

VISIÓN POR COMPUTADOR

LESSING ARTURO CÁRDENAS DÍAZ

RINA MARGARITA TIRADO BALLESTAS

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

CARTAGENA D. T. Y C.

2004

VISIÓN POR COMPUTADOR

**LESSING ARTURO CÁRDENAS DÍAZ
RINA MARGARITA TIRADO BALLESTAS**

**Monografía Del Minor De Automatización Industrial Del Programa De
Ingeniería Electrónica.**

Director

Eduardo Gómez Vásquez

Magíster en Ciencias Computacionales

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
CARTAGENA D. T. Y C.**

2004

Nota de aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Cartagena de Indias D.T. y C. 1 de Diciembre 2004

Señores:

Departamento de Investigaciones

Universidad Tecnológica de Bolívar

Cartagena D. T. y C.

Respetados Señores:

Presentamos para su consideración la monografía titulada “**VISION POR COMPUTADOR**” como requisito del modulo del Minor de Automatización Industrial del Programa de Ingeniería Electrónica.

Atentamente,

LESSING CARDENAS DIAZ

RINA TIRADO BALLESTAS

Cartagena de Indias D.T. y C. 1 de Diciembre 2004

Señores:

Departamento de Investigaciones

Universidad Tecnológica de Bolívar

Cartagena D. T. y C.

Respetados Señores:

Tengo el agrado de presentar a su consideración, estudio y aprobación, la monografía con título: “**VISIÓN POR COMPUTADOR**”, desarrollado por los estudiantes Lessing Cárdenas Díaz y Rina Tirado Ballestas.

Al respecto me permito comunicar que he dirigido el citado trabajo, el cual considero de gran importancia y utilidad.

Atentamente,

EDUARDO GÓMEZ

Magíster en Ciencias
Computacionales
Asesor

AUTORIZACIÓN

Cartagena de Indias, D.T.C.H.

Yo **Lessing Arturo Cárdenas Díaz**, identificado con número de cédula 73.198.458 de la ciudad de Cartagena, autorizo a la Universidad Tecnológica de Bolívar para hacer uso de mi trabajo de grado y publicarlo en el catálogo online de la Biblioteca.

Atentamente,

LESSING ARTURO CÁRDENAS DÍAZ

AUTORIZACIÓN

Cartagena de Indias, D.T.C.H.

Yo **Rina Margartita Tirado Ballestas**, identificada con número de cédula 45'550.357 de Cartagena, autorizo a la Universidad Tecnológica de Bolívar para hacer uso de mi trabajo de grado y publicarlo en el catálogo online de la Biblioteca.

Atentamente,

RINA MARGARITA TIRADO BALLESTAS

Dedico este trabajo a mis padres y hermana, quienes con su constante amor y apoyo me han ayudado a alcanzar este logro y a no dejarme vencer por las dificultades.

A mis amigos, quienes han recorrido a mi lado este camino, haciéndolo más sencillo y agradable.

A todos aquellos cuyo tiempo y guía me mantuvieron firme hasta el final

RINA TIRADO

Dedico este trabajo de grado :

A mis padres que han sido y serán mi más grande apoyo, y me han ayudado a formarme para llegar a ser alguien en la vida

A todas aquellas personas que me han acompañado e impulsado a conseguir esta meta

LESSING CARDENAS

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos:

A Dios por habernos dado la vida y todas las oportunidades que nos ha brindado hasta ahora.

A nuestro Director, Ingeniero Eduardo Gómez , quien con su orientación y disposición nos ayudo a realizar este trabajo.

A todos los docentes de la Universidad Tecnológica de Bolívar que fueron nuestros guías durante estos años y nos supieron transmitir sus conocimientos.

A aquellas personas que de alguna forma han estado involucradas con nuestro crecimiento profesional y personal

CONTENIDO

CAP.		PAG.
	INTRODUCCIÓN	17
1.	ANTECEDENTES DE LA VISIÓN POR COMPUTADOR	19
1.1	GÉNESIS DE LOS MODELOS DE PERCEPCIÓN VISUAL	19
1.2	PRIMEROS ENFOQUES DE LA VISIÓN POR COMPUTADOR	25
	1.2.1 Primer Enfoque	26
	1.2.2 Segundo Enfoque	26
	1.2.3 Tercer Enfoque	27
1.3	EL CONCEPTO DE VISIÓN ARTIFICIAL	29
2.	FUNDAMENTOS DE VISIÓN ARTIFICIAL	31
2.1	RAICES DE LA VISIÓN ARTIFICIAL	31
	2.1.1 Procesamiento de Imágenes Digitales	31
	2.1.2 Análisis de Imágenes	34
	2.1.3 Reconocimiento de Patrones	35
2.2	ESTADO DE LA TECNOLOGÍA PARA LA VISIÓN ARTIFICIAL	36
2.3	ALGORITMOS DE ANÁLISIS DE IMÁGENES Y RECONOCIMIENTO DE FORMAS	41

2.3.1	Filtrado o Pre – Procesamiento	41
2.3.2	Segmentación o Aislamiento de los Objetos de Interés	43
2.3.3	Extracción y Selección de Características	45
2.3.4	Reconocimiento de Formas	46
3.	ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL	49
3.1	MANIPULADOR	50
3.2	FUENTES DE LUZ	50
3.2.1	Iluminación Difusa	51
3.2.2	Retro-iluminación	52
3.2.3	Iluminación Direccional	54
3.2.4	Parámetros del Sistema de Iluminación	55
3.3	SENSOR DE IMAGEN	57
3.4	TARJETAS CAPTURADORAS	63
3.5	COMPUTADORES	65
4.	CAMPOS DE ACCIÓN DE LA VISIÓN ARTIFICIAL	69
4.1	FOTOGRAMETRÍA	69
4.2	RECTIFICACIÓN MÉTRICA	69
4.3	RECONSTRUCCIÓN 3D	70

4.4	MATCHING Y TRACKING	72
4.5	COMPUTACIÓN GRÁFICA	73
4.6	ESTIMACIÓN DE MOVIMIENTO	74
4.7	MEDICIÓN O METROLOGÍA	75
4.8	CLASIFICACIÓN	75
4.9	ELEMENTO SENSOR DEL PROCESO	76
4.10	ELEMENTO AUXILIAR DEL PROCESO	76
4.11	SEGURIDAD	77
4.12	MEDIDA DEL COLOR. ESPECTROFOTOMETRÍA	77
4.13	INTERFACES PARA LUPAS Y MICROSCOPIOS	
	ELECTRÓNICOS	77
4.14	ROBÓTICA	78
5.	ESTUDIO DE CASOS	79
5.1	INDUSTRIA TEXTIL	79
	5.1.1 Control de Calidad	79
	5.1.2 Control de Proceso	84
5.2	DETECCIÓN DE LA ORIENTACIÓN DE LA VISTA DEL OJO	
	HUMANO	88

5.2.1	Técnica Basada en el Reflejo de la Luz	90
5.2.2	Mediciones de la Potencia Eléctrica en la piel cerca del Ojo	93
5.2.3	Técnicas Basadas en las Lentes de Contacto	93
5.2.4	Movimiento de los Ojos	94
5.2.5	Aplicabilidad de las Técnicas	96
5.3	VISIÓN ARTIFICIAL EN LOS PROCESOS MINEROS	99
5.3.1	Proceso de Captura de Imágenes	103
5.3.2	Variables de Entorno	104
6.	POTENCIALIDADES DE LA VISIÓN ARTIFICIAL EN LA UTB	106
7.	CONCLUSIÓN	107
	GLOSARIO	109
	BIBLIOGRAFÍA	114

LISTA DE TABLAS

TABLA 1	EVOLUCION DE ALGUNOS PARÁMETROS DE TARJETAS	63
TABLA 2	REQUERIMIENTOS COMPUTACIONALES	66

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	PERSPECTIVA	21
FIGURA 2.	MÁQUINA DE PERSPECTIVA	22
FIGURA 3.	CÁMARA OSCURA	23
FIGURA 4.	ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO	37
FIGURA 5.	ESQUEMA DEL OJO	39
FIGURA 6.	SENSIBILIDAD DEL OJO HUMANO	40
FIGURA 7.	ETAPAS DE UN PROCESO DE RECONOCIMIENTO DE FORMAS	41
FIGURA 8.	TÉCNICAS DE RECONOCIMIENTO	48
FIGURA 9.	SISTEMA DE VISIÓN POR COMPUTADOR	49
FIGURA 10.	MODELO DE ILUMINACIÓN DIFUSA	52
FIGURA 11.	ILUMINACIÓN POSTERIOR DIFUSA	53

FIGURA 12. ILUMINACIÓN POSTERIOR DIRECCIONAL	53
FIGURA 13. ILUMINACIÓN DIRECCIONAL	54
FIGURA 14. IMÁGENES CON CÁMARAS CCD Y CMOS	59
FIGURA 15. IMÁGENES DE DIFERENTE RESOLUCIÓN	60
FIGURA 16. NIVEL DE GRIS	61
FIGURA 17. DIAGRAMA DE UNA CÁMARA LINEAL	62
FIGURA 18. CORRECCIÓN DE PERSPECTIVA	70
FIGURA 19. RECTIFICACIÓN DE LA DISTORSIÓN DE UN LENTE	70
FIGURA 20. SUPERFICIES 3D	71
FIGURA 21 CORRESPONDENCIA EN 3 PUNTOS	72
FIGURA 22 SUPERFICIES 3D	74
FIGURA 23. DEFECTOS DETECTADOS EN VISIÓN ARTIFICIAL	80
FIGURA 24. ITEX – 100 DE EVS	81
FIGURA 25. ITEX – DENIM DE EVS	82
FIGURA 26. SISTEMA PRINT TEX DE EVS	84

FIGURA 27. SISTEMA DE CORTE CASA OPTOTEX	86
FIGURA 28. SISTEMA DE CONTROL DE COLOR SVA	87
FIGURA 29. SISTEMA DE CONTROL EYE OPENER	88
FIGURA 30. CIRCUITO DEL PROCESO DE GRANULOMETRÍA	101
FIGURA 31. SISTEMA DE INSPECCIÓN VISUAL	101
FIGURA 32. SISTEMA DE PREPROCESAMIENTO	105
FIGURA 33. IMAGEN PROCESADA	105

INTRODUCCIÓN

El uso de la visión artificial se está extendiendo cada día más entre los diferentes sectores industriales tanto en proceso de control de producto como en control de proceso. La utilización de esta tecnología y los beneficios que su uso conlleva, se centran principalmente en sectores industriales de metales y de alimentación.

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 lo tanto de una tecnología que combina los computadores con las cámaras de video para adquirir, analizar e interpretar imágenes de una forma equivalente a la inspección visual humana.

Actualmente se aplica en diversos procesos científicos y militares, extendiéndose su uso además, en un amplio rango de sectores industriales para la automatización de tareas anteriormente reservadas para la inspección visual humana. El incremento del uso de sistemas de visión artificial se ha dado ya que una de sus aplicaciones fuertes es la supervisión o inspección, haciendo al sistema más eficiente, porque esta tecnología es más objetiva que una inspección humana.

En este trabajo se presenta una recopilación de información de la visión artificial, desde sus inicios, pasando por el estado de la tecnología, hasta aplicaciones en la actualidad.

Como el trabajo esta dirigido a cualquier persona que desee realizar investigaciones en el área, se encuentra documentado de tal manera que los conceptos sean comprendidos fácilmente.

1. ANTECEDENTES DE LA VISIÓN POR COMPUTADOR

1.1 GÉNESIS DE LOS MODELOS DE PERCEPCIÓN VISUAL

El estudio de los mecanismos de procesamiento y representación de la información visual que percibe un ser vivo se encuentra en los orígenes de la ciencia y la filosofía. Desde la época de los clásicos griegos (Platón y Aristóteles) hasta nuestros días, se han formulado teorías sobre la forma en que el ser humano percibe su realidad exterior y de que manera usa y representa la información captada por sus sentidos.

Los griegos lograron un conocimiento profundo de muchas de las propiedades geométricas de la proyección. Sin embargo, ellos pensaban que la visión era activa, es decir que los ojos emitían partículas al mundo 3D en vez de considerar a los ojos como dispositivos pasivos receptores de luz.

Cabe mencionar dentro de los matemáticos griegos a Euclides, quien en el siglo IV AC ideó la geometría plana. Para Euclides la geometría era concebida como un conjunto de líneas y puntos, independientes de un sistema de coordenadas.

Posteriormente, los pintores italianos del Renacimiento fueron los primeros en entender la formación de las imágenes y fueron pioneros en el estudio de la Geometría para reproducir correctamente los efectos de la perspectiva en las imágenes del mundo que observaban.

La pintura anterior a esta época era *plana*, es decir que no mostraba la diferencia de profundidad en los objetos que se representaban.

