b) Sensibilidad del ojo humano



Fuente: Application of neural networks to image inspection using an inexpensive personal computer. **Optical Engineers**, 1996, página 8-9.

La intensidad luminosa recibida de un objeto puede escribirse como:

$$I(\lambda) = P(\lambda) * L(\lambda)$$

Donde $P(\lambda)$ representa la reflexión o la transmisión de los objetos y $L(\lambda)$ es la distribución de la energía incidente.

La luminancia o intensidad de un objeto espacialmente distribuido con una distribución de luz $l(x, y, \lambda)$ se define como:

$$F(x, y) = \int I(x, y, \lambda) V(\lambda) d\lambda$$

Donde $V(\lambda)$ se define como la función de eficiencia relativa luminosa del sistema visual. Para el ojo humano, $V(\lambda)$ tiene la forma de campana de Gauss (véase figura 2b) y sus características dependen bien de la visión escotópica (respuesta visual de muy bajo orden de iluminación) o de la visión fotópica (respuesta visual de cinco o seis órdenes de magnitud de iluminación). La luminancia de un objeto es independiente de las luminancias de los demás que lo rodean. El brillo de un objeto es la luminancia percibida y depende de la luminancia que le rodea. Dos objetos con diferentes entornos pueden tener la misma luminancia pero diferente brillo.

2.2 Fuentes de luz

La fuente de luz es un aspecto de vital importancia en los sistemas de visión artificial y afectan de forma fundamental a la complejidad de los algoritmos de visión que se vayan a utilizar bajo esas condiciones. Una iluminación arbitraria del entorno no suele ser aceptable ya que muy probablemente se obtengan imágenes con un bajo contraste, reflexiones especulares además de sombras y detalles espúreos. Los objetivos de una iluminación adecuada son, básicamente, independizar las condiciones del entorno y resaltar los rasgos de interés de una determinada aplicación. Su disposición puede ser frontal, posterior o mediante el uso del filtros.

2.2.1 Tipos de iluminación

Entre los tipos de iluminación más comunes, tenemos los siguientes:

Iluminación difusa: suele utilizarse para objetos suaves y regulares, y donde la característica de la superficie es un detalle importante a tener en cuenta por el algoritmo de visión. Esta técnica elimina sombras y minimiza los efectos de la reflexión especular. La difusión de la luz se puede conseguir colocando un cristal difusor entre la luz y el objeto o reflejando la luz a través de una pantalla blanca (véase figura 3.a).

Retroiluminación: se ilumina el objeto por la parte posterior, se utiliza fundamentalmente para aquellas aplicaciones donde lo realmente importante para el algoritmo u objetivo del sistema son las siluetas de los objetos a analizar, de forma que se puedan extraer fácilmente medidas de las formas de los mismos. La iluminación posterior difusa, se coloca el objeto entre el sensor y la fuente de luz, dando por resultado una imagen de alto contraste (véase figura 3.b). La iluminación posterior direccional es una luz estructurada, donde, una fuente de luz colimada produce rayos que viajan paralelos entre sí; se utiliza para obtener nítidas sombras de los objetos situados entre la luz y el sensor (véase figura 3.c).

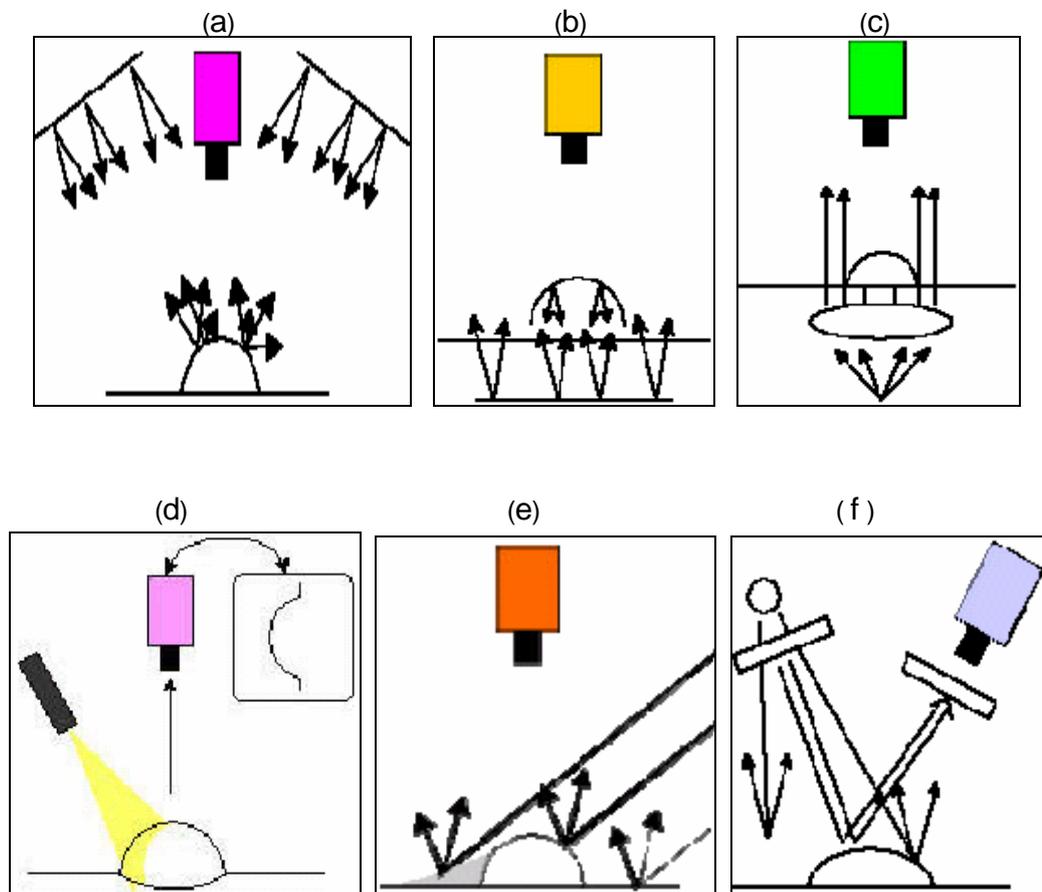
Iluminación estructural: sirve para la proyección de puntos, franjas o rejillas sobre la superficie de trabajo. El objetivo de esto es establecer un patrón de luz conocido sobre la superficie de trabajo lo que permite detectar de forma rápida la presencia de objetos en la superficie, y analizando la forma en que el patrón de luz es distorsionado, extraer información de las características tridimensionales del objeto (véase figura 3.d).

Iluminación direccional: se ha utilizado para la inspección de la superficie de los objetos. Defectos en la superficie como hoyos o arañazos pueden ser detectados usando un haz de luz altamente direccional y midiendo el grado de dispersión del mismo. Por ejemplo, un ángulo de incidencia de 20° puede producir el máximo contraste sobre superficies cuando la posición de la cámara sea perpendicular al plano de la superficie (véase figura 3.e).

Luz polarizada: controlando las características de la luz, se pueden eliminar las reflexiones especulares de las superficies desde cualquier ángulo de vista. Para ello el objeto se ilumina con una luz polarizada y se coloca un filtro polarizador sobre la lente de la cámara. Todas las reflexiones especulares se componen únicamente de luz

polarizada y ésta puede ser eliminada por el filtro colocado entre el objeto y la cámara. Para esto el filtro y la luz han de ser del mismo ángulo (véase figura 3.f).

Figura 3. Tipos de iluminación. (a) Iluminación difusa. (b) Retroiluminación posterior difusa. (c) Retroiluminación posterior direccional. (d) Iluminación estructural. (e) Iluminación direccional. (f) Luz polarizada



Fuente: International Journal of Science & Technology. **Image processing tool to improve machine performance and process control.** Páginas 12-16.

2.2.2 Sistemas de iluminación

Los sistemas de iluminación se clasifican en función del tipo de “lámpara” que el sistema utilice y del sistema eléctrico o electrónico que está requiere para su correcto funcionamiento. Hoy en día se pueden encontrar soluciones para cualquier problema que se plantee basándose en las tecnologías de fibra óptica alta frecuencia, láser, diodos, etc. La elección del sistema a utilizar en cada problema será en función de diferentes aspectos como el área de trabajo, y fundamentalmente, la velocidad y resolución del sistema que determinan la calidad de la luz necesaria.

2.2.3 Parámetros de funcionamiento

Entre los parámetros de funcionamiento, de la iluminación, tenemos:

Flujo luminoso: es la cantidad de luz emitida por una fuente medida en lúmenes (lm) a la tensión nominal de funcionamiento.

Potencia absorbida: es la energía eléctrica consumida por una fuente medida en vatios (W).

Eficacia luminosa: expresada en lm/W es la relación existente entre el flujo luminoso y la potencia absorbida.

Confort: el flujo luminoso de una fuente es proyectado en todas direcciones. De esta forma puede ser difuso, reflejado o dirigido en ciertos ángulos.

Angulo de radiación α : es el ángulo sólido producido por un reflector con el que dirige la luz.

Intensidad luminosa I: expresada en candelas (cd), es la intensidad del flujo proyectado en una dirección determinada.

Illuminancia E: dada en lux, es el flujo luminoso que recibe una superficie determinada situada a una cierta distancia de la fuente. Se determina por la relación entre la intensidad luminosa y la distancia al cuadrado ($E = I / d^2$).

Factor de reflexión: es la relación entre el flujo luminoso reflejado y el flujo luminoso incidente.

Luminancia L: medida en cd/m^2 es la intensidad luminosa producida o reflejada por una superficie dada.

Temperatura de color: es el “color aparente” de una fuente luminosa medido en grados Kelvin K ($K = ^\circ C + 273$) con referencia al cuerpo negro de Planck calentado hasta tal punto que emita la misma luz.

Índice de reproducción cromática IRC: es la capacidad que tiene una fuente luminosa de reproducir los distintos colores del objeto iluminado. El índice máximo ($R_a = 100$) corresponde a la luz “blanca” natural que posee un espectro continuo completo.

2.2.4 Tipos de lámparas

Existen dos grandes familias de fuentes luminosas que se diferencian en función del tipo de energía que utilizan para generar la luz. Si la energía proviene de una fuente de calor, entonces se le denomina incandescencia, mientras que si el origen de la energía es de otro tipo, como químico o eléctrico, se le denomina luminiscencia. Las de tipo luminiscente, al no usar calor como fuente de energía son generalmente más frías y su

color no está relacionado con la temperatura. La luz fluorescente es un tipo de fuente luminiscente que hace uso de elementos químicos llamados fósforo.

2.2.4.1 Iluminación convencional

Entendiendo por iluminación convencional a aquella que utiliza “lámparas” de uso doméstico y sin la utilización de ninguna electrónica compleja asociada a la misma para su correcto funcionamiento, tenemos las siguientes:

Lámparas incandescentes: son lámparas clásicas o convencionales. Está funciona a una temperatura muy alta permitiendo obtener luz blanca (2700 K) y una buena eficacia luminosa durante más de 1000 horas.

Lámparas halógenas: son lámparas incandescentes mejoradas. En las convencionales el filamento de wolframio se evapora poco a poco depositándose en forma de capa negra en el interior de la ampolla. Por consiguiente, disminuye el flujo, la intensidad y la eficacia luminosa. En las halógenas se introduce en la ampolla además de los habituales gases de relleno, los halógenos yodo y bromo, los que captan los átomos de wolframio desprendidos del filamento y los depositan otra vez en el mismo. Es el ciclo regenerador del halógeno. Con este tipo de lámparas se obtiene una luz muy brillante, blanca (3000 K) y constante, una mayor eficacia luminosa (25 lm/W), una mejor reproducción de los colores y una duración de vida más larga.

Lámparas fluorescentes: son uno de los tipos de luz más utilizados en iluminación convencional por su alta eficacia luminosa (que puede alcanzar hasta 93 lm/W) y su larga duración de vida. Este tipo de lámparas es mucho más eficiente que las incandescente a la hora de convertir la energía en luz. Su funcionamiento ese basa en un arco eléctrico entre dos electrodos, uno a cada lado del tubo. Este arco es conducido a través de una mezcla de gases purificados y vapor de mercurio a través de un tubo recubierto de

fósforo. El vapor de mercurio genera luz ultravioleta que el fósforo convierte en luz visible.

Lámparas fluorescentes compactas: proporcionan, con tamaños parecidos a las lámparas convencionales un ahorro de energía del 80% con una eficacia luminosa cinco veces superior y diez veces mayor duración de vida.

2.2.4.4 Iluminación de alta frecuencia

Dentro de este grupo incluimos todas aquellas lámparas fluorescentes que pueden funcionar mediante un balastro electrónico de alta frecuencia. Las lámparas fluorescentes, al contrario que las incandescentes donde el propio filamento tiene una función autorreguladora, no pueden ser conectadas directamente a la tensión de entrada. El flujo de corriente se ha de estabilizar y controlar mediante un balastro, ya que otra forma este flujo destruiría a la lámpara. Véase tabla III, algunos tipos de balastos.

La función de los balastos se centran en:

- Proporcionar la tensión adecuada para establecer un arco entre los dos electrodos.
- Regular el flujo de corriente a través de la lámpara para estabilizar la emisión de luz.

El uso de este tipo de balastro aporta las siguientes ventajas:

- Aumento del confort de luz libre de ruidos
- Luz con funcionamiento a alta frecuencia que elimina el parpadeo y efecto estroboscópico.
- Desconexión automática de lámparas defectuosas.
- Control de potencia por entrada Vcc 1 – 10 Voltios (V).

- Economía, con una absorción de un 25% menos de potencia, y aumento en un 50% de la vida de la lámpara.
- Seguridad, previene contra sobretensiones de impulsos momentáneos de tensión (DIN VDE 160).
- Mayor seguridad contra incendios dada la menor temperatura de funcionamiento.

Tabla III. Tipos de balastro, su frecuencia de alimentación y frecuencia de salida

	Frecuencia de la tensión de alimentación	Frecuencia de funcionamiento de la lámpara
Electromagnético	50 Hz	50 Hz
Híbrido	50 Hz	50 Hz
Electrónico	50 Hz	> 20 K hz

Fuente: **Frecuencia de operación de balastros electrónicos.**
<http://www.osram.com>, consulta en línea, mayo de 2006.

2.2.4.5 Otros sistemas de iluminación

Entre los otros tipos de sistemas de iluminación, se describen los siguientes:

Fibra óptica: es cuando el sistema se compone de una fuente de luz que es conducida y concentrada sobre el objeto a iluminar mediante fibra óptica aprovechando el fenómeno de la reflexión interna total, un fenómeno físico característico de la fibra de vidrio que refleja la luz con muy pocas pérdidas.

Fibras Step-Index: suelen ser las que ofrecen una mejor relación coste/efectividad para la mayor parte de las aplicaciones que no son de comunicaciones. Estas fibras están hechas de un material óptico de alta calidad. Tienen curvas de

transmisión prácticamente planas desde los 400 hasta los 900 nm, con una atenuación del 40 al 60% por metro. Las longitudes de onda por debajo de los 380nm no se transmiten.