La perspectiva fue inventada por Filippo Brunelleschi (1377-1446) alrededor de 1413. Brunelleschi fue un gran arquitecto del Renacimiento Temprano. Artistas como Piero della Francesca (1415-1492), Leonardo Da Vinci (1452-1519) y Albrecht Dürer (1471-1528), los dos primeros italianos y el tercero alemán que viaja a Italia para posteriormente llevar el Renacimiento a Alemania, realizan serios estudios geométricos que se usan hasta el día de hoy. A partir de esta época se empieza a considerar el *punto de fuga*, en el que líneas paralelas que se alejan del observador convergen en un punto.

En la figura 1 se aprecia claramente la profundidad producida por las líneas que convergen en un punto de fuga. De esta manera se le hace creer al observador que está frente a una escena tridimensional.



Figura 1.
Perspectiva

En el siglo XVI se desarrolla la teoría de la perspectiva. Se introducen las *Máquinas de Perspectiva* para ayudar a los pintores a reproducir exactamente la perspectiva sin tener que hacer cálculos matemáticos. Una de estas máquinas es representada en la figura 2 por Albrecht Dürer. En esta figura, el ojo del dibujante se mantiene fijo y un dispositivo es utilizado para materializar la intersección de cada rayo visual con el plano de la imagen.

Las máquinas de la perspectiva pueden ser consideradas como el primer intento de una cámara. Ellas utilizan un plano R (plano de la imagen, ver rejilla en Figura 2) donde se forma la imagen y un punto C (centro óptico, ver ojo del dibujante en Figura 2) que no pertenece a R en el que se intersectan todos los rayos que forman la imagen.

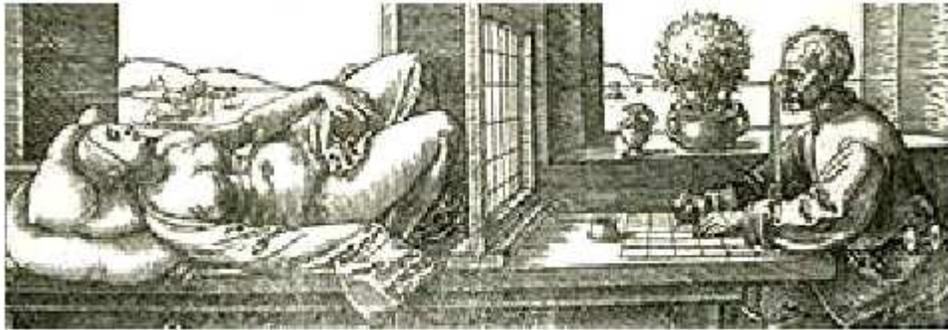


Figura 2.
Máquina de la Perspectiva

En el año 1545 el astrónomo Germina Frisius publica un estudio donde presenta la *cámara oscura*. En la figura 3 se representa un esquema de la cámara oscura. Mediante un orificio muy pequeño, C, en una pared se deja entrar la luz externa que es proyectada en una pared interior de la cámara oscura. El resultado es una imagen invertida del mundo exterior.

A partir de la teoría del plano cartesiano introducida por Descartes (1596- 1650) se empieza a concebir la geometría desde un punto de vista algebraico.

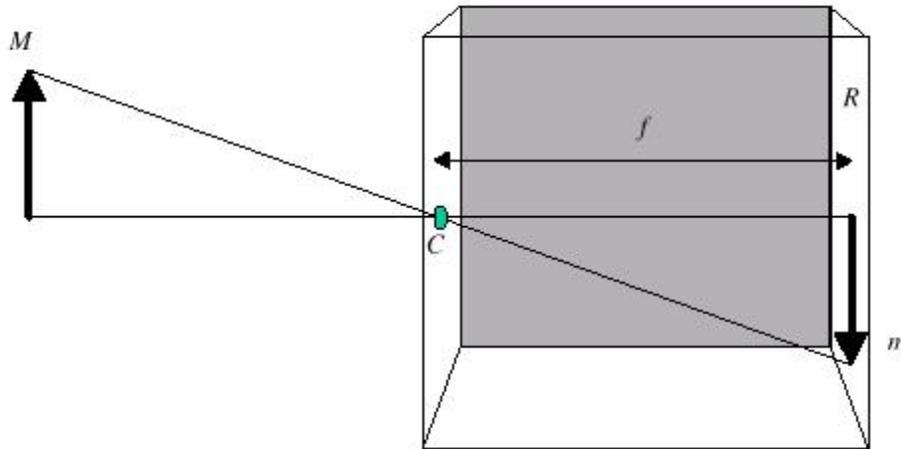


Figura 3. Cámara oscura

Así, las figuras geométricas son descritas como coordenadas y entidades algebraicas.

En el año 1826 el químico francés Niepce (1765-1833) llevó a cabo la primera fotografía, colocando una superficie fotosensible dentro de una cámara oscura para fijar la imagen.

Posteriormente, en 1838 el químico francés Daguerre (1787-1851) hizo el primer proceso fotográfico práctico. Daguerre utilizó una placa fotográfica que era revelada con vapor de mercurio y fijada con trisulfato de sodio. En la actualidad se utilizan cámaras reflex y CCD que emplean lentes para incrementar la potencia de la luz y mejorar el enfoque de la imagen.

Más cercanos en la historia están los estudios de Kepler sobre el análisis geométrico de la formación de la imagen en el ojo, los de Newton sobre visión a color y en este siglo, los de Helmholtz (1910) sobre óptica fisiológica y Wertheimer (1912) sobre el movimiento aparente de agrupaciones de puntos o campos. Estos trabajos, entre otros, han establecido las bases de las actuales teorías de percepción visual¹.

Sin embargo el primer gran paso se dio a principios de este siglo con la aparición de la escuela de psicología de la Gestalt a partir de los trabajos de Wertheimer. Esta escuela estableció que los criterios de tipo generalista tales como similitud, homogeneidad, cercanía, etc, eran suficientes para tratar de explicar las propiedades de los mecanismos psicofísicos de la visión humana.

Pero esta aproximación, con criterios tan globales, se perdió años más tarde al no poder dar respuesta a nuevos interrogantes dentro del proceso de percepción visual.

Hacia los años 50, la reacción que nació del fracaso de las teorías de la Gestalt se orientó en la búsqueda de explicaciones al más bajo nivel celular, lo que originó una nueva corriente de ideas y teorías que, con base en las potencialidades de las neuronas como células individuales, trataron de explicar los mecanismos y las propiedades de la visión humana, entre estas Hubel & Weisel (1962, 1968) y Barlow (1972).

¹ Mery Domingo, Visión por Computador Departamento de Ciencia de la Computación, Universidad Católica de Chile, Santiago de Chile, 17 de Agosto de 2004.

Sin embargo, esta aproximación tampoco pudo dar respuesta a los problemas más profundos acerca de la forma en que nuestro mecanismo visual codifica, representa y reconoce distintos tipos de informaciones espaciales.

1.2 PRIMEROS ENFOQUES DE LA VISIÓN POR COMPUTADOR

Desde la aparición de los primeros computadores digitales, hacia los años sesenta, se observó claramente el gran potencial de estos para el tratamiento de información espacial en campos de aplicación directamente relacionados con el estudio de propiedades del sistema de visión humana.

El primer problema importante que se trató de resolver fue el de la determinación de los saltos o discontinuidades presentes en una imagen.

Pero dada la enorme complejidad mostrada por el sistema de visión humana y como consecuencia del lento avance de la teorías y algoritmos que explicaban su funcionamiento y propiedades, se intentó abordar estos problemas de formas más directas a partir de tres enfoques distintos.

1.2.1 Primer Enfoque

Un primer grupo liderado por las ideas de Azriel Rosenfeld, comenzó el desarrollo de técnicas empíricas basadas en criterios de tipo matemático que aproximaban estos problemas de estimación de bordes y líneas usando distintos criterios. De esta primera aproximación nacieron algunas ideas interesantes como el uso simultáneo de operadores de distinto tamaño, pero tuvo el gran inconveniente de no poder proponer métodos para la evaluación de los distintos algoritmos. Sin embargo, esta aproximación ha seguido su desarrollo hasta nuestros días con notable éxito en algunos casos.

1.2.2 Segundo Enfoque

Dentro de esta segunda dirección, se buscaba profundizar en el problema reduciendo su alcance a un mundo de juguete, es decir un mundo de bloques blancos mate iluminados sobre un fondo negro. Los bloques podían tener cualquier forma, siempre que todas sus superficies fueran planas y todos sus bordes rectos.

Este modelo funcionó razonablemente bien, dando lugar a que trabajos como los de Waltz (1975) y Mackworth (1973) permitieran resolver la interpretación de dibujos lineales calculados a partir de imágenes de prismas sólidos.

Por supuesto que la simplificación impuesta en el modelo se había hecho con la esperanza de que un conocimiento profundo del problema en un mundo simplificado permitiera más tarde extrapolar dichos conocimientos a mundos más complejos. Pero desafortunadamente esto no ocurrió así y hubo que estudiar un nuevo enfoque.

1.2.3 Tercer Enfoque

Dentro de este enfoque, se destacan los trabajos pioneros de Horn (1975, 1977) sobre la formación de la imagen. En ellos, Horn establece modelos de cálculo que expresan la formación de la imagen a través de ecuaciones diferenciales que relacionan los valores de intensidad de la imagen con la geometría de la superficie, tras estudiar con gran detalle el modo en que la iluminación, la geometría, la reflectancia de la superficie y el punto de vista del observador actuaban de forma conjunta para crear los valores de intensidad medidos en la imagen. La ideas bajo esta tercera aproximación fueron: *debe existir un nivel adicional de comprensión en el que el carácter de las tareas de procesamiento de la información llevadas a cabo durante la percepción, se analicen y comprendan de modo independiente a los mecanismos y estructuras particulares que los implementan en nuestros cerebros*².

² BRANCH, John William. OLAGUE, Gustavo. *Visión Por Computador: Una Aproximación al Estado del Arte*. 2001

Aunque el enfoque dado por Horn en sus trabajos era el adecuado para abordar los problemas de cálculo asociados a los mecanismos de visión, quedaba aún por determinar de qué manera se implementaban los distintos modelos de cálculo dentro del sistema de visión humano. En este sentido los trabajos de Julesz (1975) a partir de estereogramas aleatorios, en los que demostraba por ejemplo que los mecanismos de la visión estereoscópica son realizados en la retina en una etapa muy previa del proceso de visión, o que el mecanismo de visión humana tiene la posibilidad de interpretar imágenes en 3D usando solamente las informaciones sobre profundidad, distancia y textura, fueron el impulso para el establecimiento de nuevas **teorías de tipo modular**, en las que se analiza el proceso de visión como *una sucesión de transformaciones que a partir de las imágenes del mundo externo produce una descripción que es útil al observador y no esta ensombrecida por información irrelevante.*³

Un proceso puede concebirse como la proyección de una representación en otra y en el caso de la visión humana no hay duda acerca de la representación inicial: consiste en la distribución de valores de intensidad de imagen detectados por los fotorreceptores de la retina. Queda entonces establecido un hecho básico del estudio de las técnicas de *Visión Artificial* : la necesidad absoluta de contar con modelos de cálculo que expliquen los mecanismos básicos y propiedades de lo que estamos estudiando, y con algoritmos e implementaciones que permitan experimentar la teoría.

³ Marr, 1976; Marr & Nishihara, 1978

Como consecuencia de esto, las técnicas asociadas al estudio de los sistemas de visión artificial son consideradas dentro de la Inteligencia Artificial, en cuanto a que modelizan actividades del cerebro humano.

1.3 EL CONCEPTO DE LA VISIÓN ARTIFICIAL

Para algunos autores, **Visión artificial** equivale a **Visión Por Computador o Computacional**, y se refiere principalmente a la reconstrucción de diferentes propiedades de una escena, tales como campos de movimiento, color, profundidad, etc., a partir de un conjunto de imágenes de la misma.⁴

La Visión Artificial describe la deducción automática de las estructuras y propiedades de un mundo tridimensional, posiblemente dinámico, a partir de una o varias imágenes bidimensionales de él.

Un sistema óptico forma una imagen de un objeto o conjunto de objetos tridimensionales. Este es el propósito de un sistema de visión artificial: obtener de esta imagen la información necesaria y útil para la ejecución de una tarea.

En el caso más simple, la información se refiere solamente a la posición y orientación de un objeto aislado; en otros casos se deben reconocer los objetos y determinar sus relaciones espaciales.

⁴ PÉREZ B, José Ovidio. Visión Artificial. Universidad EAFIT

Uno de los objetivos de la visión por computador es proveer del sentido de la vista a robots, para que estos puedan interactuar de forma más eficiente en ambientes complejos. El modo en que los robots interactúan es tridimensional y dinámico. El mundo real es percibido a través de cámaras que lo modelan utilizando los principios de la geometría.

El dominio de la relación espacial, de la medición del espacio tridimensional, de la propagación de la luz a través del lente y el modelo matemático de formas y tamaños de objetos son los verdaderos fundamentos de esta disciplina.

Los dispositivos tecnológicos pueden cambiar pero, para el científico trabajando en la visión, el éxito sólo será alcanzado a través de la profunda comprensión de los principios de geometría plana de Euclides.

Diversos investigadores plantean la necesidad de darle el status de **ciencia** a la visión, igual que la física o la química (*Faugeras, 1996*). La idea de considerar a la visión artificial como una ciencia se fundamenta en el gran número de problemas que se pueden estudiar desde diversos puntos de vista asociados a un sinnúmero de principios y leyes de diversas áreas del conocimiento.

2. FUNDAMENTOS DE LA VISIÓN ARTIFICIAL

2.1 RAÍCES DE LA VISIÓN ARTIFICIAL

La visión artificial se ha construido, en parte, sobre ideas de tres campos relacionados:

2.1.1 Procesamiento de Imágenes Digitales

A diferencia del estudio de los mecanismos de la visión humana, el procesamiento y análisis de imágenes digitales nacen en el momento en que se dispone de recursos tecnológicos para captar y manipular, en forma de matrices de valores, gran cantidad de información espacial.

Históricamente, la primera vez que se utilizaron las técnicas de procesamiento de imágenes fue en los años veinte, cuando se transmitieron imágenes de fotografías periodísticas a través de cable submarino entre Londres y Nueva York. Esto implicó que el tiempo entre emisión y recepción de las imágenes pasara de una semana (por barco) a tres horas (por cable).

Algunos problemas iniciales para mejorar la calidad de la imagen estaban relacionados con la selección del método de impresión y la distribución de los niveles de gris. Los primeros sistemas, en los 20's, eran capaces de codificar 5 niveles de gris distintos. En 1929 ya se utilizaban 15. Obviamente se estaba en el comienzo de la formación, captación, muestreo, cuantificación, codificación y visualización de imágenes.

Se puede situar el comienzo del procesamiento de imágenes en los años 1950 - 1960, debido a la combinación de dos hechos: por una parte la aparición de los computadores digitales y por otra los Programas Espaciales, fundamentalmente en USA. Como consecuencia de estos hechos aparecen las imágenes como matrices de valores listas para ser procesadas por el computador. El objetivo inicial era mejorar la calidad visual de dichas imágenes, eliminando el ruido en las imágenes transmitidas y/o captadas. Para conseguir este objetivo, se inicia el uso de filtros de medias, filtrado en el dominio de las frecuencias y, posteriormente, filtrado no lineal⁵.

En lo que se refiere a imágenes espaciales, aparece otro problema típico junto con el ruido y es que dichas imágenes aparecen borrosas al observador por diversas razones: el proceso de captación en el espacio, la observación desde la Tierra o un error imposible que ocurrió en 1990 con el pulido del espejo del telescopio Hubble con un aparato defectuoso que fue posteriormente usado para verificar

⁵ BRANCH, John William. OLAGUE, Gustavo. Visión Por Computador: Una Aproximación al Estado del Arte. 2001

que el pulido estaba correcto. De esta manera aparecen los métodos de restauración de imágenes que utilizan filtros inversos, los filtros de Wiener y Kalman y, posteriormente, desde la comunidad de ingeniería eléctrica y electrónica, la regularización. La restauración (de convolución o filtrado inverso) se comenzó a aplicar a las imágenes de las misiones espaciales Ranger, Surveyor y Mariner a mediados de los 60's y los filtros iniciales provenían de filtros eléctricos y análisis de series temporales.

Junto con las técnicas de eliminación de ruido y restauración de imágenes aparecen las llamadas **técnicas de mejora de imágenes**. Aunque tanto la eliminación de ruido como la restauración pueden entenderse como técnicas de mejora, la literatura en procesamiento de imágenes suele incluir dentro de este tópico las técnicas de procesamiento del histograma y de filtrado, en el dominio espacial y en el de las frecuencias (excluyendo o incluyendo la eliminación del ruido) junto con su extensión a imágenes a color.

Dentro del procesamiento también se suele considerar la compresión de imágenes, esto se debe una razón simple: la compresión era, al menos en sus comienzos, una forma de procesamiento orientada a que las imágenes ocuparan menor espacio para transmisión y almacenamiento. Con el paso de tiempo esta utilidad sigue vigente, pero además han surgido otras aplicaciones como la eliminación de artificios en imágenes y video comprimidos, un campo en continua evolución.

2.1.2 Análisis de Imágenes

Este es el proceso mediante el cual a partir de una imagen se obtiene una medición, interpretación o decisión.

Ejemplos de análisis de imágenes abundan en los procesos de control de inspección visual automática, en los que a partir de una imagen se pretende saber si un producto tiene fallas. Otro ejemplo es en el área de la industria de alimentos, en donde se analizan imágenes a color con el fin de detectar grados de calidad o anomalías en los alimentos.

El análisis consiste en cinco etapas :

- **Adquisición de la imagen:** se obtiene la imagen adecuada del objeto de estudio. Dependiendo de la aplicación la imagen puede ser una fotografía, radiografía, termografía, etc.
- **Preprocesamiento:** con el fin de mejorar la calidad de la imagen obtenida se emplean ciertos filtros digitales que eliminan el ruido en la imagen o bien aumentan el contraste.
- **Segmentación:** en esta etapa se identifica el objeto de estudio dentro de la imagen.

- **Medición (extracción de características):** se realiza una medición objetiva de ciertos atributos de interés del objeto de estudio.
- **Interpretación (clasificación):** de acuerdo a los valores obtenidos en las mediciones se lleva a cabo una interpretación del objeto.

2.1.3 Reconocimiento de Patrones

Es la asignación de objetos (patrones) a diferentes clases a partir de mediciones de los objetos. Un **patrón** es una entidad a la que se le puede dar un nombre y que está representada por un conjunto de propiedades medidas y las relaciones entre ellas (*vector de características*).

En el campo de la visión artificial, un ejemplo podría ser una imagen de una cara humana de la cual se extrae el vector de características formado por un conjunto de valores numéricos calculados a partir de la misma.

El análisis de imágenes está estrechamente relacionado con el reconocimiento de patrones ya que en muchas aplicaciones el universo de interpretaciones es un conjunto discreto determinado por clases. El diseño del clasificador se determina en un estudio de casos conocidos. Para casos sencillos basta con determinar correctamente ciertos umbrales de decisión.

Para otros casos es necesario emplear clasificaciones más sofisticadas como las redes neuronales, que son muy útiles en este campo. En este estudio es necesario también determinar cuáles atributos son los que se van a medir, es decir, es necesario conocer en cuáles atributos está la información relevante para poder realizar una clasificación adecuada⁶.

Es necesario resaltar que reconocimiento de patrones no implica necesariamente análisis de imágenes. Existen varias aplicaciones en las que los atributos no se obtienen de imágenes. Sólo los dos últimos pasos del análisis se identifican con el reconocimiento.

2.2 ESTADO DE LA TECNOLOGÍA PARA LA VISIÓN ARTIFICIAL

Para comprender estos sistemas, se necesita noción del proceso natural de visión.

La luz visible es un fenómeno físico por el cual se estimula la respuesta visual del sistema de visión humano. Se trata de una tipo 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 hasta kilómetros.

⁶ MERY, Domingo. Visión por Computador. Universidad Católica de Chile: Santiago de Chile. 17 de Agosto de 2004.

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 nombres 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 350nm hasta los 780nm del espectro electromagnético. (Figura 4)

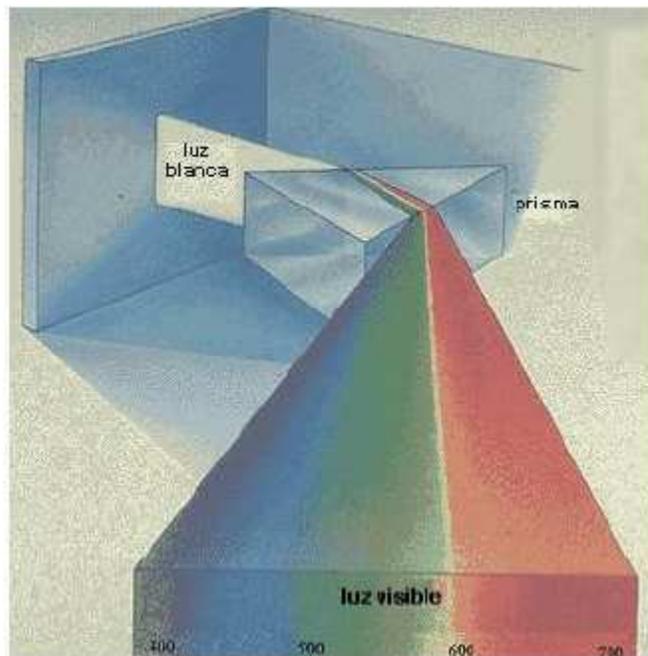


Figura 4. Espectro Electromagnético. Longitud de onda en nanómetros

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.

Cuando se habla de percepción de la imagen, hay que tener en cuenta que ésta se ve afectada por el iluminante ($L(\lambda)$), las propiedades del objeto ($p(\lambda)$) y también por el observador, lo que hace conveniente estudiar brevemente la visión humana pues esta es la referencia con la que se comparan los sistemas de visión. La retina del ojo humano contiene dos tipos de fotorreceptores llamados bastones y conos. Los bastones permiten la visión escotópica, que es la respuesta visual de muy bajo orden de iluminación. Los conos permiten la visión fotópica, que es la respuesta visual de cinco o seis órdenes de magnitud de iluminación. En la zona intermedia de iluminación ambos fotorreceptores están activos y permiten la visión mesópica.

Asumiendo que las imágenes reproducidas en los diferentes visualizadores electrónicos necesitan estar bien iluminadas, el análisis se centra en los conos, que además son también responsables de la visión en color. Estos fotorreceptores (del orden de los 6.5 millones) están empaquetados densamente en el centro de la retina (fóvea) con una densidad del orden de 120 conos por grado de arco subtendido en el campo de visión. Esto corresponde a un espacio de cerca de 2 micras.

La densidad de los conos decrece rápidamente fuera del círculo de 1 grado de área de radio desde la fovea. La pupila del ojo actúa como una apertura. Con luz brillante es del orden de 2mm de diámetro y actúa como un filtro pasa bajo (para los verdes) y con poca luz es del orden de los 8mm de diámetro y actúa como un filtro pasabanda del orden de los 60 ciclos por grado.

La figura 5 muestra el esquema del ojo humano para comprender su configuración.

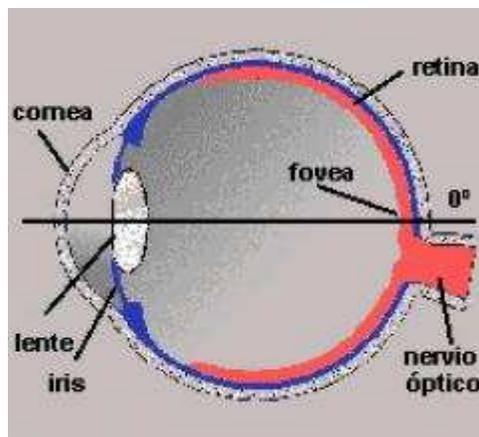


Figura 5. Esquema del Ojo Humano

La luminancia o intensidad de un objeto espacialmente distribuido con una distribución de luz $I(x, y, \lambda)$ 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 forma de campana de Gauss, como se ve en la figura 6, y sus características dependen ya sea de la visión escotópica o de la visión fotópica. La luminancia de un objeto es independiente de las luminancias de los demás objetos 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.

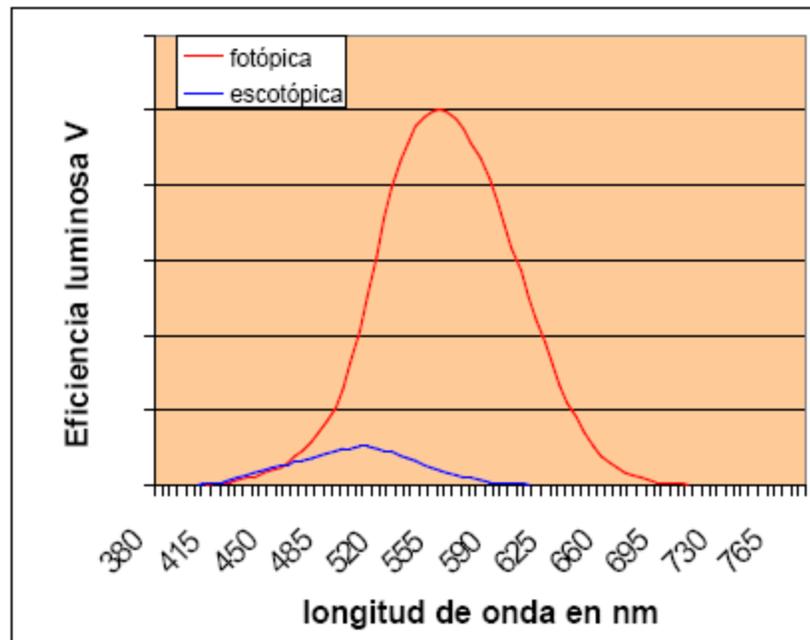


Figura 6. Sensibilidad del Ojo Humano

Ahora es posible dirigir el estudio a los sistemas de visión artificial.