Fibras de Sílice (cuarzo): extienden el rango hasta los 185nm. Se utilizan en aplicaciones que requieren luz ultravioleta. Tienen unas características de transmisión excelentes y pueden ser fabricadas fácilmente, pero su elevado cote impide que sean utilizadas en la mayoría de las aplicaciones.

Fibras de vidrio mejorado: este tipo de fibra óptica extiende el rango de transmisión de 300 a 2500nm. Véase tabla IV, especificaciones de fibras FOSTEC.

Tabla IV. Especificaciones de fibras ópticas FOSTEC

Especificaciones de Fibras FOSTEC							
Tipo de Fibra	N.A.*	2α °	Diámetro	Material	Radio de curvatura	Longitud de onda (nm)	Área efectiva
1	.55	66°	.002"	Vidrio	1/4"	400-1800	70%
2	.55	66°	.002"	Vidrio	1/4"	390-1800	74%
3	.36	45°	.002"	Vidrio	1/4"	400-1800	70%
6	.22	25°	.009" .005"	Quarzo	OH alto 1/8"	200-1800	60%
7	.22	25°	.009" .005"	Quarzo	OH bajo 1/8"	300-2500	60%

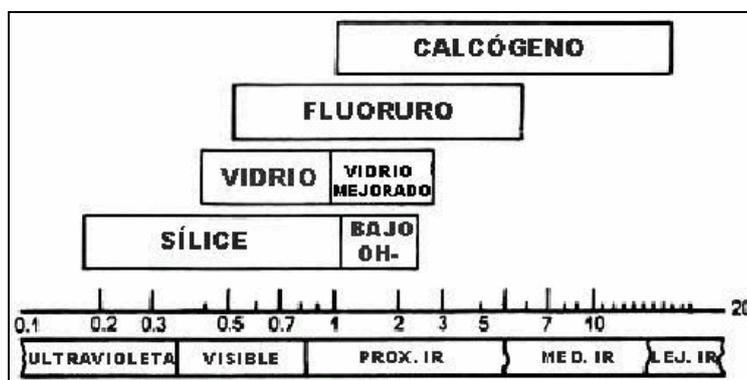
Fuente: catalogo FOSTEC, **Especificaciones de fibras ópticas**, página 18.

Fibras de vidrio de fluoruro: con un rango de 0.5 a 5 micrómetros (μm).

Fibras de calcógeno: con un rango desde 1 hasta $12\mu\text{m}$. Su mayor inconveniente son el coste y la menor resistencia que ofrecen.

Fibras de plástico: con propiedades ópticas similares a las fibras de vidrio son fáciles de manipular, pero su diámetro es mayor y varía entre 0.010 y 0.125 pulgadas. Además, estas tienen un radio de torsión bastante limitado. Véase figura 4.

Figura 4. Espectro electromagnético de distintos tipos de fibras ópticas



Fuente: catalogo FOSTEC, **Longitudes de onda de distintos tipos de fibras ópticas**, página 7.

Fluorescentes de apertura: se caracterizan por tener la parte interior del tubo recubierta de óxido de titanio, excepto una apertura que se encuentra recubierta de fósforo. De esta forma, se fuerza a la luz a salir a través de esa apertura. La apertura puede tener diferentes grados siendo los estándares 15°, 30° y 60°. Este tipo de fuente es, generalmente, cinco veces más brillante que los tubos convencionales. Donde estos proporcionan 1400 candelas, éstos llegan a 6500 candelas. Ya que la luz diverge rápidamente cuando sale de la apertura, se recomienda situar la lámpara cerca del objeto a iluminar, recomendando que esta distancia no supere el diámetro del tubo.

Láser: es una fuente de luz coherente y altamente direccional. La fuente láser está formada por al menos tres elementos fundamentales. El primero, es un medio que amplifica la luz que pasa a través de él, pudiendo ser sólido, líquido o gaseoso. El

segundo, es una fuente de energía eléctrica. El tercero, son dos espejos para formar cavidad de resonancia.

Las fuentes de luz láser proporcionan una luz de tipo estructurada, adecuada para extraer información tridimensional del objeto. Existen ópticas para proporcionar diferentes tipos de luz estructurada. Las características que debemos tener en cuenta a la hora de utilizar el láser como fuente de iluminación son:

- Ángulo de apertura. Se necesita conocer la longitud L de la línea que se desea obtener y la distancia D entre la fuente de luz láser y el objeto a iluminar. Conocidos estos valores el ángulo de apertura (FA) del proyector láser viene dado por:

$$FA = 2 \tan^{-1} \left(\frac{L}{2D} \right)$$

- Angulo entre rayos. Es la separación angular entre dos líneas en un proyector de múltiples líneas.
- Foco. Es el punto del eje óptico de la lente en el cual convergen los rayos paralelos. Todas las líneas de un sistema láser pueden ser enfocadas de forma que se ajuste el grosor de las mismas a la distancia de proyección deseada. La línea proyectada tiene una distribución de intensidad no-gaussiana en toda su longitud pero sí existe una distribución gaussiana en el sentido perpendicular a la línea.
- Profundidad de campo. Es definida como la distancia en la cual se puede obtener una definición satisfactoria cuando la lente está enfocada a una distancia particular.

2.2.4.6 Fuentes de luz

Como fuentes de luz tenemos:

FOSTEC ACE: con filtro IR, ilumina fibras de vidrio, silicio y plástico; control de la intensidad de la luz mediante reostato de estado sólido o mediante diafragma; ilumina fibra de 0.60"; cable IEC desmontable; ventilación posterior; baja temperatura; cumple CSA/UL 1997 CE; apilable; cubierta de metal muy resistente; tres posiciones para la lámpara. Con entradas de 115/230 VAC – 50/60 Hz, y salidas de 0-21VAC.

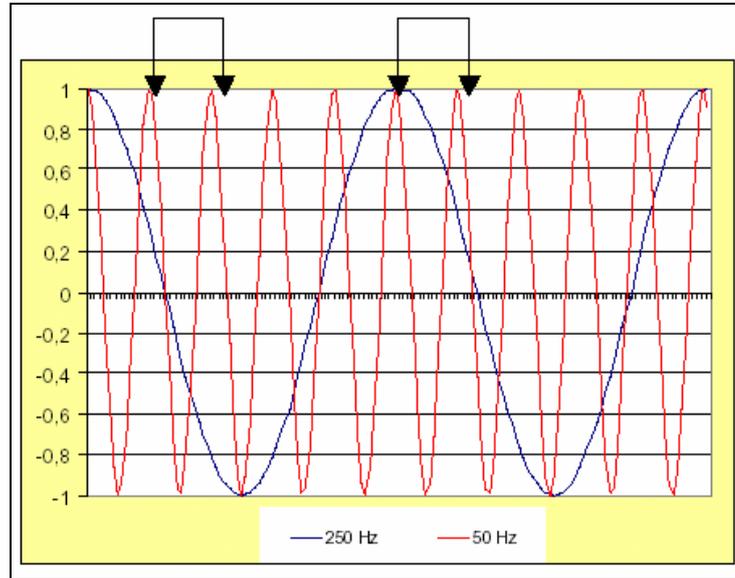
FOSTEC DCR: es una fuente regulada de 150 W. Proporciona una luz estable regulando las fluctuaciones de voltaje hasta $\pm 15\%$ y la luz generada no varía más del $\pm 0.5\%$. tiene un conector de 9-pin (0-5VDC) para controlar la intensidad de luz manualmente con el control remoto o mediante una computadora.

SOFT-START: cuenta con un filtro IR; ilumina fibras de vidrio, plástico y silicio; controla la intensidad de la luz mediante un reostato de estado sólido o mediante diafragma; ilumina fibras de 0.60"; fácil sustitución de la lámpara; conector de 9-pin; cable IEC desmontable; ventilación posterior; baja temperatura; cumple CSA/UL 1997 CE; apilable; cubierta de metal muy resistente; tres posiciones para la lámpara; entradas de 115/2230 VAC, 50/60 Hz (seleccionable por switch); salidas de 1-20.5 VDC.

2.2.5 Efectos de la frecuencia

La frecuencia de funcionamiento de la luz adquiere una gran importancia en sistemas de adquisición de imágenes de alta velocidad. Para explicar este fenómeno fijémonos en la figura 5.

Figura 5. Comportamiento de dos ondas de luz con distinta frecuencia



Fuente: ITEX, **Análisis de la tecnología de visión artificial**, página 20.

En esta se puede ver el comportamiento de dos ondas de luz con frecuencia de 50 Hz (20ms) y representado mediante flechas dos ejemplos de periodo de 4ms (250 Hz). En esta configuración usada para comprender este fenómeno si se capturan las imágenes con un periodo de 4ms, utilizando la luz de 250 Hz, en cada imagen se captaría la luz recogida por el sensor en un periodo completo de la luz, lo que aseguraría la homogeneidad de las imágenes capturadas, mientras que si utilizamos una luz de 50 Hz, las capturas recibirían la luz, y dependería de su posición en la onda para captar más o menos luz, lo que provoca barridos en imágenes que en teoría deberían ser homogéneas. Para evitar este efecto, es conveniente que el periodo de captura de las imágenes sea muy inferior al de la luz, asegurando así la captura de varios ciclos de la onda de luz por imagen y consiguiendo por tanto la homogeneidad necesaria para las imágenes que vayan a ser procesadas por sistemas de visión artificial.

2.3 Sensores de imagen

Los sensores de imagen son componentes sensibles a la luz que modifican su señal eléctrica en función de la intensidad luminosa que perciben. La tecnología más habitual en este tipo de sensores es CCD (del inglés: Charge Coupled Devices o dispositivos de acoplamiento de carga) donde se integran 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). Otra tecnología que actualmente existe son los sensores CMOS (del inglés: Complementary Metal Oxide Semiconductor) dadas las ventajas de éstos sobre los CCD, y la reducción de precios de estos dispositivos. En cuanto al rango dinámico (rango de amplitud entre los valores máximos y mínimos que un elemento puede producir, medido en decibelios), se pasa de los 70dB 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 la imagen (véase figura 6).

Figura 6. Diferencia entre cámaras CCD y CMOS



Fuente: ITEX, **Análisis de la tecnología de visión artificial**, página 22.

2.3.1 Arquitectura de los sensores

Existen diferentes arquitecturas de los sensores, entre las cuales tenemos:

Sensores lineales: en estos el sensor es una línea de fotodiodos. Esta arquitectura permite la utilización de sensores de $1*1024$, $1*2048$, $1*4096$ e incluso $1*6000$ píxeles, lo que la hace muy adecuada para trabajar con altas resoluciones sobre superficies en movimiento.

En la tabla V, se puede observar algunos modelos existentes en el mercado de este tipo de cámara.

Sensores TDI (Time Delay Integrate): se usan para condiciones de iluminación muy exigentes o velocidades de trabajo muy altas, 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.

Sensores de área: estos alcanzan resoluciones habituales de $1024*1024$, aunque en el mercado algunas casas que disponen de cámaras especiales con resoluciones de hasta $3072*2048$. en este caso existen dos 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.

Tabla V. Algunos modelos de cámaras lineales existentes en el mercado

Modelo	Resolución (píxeles)	Tamaño pixel (µm)	Tasa transferencia datos (Mhz)	Tasa máxima transferencia líneas (Khz)	Bits datos	Otros
DALSA						
CT-P1	1024, 2048, 4096	10x10	4 x 25	79 (1024)	8	EIA-644
CL-CB	512, 1024, 2048	14x14	1 x 20	34 (512)	12	RS-422
CL-C8	6000	10x10	2 x 15	4.9	8	Alta ganancia
CL-E2	512, 1024, 2048	13x13	1 x 20	31	8	TDI: 96, 48, 24, 12, 6 RS-422
MP-CC	1024, 2048	14,4x14 28.7 x14	1 x 25	21 (1024)	3x8	Color EIA-644
BASLER						
L1290	1024, 2048	10x10	10	18.8 (1024)	8	Programable RS-232
PULNIX						
PL-2048SP	2048	14x14	1-10		8	0-2Vpp
THOMSOM						
TH78CD12	1024, 2048	10X10	10-40	38 (1024)	12	RS644

Fuente: ITEX , **Análisis de la tecnología de visión artificial**, página 25.

2.3.2 Cuantización

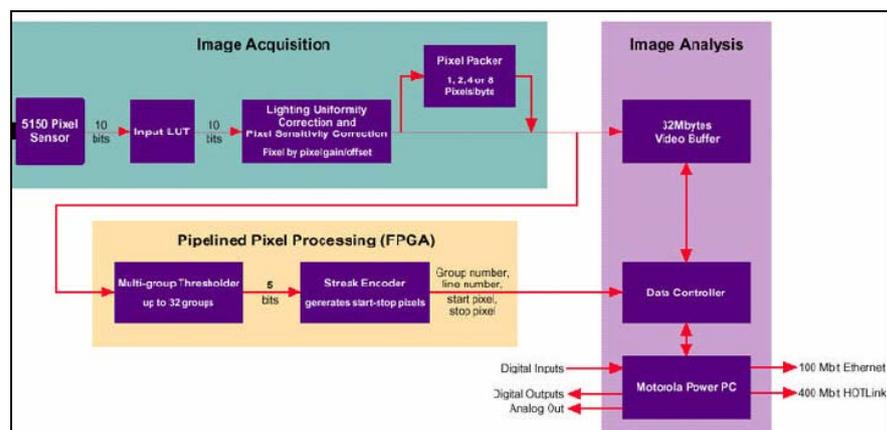
La cuantización es una conversión Analógica-Digital, determina el número de bits utilizados para representar la información capturada. Por ejemplo, usando un sistema blanco y negro de 8 bits tenemos 256 niveles (Numero de niveles = 2^B , donde B es el numero de bits) diferentes mientras que, usando un sistema de 10 bits, obtendríamos 1024 niveles de grises diferentes, lo que permite una mayor definición. (Por ejemplo, en radiología, es necesaria esta definición para el análisis de las radiografías).

2.3.3 Evolución de las capacidades y características de los sensores

Las técnicas de estos dispositivos ha seguido una tendencia muy favorable, potenciando por el mayor uso industrial de estos sistemas, siendo especialmente destacable el año 1999 donde aparecieron nuevos dispositivos mejorando la sensibilidad, velocidad, flexibilidad y manejo. Por tanto, en el mercado existen hoy en día numerosos dispositivos para abordar cualquier tipo de aplicación.

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 integra en la propia cámara. Por ejemplo, la cámara lineal OPSIS 5150ALC dispone FPGA 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, 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 (véase figura 7).

Figura 7. Diagrama de bloques de la cámara OPSIS 5150ALC



Fuente: ITEX, Análisis de la tecnología de visión artificial, página 26.

2.4 Tarjetas de captura

Las tarjetas de captura de imagen permiten transferir la imagen de la cámara a la memoria de la computadora con el fin de que éste pueda realizar el procesamiento adecuado a las imágenes. Aspectos importantes en esta tarjeta son la velocidad de transmisión, el formato de los datos, la profundidad de píxel la capacidad, 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. Evidentemente, todos los datos relativos a velocidades de transmisión son especialmente importante para poder trabajar en tiempo real. Este aspecto ha mejorado notablemente en los dos 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 el 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.