2.3 ALGORITMOS DE ANÁLISIS DE IMÁGENES Y RECONOCIMIENTO DE FORMAS

Los algoritmos relacionados con visión artificial son un campo muy amplio y abarcan numerosas técnicas y objetivos. Para analizarlo es conveniente realizar una división del proceso por etapas, según puede verse en la figura 7.



Figura 7.
Etapas de un Proceso de Reconocimiento de Formas

2.3.1 Filtrado o Pre-procesamiento

Cuando se adquiere una imagen mediante cualquier sistema de captura, generalmente esta no es utilizable por el sistema de visión⁷.

⁷ AITEX. Análisis de la Tecnología de Visión Artificial aplicada al Sector Textil. Instituto Tecnológico Textil. 2002

La aparición de variaciones debidas al ruido, deficiencias en la iluminación o detección de imágenes de bajo contraste, hace necesario un preproceso o filtrado de la imagen con el objetivo fundamental de corregir estos problemas, además de aplicar transformaciones a la imagen que permitan acentuar las características que se desea extraer de ellas, permitiendo así una mayor facilidad en las operaciones de las etapas posteriores. A este campo, pertenecen las técnicas de transformaciones geométricas, las que son basadas en el histograma, el filtrado espacial y el filtrado secuencial.

Aunque existen líneas de investigación abiertas, no es el campo más activo y las técnicas existentes son muy útiles para la mayoría de las aplicaciones actuales.

Algunas de las técnicas más habituales son:

- ♣ **Conversión de Niveles de Gris:** su objetivo es mejorar la calidad de la imagen. Se han desarrollado mediante el empleo de 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 estas transformaciones son la corrección de la perspectiva y la reconstrucción tridimensional de los objetos de la escena.
- ♣ **Transformaciones del Histograma:** las transformaciones del histograma pueden facilitar la segmentación de los objetos de la imagen, aunque habitualmente sólo es útil para modificar el contraste de la imagen y el margen dinámico de los niveles de gris.
- ♣ **Filtrado Espacial y Frecuencial:** debido a que pueden ocasionar una modificación importante de la imagen original, generalmente sólo se consideran filtrados a las operaciones realizadas en el dominio espacial o de la frecuencia que suponen transformaciones pequeñas de la imagen original

2.3.2 Segmentación o Aislamiento de los Objetos de Interés

Cuando se dispone de la imagen capturada y filtrada, se hace necesario aislar o separar los objetos de interés de la escena. Por lo tanto, se pretende dividir una imagen en diferentes regiones, es decir, detectar de forma automática 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 usa para separar regiones pobladas, bosques, etc.; en medicina para aislar zonas enfermas de los órganos; en la industria se usa como primer paso para determinar la correcta disposición de las etiquetas en los envases, entre muchas otras aplicaciones.

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

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

Sin embargo, la segmentación de imágenes es una temática actual de investigación y se han definido diversos 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.

2.3.3 Extracción y Selección de Características

Cuando ya están definidos los objetos que se quieren estudiar, es necesario extraer una serie de medidas que los caractericen de forma adecuada, en forma de vector de características.

En la elección de las características, se debe tener en cuenta⁸ que:

- ♣ Sean discriminantes, es decir, que tengan valores numéricos diferentes para clases diferentes.
- ♣ Sean fiables, es decir, que tengan valores *parecidos* dentro de una misma clase.
- ♣ No estén relacionadas , es decir, que se obtenga la misma información con el mínimo número de características.
- ♣ Se calculen en un tiempo aceptable, de tal forma que sean útiles en problemas de tiempo de real.

⁸ AITEX. Análisis de la Tecnología de Visión Artificial aplicada al Sector Textil. Instituto Tecnológico Textil. 2002

Dado que las características relevantes son, generalmente, desconocidas a priori, se introducen muchas características candidatas para intentar representar mejor las clases, aunque muchas de ellas pueden ser parcial o totalmente redundantes o irrelevantes. Sin embargo, existen técnicas para mejorar los beneficios del conjunto de características escogido inicialmente. Estas están íntimamente ligadas al reconocimiento de formas en su etapa de diseño del clasificador.

2.3.4 Reconocimiento de Formas e Inteligencia Artificial

Normalmente, la visión artificial se usa para tomar decisiones a partir de la información proporcionada por el sistema de adquisición de imágenes y las transformaciones y operaciones realizadas con ellas. La información extraída puede considerarse 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 desea obtener.

En aplicaciones de inspección y, especialmente, 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.

Generalmente se usa el propio clasificador como evaluador del conjunto de características en prueba, dado que es el método que proporciona mayor confiabilidad, aunque sea el más costoso temporalmente y el de menor generalidad o capacidad de aplicación del clasificador a otros problemas. Con respecto a los métodos clásicos de búsqueda secuencial, actualmente uno de los campos de investigación abiertos es el uso de algoritmos genéticos para la selección en paralelo de las características.

En el reconocimiento de formas aplicado a la visión artificial se utilizan técnicas de reconocimiento geométrico de formas, como el aprendizaje supervisado⁹ en condiciones estadísticas o algoritmos de clasificación no supervisados o *clustering* y, además, las redes neuronales, siendo estas últimas especialmente interesantes por su capacidad de aprendizaje adaptativo. Existen numerosos algoritmos para cada una de estas técnicas y se investiga ampliamente el desarrollo de nuevos algoritmos e implementaciones hardware de éstos.

El problema fundamental de estas técnicas radica en que cada una de ellas suele ser la más adecuada para las características no conocidas a priori de un tipo específico de problemas, lo que dificulta la selección de la técnica con la que se desea abordar inicialmente el problema.

⁹ En este tipo de aprendizaje se conoce la clase a la que pertenece cada vector

En la figura 8 se puede apreciar un resumen de las distintas técnicas para reconocimiento de formas geométricas.

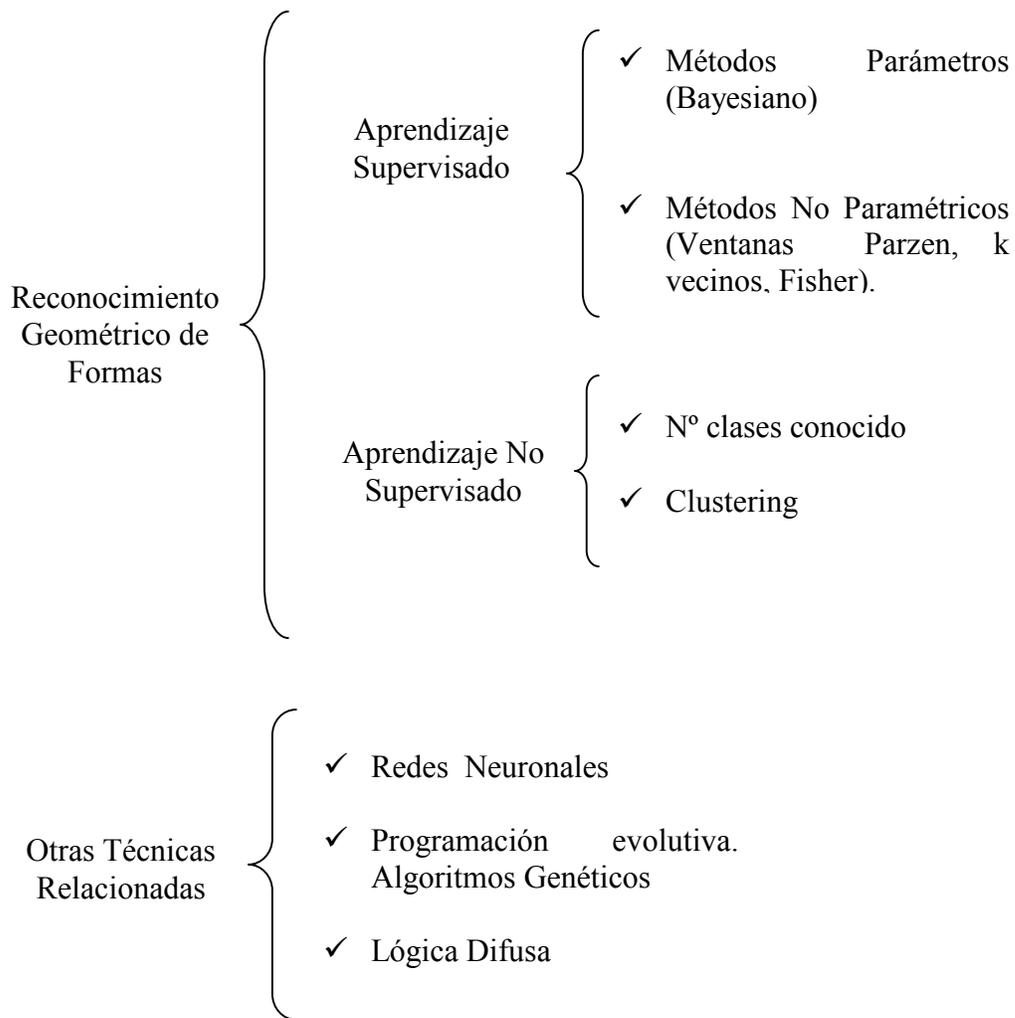


Figura 8
Diversas Técnicas para Reconocimiento de Formas

3. ELEMENTOS DE LOS SISTEMAS DE VISIÓN

Para comprender un sistema de visión por computador, es necesario reconocer sus principales componentes, los cuales se muestran en la siguiente figura:

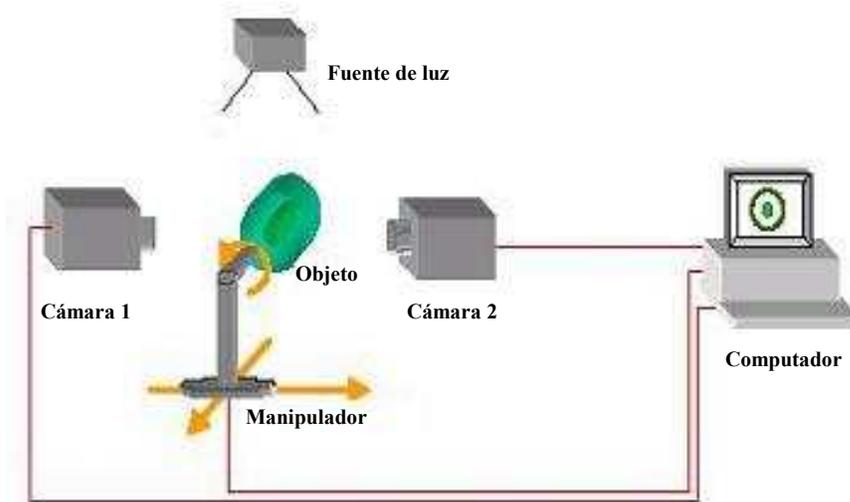


Figura 9. Sistema de Visión por Computador

3.1 EL MANIPULADOR

El manipulador es un aparato que mueve y ubica el objeto de estudio en una posición deseada, sin ser tocado por el ser humano. Un manipulador posee *grados de libertad* que indican los posibles movimientos que puede hacer para mover el objeto. Los grados de libertad pueden ser de traslación y/o rotación¹⁰.

Muchas veces el manipulador se acciona mediante *joysticks*, otras veces por medio de una interfaz con un PLC o computador. El manipulador consta de elementos deslizantes para el movimiento de traslación y de giro con los que lleva cabo la rotación del objeto.

Hay configuraciones en las que el manipulador no mueve al objeto sino a la(s) cámara(s), lo cual es muy ventajoso cuando se trata de analizar objetos muy pesados, ya que mover la(s) cámara(s) requiere de una mecánica más sencilla y económica.

3.2 FUENTES DE LUZ

¹⁰ MERY, Domingo. Visión Por Computador. Universidad Católica de Chile: Santiago de Chile. 17 de Agosto de 2004

Dependiendo del tipo de análisis que se desea hacer del objeto de estudio se debe escoger la energía necesaria para poder tomar una imagen de él.

Los tipos de energía utilizados son: luz (visible) para la fotografía, rayos X y rayos gamma para la radiografía y también para tomografía, ultrasonido para la ecografía, campos magnéticos para la magneto-resonancia, calor para la termografía, etc. En la gran mayoría de casos se utilizan filtros para restringir el espectro de frecuencias de la energía. En el caso de la iluminación es importante analizar si se prefiere luz difusa o directa y también su color (espectro).

La fuente de luz es un aspecto fundamental en los sistemas de visión artificial¹¹ y afecta la complejidad de los algoritmos de visión que se vayan a utilizar bajo estas condiciones. Una iluminación arbitraria del entorno no suele ser aceptable ya que probablemente se obtengan imágenes con bajo contraste, reflexiones especulares, además de sombras y detalles falsos. 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 de filtros.