2.4.1 Multitap

Existen tarjetas capaces de trabajar con varias cámaras a la vez (hasta 6 cámaras de 8 bits por píxel), o usar 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 132 MHz,

una tarjeta puede recibir la información por canal de 8 bits a 132 Mbytes/seg, mientras que si usa 2 canales, la información la puede recibir a 264 Mbytes/seg, incrementándose de forma proporcional al número de canales la velocidad de transmisión. La tabla VI muestra algunos modelos de tarjetas capturadoras (frame grabbers).

Tabla VI. Algunos modelos de frame grabbers

Modelo	Tamaño máximo de imagen	Profundidad pixel	Entrada vídeo	Tasa entrada (Mhz)	Nº cámaras	Otros
<i>IMAGING</i>						
IC-ASYNC	1024x1024	8	RS170, CCIR, XTAL, Prog. Scan, Var. Scan	20	4	130 MB/seg.
PC-RGB	1024X1024	8, 16 (4:2:2), 24	RS170, CCIR, RGB, XTAL, Prog. Scan Var. Scan	30 (x3)	6	130 MB/seg.
PC-DIG	64Kx64K	32	Var. scan, XTAL, Line scan	20/40	4	130 MB/seg.
IC-COMP	768x576	16 (4:2:2)	RS170, CCIR, NTCS, PAL, Prog. Scan	40	4	130 MB/seg.
<i>MATROX</i>						
METEOR-II						130 MB/seg.
Meteor2		8:8:8 o 4:2:2	Y/C NTCS, PAL, CCIR, CVBS		12 CVBS 6 Y/C	130 MB/seg. RS-232
Meteor2 MC			RGB, RS-170/CCIR	30	2 (RBG) 6 (Mono)	130 MB/seg. RS-232
Meteor2 – D		4x8, 2x16, 1x32	RS-422, LVDS	25 40	4	130 MB/seg.
Meteor 1394			IEEE 1394	400 Mbps	3 (1394)	130 MB/seg.
Genesis	64Kx64k		TTL RS-422, LVDS Analógico	30 24 40 1 – 140 2- 70 4 - 35	4	DSP TMS320C80 64 Mb SDRAM

Fuente: Frame grabbers models Matrox, **Algunos modelos de frame grabbers**, <http://www.imagingtechnology.com>, consulta en línea, mayo 2006.

2.4.2 Procesador digital de señal

En cuanto a la capacidad de proceso de las tarjetas, existe la posibilidad de incorporar un Procesador (que es lo mismo a microprocesador) Digital de Señal (DSP), que permite realizar determinados algoritmos de análisis de imágenes en la propia memoria de la tarjeta, acelerando la implementación de los algoritmos de visión. Otros elementos en cuanto a la tarjeta de captura de imágenes es la integración de la tarjeta de captura de imágenes, la visualización, y el módulo de proceso en un solo elemento. Estos equipos se proporcionan en un chasis adecuado para trabajar en entornos industriales. La tabla VII se muestran algunas características de estos sistemas.

Tabla VII . Características de los DSP

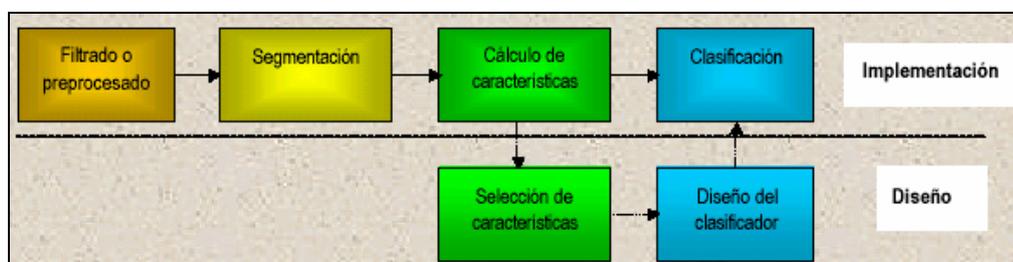
	<i>Imaging Technology NetSight</i>	<i>Matrox 4Sight-II</i>
Formato video	RS-170/CCIR. No estándares hasta 1kx1k RS422 o LVDS	CVBS Y/C NTCS/PAL, RS-170 / CCIR. No estándares. RS-422 o LVDS. Compatible IEEE 1394
Procesador	Pentium III 500Mhz	Intel Celerón 566Mhz Intel PIII 600-850 Mhz
Memoria	128 Mb	32, 64, 128 o 256 Mb
SVGA	AGP	2xAGP
Comunicaciones Red	1000 Mbps Ethernet	10/100 Mbps Ethernet
Otros puertos	RS-232. Digital I/O optoaislada 16 bits	2 USB, 3 IEEE 1394, 2 RS-232, 1 Puerto paralelo, 16 Digital I/O TTL optoaislada
Sistema operativo	<i>Windows</i> CE o NT	<i>Windows</i> NT Embedded, <i>Windows</i> 98, NT y 2000
Discos	<i>Windows</i> CE Boot Image o Disco duro	Interfaces IDE-UltraDMA-66

Fuente: Matrox 4 SIGTH II, **Características de los DSP**, <http://www.imagingtechnology.com>, consulta en línea, mayo 2006.

2.5 Algoritmos de análisis de imagen y reconocimiento de formas

La algorítmica relacionada con visión artificial es muy amplia y abarca numerosas técnicas y objetivos. Para analizarla dividiremos los algoritmos de procesamiento en varias etapas, según se puede ver en la figura 8.

Figura 8. Etapas de reconocimiento de formas.



Fuente: Automatic Machine Vision Vol. 2908, **Etapas de reconocimiento de formas**, página 112.

2.5.1 Filtrado o pre-procesamiento

Cuando se adquiere una imagen mediante cualquier sistema de captura, a menudo ésta no es utilizable directamente por el sistema de visión. La aparición de variaciones en intensidad debidas al ruido, por deficiencias en la iluminación, o la obtención de imágenes de bajo contraste hace necesario un preproceso de la imagen con el objetivo fundamental de corregir estos problemas, además de aplicar aquellas transformaciones a la imagen que acentúen las características que se deseen extraer de las mismas, de forma que se facilite las operaciones de las etapas posteriores. Pertenecen a este campo las técnicas de transformaciones geométricas, las basadas en el histograma, el filtrado espacial y el filtrado frecuencial. Aunque existen líneas de investigación abiertas, no es

el campo más activo en ese sentido, y las técnicas existentes son bastante útiles para la mayoría de las aplicaciones.

Algunas de las técnicas más habituales son:

Conversión de los niveles de gris: su objetivo es la mejora de la calidad de la imagen. Se han desarrollado empleando teorías de la psicología visual humana y modelos de los dispositivos físicos de adquisición de imágenes. Su aplicación se centra en el procesamiento con "observador humano".

Transformaciones geométricas: los objetivos de éstas son la corrección de la perspectiva y la reconstrucción tridimensional de los objetos de la escena.

Transformación del histograma: las transformaciones del histograma pueden facilitar la segmentación de objetos de la imagen, aunque habitualmente solo sirve para modificar el contraste de la imagen y el margen dinámico de los niveles de gris.

Filtrado espacial y frecuencial: dado que pueden suponer una importante modificación de la imagen original, habitualmente solo se consideran filtrados aquellas operaciones realizadas en el dominio espacial o frecuencial que suponen transformaciones pequeñas de la imagen original.

2.5.2 Segmentación o aislamiento de los objetos de interés.

Cuando ya se dispone de la imagen capturada y filtrada, es necesario aislar o separar los objetos de interés de la escena. Se pretende por tanto dividir una imagen en diferentes regiones o, dicho de otra forma, detectar automáticamente los bordes entre los elementos o regiones. Las operaciones de segmentación de una escena dependen de la propia escena y de la información que se busque dentro de la imagen. Por ejemplo, en

fotografía aérea se utiliza para separar regiones pobladas, agrícolas, bosques, aguas, etc. En imagen médica se usa para aislar zonas enfermas de los órganos, o para detectar y contar microorganismos en microscopía. 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.

Las técnicas básicas de segmentación se pueden dividir en tres grupos:

- Aplicación de umbrales de nivel de gris.
- Agrupación por rasgos comunes.
- Extracción de bordes.

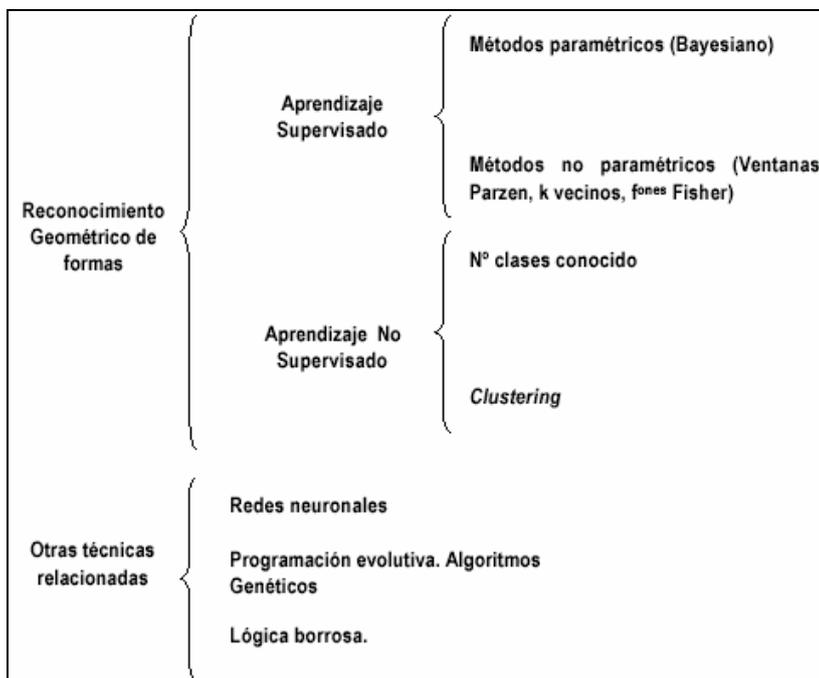
No obstante, la segmentación de imágenes es una temática actual de investigación y se han definido numerosos métodos diseñados para aplicaciones particulares. No obstante, no hay métodos que sean útiles en una amplia variedad de situaciones, por lo que cada problema necesita la adaptación o desarrollo de nuevas técnicas.

2.5.3 Reconocimiento de formas e inteligencia artificial

La información extraída se puede considerar como un vector que recoge las características o rasgos diferenciadores de la imagen analizada. En el caso de que se trate de una aplicación de medición, este vector recoge todas aquellas medidas que se deseaban obtener. En aplicaciones de inspección y, sobre todo, en aplicaciones de clasificación, este vector es el conjunto de datos con los que ha de trabajar un reconocedor o clasificador encargado de extraer las conclusiones posibles a partir del vector de entrada. Para el diseño del clasificador es necesaria una etapa de selección de

características y una etapa de aprendizaje o entrenamiento. En el reconocimiento de formas aplicado a la visión artificial se utilizan técnicas de reconocimiento geométrico de formas, como el aprendizaje supervisado (se conoce la clase a la que pertenece cada vector) en condiciones estadísticas o algoritmos de clasificación no supervisados o clustering y, además, las redes neuronales, siendo éstas últimas especialmente interesantes por su capacidad de aprendizaje adaptativo. El problema fundamental de estas técnicas, es que cada una de ellas suele ser la más adecuada para las características de un tipo específico de problema no conocidas a priori, lo que dificulta la selección de la técnica con la que se desea abordar inicialmente el problema. En la figura 9, se muestra un diagrama de árbol útil para el reconocimiento de formas.

Figura 9. Diagrama de reconocimiento de formas aplicado a la visión artificial



Fuente: Journal of textil Institute 1996, **Image-analysis Techniques**, página 49.

2.5.4 Extracción y selección 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. Como norma general, para la elección de las características se intenta que:

- Sean discriminantes, es decir, tengan valores numéricos diferentes para clases diferentes.
- Sean fiables, es decir, tengan valores parecidos dentro de una misma clase.
- Estén incorreladas, es decir, obtener la misma información con el mínimo número de características.

Dado que las características relevantes son a menudo desconocidas a priori, habitualmente se introducen muchas características candidatas para intentar representar mejor las clases, aún cuando muchas de ellas puedan ser parcial o completamente redundantes o irrelevantes (véase tabla VIII).

Tabla VIII. Algoritmos de selección de características

Función de Evaluación	Procedimiento de Generación		
	Heurística	Completa	Aleatoria
Distancia	I-Relief, Relief-F, Sege84	II- B&B, BFF, Bobr88	III
Información	IV- DTM, Koll-saha96	V- MDLM	VI
Dependencia	VII- POETACC, PRESET	VIII	IX
Consistencia	X	XI- Focus, Sch93, MIFES	XII- LVF
CLASIFICADOR	XIII- SBS, SFS, SBS-SLASH, PQSS, BDS, Moor94, RC, Quei-Gels84	XIV- Ichi-Skla84a, Ichi-Skla84b, AMB&B	XV- LVW, GA, SA, RGSS, RMHC-PF1

Fuente: Real time Imaging 2000, **A Real Time Algorithm using Image-analysis**, página 144.

2.6 Computador o módulo de proceso

Se trata del sistema encargado de recibir y analizar, mediante los algoritmos adecuados, las imágenes a la velocidad necesaria para poder interactuar con el entorno en tiempo real. Es pues, la parte del sistema encargada de implementar las funciones y objetivos para los que se haya diseñado el sistema.

Los altos requerimientos computacionales de esta tecnología no se pueden especificar de una forma genérica. Un ejemplo demostrativo de estos requerimientos es el del reconocimiento automático de matrículas mediante una cámara de 8 bits y una resolución de 640x480 (307.200 píxeles). En esta aplicación se necesita una etapa de filtrado, una binarización que convierta la imagen de 256 niveles de gris a sólo 2, una de segmentación que aisle cada carácter de la matrícula y una clasificación. Las operaciones necesarias se resumen en la tabla IX.

Tabla IX. Operaciones del módulo de proceso

	Comparaciones	Sumas o restas	Multiplicaciones	Divisiones	Op. Coma flotante	Total
Filtrado	0	2.457.600	0	307.200	0	2.764.800
Binarización	307.200	0	0	0	0	307.200
Segmentación	1.229.310	1.510	0	1000	0	1.231.820
Clasificación	0	3.304	129.857	0	417	133.578
Total	1.536.510	2.462.414	129.857	308.200	417	4.437.398

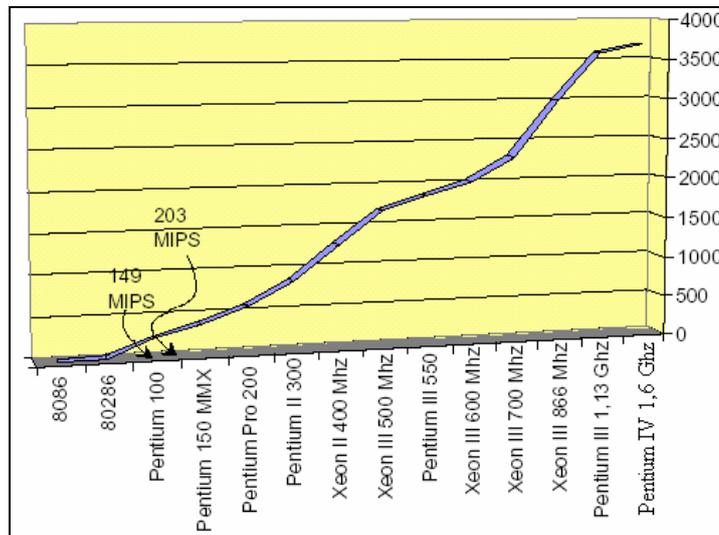
Fuente: SPIE Vol. 2183, **Integration Of Computer Vision for Quality Control in the Textile Industry**, página 155.

Si se tiene en cuenta que el sistema ha de trabajar en tiempo real, capturando para ello 30 imágenes por segundo, se necesita una capacidad de cálculo 133.121.940 instrucciones por segundo (133 MIPS).

2.6.1 Evolución de los módulos de proceso

La rápida evolución de los microprocesadores de propósito general ha desbancado la utilización de microprocesadores especializados, excepto para casos muy concretos. Por tanto, la potencia de los microprocesadores actuales, junto con las arquitecturas hardware y software que soportan los sistemas de múltiples microprocesadores, permiten el desarrollo de algoritmos complejos con tiempos de respuesta muy cortos y dentro de los requerimientos de las aplicaciones en tiempo real. En la figura 10 se puede ver la evolución en potencia de procesamiento de los microprocesadores de la familia Intel.

Figura 10. Evolución de los microprocesadores Intel®



Fuente: **Evolución de los microprocesadores Intel®**,
<http://www.cpuscorecard.com>, consulta en línea, junio 2006.

Esta evolución no ha significado un simple incremento en las velocidades del reloj que gobierna el microprocesador. También ha sido importante el incremento de tamaño

de los buses de datos y de direccionamiento, y sobre todo el incremento de transistores, lo que ha permitido la utilización de memorias cache, y la mejora de la arquitectura interna de los microprocesadores.

2.6.2 Mejoras a las tarjetas capturadoras

Entre las mejoras más destacadas, podemos destacar:

Pipeline: capacidad de separar la ejecución de cada instrucción en varias etapas, lo que permite que varias instrucciones se ejecuten en paralelo. El microprocesador Pentium[®] dispone de 5 etapas, mientras que el Pentium II[®] soporta 12 etapas, y Pentium IV[®] dispone de 20 etapas.

Tecnologías de ejecución dinámica: éstas permiten una ejecución especulativa superando la secuenciación lineal de las instrucciones de búsqueda y ejecución de instrucción. El microprocesador Pentium II[®] contiene un buffer de 40 instrucciones, mientras que el Pentium IV[®] tiene un buffer de 126 instrucciones y un algoritmo mejorado para la predicción de saltos.

Juegos de instrucciones SIMD (Single Instruction, Multiple Data): Las 57 instrucciones MMX de 64 bits que aparecieron con los primeros Pentium[®] MMX permitían un alto paralelismo en la ejecución de instrucciones con tipos de datos multimedia.. Esto se traduce en importantísimas mejoras en los tiempos de ejecución de determinadas operaciones muy utilizadas en los algoritmos de procesado de imágenes, como las convoluciones o las transformadas de Fourier. Los nuevos microprocesadores Pentium IV[®] disponen del juego de instrucciones de 128 bits SSE2 con 144 instrucciones nuevas

Caches de 2^{do} nivel: Estas caches permiten disponer de memoria para instrucciones y datos dentro de la propia pastilla del microprocesador, lo que evita los ciclos de acceso a la memoria convencional, incapaz de proporcionar los datos a las velocidades que los microprocesadores pueden consumirlas. El procesador Pentium II[®] dispone de 512 Kb de cache L2 para código y datos, y un bus de 64 bits para conseguir altas transferencias de datos entre la cache y el microprocesador.

Unidades de ejecución en coma flotante FPU avanzadas: soporte del formato IEEE 754 de 32, 64 y 80 bits. Por ejemplo, la computadora Primergy N800 de Fujitsu soporta de 2 a 8 microprocesadores Intel Pentium III[®] a 550 MHz con cache L2 de 1 o 2 Mb, hasta 32Gb de SDRAM, y los sistemas operativos Windows NT Server[®] y Unix SCO. Esto permite, mediante la adecuada programación de los algoritmos, la distribución de las tareas entre 8 microprocesadores diferentes.

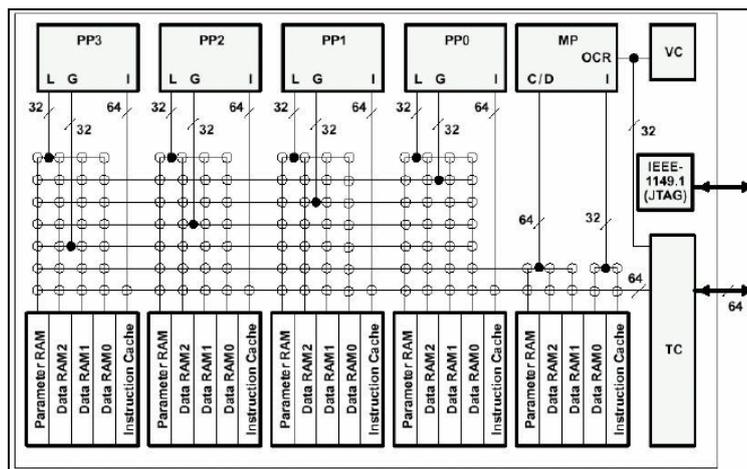
No obstante, para aplicaciones de muy elevados requerimientos computacionales y estrictos requerimientos de tiempo, la existencia de hardware especializado o, principalmente, el uso de otras arquitecturas paralelas que hagan uso de DSP o sistemas FPGA's aseguran la viabilidad en este sentido de cualquier aplicación de visión artificial, al permitir la utilización de sistemas con múltiples microprocesadores trabajando en paralelo con los DSP necesarios para dicha aplicación.

2.6.3 Arquitectura de algunas tarjetas capturadoras en el mercado

Uno de los DSP más utilizados en el análisis de imágenes es el TMS320C80 de Texas Instruments. Este DSP se caracteriza por la arquitectura MIMD (del inglés: Multiple Instruction/Multiple Data) que le permite ejecutar 2 Gigas de instrucciones por segundo. Se compone de los siguientes elementos:

- Procesador Master (MP) con juego de instrucciones RISC de 32 bits, unidad de coma flotante IEEE-754 y caches de 4k para instrucciones y datos.
- 4 procesadores paralelos (PPi). Estos son DSP de 32 bits y disponen de cache de 2 Kb para instrucciones y 8 Kb para datos, cada uno de ellos.
- Controlador de Transferencias (TC). Permite realizar transferencias de 64 bits alcanzando tasas de 480 Mbytes /segundo. Direccionamiento de 32 bits.
- Controlador de Video (VC), 50 Kb y espacio de direccionamiento de 4 Gbytes ($4 * 10^9$ bytes). Véase figura 11, arquitectura del C80.

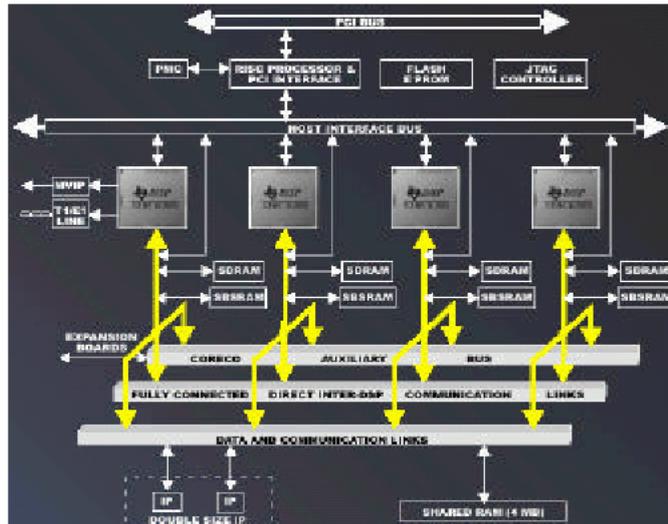
Figura 11. Arquitectura del C80



Fuente: Texas Instrument , **Arquitectura del C80**, página 38

Existen además tarjetas, como las de la casa "Sundance Microprocessor Technology", con arquitectura PCI o VME y soporte de hasta 8 DSP, o la casa CORECO dispone de la tarjeta PYTHON/C6 con hasta 4 DSP TMS320C6201 alcanza 6400 MIPS. En la figura 12 se ve el diagrama de bloques de la tarjeta PYTHON/C6.

Figura 12. Diagrama de bloques de la tarjeta PYTHON/C6



Fuente: **Diagrama de bloques de tarjeta PYTHON/C6**, <http://www.coreco.com>, consulta en línea, junio 2006.

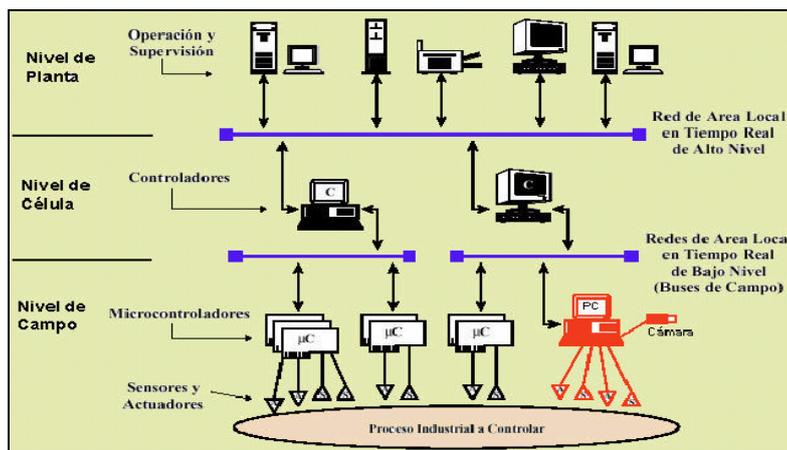
Se pueden disponer varias tarjetas en diferentes topologías con el fin de incrementar la velocidad de ejecución de los procesos a realizar con las imágenes. Paralelamente al hardware utilizado, se han desarrollado librerías software que implementan numerosas funciones utilizadas habitualmente en esta tecnología, lo que permite reducir el ciclo de desarrollo de las aplicaciones y facilita la obtención e implementación de algoritmos complejos con tiempos de ejecución adecuadamente bajos.

2.7 Sistemas de respuesta

Se trata de automatismos que responden electromecánicamente con el fin de corregir o evitar las causas generadoras de los problemas detectados. 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. En cuanto a los dispositivos electromecánicos utilizables en los sistemas de visión, destacan los variadores de frecuencia para el control de motores y la comunicación entre los PC's y los autómatas programables que gestionan los distintos dispositivos mediante redes de campo como "Profibus" o "Wireless", y más recientemente mediante "Industrial Ethernet", y protocolos "Wireless". Estos buses (véase figura 13) permiten la integración de los sistemas de visión y sus acciones de respuesta dentro de la estructura CIM de las empresas, lo que supone un ahorro económico en los casos en que ya se disponga de está estructura.

Figura 13. Jerarquía de comunicaciones industriales



Fuente: Design of image acquisition, **jerarquía comunicación industrial**, página 69.

3. MAQUINARIA TEXTIL CON VISIÓN ARTIFICIAL

En cuanto a las aplicaciones de la maquinaria textil con visión artificial, realizaremos una clasificación en función del objetivo perseguido por el sistema. No obstante, hay que tener en cuenta que las aplicaciones han de ser analizadas desde dos puntos de vista, la viabilidad técnica que determina la posibilidad de aportar una solución mediante esta tecnología, y la viabilidad económica, que ha de determinar si la solución propuesta es económicamente rentable y la inversión necesaria se puede amortizar en un periodo de tiempo razonable.

3.1 Sistemas de control de calidad

Se trata de la aplicación más habitual de los sistemas de visión artificial. Podemos dividirla, aunque están muy relacionadas entre sí y no sea una clasificación clara, en las siguientes áreas:

3.1.1 Tejidos en crudo y tintados

La inspección de tejidos de calada o a la plana es uno de los sectores donde primero se utilizaron sistemas de visión artificial. 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. Para la detección se utilizan dos técnicas, siendo estas:

- Preinspección: utiliza una etapa de entrenamiento para determinar las características del tejido correcto.

- Inspección: captura de la imagen, detección de irregularidades, clasificación de defectos según su tamaño, dirección, forma y grado de severidad del defecto, se guarda el defecto, posibilidad de marcar el defecto, activar una alarma, etc.

En el mercado actual podemos encontrar una gran variedad de empresas que se dedican a la fabricación de este tipo de máquinas, entre las que podemos mencionar:

- *EVS*: ésta casa presenta las máquinas I-TEX 1000 (ver figura 14a) para tejidos en crudo y técnicos y la I-TEX 2000D (ver figura 14b) para tejidos tintados. Capaz de detectar defectos con anchos de trabajo de 330 cm a 100 m/min. La iluminación es por reflexión y Retroiluminación lo que permite la inspección de tejidos opacos.

Figura 14. Máquinas de la casa EVS. (a) I-TEX 1000. (b) I-TEX 2000D



Fuente: EVS, **Computerized Vision Inspection System**, <http://www.evs.co.il>, consulta en línea, junio 2006.

- *CAIPO*: sistema de inspección de tejidos en crudo de aspecto liso. La inspección se realiza mediante varias cámaras distanciadas sobre la línea de

la trama, dependiendo del número de detalle del defecto que se quiera catalogar (ver figura 15). Ésta empresa asesora a los clientes en los primeros meses para optimizar la iluminación de cada tipo de tejido y los criterios de los defectos por grupos.

Figura 15. Verificadora CAIPO



Fuente: Automatizazione Industriale SRL, **mesa de verificación CAIPO**, <http://www.caipo.com>, consulta en línea, junio 2006.

Entre otras empresas, se pueden mencionar:

- *VISIO REG*: máquina del Instituto Textil de Francia, inspección en telar. Banco de cámaras (19 para 2 metros). Trabaja con algodón, lana, lino, fibras artificiales o sintéticas. Aplicable a tejidos monocolor. Velocidad de hasta 1500 pasadas por minuto. Tasa de detecciones correctas arriba del 98%, de no detecciones menores al 2% y de falsas detecciones menores al 3%. Capacidad de parar el telar, y generar informes. Visite <http://www.itf.fr>, para mayor información.
- *IRIS VISION*: máquina para tejidos en crudo, detecta defectos originados por hilatura, tejeduría, tejidos de punto y no tejidos o técnicos. Resolución

de hasta 0.1mm. Velocidad de funcionamiento de 70 m/min. Visite <http://www.irisvision.com>, para mayor información.

- **OF.FRI:** empresa italiana. Ha desarrollado una gama de productos ARVIS (Artificial Vision System) destinados a la inspección de tejidos por medio de cámaras. Inspecciona los tejidos con una identificación y una clasificación de los defectos de tisaje y de acabado sobre los tejidos crudos, teñidos, técnicos y otros. Disponen de una primera zona de adaptación del tejido que lo tensa uniformemente para eliminar cualquier arruga. Visite <http://www.acimit.it>, para mayor información.