3.2.1 Iluminación Difusa

La iluminación por medio de luz difusa suele utilizarse para objetos suaves y regulares, y donde la característica de la superficie es un detalle importante que

¹¹ <http://www.dcmsistemas.com/documentacion.html>

debe tener en cuenta el algoritmo de visión. Esta técnica elimina sombras y minimiza los efectos de la reflexión especular.

La difusión de la luz puede conseguirse colocando un cristal difusor entre la luz y el objeto, o reflejando la luz a través de una pantalla blanca.

Para comprender mejor este tipo de iluminación, el esquema se muestra en la figura 10.

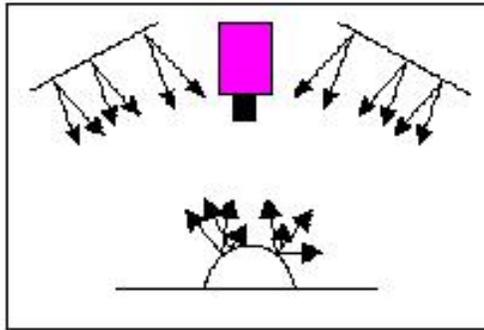


Figura 10. Modelo de Iluminación Difusa

3.2.2 Retro-iluminación

La Retro-iluminación, o iluminación por la parte posterior del objeto, se usa fundamentalmente para aquellas aplicaciones donde lo que es realmente importante para el algoritmo u objetivo del sistema son las siluetas de los objetos a analizar, de tal manera que se puedan extraer fácilmente medidas de las formas de los mismos.

Existen dos técnicas diferentes para obtener este tipo de iluminación: la iluminación posterior difusa coloca el objeto entre el sensor y la fuente de luz, logrando de esta manera que el fondo aparezca totalmente blanco y el objeto se vea negro y que se obtenga una imagen de alto contraste. El esquema utilizado para lograr esta técnica se muestra en a figura 11.

La otra técnica es la iluminación posterior direccional, que es un tipo de luz estructurada cuyo esquema vemos en la figura 12.

Una fuente de luz colimada produce una luz cuya totalidad de rayos viaja paralela entre sí, y se utiliza para obtener sombras nítidas de los objetos situados entre la luz y el sensor.

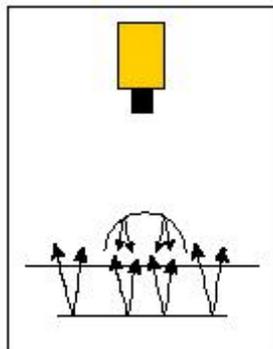


Figura 11.
Iluminación Posterior Difusa

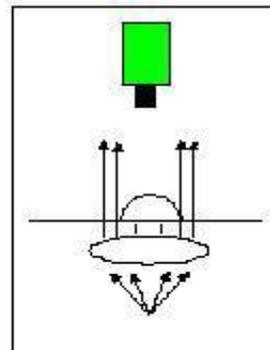


Figura 12.
Iluminación Posterior
Direccional

3.2.3 Iluminación Direccional

La iluminación direccional se ha utilizado para la inspección de la superficie de los objetos. Defectos 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 cámara está ubicada perpendicularmente al plano de la superficie.

En la figura 13 se puede apreciar el esquema de implementación de esta técnica.

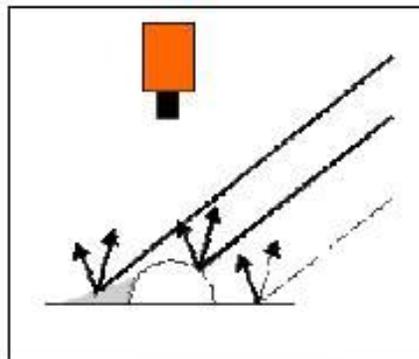


Figura 13. Iluminación Direccional

Los sistemas de iluminación han evolucionado de forma constante en los últimos años para adaptarse a las necesidades del mercado de la visión artificial, que cada vez es más amplio.

La elección del tipo de iluminación a utilizar en cada problema, será función de diferentes aspectos como el área de trabajo y, fundamentalmente, la velocidad y resolución del sistema que determina la calidad de luz necesaria.¹²

3.2.4 Parámetros Del Sistema De Iluminación

Los sistemas de iluminación se clasifican en función del tipo de lámpara que se esté utilizando y del sistema eléctrico o electrónico que ésta requiere para su correcto funcionamiento.

Entre los parámetros fundamentales de estos sistemas 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 y medida en vatios (W).

¹² AITEX Instituto Tecnológico Textil, Análisis de la tecnología de Visión Artificial aplicada a la industria textil, 2002

- ♣ **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.
- ♣ **Ángulo de Radiación α :** Es el ángulo sólido producido por un reflector con el que se dirige la luz.
- ♣ **Intensidad Luminosa I :** Expresada en candelas (cd), es la intensidad del flujo proyectado en una dirección determinada.
- ♣ **Iluminancia 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 (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), con referencia al cuerpo negro de Planck calentado hasta tal punto que emita la misma luz¹³.
- ♣ **Índice de Reproducción Cromática IRC:** Es la capacidad que tiene una fuente luminosa de reproducir los distintos colores del objeto iluminado. El índice máximo (Ra =100) corresponde a la luz “blanca” natural que posee un espectro continuo y completo.

Estos parámetros son muy útiles a la hora de seleccionar el sistema de iluminación más apropiado para la aplicación.¹⁴

3.3 SENSOR 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.

El sensor debe ser sensible a la energía utilizada. Si es luz por ejemplo, sería necesario utilizar algún tipo de elemento fotosensible que transforme los fotones reflejados por el objeto de estudio a alguna señal eléctrica (generalmente voltaje).

¹³ ° K = ° C + 273.

¹⁴ AITEX Instituto Tecnológico Textil, Análisis de la tecnología de Visión Artificial aplicada a la industria textil, 2002

Para el caso de los rayos X estos elementos son muy poco sensibles a los fotones de este espectro por lo que se utiliza entre el objeto y el sensor fotosensible un amplificador de imagen que transforma los rayos X en luz visible¹⁵.

El sensor debe ser bidimensional (o unidimensional en movimiento) para poder captar las dos dimensiones de la imagen. La tecnología más habitual en este tipo de sensores es **CCD** (*Charge Coupled Devices*)¹⁶ donde se integran en un mismo chip los elementos fotosensibles y el conjunto de puertas lógicas y los circuitos de control asociados. En estos CCD, la señal eléctrica que transmiten los fotodiodos es función de la intensidad luminosa que reciben, su espectro y el tiempo de integración¹⁷.

Otra tecnología que está empezando a extenderse son los sensores **CMOS** (*Complementary Metal Oxid Semiconductor*), dadas las ventajas de éstos sobre los CCD y la reducción de precios de estos dispositivos. En cuanto al **rango dinámico**¹⁸ se pasa de los 70dB de los sensores CCD a los 120dB de los sensores CMOS, ya que es un valor más cercano a los 200dB del ojo humano y así se facilita la auto - adaptación en el propio chip al brillo existente en el entorno, como se aprecia en la figura 14.

¹⁵ Existen elementos de estado sólido sensibles a los rayos X, sin embargo el uso del amplificador de imagen resulta tres veces más económico.

¹⁶ Dispositivos De Acoplamiento de Carga

¹⁷ Tiempo durante el cual los fotodiodos son sensibles a la luz incidente

¹⁸ Rango de amplitud entre los valores máximo y mínimo que un elemento puede producir, medido en decibelios

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 mediante la selección del mejor tiempo de exposición de cada píxel.



Figura 14
Imágenes con cámara CCD y CMOS respectivamente

Existen diferentes arquitecturas de sensores. En primer lugar están los **sensores lineales**, en donde el sensor es una línea de fotodiodos. Esta arquitectura permite la utilización de sensores de 1x1024, 1x2048, 1x4096 e incluso 1x6000 píxeles¹⁹, lo que la hace muy adecuada para trabajar con altas resoluciones sobre superficies en movimiento. Para condiciones de iluminación muy exigentes o velocidades de trabajo muy altas, existe la posibilidad del uso de **sensores TDI** (*Time Delay Integrated*). Esta tecnología consiste en el uso de varias líneas de

¹⁹ <http://www2.canalaudiovisual.com/ezine/books/jirimag/1IMAG.htm>
Rodríguez, Hugo. Iniciación a la imagen digital. 2003

captura sobre la misma línea del objeto, con el fin de sumar su carga y obtener así una mayor sensibilidad.

En segundo lugar están los **sensores de área**. Estos alcanzan resoluciones habituales de 1024x1024, aunque existen en el mercado algunas casas que disponen de cámaras especiales con resoluciones de hasta 3072x2048. 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 separados. La tecnología de no entrelazado (progressive scan) captura todas las líneas en el mismo instante de tiempo. Es económicamente más costoso, pero indispensable para trabajar con objetos en movimiento.

En la figura 15 podemos observar la diferencia entre la resolución de dos cámaras.



Figura 15.

Imágenes de 75 y 35 pixeles por pulgada respectivamente: ambas con 256 niveles de gris.

Independientemente de la arquitectura utilizada, existen otros aspectos importantes en estos sensores. La **cuantización** (conversión A/D) determina el número de bits utilizados para representar la información capturada.

Por ejemplo, usando un sistema blanco y negro de 8 bits se tienen 256 niveles diferentes, mientras que usando un sistema de 10 bits, se obtendrían 1024 niveles diferentes de gris, lo que permite una mayor definición.

La figura 16 ilustra un poco esta diferencia.



Figura 16.

Nivel de Gris: izquierda 16 niveles de gris y derecha 8 niveles de gris

La evolución de las capacidades y características técnicas de estos dispositivos, ha seguido una tendencia, potenciada en parte por el mayor uso industrial de estos sistemas. Hoy día se encuentra gran variedad de dispositivos para cualquier tipo de aplicación, ya sea a blanco y negro o color, a las velocidades requeridas en los procesos de producción.

Unos de los avances más significativos que se puede encontrar además del mejoramiento de los puertos de comunicación (más potentes y fiables), es la capacidad de proceso que posee la cámara.

Por ejemplo, la cámara lineal OPSIS 5150ALC (Figura 17) dispone de un FPGA y de un microprocesador Motorola Power PC con sistema Operativo en tiempo real que permite realizar procesamiento de imágenes. De esta manera se puede transmitir la imagen como tal, la imagen preprocesada o los resultados del procesamiento de la imagen a través de los puertos de comunicación de la cámara, con lo que se hace innecesario el uso de tarjetas captadoras²⁰.

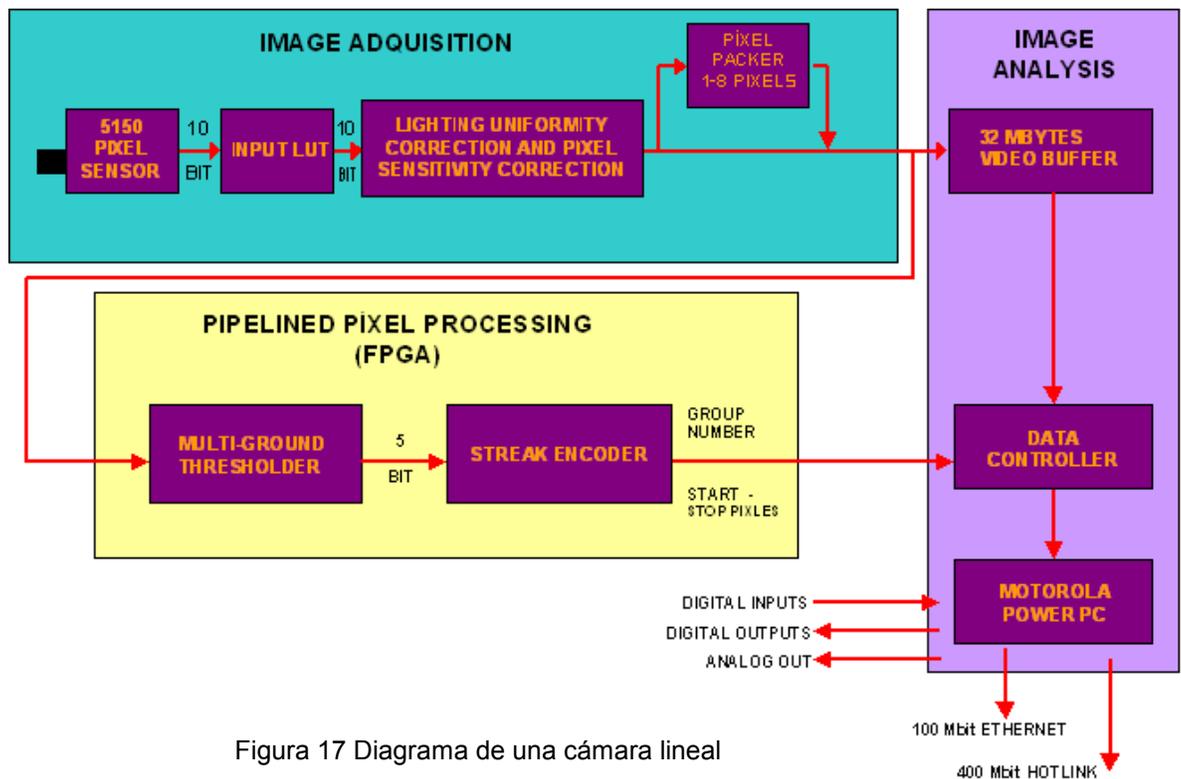


Figura 17 Diagrama de una cámara lineal

²⁰ Para más información sobre cámaras ver <http://www.infaimon.com/catalogo/ciencia/index.htm>

3.4 TARJETAS CAPTURADORAS

Estos dispositivos permiten transferir la imagen procedente de la cámara a la memoria del computador, con el fin de que éste puede realizar el procesamiento de las imágenes. Se pueden observar como características relevantes de la cámara la velocidad de transferencia de su memoria a la memoria del PC, la velocidad de transmisión, el formato de los datos, la profundidad de los píxeles, la capacidad de captura por disparo, la capacidad de preprocesado de la imagen, el reset asíncrono o la capacidad de controlar parámetros de la cámara en tiempo real. El mejoramiento en cuanto a formato de datos, debido a su estandarización, permite un aumento en la velocidad de transferencia, una alta inmunidad al ruido y mayor longitud del cableado²¹. En la tabla 1 podemos comparar las características de las tarjetas capturadoras de imagen.