3.1.2 Tejidos Demin

La inspección de tejidos vaquero o Demin, es otro de los procesos donde estas tecnologías tienen una importante aplicación. Se diferencia del tejido a la plana en las propiedades de este tipo de tejido que hace requerir un análisis por textura. Las diferentes variaciones en el aspecto del tejido requieren una etapa de aprendizaje por parte de los sistemas de visión artificial. Otra de las características de esta inspección es la necesidad o conveniencia de repasar las dos caras del tejido.

En el mercado actual podemos encontrar una gran variedad de empresas que se dedican a la fabricación de este tipo de máquinas, entre las que podemos mencionar:

- **USTER:** ésta casa presenta su máquina de inspección (ver figura 16), con una resolución de 0.3 mm. velocidad de hasta 120 m/min, en función de la precisión del defecto mínimo a contabilizar. El sistema aprende como realizar su tarea, pero se ha de mostrar para cada tejido lo que se considera defecto y lo que no. Configuraciones on-line y off-line. Puede detectar variaciones en el color del tejido pero siempre en colores lisos.

Figura 16. Máquina de inspección Demin, casa USTER



Fuente: USTER, **máquina de inspección**, <http://www.uster.com>, consulta en línea junio 2006.

- *BARCO*: ésta máquina detecta defectos de trama y urdimbre. Integrado en telar, 9 cm * segundo. Cámara CMOS, iluminación por Led infrarrojo (IR). Las imágenes se toman en posiciones predefinidas, utilizando un cabezal móvil formado por la cámara y la luz, los parámetros del sistema se calculan automáticamente a partir de la identificación de las características del tejido (ver figura 17). En caso de presentarse un defecto de urdimbre o una concentración de defectos de trama, el sistema detiene el telar, enciende una luz de aviso en el árbol de luces del telar e informa de la naturaleza del defecto y su ubicación en la pantalla del telar.

Figura 17. Máquina de inspección Demin, casa BARCO



Fuente: BARCO, **máquina de Inspección**, <http://www.barco.com>, consulta en línea junio 2006.

Entre otras empresas, se pueden mencionar:

- *EVS*: ésta casa posee la I-TEX Demin. Dos sistemas de adquisición con iluminación por reflexión para el análisis de ambas caras del tejido. Se instala habitualmente al final del proceso de sanforización. Visite <http://www.evs.co.il>, para mayor información.

3.1.3 Tejidos estampados

La característica del proceso de estampación por rotativa la hacen uno de los objetivos más interesantes, a pesar de la dificultad técnica, para la aplicación de la visión artificial. El hecho de funcionar a velocidades habituales de entre 40 y 80 m/min hacen muy difícil que los operarios puedan controlar con eficiencia la aparición de defectos. El hecho de que generalmente estos defectos sean repetitivos y, por tanto, sea necesaria su detección para poder proceder a su corrección, hace que sea indispensable hallar

métodos eficientes en la detección de defectos que permitan que las empresas reduzcan el porcentaje de producción no recuperable.

Las empresas que se dedican a la fabricación de este tipo de máquinas, en la actualidad, se pueden mencionar las siguientes:

- *ISMV*: el proyecto CAFÉ (Computed Aided Fabric Evaluation), formado por 20 empresas y 5 laboratorios, en el periodo 1992-1999. Llevado a cabo por ISMV (Image Science & Machine Vision Group) que es uno de los 13 grupos de investigación y desarrollo de la división de Instrumentación y Control (I&C) del Laboratorio Nacional de Oak Ridge. El Rotary Screen Print Inspection es un sistema de control de proceso de estampación de hasta 20 colores con capacidad de detecta defectos de hasta 0.2 mm. El sistema se ha diseñado para ser portable (estructura de aluminio) de forma que facilite su verificación en múltiples fabricas. Su velocidad promedio de funcionamiento de es 65 m/min. Véase figura 18.

Figura 18. Verificador de estampado RSPI



Fuente: ISMV, **Rotary Screen Print Inspection**, www.ismv.ic.ornl.gov, consulta en línea, junio 2006.

- *EVS*: con su sistema PRINT TEX (ver figura 19), detecta defectos en estampación por rotativa. Sistema en tiempo real para la localización y corrección de fallos repetitivos de estampación, con emisión de señales de alarma para la corrección de la causa generadora del defecto. Arquitectura PC-WIN95. Velocidad de 70 m/min, posibilidad de marcación por láser de los defectos. En principio es capaz de detectar pasta insuficiente, descentrados del dibujo, pelusa y problemas de cola.

Figura 19. PRINT TEX, casa EVS



Fuente: EVS, **PRINT TEX**, www.evs.co.il, consulta en línea, junio 2006.

Entre otras empresas, se pueden mencionar:

- *ITI-UPV*: este es el instituto de tecnología informática, cuenta con sistemas que poseen arquitectura de cluster en máquinas LINUX formadas por PC's biprocesadores. La empresa que la desarrolla es COLORTEX.

3.1.4 Urdido

Se trata de sistemas que sustituyen los paraurdimbres convencionales. Cuentan continuamente el número de hilos programado, de forma que el sistema para automáticamente el plegado ante la rotura de un hilo, para su reparación.

Entre las empresas que fabrican este tipo de máquinas se pueden mencionar:

- *PROTECHNA*: con su sistema TensoScan 5370 (ver figura 20), es capaz de tensar automáticamente cada fibra cada fibra durante el proceso de plegado. Parada automática al detectar una falla, la velocidad es medida por medio de dispositivos electrónicos, incorpora alarmas de advertencia por falla de tensión, un contador de fallas reduce las paradas de falsas alarmas, con una velocidad de medición de 2 m/min y una separación mínima entre hilos de 0.7 mm.

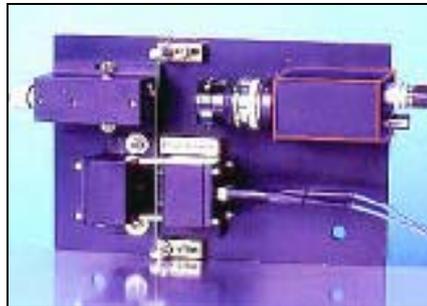
Figura 20. TensoScan 5370, casa PROTECHNA



Fuente: PROTECHNA, **TensoScan**, <http://www.protechna.de>, consulta en línea, junio 2006.

- *Enka técnica:* con su sistema Warpscan (ver figura 21), para anchos de 900 mm y 1800 mm. Con un máximo espaciado de hilos de 46 hilos/pulgada, velocidad de 1000 m/min, interface opcional 485. también es utilizado generalmente para urdido directo de fibras continuas.

Figura 21. Warpscan, casa Enka técnica



Fuente: Enka técnica, **Warpscan**, <http://www.enkatecnica.com>, consulta en línea, junio 2006.

3.1.5 Hilatura

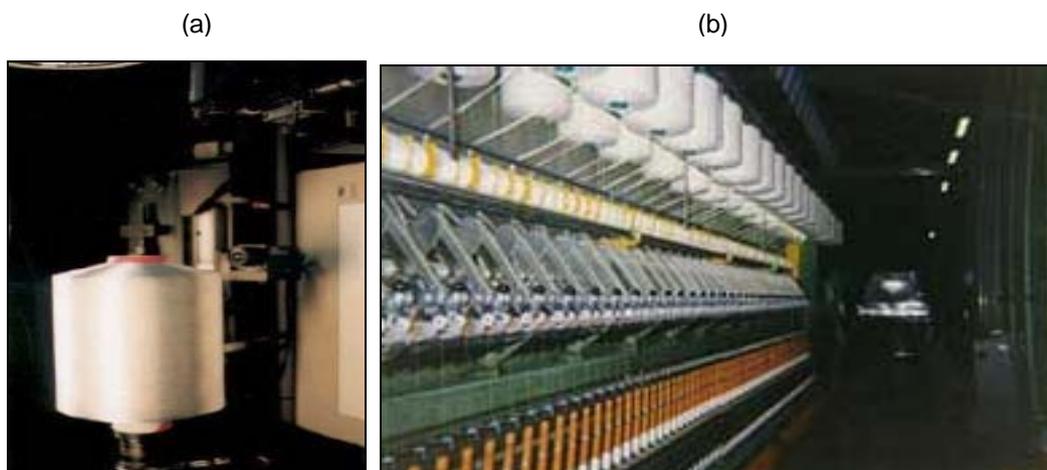
En la hilatura de fibras cortas existen varios dispositivos que pueden vigilar sin intervalos la uniformidad, la pilosidad del hilo o la aparición de fibras extrañas en la hilatura. En los hilados de filamento existen sensores para prueba capacitiva de uniformidad y determinación de la estructura de los hilos texturizados.

Entre las empresas que fabrican este tipo de máquinas se pueden mencionar:

- *Cognivisión Research:* Sistema automático para el control de calidad de las bobinas de hilo, en crudo o tintado y tanto de fibras naturales como sintéticas, posee cámaras CCD (véase figura 22a), con inspección continua

a un peso de bobina menor a 15 Kg, diámetro menor a 350 mm, velocidad de 636 bobinas por minuto (véase figura 22b). Opera en tiempo real, unidad de control estadístico, y unidad de conexión a una computadora. El control lo realiza por medio de la geometría, densidad, color, deformaciones, desfibrados, bastas en las caras frontales, pelusa, manchas, arañazos, abombamientos en la forma y aros de color o cambio de brillo.

Figura 22. Inspección de bobinas. (a) Inspección de bobina por medio de cámara CCD. (b) Implementación de sistema Cognivisión a máquina de hilatura

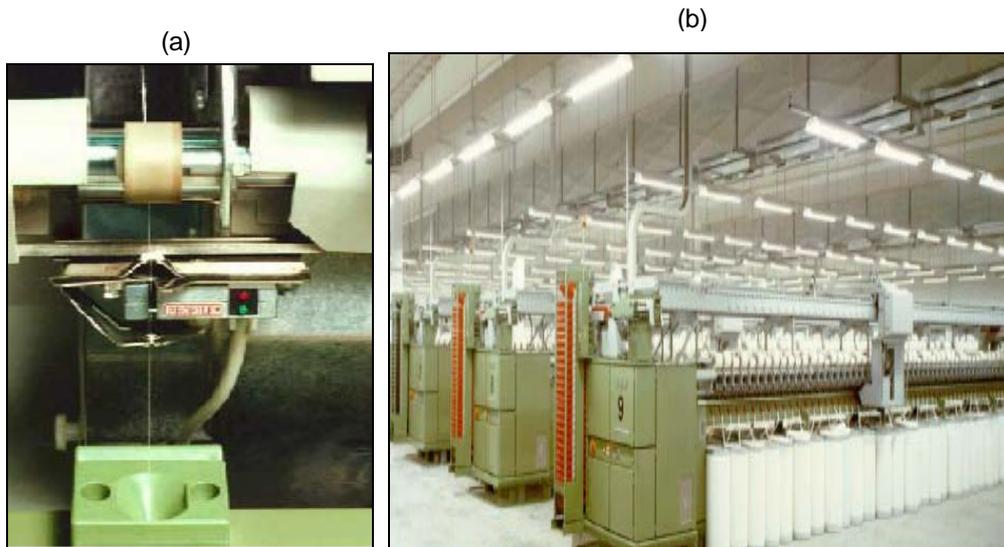


Fuente: Cognivisión Research, **Inspección de bobinas**, <http://www.cognivision.simplenet.com>, consulta en línea, junio 2006.

- *Barco*: con su máquina SpinMaster (véase figura 23b), la cual constar de un sensor de conteo individual por cada hilo (véase figura 23a), con una exactitud de 0.01 mm en el diámetro, detecta hilo grueso y delgado, auto limpieza por medio de aire, monitoreo y detección de irregularidades o fibra astillada, compensación por suciedad de polvo, funciones de diagnóstico, alarmas y paradas de emergencia, análisis de defectos

periódicos por medio de espectrogramas, histogramas de valores de los diámetros.

Figura 23. Sistema Barco. (a) Sensor de hilo. (b) Máquina hiladora SpinMaster



Fuente: Barco, **SpinMaster**, <http://www.barco.com>, consulta en línea, junio 2006.

3.1.6 Género de punto

Las especiales características de los tejidos de punto, como son: la elasticidad, la poca densidad de algunos de ellos que los hace translucidos y en algunos casos casi transparentes y la posibilidad de situar sensores en la propia maquinaria, hacen que se estén desarrollando experiencias específicas para estos tejidos. Aunque para la inspección de este tipo de tejidos se utilizan en algunos casos mesas de repaso, en estos casos se pueden aplicar los sistemas genéricos de control de calidad por visión artificial en los que se caracteriza el catálogo de defectos para este tipo de tejido.

Entre las empresas que fabrican este tipo de máquinas se pueden mencionar:

- *PROTECHNA*: con su sistema ProCam 5310 cuya utilización es la inspección del género de punto. El sistema básico consta de 1 unidad de control, 1 cámara CCD, 1 DSP-Box y 1 sistema de iluminación por medio de infrarrojos, su velocidad de operación es de 100 imágenes por segundo. Este sistema obtiene el contraste entre el género y los defectos mediante iluminación por infrarrojos (preferentemente al trasluz). Véase figura 24, en la cual se muestra el montaje de este sistema.

Figura 24. Montaje del sistema ProCam 5310, casa PROTECHNA



Fuente: PROTECHNA, **Sistema ProCam 5310**, <http://www.protechna.de>, consulta en línea, junio 2006.

- *EVS*: ésta casa nos presenta su sistema KNI-TEX (véase figura 25), que está específicamente diseñado para este tipo de tejido, capaz de trabajar a pesar de la naturaleza elástica de estos, incluso con lycra. Se puede integrar en varios puntos del proceso, siendo su velocidad de inspección nominal de 60 m/min, con un ancho hasta de 240 cm.

Figura 25. Máquina KNI-TEX, casa EVS



Fuente: EVS, **KNI-TEX**, <http://www.evs.co.il>, consulta en línea, junio 2006.

3.1.7 Tejidos Jacquard

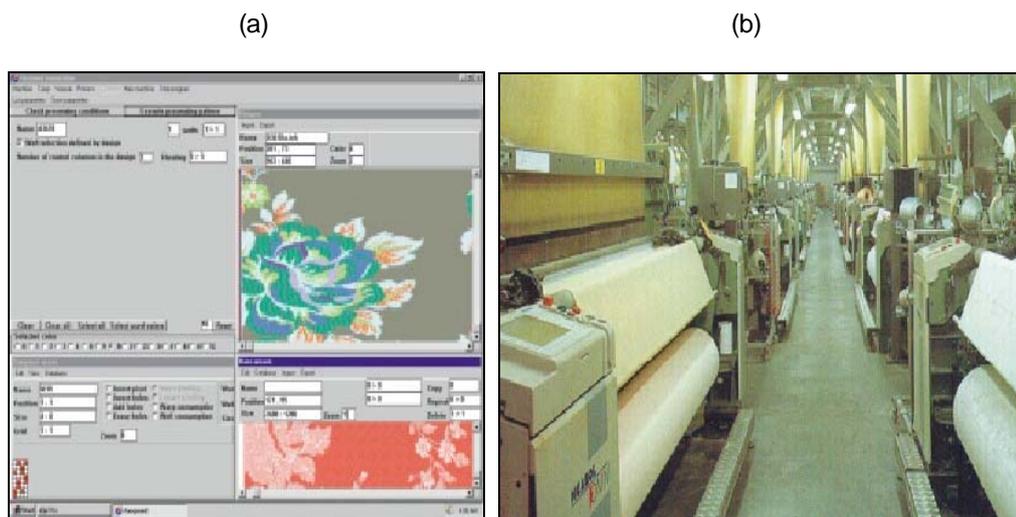
Entre los aspectos que inciden en la dificultad de la inspección de este tipo de tejido se pueden mencionar los siguientes:

- Necesidad de inspección en ambas caras del tejido en algunos tipos de tela.
- Utilización en ocasiones de hilo de fantasía o de un grosor considerable, que por su irregularidad puede ser confundido con defectos
- Utilización de fibras, como las acrílicas, generadoras de reflejos y brillos que distorsionan la imagen.
- Por las características de los materiales con que se confecciona el tejido, así como por los métodos de fabricación, los motivos no tiene siempre la misma forma exacta.