TABLA Nº1. EVOLUCIÓN DE ALGUNOS PARÁMETROS DE TARJETAS

	Velocidad transferencia cámara - tarjeta	Profundidad de pixel (bits)	Velocidad transferencia tarjeta -ordenador	Formato datos	Control cámara
Datos tarjetas <1999	40 Mhz	8, 16, 24	80 Mbytes/seg.	TTL y RS422	-
Datos tarjetas >1999	80 Mhz. RS 422 160 Mhz EIA	8, 10, 12, 14, 16, 24, 32	132 Mbytes/seg.	RS422 o EIA-644 ⁽¹⁾ IEEE1394	RS 232

²¹ De 2 - 10m a 25m de distancia entre la cámara y la tarjeta

Un aspecto de los más recientes es la posibilidad de *multitap*. Existen tarjetas capaces de trabajar con varias cámaras a la vez (hasta 6 cámaras de 8 bits por píxel), o usar los canales de los que dispone para trabajar con cámaras multitap que transmiten a la vez varios píxeles por cada uno de los canales.

Por ejemplo una tarjeta puede recibir información por un canal de 8bits a 40Mbytes/sec, mientras que si usa 2 canales, la información la puede recibir a 80Mbytes/sec incrementándose de forma proporcional al número de canales, la velocidad de transmisión.

A nivel de capacidad de procesamiento de las tarjetas, se tiene que estas pueden poseer un Procesador Digital de Señales (DSP), que permita realizar determinados algoritmos de análisis de imágenes en la propia memoria de la tarjeta, acelerando la implementación de los algoritmos de visión.

Las empresas que están trabajando en módulos muy especializados en el área de proceso, se han dado cuenta la no rentabilidad del producto debido al rápido crecimiento de la velocidad de los procesadores, incrementando de esta manera el coste del modulo de especializado de la tarjeta.

Otros elementos que poseen las tarjetas, son la integración de la tarjeta capturadora de imágenes, la visualización y el módulo de proceso en un solo elemento.

3.5 COMPUTADORES

El siguiente paso es el computador, pero primero el conversor A/D convierte la señal eléctrica a un código binario que puede ser interpretado por el computador para conformar una imagen digital del objeto de estudio.

El computador juega un papel muy importante en el sistema de visión artificial, ya que él está 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 decir, este dispositivo se encarga 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 de reconocimiento automático de matrículas mediante una cámara de 8 bits y una resolución de 640x480 (307.20 pixeles).

En esta aplicación de reconocimiento se necesita una etapa de filtrado, una binarización que convierta la imagen de 256 niveles de gris a sólo 2, una segmentación que aisle cada carácter de la matrícula y una clasificación. Las operaciones necesarias para esta aplicación serían:

TABLA N°2. REQUERIMIENTOS COMPUTACIONALES

	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

Si se tiene en cuenta que el sistema trabajará en tiempo real, capturando para eso 30 imágenes por segundo, se necesita una capacidad de cálculo de 133'121.940 instrucciones por segundo (133 MIPS).

Teniendo en cuenta que el ejemplo comentado es una aplicación relativamente simple, se observa el alto requerimiento computacional para el uso de estas técnicas.

El campo de los computadores es el que tal vez ha evolucionado de manera más rápida, debido a su uso generalizado en todos los campos, excepto para casos muy concretos.

En consecuencia, la potencia de los procesadores actuales, junto con las arquitecturas hardware y software que soportan los **sistemas multiprocesadores**, permiten el desarrollo de algoritmos complejos con tiempos de respuesta muy cortos y dentro de los requerimientos de las aplicaciones en tiempo real.

Esta evolución no ha significado sólo el incremento de la velocidad del reloj que gobierna al procesador. También ha sido importante el incremento de tamaño de los buses de datos y de direccionamiento, y sobre todo el incremento en el número de transistores, lo que ha permitido la utilización de memorias caché, y la mejora de la arquitectura interna de los procesadores.

Entre las mejoras destacadas se tienen:

- Pipeline: capacidad de separar la ejecución de cada instrucción en varias etapas, lo que permite que varias instrucciones se ejecuten en paralelo.
- Tecnologías de ejecución dinámica: estas permiten una ejecución especulativa superando la secuencia lineal de las instrucciones de búsqueda y ejecución de instrucción.

- Juegos de instrucciones (SIMD) (Single instruction, Múltiple Data): las instrucciones MMX de 64 bits que aparecieron en los primeros MMX permitían un alto paralelismo en la ejecución de instrucciones con tipos de datos multimedia, como son, por ejemplo, la imágenes utilizadas en los sistemas de visión. Esto se traduce en importantes mejoras en los tiempos de ejecución de determinadas operaciones muy utilizadas en los algoritmos de procesamiento de imágenes, como las convoluciones o las transformadas de Fourier.
- Cachés de 2º nivel: estas cachés permiten disponer de memoria para instrucciones y datos dentro de la propia pastilla del procesador, lo que evita los ciclos de acceso a la memoria convencional, incapaz de proporcionar los datos a las velocidades que los procesadores pueden consumirlos.

Para las aplicaciones que tienen requerimientos computacionales muy elevados y requerimientos de tiempo estrictos, la existencia de hardware especializado o, principalmente, el uso de otras arquitecturas paralelas que hagan uso de DSP (Procesador Digital de Señales) o sistemas FPGA's²², aseguran la viabilidad en este sentido de cualquier aplicación de visión artificial, al permitir la utilización de sistemas multiprocesadores con los DSP en paralelo que se necesiten en la aplicación.

²² <http://www.learobotics.com/personal/juan/publicaciones/art1/html/jps.html>

4. CAMPOS DE ACCIÓN DE LA VISIÓN ARTIFICIAL

La visión artificial tiene una gran cantidad de aplicaciones muy útiles en la ciencia, la técnica y la industria. Algunas de estas aplicaciones son:

4.1 FOTOGRAMETRÍA

En la fotogrametría se persigue realizar mediciones del espacio 3D a partir de fotografías tomadas de él. De esta manera es posible medir superficies, construcciones, objetos, etc. Así mismo se puede llevar a cabo una topología de un terreno.

4.2 RECTIFICACIÓN MÉTRICA

Mediante esta técnica es posible hacer correcciones de perspectiva como se ve en la figura 18 y correcciones de distorsión de lente como en la figura 19.

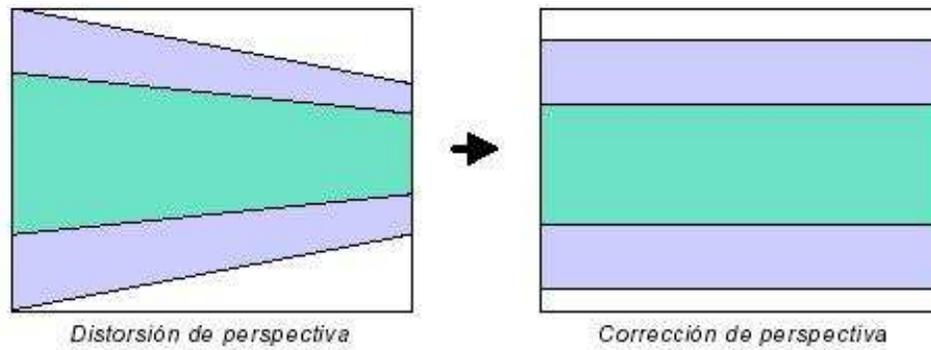


Figura 18. Corrección de Perspectiva

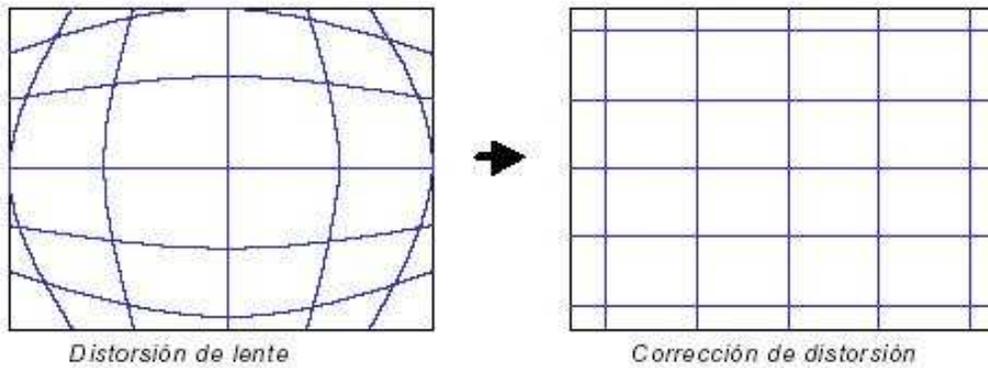


Figura 19. Rectificación de la Distorsión de un Lente

4.3 RECONSTRUCCIÓN 3D

A partir de las vistas, mediante la técnica de triangulación, es posible obtener un modelo 3D del objeto proyectado en las vistas.

El principio de triangulación es mostrado en la figura 20: sabiendo que los puntos A y B son proyecciones de un mismo punto tridimensional Q, es decir A y B son correspondientes, y conociendo los centros ópticos de la proyección C_1 y C_2 , se puede encontrar el punto Q a partir de la intersección entre las dos rectas (C_1, A) y (C_2, B) .

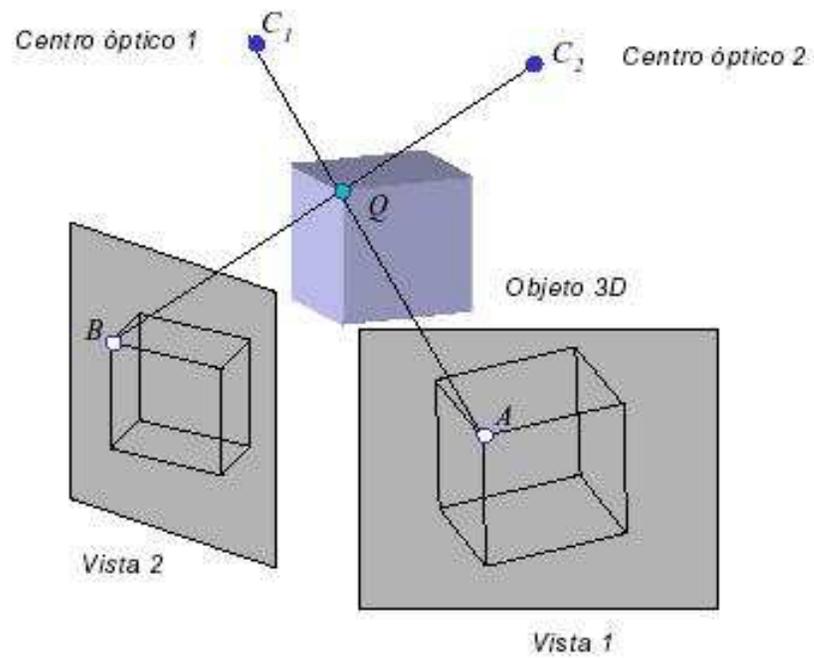


Figura 20. Reconstrucción 3D

4.4 MATCHING Y TRACKING

Por medio del Matching y el Tracking es posible encontrar la correspondencia entre puntos de varias imágenes. Los puntos correspondientes son aquellos que representan una proyección del mismo punto físico en el espacio 3D. En la figura 21 se aprecian tres vistas de una taza tomadas por una cámara fija mediante la rotación del eje central de la taza. Se puede observar que los puntos m_1 , m_2 y m_3 , en las imágenes 1, 2 y 3 respectivamente, son correspondientes entre sí porque son proyecciones del mismo punto m de la taza.