No siendo considerado estos como errores, pero si en la detección de aquellas irregularidades que si lo son. Entre las empresas que fabrican este tipo de máquinas se pueden mencionar:

- **BARCO:** con su sistema SYCOTEX (véase figura 26a), junto con la distribución de patrones, este módulo también conecta el sistema CAD de la compañía. Los patrones creados por los diseñadores permanecen en el PC servidor en un archivo maestro. Al enviar el patrón a un telar específico, el software convierte el archivo maestro para que el patrón se ajuste al tipo de cabeza Jacquard (véase figura 26b), el anudado, la posición del selector de trama-inserción y otro tipo de elementos relacionados con el telar.

Figura 26. Sistemas BARCO. (a) Sistema Sycotex (b) Máquinas de tejidos Jacquard



Fuente: BARCO, **Sycotex**, <http://www.barco.com>, consulta en línea, junio 2006.

3.2 Control de procesos

Los sistemas de control de proceso tienen muy poca implantación en el sector textil, por el coste que tienen en la actualidad y porque su aplicación está muy limitada a determinados procesos y maquinarias.

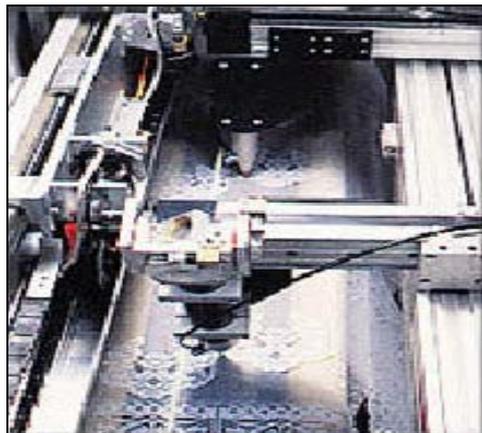
3.2.1 Sistemas guiados por visión artificial

El guiado de sistemas es una de las aplicaciones más típicas de la visión artificial, para el control de procesos, y el hecho de que los tejidos sean materiales flexibles con diseños y contornos irregulares, hacen que su utilización, este especialmente indicada sobre todo para el corte de tejidos siguiendo contornos no claramente definidos con precisión en las trayectorias que han de seguir los cabezales de corte.

Entre las empresas que fabrican este tipo de máquinas se pueden mencionar:

- *OPTOTEX*: con su sistema OPTOCUTTER 2002 para la automatización del corte por láser de los orillos, visillos y otros elementos textiles. El sistema alcanza una velocidad de 6 m/min y profundidad de corte de 45 cm. En la figura 27 se puede observar este sistema.

Figura 27. Sistema OPTOCUTTER, casa OPTOTEX



Fuente: OPTOTEX, Sistema OPTOCUTTER 2002, <http://www.optotex.com>, consulta en línea, junio 2006.

3.2.2 Control del color

El color en los tejidos es un parámetro de importancia capital, por lo que, para algunos de sus productos, necesita un control de la variación del color que se produce entre el orillo y el centro del tejido, y a lo largo del mismo.

Entre las empresas que fabrican este tipo de máquinas se pueden mencionar:

- *ORINTEX*: con su sistema MAP control (véase figura 28), toma medidas de forma repetitiva de lado a lado del tejido y desde el principio al final. La luz y el criterio de decisión son seleccionables. Posee un sistema de medición a distancia que permite una gran flexibilidad en su instalación, utiliza el software Windows[®] 95.

Figura 28. Sistema MAP control, casa ORINTEX



Fuente: ORINTEX, **MAP control**, <http://www.orientex.it>, consulta en línea, junio 2006.

- **BARCO:** con su sistema de control de color Eye-Open, mide la variación del color en el 100% del tejido (véase figura 29). No utiliza espectrofotómetros móviles, sino que una barra transversal dotada de sensores de área inspeccionando todo el ancho. Para ancho máximo la barra de sensor es de 240 cm, 5 sensores por cm, distancia del sensor al tejido 5 mm, presión 0.2%, velocidad máxima 120 m/min, fuente luz blanca, 0.1% de estabilidad.

Figura 29. Sistema Eye-Open, casa BARCO



Fuente: BARCO, **Eye-Open**, <http://www.barco.com>, consulta en línea, junio 2006.

Entre otras empresas, se pueden mencionar:

- **MAHLO:** ésta casa posee el sistema CIS-9, que sirve para la medición mediante el desplazamiento transversal de un espectrofotómetro sin contacto, sistema muy adecuado para productos secos y mojados, el resultado de la medición se corresponde con el dictamen visual del tintorero. También posee el sistema CIS-10, similar al CIS-9 pero va desplazándose continuamente de forma transversal y midiendo las variaciones del color que se producen.

4. ESTUDIOS DE IMPLANTACIÓN

Debido a la enorme dificultad que genera la inspección de algunos tejidos, se abordará el estudio para la utilización de la visión artificial en algunas empresas de Guatemala. Esta dificultad viene dada por la introducción de diferentes parámetros que son necesarios de controlar en las empresas, como el color, las formas, la utilización de hilos de fantasía, las dobles telas que exigen un análisis de ambas caras, el volumen del tejido, etc.

4.1 Subárea tejidos Jacquard

Los tejidos Jacquard representan el problema de mayor complejidad para la visión artificial, de prácticamente todo el sector textil. Esta complejidad viene dada por la aparición del parámetro del color, así como por los dibujos, formas y efectos realizados mediante los ligamentos e incluso la utilización de distintos tipos de hilos.

4.1.1 Estudio de implantación de sistemas con visión artificial para tejidos Jacquard

Este estudio estuvo basado en base a las experiencias con el sistema Sycotex de la casa BARCO. Sin embargo, este prototipo no llegó a ser implementado en su totalidad, debido a la elevada inversión a realizar para la finalización del mismo.

No obstante, hay que tener en cuenta que para estos tejidos se realizan dos inspecciones por operarios a una velocidad nunca superior a los 30 metros por minuto. La primera antes de enviar el tejido al acabador. La segunda, en expedición, antes de enviar el producto al cliente. Sería interesante conocer los costes económicos que

supone para las empresas la realización de estas dos inspecciones y los costes generados por errores en la no detección de defectos, para poder evaluar claramente la rentabilidad que se podría extraer de un sistema de visión artificial que controlara la calidad de estos tejidos.

4.1.2 Necesidades de la empresa de tejidos Jacquard

Necesidad fundamental: inspección automática de tejidos Jacquard.

Razones: las empresas fabrican gran cantidad de metros de tejido Jacquard, y en ellas se inspecciona el 100% de la producción. La cantidad de metros producidos, el coste final de este tejido, la necesidad del repaso de los tejidos, y la dificultad para los operarios de repasar el 100% del tejido con una alta fiabilidad (especialmente para anchos de 3.20 metros), plantean la necesidad de automatizar este proceso mediante técnicas de visión artificial.

Los inconvenientes son:

- Catalogo de defectos muy amplio. Gran variedad de dibujos, texturas, colores, grosores de hilo y fantasías difíciles de diferenciar de defectos reales.
- Dificultad de detección muy alta.
- Sistemas color de alta resolución (coste elevado).
- Iluminación. La utilización de fibras acrílicas produce reflejos y brillos que distorsionan la imagen.
- Piezas de 50-100 metros. Existen dos posibilidades de aplicación de la visión artificial en la inspección de tejidos Jacquard. En primer lugar, la inspección en el propio telar tiene como ventaja la inmediata detección del defecto en el momento en que este se produce, lo que puede ser importante en los casos en que este

defecto sea repetitivo, y como inconveniente, las limitaciones en el coste del sistema final, dado que en este caso sería necesario un sistema de detección por cada telar. En segundo lugar, es posible la utilización de un único sistema de detección en una máquina de repasado. La ventaja en este caso es que un único sistema es capaz de analizar la producción de un gran número de telares, por lo que el coste final es menor. Como inconveniente, los defectos no pueden ser corregidos en el momento en que se generan, y la inspección solo permite corregir aquellos defectos que sean reparables y marcar aquellos que no lo sean. En ambos casos, el sistema ha de detectar el cambio y aprender el nuevo tejido muy rápidamente. Técnicamente no es un problema. El sistema debería gobernar la velocidad de la máquina de repasado o la puesta en marcha del telar. Por tanto, tras la aparición de una costura o la introducción de un nuevo diseño, el sistema puede detener la máquina tras el paso de los centímetros necesarios, durante un breve espacio de tiempo, para poder aprenderla (rapport vertical o repetición de dibujos verticales), y volver a arrancarla a la velocidad de trabajo adecuada una vez ajustados los parámetros para la detección de defectos.

Pasos a realizar planteados por las empresas:

- Estudio del catalogo de defectos en tejidos Jacquard.
- Análisis del subconjunto de mayor interés para las empresas productoras, en función de los problemas que les plantean los clientes.
- Análisis de viabilidad técnica de la detección del subconjunto antes mencionado.

4.2 Subárea tejidos estampados

La estampación es la técnica o proceso que efectúa una coloración localizada sobre una muestra textil, dispuesta generalmente en forma de tejido. Está coloración se

presenta en forma de dibujos preconcebidos, donde la materia colorante se encuentra íntimamente ligada al tipo de tejido.

Para que la estampación sea correcta es necesario que el dibujo se encuentre perfectamente perfilado y centrado. Se requiere por tanto, una correcta preparación de la materia textil, un colorante o pigmento que no debe ser fluido, y un ajuste correcto de cada uno de los colores que forma el estampado

4.2.1 Estudio de implantación de la visión artificial para tejidos estampados

Experiencia realizada con el sistema de control de estampación de EVS, modelo: PRINT-TEX. El sistema encuentra defectos repetitivos debidos a la estampación y defectos en la base que provoquen cambios en el patrón aprendido.

Se dan las siguientes circunstancias en su funcionamiento:

- Detección de defectos no apreciables por el operario.
- Algunos errores en la detección de defectos, especialmente cuando existe poco contraste en los colores.
- El proceso de corrección de defectos origina la detección de gran numero de nuevos falsos defectos que el sistema tarda en asimilar
- Sistema muy dependiente de la interacción con el usuario. Se dan errores debido a fallos en el uso del sistema cuando se le indica por error que un defecto sea considerado como tejido correcto.

Estos hechos hacen que su funcionamiento solo se considere ligeramente interesante para trabajar con grandes tiradas y a una velocidad alta. De está forma, el operario puede “relajar” su vigilancia sí el sistema no marca errores.

Hasta el momento el sistema no es considerado satisfactorio por los usuarios. En términos generales no aprecian una disminución de la cantidad de taras generadas en producción, que debería de ser uno de los objetivos fundamentales de estos sistemas. Los informes generados por el sistema, también dadas las circunstancias de funcionamiento comentadas, no son útiles por la gran cantidad de falsos defectos que aparecen en el mismo. No obstante, el sistema es utilizado en cualquier proceso de estampación, el constructor del equipo, EVS, utiliza la experiencia sobre el funcionamiento en la detección de defectos en la empresa para ir corrigiendo y mejorando el sistema.

4.2.2 Necesidades de la empresa de tejidos estampados

Desde el punto de vista de las empresas existen tres puntos donde la visión artificial puede aportar ventajas importantes para empresas de estampación y acabados.

1. Repasado de la materia prima. Este control se podría realizar directamente en una máquina de repasado (donde se conseguirían mayores ventajas económicas, por poderse evitar procesos posteriores), en los procesos de preparación del tejido o, a la entrada del proceso de estampación. La información que este sistema puede generar serviría para que la empresa de acabados conozca la calidad del producto del cliente que va a transformar. En el caso de que la calidad sea baja según unos criterios que podría definir el acabador o el cliente, la empresa no realizaría los procesos de transformación sin el consentimiento expreso del cliente, lo que evitaría conflictos con el producto final.

El interés de este tipo de repasado depende del mercado con el que trabaje la empresa de estampación. En los casos, donde solo un 15-20% de su mercado exige calidad, no sería económicamente rentable para la empresa. No obstante, habría que evaluar que defectos del tejido pueden provocar defectos en la estampación que el cliente pueda achacar a la empresa acabadora. Por ejemplo, la presencia de suciedad o hilos sueltos que se impregnen en el cilindro o impida que la base reciba el color correcto

puede ser fuente de conflictos entre el cliente y la empresa que este sistema podría solucionar.

2. Estampación. En la estampación se requiere un sistema fiable en la detección de defectos provocados únicamente por el proceso de estampación. Esto permitiría realizar adecuadamente al operario su trabajo y sobre todo no producir reducciones de velocidad, que en ocasiones afectan a la calidad del producto, por falsos defectos. El sistema también debería de ser capaz de funcionar con tiradas cortas.

3. Repasado del producto final. Antes del proceso de empaquetado para expedición del producto al cliente, también se considera necesario un control de calidad del producto, ya que el cliente requiere que se le entregue el producto saneado, a pesar de las mermas que se requieran para ello. No obstante, este proceso también es muy dependiente del mercado al que se dirige el trabajo de la empresa y en este caso, al igual que en el repasado de la materia prima, el porcentaje de mercado exigente es muy bajo.

4.3 Subárea urdido

El urdido es la operación por la cual se obtiene la urdimbre arrollada sobre el plegador, partiendo de un cierto número de bobinas. La urdimbre es el conjunto de hilos ordenados, plegados en forma paralela, con una longitud preestablecida, y generalmente con elementos que permiten conservar el orden de los hilos en las operaciones siguientes. Los parámetros que describen a la urdimbre son el número de hilos, la longitud de éstos, el colorido y el ancho de la misma.

4.3.1 Estudio de implantación de la visión artificial para urdidores

Experiencia realizada con el sistema de control de número de hilos para urdidores directos de Protechna. Modelo: CAMSCAN.

Esta empresa se dedica a la producción de urdidos directos de fibra continua (en este tipo de urdido, entre la fileta y el plegador se disponen los hilos de forma paralela para la realización del encolado, realizado para plegadores de 1800 hilos siendo el valor más habitual el plegado de unos 1200 hilos) .

El sistema CAMSCAN de PROTECHNA detecta la presencia ó ausencia del número de hilos programado a una velocidad de 700/800 metros por minuto. El sistema detiene inmediatamente la máquina ante la falta de un hilo (esta detección la comprueba varias veces para no realizar falsas detecciones de ausencia de hilo).