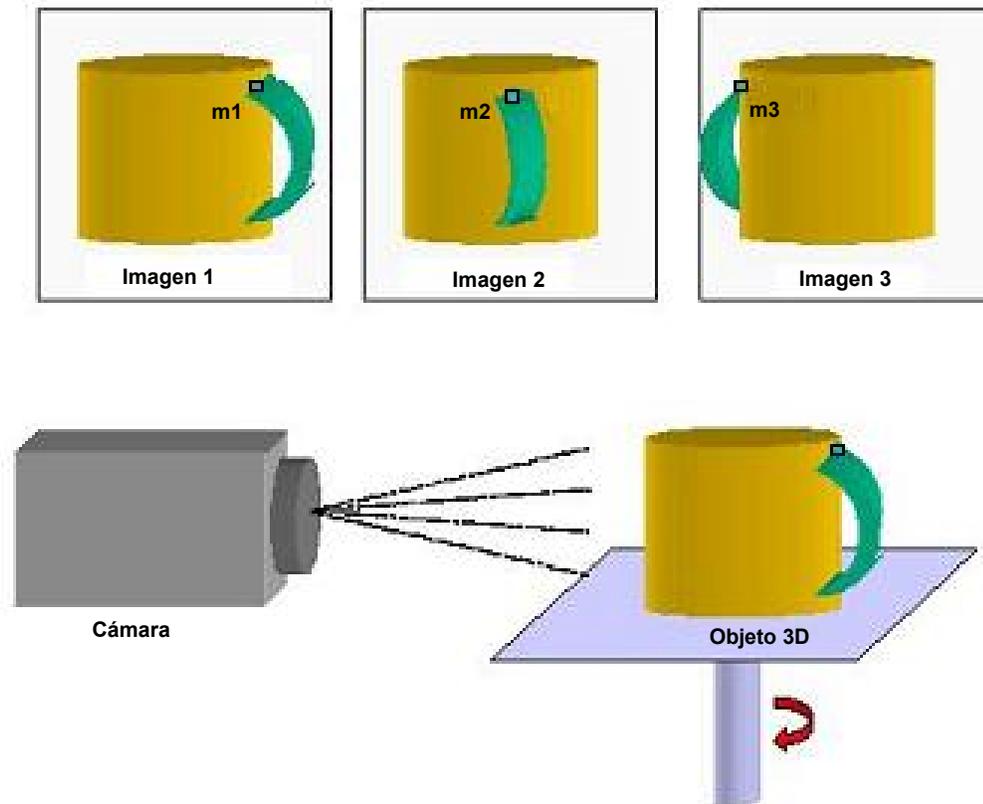


Figura 21 Correspondencia en tres puntos

4.5 COMPUTACIÓN GRÁFICA

Si se tiene un modelo de la formación de la imagen $f : 3D \rightarrow 2D$, es posible entonces simular gráficamente las vistas bidimensionales que se obtendrán de un objeto tridimensional. Las aplicaciones de realidad virtual emplean esta teoría, al igual que la industria cinematográfica y los video juegos.

En otras palabras se puede definir la Computación Gráfica como la generación computacional de imágenes a partir de modelos. En ella se generan imágenes artificiales a partir de modelos geométricos y físicos²³.

Un ejemplo de computación gráfica puede apreciarse en la figura 22.

²³ MERY, Domingo. Visión Por Computador. Universidad Católica de Chile: Santiago de Chile. 17 de Agosto de 2004

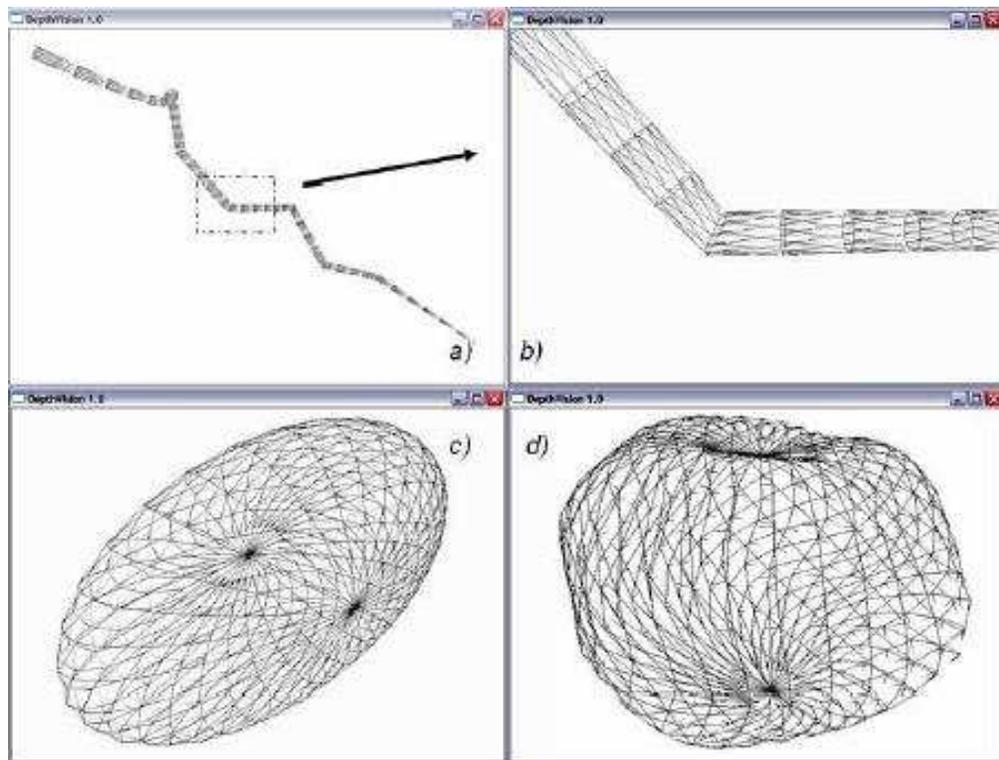


Figura 22

Cuatro ejemplos de construcción de superficies tridimensionales a partir de mallas poligonales.

4.6 ESTIMACIÓN DE MOVIMIENTO

Mediante una cámara que toma imágenes de un objeto en movimiento es posible estimar el movimiento del objeto a partir de los puntos de correspondencia en la secuencia de imágenes.

4.7 MEDICIÓN O METROLOGÍA

Dadas las características de esta tecnología, esta es especialmente adecuada para la obtención y extracción de medidas de precisión 2D y 3D de los objetos de la escena. Las aplicaciones se centran, en este sentido, en todas aquellas en las que sea importante determinada información física (las dimensiones o el color). Por ejemplo, con la realización de fotografías estereoscópicas se puede extraer información topográfica de un terreno, medir las extensiones de terreno dedicadas a determinados cultivos o analizar las dimensiones, geometría y color de piedras preciosas.

4.8 CLASIFICACIÓN

Otra de las aplicaciones más habituales es la automatización de tareas de clasificación y búsqueda. Basándose en medidas físicas, reconocimiento de caracteres, existen aplicaciones para la clasificación de maderas, mármoles, automatización de oficinas postales, clasificación por códigos de barra 2D.

4.9 ELEMENTO SENSOR DEL PROCESO

Existen procesos industriales que se han de monitorizar y controlar a través de diferentes parámetros físicos como la temperatura, presión, medición de niveles, etc.

El control y monitorización de algunos de estos procesos, se puede complementar con sistemas de visión artificial que pueden controlar otros aspectos del proceso como el color y la forma del producto, obteniendo de esta forma un control del proceso más fiable. Un ejemplo de esto es la monitorización y control de la temperatura y tiempo de horneado, basado en la correlación existente entre el color de la corteza y la calidad del pan.

4.10 ELEMENTO AUXILIAR DE PROCESO

En algunos procesos industriales se utilizan estas técnicas en el proceso productivo. La capacidad de interpretación de escenas de la visión artificial (guiado de misiles y determinación de objetivos) ha llevado al desarrollo de sistemas de guiado con múltiples aplicaciones industriales. Una de estas es el guiado de robots para el correcto ensamblaje de las diferentes piezas de un producto en una línea de montaje.

Por ejemplo, en el control de producción de bañeras, el sistema de visión artificial detecta el modelo de bañera entrante, comunicando los datos a los tres robots del proceso de pintura para que se aplique el programa adecuado.

4.11 SEGURIDAD

La capacidad de esta tecnología de detectar personas, pases, huellas dactilares, matrículas, etc., ha hecho que se extienda su uso en este campo. Además, los incrementos en resolución y velocidad en tratamiento de las imágenes permiten a esta tecnología actuar de acuerdo a esta información en tiempo real.

4.12 MEDIDA DEL COLOR. ESPECTROFOTOMETRÍA

El análisis objetivo y en el tiempo real del color de los objetos permite controlar en tiempo real la uniformidad del mismo y detectar problemas de metamerismo, asegurando así la calidad de la producción

4.13 INTERFACES PARA LUPAS Y MICROSCOPIOS ELECTRÓNICOS

Las técnicas de visión se pueden aplicar a estos dispositivos con el fin de facilitar la visión de los objetos bajo estudio, realización de medidas de precisión, generación de bases de datos de imágenes, etc.

4.14 ROBÓTICA

En este campo la visión artificial permitirá al robot guiarse autónomamente por un lugar, el cual cumpla con ciertos parámetros establecidos²⁴. Además la capacidad de aprendizaje de su entorno lo ayudará en su desplazamiento.

Como el área de la robótica es de alta investigación y constante innovación, la visión por computador puede avanzar más rápidamente y desarrollar nuevos conceptos para darle mayor alcance a las aplicaciones.

Los robots con visión artificial tienen gran aplicabilidad en varios campos, ya sea en el militar, en la medicina, en la exploración interplanetaria, entre otras.

Las aplicaciones de la visión artificial pueden clasificarse de acuerdo al objetivo perseguido por el sistema.

Sin embargo, se debe 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 determina si la solución propuesta es rentable y la inversión necesaria se puede amortizar en un período de tiempo razonable.

²⁴ <http://lorca.umh.es/isa/es/assignaturas/rvc/>

5. ESTUDIOS DE CASOS

Como vimos en el capítulo anterior los campos de acción de la visión por computador son bastante amplios. En esta parte se presentan de una forma detallada aplicaciones de la visión artificial, a través del estudio de 3 casos particulares.

5.1 INDUSTRIA TEXTIL

En la industrial textil la visión artificial juega un papel importante en dos áreas:

- Control de Calidad
- Control de Proceso

5.1.1 Control De Calidad

- **Inspección de Empesa (tejidos en crudo, técnicos 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.

			
Nº 33 TIPO <input type="text" value="Gata"/>	Nº 34 TIPO <input type="text" value="Nudo"/>	Nº 35 TIPO <input type="text" value="Nudo"/>	Nº 36 TIPO <input type="text" value="Nudo"/>
Posición x = 105.82 y = 387.56 Tamaño (1.53 x 6.00)	Posición x = 99.68 y = 428.40 Tamaño (0.68 x 3.00)	Posición x = 52.94 y = 443.29 Tamaño (1.02 x 3.00)	Posición x = 74.12 y = 446.97 Tamaño (0.40 x 3.00)

Figura 23. Ejemplos de defectos detectados con visión artificial

Una de las experiencias existentes en la actualidad es:

- EVS (<http://www.evs.co.il>)

Esta casa presenta los productos ITEX – 100 para tejidos en crudo y técnicos, e ITEX – 200 para tejidos tintados. Capaz de detectar defectos con anchos de trabajo de 330 cm a 100m/min. La iluminación es por reflexión y retro-iluminación lo que permite la inspección de tejidos opacos.

- 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. Se guarda el defecto, y se tiene la posibilidad de marcar el defecto, activar una alarma, etc.

- Post – Inspección: Impresión de informes y análisis de los defectos guardados usando el video – álbum.

En la figura 24 se observa una fotografía de este equipo.



Figura 24. ITEX – 100 de EVS

- **Inspección de tejidos Denim**

Se diferencia del tejido a la plana en las propiedades de este tipo de tejido que hace requerir un análisis por texturas. 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 de repasar las dos caras del tejido.

Entre las experiencias actuales se tiene:

- EVS

ITEX – DENIM. 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.



Figura 25. ITEX DENIM de EVS

- USTER (<http://www-uster.com/products/product.htm>)

Resolución de 0.3 mm. Velocidad de hasta 120 m/min, en función de la precisión del defecto mínimo a contabilizar.

El sistema aprende cómo realizar su tarea, pero se debe 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.

- **Estampación**

Las características del proceso de estampación por rotativa la hacen uno de los objetivos más interesante, a pesar de la dificultad técnica, para aplicación de la visión artificial. El hecho de funcionar a velocidades habituales de entre 40 –80 metros por minuto 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 para que las empresas reduzcan el porcentaje de producción recuperable.

A continuación empresas que desarrollan sistemas para trabajarlos en esta área:

- o **EVS**

Detección de defectos en estampación por rotativa. Sistema en tiempo real para la localización y corrección de fallos repetitivos de estampación, con emisión de señas de alarma para la corrección de la causa generadora del defecto.