Este sistema es capaz de reemplazar completamente los habituales paraurdimbres utilizados en estas empresas que tienen un coste aproximado de 1.100 ptas. por unidad (en esta empresa se puede llegar a utilizar 1320 hilos, lo que significa 1.452.000 ptas. sin contar la estructura de soporte). Esto significa que con un coste ligeramente superior se consigue un mejor sistema de detección de ausencia de hilo que facilita el trabajo del operario.

La densidad de hilos máxima en el punto de lectura de los mismos es de 24 hilos por pulgada, lo que significa aproximadamente 1 hilo por milímetro. Por tanto, con una resolución de 6 píxeles por milímetro se puede garantizar la correcta lectura de ausencia ó presencia del hilo. El ancho de trabajo es de 1400 milímetros, lo que significa 7920 píxeles a una resolución de 6 píxeles por milímetro, por lo que bastaría con dos cámaras de 4098 para estos anchos de trabajo.

La empresa está satisfecha con el funcionamiento de este sistema y lo considera muy ventajoso respecto a los anteriores sistemas. Los inconvenientes principales son el coste del sistema.

4.3.2 Necesidades de la empresa urdidora

En principio, con el sistema de contar hilos, este tipo de empresas tiene cubiertas sus necesidades técnicamente, aunque empresas con un nivel de calidad más exigente si pueden requerir sistemas que controle la calidad del hilo.

Por otra parte la empresa manifiesta que, sería muy interesante disponer de un sistema de fabricación nacional que incorpore algunas ventajas como el control de calidad del hilo y ofrezca asistencia técnica y mantenimiento a precios ajustados.

4.4 Subárea hilatura

La hilatura tiene una importancia fundamental en la industria textil, puesto que es la “materia prima” con la que se producen todos los artículos textiles tejidos, es decir, mantas, tejidos de decoración, tejidos para confección, etc. Por tanto, la calidad de este producto puede tener una importante influencia en la calidad de los artículos confeccionados con éste.

4.4.1 Estudio de implantación de la visión artificial en hilatura

En las hilaturas modernas existe un alto grado de automatización de los procesos con el objeto de incrementar la calidad y capacidad de producción de las empresas. Está automatización se consigue principalmente mediante distintos tipos de dispositivos optoelectrónicos, siendo bajo el papel jugado por la visión artificial. Esto es debido a las dimensiones de las máquinas de producción (pueden llegar a tener 60 metros de largo), a la gran cantidad de objetos a controlar (una máquina puede tener hasta 900 husos), y a la resolución de trabajo necesaria para poder distinguir hilos de numeración muy parecida.

4.4.2 Necesidades de la empresa de hilatura

En la empresa se dan dos tipos de problemas que requieren solución, sea ésta abordable o no mediante visión artificial.

- 1. Fibras extrañas.** La empresa está especializada en hilatura de color. A pesar de todas las medidas de limpieza del ambiente, puede ocurrir que en un color determinado se inserten fibras de otros colores que contaminen el hilo produciendo un error, que es especialmente visible y perjudicial cuando se contamina hilo blanco. Para la medición de este tipo de defectos la empresa ha adquirido recientemente nueva maquinaria, la cual dispone de dispositivos ópticos para la detección de estas fibras extrañas. Este dispositivo se ha de calibrar adecuadamente para que la producción pueda desarrollarse normalmente y no genere un elevado número de falsas detecciones que perjudiquen la producción.

- 2. Mezcla de husos.** En una hilatura de este tipo, se trabaja con una gran cantidad de fibras diferentes, y de mezclas de las mismas. Cuando se trabaja el hilo blanco, a pesar de las importantes medidas tomadas por la empresa para evitar esta mezcla, siempre puede ocurrir un error que genere este defecto. Esta falta de seguridad de la empresa en la ausencia de mezclas hace que, en lugar de crear el palee a la salida de la última máquina, las bobinas se introduzcan en un carro que es pasado por un cuarto oscuro de luz ultravioleta, donde el operario ha de analizar si se han producido mezclas. Para posteriormente, pasar las bobinas del carro al palee. Este modo de trabajo es lento, y no asegura la calidad, puesto que al ser un defecto poco usual debido a las medidas tomadas, el operario realiza una inspección muy superficial dentro de la cámara.

Existen por tanto dos lugares donde realizar la inspección y que conviene analizar de cara a obtener un sistema económicamente rentable. Otras industrias de hilatura han mostrado un elevado interés en resolver este problema sobre bobinas en crudo y en color, lo que ampliaría el rango de aplicaciones de estos sistemas.

Las posibles ubicaciones de los puntos de control son:

1. La inspección se realiza en la misma salida de la máquina, por lo que se puede preparar el palee en ese mismo punto. Tiene el inconveniente de necesitar “N” sistemas de inspección.
2. La inspección se realiza en el proceso de pasar las bobinas a la máquina semiautomatizada de palees. Tiene como ventaja el que la inspección se realiza en un único punto, por lo que sólo es necesario un sistema de inspección. Además, las bobinas se puede considerar que están paradas, aunque el área a cubrir por el sistema de visión es también mayor. No obstante, tiene un importante inconveniente y es la imposibilidad de combinar la inspección en cámara oscura con el trabajo del operario de ir preparando el palee.

4.5 Subárea tintura y acabados

La tintura es el proceso durante el cual una materia textil es puesta en contacto con la disolución o dispersión de un colorante, absorbiendo éste de tal forma que el cuerpo teñido tiene alguna resistencia a devolver la materia colorante al baño del cual la absorbió. Estos procesos se utilizan para modificar el color natural de las materias textiles, tanto en el sentido de blanquearlas como en el de darles cualquier coloración. En el proceso de tintura, al igual que en la estampación, es necesario una serie de procesos previos a la tintura con el fin de eliminar impurezas.

Existen dos sistemas de maquinaria para la operación de tintados de tejidos, por agotamiento y por impregnación. En la tintura por agotamiento, el colorante se encuentra disuelto en el seno de una disolución, fijándose a la materia textil por la intervención de las fuerzas de afinidad entre el colorante y la materia textil. En la tintura por impregnación la materia textil se impregna en una solución que contiene el colorante que es unido a la fibra como consecuencia de unos tratamientos denominados fijación

4.5.1 Estudio de implantación de sistemas con visión artificial en tintura y acabados

Esta empresa sigue la evolución de la visión artificial aplicada al textil desde la primera aparición de estos sistemas en el mercado. La empresa ha realizado pruebas de sistemas de control de uniformidad del color con sistemas de la casa Mahlo y Orintex. No obstante no ha adquirido ninguno por funcionamiento erróneo en el primer caso y por coste excesivo y falta de adaptación a sus necesidades en el segundo.

4.5.2 Necesidades de la empresa de tintura y acabados

La empresa tiene tres puntos de inspección, estando ordenados de menor a mayor importancia son:

1. No se realiza la inspección del tejido de los clientes, aunque se contemplaría realizarla si el coste del sistema fuera suficientemente económico.
2. Procesos intermedios. Se realiza una inspección del 100% del tejido tintado mediante operarios dedicados con exclusividad a esta tarea. El objeto de esta inspección es no invertir los recursos en el acabado completo de tejidos defectuosos. En este punto la empresa está interesada en colocar un sistema a

la salida de la rama con el fin de controlar la calidad, principalmente en cuanto a la uniformidad del color. Como prueba de este interés el rama se ha diseñado para que la tela tenga una temperatura uniforme de 25 °C a la salida, con el fin de poder colocar algún día un sistema de control de color. También es importante para la empresa detectar otros defectos como rotos y sobre todo manchas, además de caracterizarlas, con el fin de determinar los pasos a seguir con el tejido (en función de las posibilidades de arreglo).

3. Inspección final. Antes del empaquetado de los tejidos para su expedición, se realiza una inspección final poco satisfactoria debido a que los operarios han de atender otras tareas.

El problema fundamental para esta empresa es el control de las diferencias de color orillo-centro y principio-final de tela. Esta inspección es particularmente difícil en los tejidos de esta empresa por la presencia de pelo y otros elementos que dificultan la lectura correcta del color (cuadros, vigoré, etc).

Otro inconveniente de alguno de los métodos probados es la necesidad de utilizar un master o patrón, principalmente por la producción de partidas pequeñas.

5. VIABILIDAD DE LA VISIÓN ARTIFICIAL APLICADA A LA INDUSTRIA TEXTIL DE GUATEMALA

En la industria textil, en los últimos años ha existido un importante incremento de la productividad mientras que los procesos de inspección (inspección + reparación de los defectos subsanables) han evolucionado de una forma mucho más lenta. Una inspección exhaustiva de los tejidos que asegure la calidad y permita detectar rápidamente cualquier defecto es de vital importancia. Dado que los patrones de error que llevan asociado más interés son los que detecta más fácilmente un observador. El ojo humano tiene un funcionamiento perfectamente adaptado a la tarea. Un sistema artificial, sin embargo, debe aproximarse lo máximo posible a este comportamiento partiendo de sensores y estructuras de cómputo y aprendizaje distintas.

Las ventajas de los sistemas automáticos son la ausencia de distracciones, la reproducibilidad y la velocidad. El período máximo de concentración de un inspector humano es de 25 - 30 minutos, tiempo tras el cual se produce una fatiga creciente y continuada. Esto provoca que la fiabilidad de la inspección descienda de forma grave al cabo de hora y media de inspección. Por otro lado, la concentración máxima se alcanza con, aproximadamente, 200 eventos por hora. Si el inspector no ve ningún defecto especial en un período de 20 segundos, la atención disminuye considerablemente y sólo reacciona ante los defectos más visibles. Estas consideraciones son la causa de que el 30% de los defectos no sean detectados.

Una dificultad del proceso es que no todas las irregularidades son consideradas como defectos, siendo función del uso al que va destinado el tejido. Algunas desviaciones sólo pueden ser clasificadas como defectos perturbadores o no con cierto grado de incertidumbre.

El producto es a menudo irregular en sí mismo, ya que muchos procesos textiles pueden variar significativamente y ser aún aceptables. Esto complica enormemente la tarea si se desean conseguir porcentajes de detección altos con bajas tasas de falsas alarmas. Por otro lado, los materiales textiles son flexibles y fácilmente distorsionables, lo que dificulta el uso de medidas estándar con las que realizar una inspección automática.

El coste económico suele ser mayor que en muchos otros sectores. Por ejemplo, comparemos la cantidad de información procesada por segundo entre la industria de alimentación y la industria de estampación: en una cadena de producción de conservas donde se desea controlar el cierre de las latas, éstas circulan a una velocidad de 400 por minuto y el sistema requiere la captura de imágenes por parte de tres cámaras de área en blanco y negro para analizar tres zonas de $400 * 100$ píxels por lata. Esto supone procesar alrededor de 800.000 octetos por segundo. En la industria del estampado, para controlar la calidad de los tejidos se necesitarían 4 cámaras lineales RGIB de 2048 píxels (de por sí mucho más caras que las monocromas de área). Con una resolución de 2.5 píxels por milímetro y a una velocidad de 80 metros por minuto se necesita procesar (con un algoritmo mucho más complejo) alrededor de 82.000.000 de octetos por segundo.

Estos motivos hacen que desarrollar técnicas sujetas a estos inconvenientes, y que sean capaces de detectar errores que serían evidentes para el ojo humano a un coste razonable, sea extremadamente costoso.

Entre las diferentes posibilidades existentes en cuanto a tipos de tejidos y naturaleza de los defectos, se han escogido dos ámbitos de actuación especialmente interesantes: los tejidos Jacquard y los tejidos tintados. Se realizara a continuación las posibilidades de inspección por visión artificial de estos tejidos.

5.1 Tejidos Jacquard

El control de calidad de los tejidos compuestos de diferentes hilos que se tejen para formar diseños concretos se caracteriza por un conjunto de particularidades y plantea una serie de inconvenientes propios. En primer lugar, a diferencia de los tejidos sencillos, crudos o tintados, existe un diseño que mantener y controlar, y por tanto no basta con asegurar que la textura o el color se conserven uniformes y constantes.

Por otro lado, en comparación con los tejidos estampados., en los que también es necesario comprobar la correcta reproducción de un diseño, los requisitos de precisión en la inspección han de ser, en general, mucho más estrictos en el Jacquard debido a la naturaleza y aplicaciones típicas del producto y a su mayor valor añadido. El uso más frecuente de hilos de fantasía y otras técnicas especiales también supone una dificultad importante a la hora de acometer el análisis automático, ya que la variabilidad intrínseca (aceptable) del material aumenta extraordinariamente, haciendo más crítica la selección de umbrales, lo que puede llegar a hacer inviable la inspección por baja fiabilidad o alto número de falsos positivos.

En cuanto a la velocidad de producción, evidentemente es muy inferior a la de tejidos crudos, tintados o estampados. Esto supone una importante ventaja, ya que la velocidad de cómputo es uno de los aspectos críticos en los sistemas de inspección en línea. Por ello, sería posible en principio la instalación de sistemas en los propios telares. Esta alternativa tiene gran interés, ya que permite controlar la producción de tejido en tiempo real avisando al operario inmediatamente de posibles fallos para que éstos sean subsanados, pero puede suponer un coste elevado, dada la gran cantidad de telares presentes en una instalación típica. Una alternativa de coste más ajustado consiste en establecer una fase de repaso automático a la que se pueden someter en secuencia los productos procedentes de diversos telares, perdiéndose no obstante la valiosa capacidad de detección y eventual reparación temprana de fallos del telar.

Dado que el coste del hardware presenta una fuerte tendencia a la baja y que el ahorro que posibilita la inspección en línea de producción es potencialmente considerable (la reparación inmediata de pequeños fallos del telar puede evitar la producción de muchos metros de tejido defectuoso), entendemos que la apuesta de futuro sea esta última, pese a la mayor viabilidad económica de la inspección en fase de repasado.

5.1.1 Errores de interés

Entre los diferentes errores que encontramos en el proceso de tisaje Jacquard, podemos distinguir algunos claramente distinguibles cuando su entidad es suficientemente conspicua, como los agujeros, desgarros, ascats, irregularidades de ligado, calado, bucles, claros, defectos de templazo, retenciones, roturas de encartonada, gorritones, manchas, nudos, pasadas, restos de hilo entrados, roturas de hilos, etc.

Otros errores pueden presentar dificultades y su detección dependerá de su tamaño, contraste de colores, o cuán pronunciados sean. Es el caso del aviesado, barrado, defectos de rapport, defectos de remetido, defectos de trama, fallos de ligamento, fallos de agujas, fallos de gancho, hilos flojos., hilos tensos, problemas de retención, tejido abierto, gatas, etc. El uso de hilo de fantasía u otras técnicas que generan texturas aleatorias aumentan las dificultades de detección de estos errores. Finalmente, existen errores como las paradas de telar, cambios de partida, etc, que no tiene interés detectar, ya que son provocados o monitorizados por el operario.

5.1.2 Adquisición de imagen

La adquisición de las imágenes se lleva a cabo típicamente mediante una o más cámaras lineales en color. La tasa máxima de transferencia de estas cámaras está normalmente limitada y por tanto, dependiendo de si la inspección se realiza en un telar,

de movimiento lento, o en una repasadora, a gran velocidad, podemos tener suficiente con una cámara de alrededor de 10.000 píxels o tener que recurrir a 4 cámaras de unos 2.000 píxels. Estos valores pueden ser adecuados para anchuras de hasta 320 cm si adoptamos un muestreo cercano a los 3 píxels/mm.

En el caso de gran velocidad y varias cámaras, tanto la propia adquisición como el cómputo exigirá típicamente el uso de un sistema informático de múltiples microprocesadores, probablemente un cluster de workstations u otro sistema de múltiples microprocesador débilmente acoplado.

5.1.3 Repetitividad del diseño

El tejido presenta invariablemente una periodicidad a lo largo del material, fruto de la finitud del diseño, que se va repitiendo según se teje. Los diseños Jacquard presentan también en general periodicidad en anchura, es decir, que constan de varias columnas de aspecto idéntico.

La repetitividad del diseño permite plantear sistemas inductivos de inspección que almacenan imágenes de una o más repeticiones y comparan las siguientes con las de referencia para detectar diferencias significativas. La posibilidad de emplear sistemas deductivos en los que se introduce el diseño al sistema en formato lógico no se contempla en este trabajo, ya que lo considero inviable, debido a su excesivo coste.

Muchos de los errores cuya detección plantea interés no se extienden a lo ancho de todo el tejido, sino que abarcan una anchura relativamente pequeña. En la detección de estos errores cabe la utilización de la periodicidad en anchura de los diseños. La comparación de los diferentes períodos puede aumentar de forma determinante la dinámica del proceso, es decir, mediante un mecanismo acumulación de evidencia,

hacer que se encuentren más separados los valores obtenidos al analizar imágenes de tejido correcto e imágenes de errores.

5.1.4 Elasticidad del tejido y registrador local

Para comparar las imágenes adecuadamente, es preciso resolver un problema relacionado con el preproceso que requieren las imágenes adquiridas. Para solucionar este problema hay que distinguir dos aspectos distintos que influyen en la localización de cada píxel de un periodo bajo análisis respecto de su homólogo de referencia. Por una parte existe un desplazamiento vertical de todos los píxels de un test respecto a los del training, debido a que el disparo de adquisición de las cámaras no está sincronizado con el inicio de cada uno de los periodos del tejido.

El valor del desplazamiento vertical se puede estimar gracias a un codificador óptico que gira según avanza el tejido. Para calcular el desplazamiento exacto se puede aplicar método de búsqueda del mejor encaje entre la imagen inspeccionada y la de referencia, dentro de cierto margen que se establece alrededor de la aproximación anteriormente obtenida.

Sin embargo, el aspecto más complejo del problema aparece cuando tenemos en cuenta las deformaciones que sufre el tejido en el proceso de tisaje. El fenómeno puede modelarse como un conjunto de desplazamientos locales de pequeña magnitud sobre los que no tenemos más información a priori que la de la propia naturaleza elástica del material, que podemos estimar y caracterizar paramétricamente. Para resolver este problema se utilizan técnicas de registro local con restricciones elásticas. Básicamente, estas técnicas consiguen el registro de las dos imágenes gracias al encaje de varios puntos clave de la imagen analizada con sus contrapartidas en la imagen de referencia. Con los vectores de desplazamiento obtenidos para cada uno de esos puntos

se construye una malla de distorsión que aplica un desplazamiento específico a cada uno de los píxels

5.1.5 Comparación de imágenes

Una vez se ha definido una correspondencia entre los píxels de la imagen bajo inspección y los de la imagen de referencia., debe establecerse un método para determinar la similitud entre ellos. Para maximizar la probabilidad de discriminación entre diferencias aceptables y errores reales, es necesario definir un conjunto adecuado de características a extraer del entorno de cada píxel. Puede ser necesario realizar varias comparaciones empleando vectores de características distintos para resaltar posibles errores de diversos tipos.

5.2 Tejidos tintados

En el proceso de tintura de los tejidos pueden aparecer una serie fallos y dificultades, desde fenómenos de confusión de color hasta defectos en la homogeneidad del mismo, tanto en su anchura, lo que se conoce como diferencia orillo-centro, como a lo largo de la pieza, lo que se conoce como diferencia principio-final. Estos errores pueden ser debidos a cambios en las condiciones de tinción o por alteraciones en la calidad de los productos químicos y colorantes utilizados.

El control de calidad de la producción es, por tanto, imprescindible en este proceso. Debido a las limitaciones del sistema visual humano, la inspección por parte de operarios especializados presenta los siguientes inconvenientes:

- Imposibilidad de detectar fenómenos de metamerismo.
- Dificultad de establecer umbrales objetivos para el color que permitan decidir si el proceso de producción se encuentra dentro de los límites aceptables.

Para aclarar y desarrollar estos conceptos es necesaria una somera descripción de los fenómenos relacionados con la percepción del color.

5.2.1 Control del color

El color, según el Comité de Colorimetría de la Sociedad óptica de América, “ es una sensación visual que se origina por la estimulación de la retina del ojo. Es una respuesta psicológica a un estímulo físico. El proceso de percepción del color exige la participación de: una fuente de luz, un objeto que es iluminado, el órgano visual y un cerebro que perciben el color. ”

La luz es una forma de energía que se propaga en forma de ondas electromagnéticas. Las características de las ondas electromagnéticas cambian con las longitudes de onda. Sólo una pequeña parte del espectro electromagnético produce sensación de visión (380 nm - 750 nm).

La descripción perceptual del color depende de la distribución de la energía espectral de la fuente de luz, de la energía reflejada por el objeto en diferentes longitudes de onda y de la sensibilidad espectral de la retina. Por ello, si cambiamos la fuente de luz puede cambiar la percepción del objeto, y en concreto la interpretación del color.

La retina humana no lleva a cabo una descomposición espectral completa de la luz, sino que proporciona al cerebro el valor de energía en tres bandas distintas de acuerdo a la sensibilidad de tres tipos de receptores del color. El nervio óptico y el córtex visual procesan la información dando lugar a la sensación del color.

Dos distribuciones espectrales muy distintas pueden percibirse como el mismo color por un individuo si las resultantes de energía en las tres bandas muestreadas coinciden. Otro observador, sin embargo, puede distinguir claramente las dos

sensaciones si los receptores de color de su retina responden en bandas ligeramente distintas del anterior. Este hecho natural y frecuente, que provoca que dos sujetos puedan discrepar respecto de si dos colores son o no idénticos, se denomina metamerismo intersubjetivo.

Otros fenómenos que pueden provocar confusión en la percepción del color (comparación entre colores) son la persistencia de la imagen en la retina, el tiempo de adaptación de las diferentes partes del órgano visual y por el contraste simultáneo, es decir la influencia de otros colores presentes en el campo de visión.

5.2.2 Adquisición de datos y cómputo

Por medio de un espectrofotómetro se puede averiguar la distribución espectral de la luz procedente de un punto. Utilizando uno o más sensores de ese tipo se puede llevar a cabo el control del color en tiempo real en la línea de tintado, evitando problemas de metamerismo y de subjetividad en la medida. Para que las mediciones del color realizadas sean útiles, se han de establecer previamente una medida de disimilitud entre colores y un conjunto de umbrales de aceptabilidad.

Actualmente el proceso de control e inspección del color en las empresas de tintura, cuando se realiza, se hace de una forma poco eficiente en cuanto a la calidad de la medición. La forma más común es que un operario vaya capturando medidas con un colorímetro. Esto presenta inconvenientes como la variabilidad en los intervalos de toma de medidas, su capacidad para discriminar los niveles de tolerancia de esas medidas, y los problemas de metamerismo derivados de realizar la inspección bajo un único iluminante (el colorímetro no proporciona el espectro completo, sino una aproximación a la percepción de color bajo un iluminante estándar). Uno de los problemas en la evaluación visual del color es que, debido a la gran variedad de fuentes de luz, se ha de realizar la valoración bajo dos o más fuentes normalizadas, lo que dificulta la realización

de está valoración fuera del laboratorio, es decir, en la línea de producción. Es necesario establecer un sistema de medición del color por espectrofotometría que evite problemas de metamerismo.

La alternativa más plausible pasa por el uso de un sensor acoplado a un sistema de movimiento transversal que vaya adquiriendo medidas en diferentes puntos del tejido. Tras la calibración del sensor, de forma que, en función del espectro del iluminante utilizado, se extraiga el espectro real del tejido, podremos aplicar las medidas de disimilitud más adecuadas o extraer cualquier medida de color, como las coordenadas de cromaticidad CIE para los cuatro iluminantes CIE, de forma que se pueda determinar si se encuentra dentro de los límites de tolerancia marcados, y si existen problemas de metamerismo en la producción.

Las necesidades de cálculo de está aplicación son mucho más modestas que las de la inspección por visión artificial, bastando con una computadora industrial de gama alta capaz de adquirir y procesar las medidas, y de calcular las diferencias de color y aplicar los correspondientes umbrales.

CONCLUSIONES

1. La importancia del desarrollo de la industria textil-confección a nivel nacional como a nivel centroamericano, es sumamente evidente. Este desarrollo ha cobrado un nivel muy significativo, en Guatemala, ya que, se ha constituido como el segundo rubro de aporte económico.
2. La visión artificial, es una tecnología que combina computadoras con cámaras de video para adquirir, analizar e interpretar imágenes de una forma equivalente a la inspección visual humana. Estando compuesta básicamente de los siguientes elementos: fuentes de luz, sensor de imagen, tarjeta de captura o adquisición de imágenes, algoritmos, módulo de proceso y sistemas de respuesta.
3. La industria textil en Guatemala tiene muchos problemas, debidos a la repetitividad de los diseños, la baja velocidad de inspección humana y por el metamerismo existente entre la tela y el entorno, debido a estos problemas se hace necesaria la implementación de máquinas con sistemas de visión artificial. Puesto que una máquina no sufre de fatiga muscular y mental, como un operador humano, es mayor el volumen de producción, con las ventajas inherentes a la automatización de un proceso, reducción de coste y mayor velocidad de funcionamiento.
4. Las necesidades de las empresas existentes en Guatemala, son muchas, debido a la gran cantidad de problemas que existen en el proceso de producir telas.

5. Se considera técnicamente viable el uso de técnicas de visión artificial para la inspección del proceso de tisaje y acabados. La viabilidad económica está asegurada por el enorme interés que tienen las empresas en obtener mayor producción a menor costo de elaboración, de forma que su coste estimado no supondría un inconveniente grave para su implantación.

RECOMENDACIONES

1. Conocer el desarrollo tecnológico que este sector ha alcanzado, los cambios que se están generando con los tratados de libre comercio entre los países americanos, la liberación de cuotas a los países asiáticos, las consecuencias, las exigencias, y necesidades, pero, sobre todo, el aporte que como profesional se puede brindar al sector textil.
2. Promover al desarrollo de la automatización en la industria textil basado en técnicas de visión artificial, por medio de nuevos cursos orientados a las diferentes áreas específicas de este tipo de industria.
3. Promover al desarrollo de sistemas de fabricación nacional para así ofrecer a las empresas textileras de Guatemala, asistencia técnica y mantenimiento a precio justo, pues, a menor costo de implementación habrá una mayor inversión en la industria nacional, generándose, así, mayores plazas de trabajo para la población guatemalteca.
4. Darle mantenimiento preventivo a los sistemas cada 2 meses, dependiendo del entorno en el cual se encuentre la máquina, debido a que los sensores y las fuentes de luz, tienen que estar limpios, para, así, evitar falsas alarmas en el proceso de elaboración.
5. Capacitar a los operarios de las máquinas, respecto al uso adecuado de los sistemas con visión artificial.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1.
Comisión del Vestuario y Textiles (VESTEX), <http://www.vestex.com.gt>, consulta en línea, mayo 2006.

2.
Textile & Apparel Summit Speed, **Perfil de la industria guatemalteca**, <http://www.fullpackage.org/servicedet.asp?id=292>, Consulta en línea, mayo 2006.

3.
Banco de Guatemala, Departamento de Estadística Económicas, **Exportaciones realizadas por país comprador**, páginas 224-227.

4.
Constitución Política de la República de Guatemala, artículo 171 inciso a), Decreto 29-89.

BIBLIOGRAFÍA

1. **Automatizazione Industriale SRL**, <http://www.caipo.com>, consulta en línea, junio 2006.
2. **BARCO**, <http://www.barco.com>, consulta en línea junio 2006.
3. Chetverikov, Gede. **Design of image acquisition**, Computer analysis of Images, Hungary, 1999.69pp.
4. Cognivisión Research, **Inspección de bobinas**, <http://www.cognivision.simplenet.com>, consulta en línea, junio 2006.
5. **Diagrama de bloques de tarjeta PYTHON/C6**, <http://www.coreco.com>, consulta en línea, junio 2006.
6. **Evolución de los microprocesadores Intel®**, <http://www.cpuscorecard.com>, consulta en línea, junio 2006.
7. **EVS, Computerized Vision Inspection System**, <http://www.evs.co.il>, consulta en línea, junio 2006.
8. Figueroa, Luis y otros. **Textiles en Centroamérica**, CLACDS-INCAE, 5pp.
9. Fostec. **Especificaciones de fibras ópticas**, catalogo Fostec, México, 2000. 18pp.

10. **Frame grabbers models Matrox.** <http://www.imagingtechnology.com>, consulta en línea, mayo 2006.
11. **Frecuencia de operación de balastos electrónicos.** <http://www.osram.com>, consulta en línea, mayo de 2006.
12. Gong, Arnold. **Image-analysis Techniques**, Journal of textil Institute, England, 1996.49pp.
13. Huart, John. **Integration Of Computer Vision for Quality Control in the Textile Industry**, Spie, Vol. 2183, France, 1999.155pp.
14. ISMV, **Rotary Screen Print Inspection**, www.ismv.ic.ornl.gov, consulta en línea, junio 2006.
15. Itex, **Análisis de la tecnología de visión artificial**, México, 2002.29pp.
16. Matrox 4 SIGTH II, **Características de los DSP**, <http://www.imagingtechnology.com>, consulta en línea, mayo 2006.
17. OPTOTEX, **Sistema OPTOCUTTER 2002**, <http://www.optotex.com>, consulta en línea, junio 2006.
18. ORINTEX, **MAP control**, <http://www.orientex.it>, consulta en línea, junio 2006.
19. **PROTECHNA**, <http://www.protechna.de>, consulta en línea, junio 2006.
20. Sardy, Sar. **Application of neural networks to image inspection using an inexpensive personal computer.** Optical Engineers, Indonesia, 1996.8-9pp.

21. **USTER**, <http://www.uster.com>, consulta en línea junio 2006.
22. Warren, Roberts. **Acknowledgement shape's**, Automatic Machine Vision, Vol.29, Florida, USA, 2001.112pp.
23. Weickert, Joachim. **A Real Time Algorithm using Image-analysis**, Real time Imaging 2000, Texas, USA, 2000.144pp.
24. Yan, Bresee. **Image processing tool to improve machine performance and process control**, International Journal of Science & Technology, Knoxville, USA, 1997.12-16pp.