Características del dispositivo. 70m/mim, posibilidad de marcación por láser de los defectos. En principio es capaz de detectar los defectos: pasta insuficiente, descentrados del dibujo, pelusa y problemas de cola.



FIGURA 26 SISTEMA PRINT TEX DE EVS

5.1.2 Control de Proceso

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 maquinaria.

- **Sistemas guiados por visión Artificial**

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

Estas son máquinas utilizadas para este tipo de trabajo,

- o **CARTES**

LASER 2000. Corte de etiquetas por láser. Velocidad de ajuste hasta 200m/min para áreas de trabajo de 190x190mm o 135x135mm. El guiado del láser por programa de diseño. Utiliza una cámara especial para el chequeo del proceso.

- o **OPTOTEX**

Dispone de sistemas de corte de tejido rachel para la automatización del corte por láser de los orillos de las cortinillas y otros elementos textiles. El sistema alcanza una velocidad de 6 metros por minutos

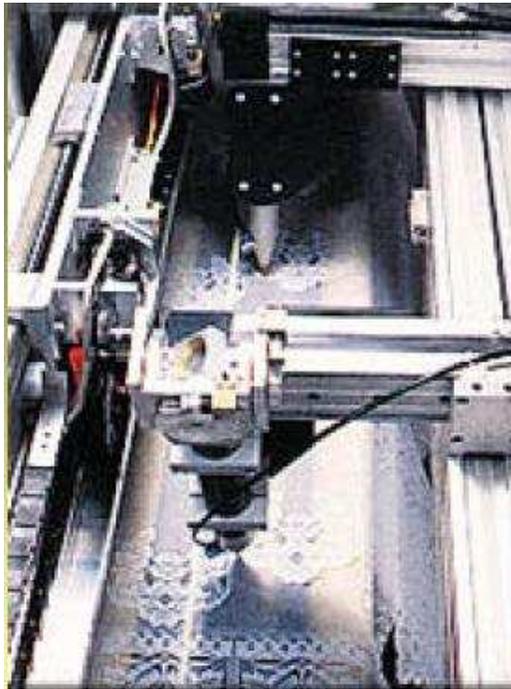


Figura 27 Sistema de Corte de la Casa OPTOTEX

- **Control de Color**

El color en los tejidos es un parámetro de importancia capital²⁵, por lo que, para algunos de sus productos, necesita un control de la variación del color que se produce entre el borde y el centro del tejido, y a lo largo del mismo.

Algunas máquinas utilizadas en el proceso:

²⁵ AITEX. Análisis de la Tecnología de Visión Artificial en el Sector Textil. Instituto Tecnológico Textil 2002

- o EVS

SVA (Shade Variation Analyzer) Este sistema toma medidas de forma repetitiva de lado a lado del tejido y desde el principio al final. Proporciona cálculos estándares CIE (Lab y E). La luz de referencia es seleccionable, a igual que el criterio de decisión

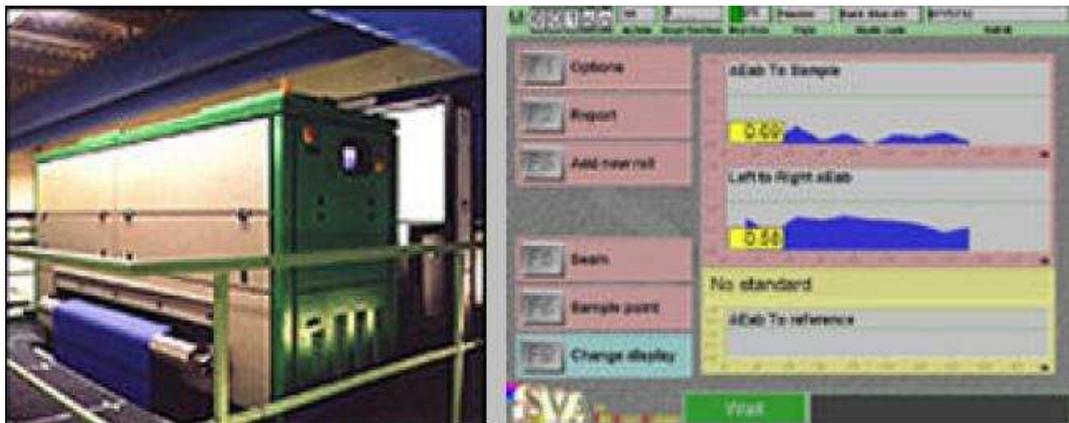


Figura 28 Sistema de Control de Color de la SVA de EVS

- o BARCO

Eye-Opener. Mide la variación de color en el 100% del tejido. No utiliza espectrofotómetros móviles, sino una barra transversal dotada de sensores inspeccionando todo el ancho. Características: Ancho máximo barra sensor 240cm, 5 sensores por cm, distancia del sensor al tejido 5mm, precisión 0.2% , velocidad máxima 120m/min , fuente de luz blanca (CIE-A) 0.1% de estabilidad, etc



Figura 29 Sistema de Control de Color EYE OPENER de BARCO

5.2 DETECCIÓN DE LA ORIENTACIÓN DE LA VISTA DEL OJO HUMANO

La gente usa sus ojos para diferentes propósitos: leer, ver, juntar la información para planear las acciones, percibir y aprender nuevas cosas, evaluar sus acciones, etc. El ser humano utiliza su sistema visual en forma transparente, concentrándose en el proceso de operar los conceptos que lo rodean, dejando el proceso básico de información óptica a los ojos y el sistema visual. El hecho importante es que los ojos pueden observar todo lo que los rodea indicando la dirección del punto de interés²⁶. Esta habilidad fue usada para las técnicas de comunicación entre el hombre y la máquina. Al usar el ojo humano como el medio de interacción se abren nuevos caminos para la tecnología. El usuario podrá

²⁶ Glenstrup, 1995

combinar los dispositivos estándares y sus ojos para ejecutar diferentes tareas. La comunicación entre el usuario y la computadora será más transparente.

En el día de hoy existen diferentes algoritmos para detectar la orientación de la vista. Las características que debe tener un sistema para la detección ideal de la orientación de la vista del ojo humano son:

- Evitar los equipos para la cara y la cabeza del usuario
- No tener ningún contacto con el sujeto
- Ser capaz de estabilizar artificialmente la imagen de la retina
- Tener la exactitud de, por lo menos, algunos minutos del arco. La exactitud es limitada por efectos no lineales, distorsión, ruido, etc.
- Ser capaz de detectar los pequeños cambios de posición del ojo.
- Extender dinámicamente el rango desde 1 minuto hasta 45 para la posición del ojo.
- Buena dinámica temporal y la velocidad de respuesta.
- Tener la respuesta en el tiempo real
- Medir las tres dimensiones de rotación y ser insensible a translación ocular
- Extenderse fácil a grabaciones binoculares
- Poder grabar los movimientos de la cabeza y el cuerpo
- Ser fácil de usar en diversos sujetos

Básicamente existen 3 tipos de detección:

- Medición del reflejo de la luz en el ojo. Normalmente se usa la luz infrarroja para no distraer al usuario y evitar interferencias de otras frecuencias como de la lámpara.
- Medición de la diferencia de potencial de la piel cerca del ojo
- Aplicar las lentes de contacto especiales que faciliten la detección de la posición.

En la técnica uno, el contacto con el usuario es menor que en la tercera. Todas estas técnicas requieren algún tipo de calibración antes de usarlas, y después de alguna recalibración en la hora de usarlas²⁷.

5.2.1 Técnica basada en el reflejo de la luz

Dentro de esta categoría existen 4 técnicas, que se describen a continuación:

- Sendero de Iris: se estima es la frontera entre el blanco del ojo y el iris. Como el primero es normalmente blanco y el segundo es oscuro, es relativamente fácil detectar el movimiento. Esta técnica se basa en la posición y la forma de iris con relación a la cabeza que tiene que estar bien sujeta. Puede detectar precisamente sólo en sentido horizontal.

²⁷ Kuzima T. Y, Investigación e implementación de los algoritmos del campo de visión dinámica por computador, Puebla, 2000

- Sendero de Pupila: es similar a la primera, sólo que ahora se considera la frontera entre la pupila y el iris.. Nuevamente la cabeza tiene que estar bien sujeta. Las ventajas de esta técnica en comparación con la de iris son:
 - La pupila está menos cubierta por los párpados que el iris.. Esto abre el sendero vertical.
 - La frontera de pupila está formada mejor que la del iris. Esto lleva a una resolución más alta.

La desventaja de este método es que el contraste entre la pupila y el iris es más bajo que entre el iris y el blanco del ojo, haciendo la detección de fronteras más difícil.

- Relación de reflexión entre córnea y pupila: cuando la luz ilumina los ojos del usuario, diferentes reflexiones ocurren en las fronteras de pupila y córnea. Las imágenes de este tipo se llaman imágenes de Purkinje. Una de las imágenes se llama fulgor que se obtiene de la luz de la retina. La graban en la cámara que soporta la luz infrarroja, donde se va a ver el punto del centro muy claro y el disco alrededor menos claro.

Cuando el ojo se mueve horizontal o verticalmente, la posición relativa del fulgor y el centro del ojo cambian respectivamente, y así se puede calcular

la dirección de la vista. Los problemas asociados a este tipo de técnica son:

- No siempre se puede obtener la buena imagen del ojo
- El movimiento de la cabeza puede poner la imagen fuera del enfoque de la cámara

En las tres técnicas se podría utilizar el algoritmo SUSAN²⁸ para detectar la orientación de la vista del ojo humano. Como este algoritmo encuentra las esquinas de la imagen utilizando un umbral, su valor se puede poner de tal modo que se detecten los objetos con el nivel de gris necesario.

- Reflexión de Córnea en la Imagen de Ojo usando redes neuronales artificiales (RNA): En esta técnica se digitaliza la imagen de usuario implicando la cabeza completa. La luz estacionaria se coloca frente al usuario y el sistema empieza a buscar el ojo derecho en la imagen por la reflexión del punto más brillante rodeado por la región oscura.

Después se hace la segmentación de imagen y se aplica la RNA. La salida de la red es el conjunto de las coordenadas del monitor según la orientación de la vista. ANN tiene que estar entrenada por las diferentes imágenes de

²⁸ Kuzima T. Y, Investigación e implementación de los algoritmos del campo de visión dinámica por computador, Puebla, 2000

los ojos del usuario y su cabeza. La precisión de resultados de ANN no es tan buena como la de otras técnicas. Podría mejorarse agregando cálculos basados en córnea / pupila y la posición del fulgor de ojo.

5.2.2 Mediciones de la diferencia de potencial de la piel cerca del ojo

Se basa en el hecho que existe el campo electrostático alrededor del ojo. Al grabar las diferencias pequeñas del potencial de la piel la posición del ojo puede ser detectada. Esto se hace con los electrodos ubicados en la piel. No requiere la imagen precisa del ojo. El problema que podría tener esta técnica es el contacto muy cercano del usuario con los electrodos

5.2.3 Técnica basada en las lentes de contacto

Un método que trabaja esta técnica es poner varios planos de la superficie espejada para la lente. La reflexión de los rayos de luz se usa para calcular la posición del ojo.

Otro método sería implantar un material inductivo en la lente. La posición exacta puede ser determinada por la frecuencia alta de los campos electromagnéticos alrededor de la cabeza del usuario

5.2.4 Movimiento de los ojos

Movimientos posibles de un ojo

- **Convergencia** es el movimiento de dos ojos relacionando uno con el otro, lo que asegura la distancia del objeto a los ojos.
Entre más cerca está el objeto, más los ojos apuntan uno al otro. Este movimiento puede ser controlado, pero normalmente es el resultado del estímulo de movimiento.
- **Ondulante de los ojos**, es la rotación alrededor del eje óptico que pasa a través de la pupila. Es el movimiento no controlado y es la influencia del ángulo del cuello, entre las cosas.
- **“Saccades”** son los métodos principales para mover los ojos a diferentes partes de la escena visual, es un movimiento muy rápido. Para iniciar Saccade toma alrededor de 100-300ms, cuando se presenta el estímulo los ojos empiezan a moverse. Después se toma de 30-120ms para completar Saccades. Una vez iniciado el Saccade la ruta y el destino no pueden cambiarse. Esto indica que la atención visual escoge la posición siguiente a dónde van moverse los ojos.

- El movimiento de búsqueda es suave y lento. Actúa para mantener el objeto en movimiento en la vista.
- “Nystagmus” es el patrón de movimientos de los ojos que ocurren como respuesta a la vuelta de cabeza y el movimiento de la vista. Consiste en movimiento suave en una dirección para seguir a una posición de la escena.
- El flujo y micro “Saccades” ocurren durante las fijaciones de ojos y consisten en los flujos lentos seguidos por los Saccades muy pequeños.
- “Nystagmus” Fisiológico es la oscilación de alta frecuencia del ojo que sirve al desplazamiento continuo de la imagen en retina.

Analizando estos movimientos se ve que el sendero de los ojos resultará de los datos que consisten de los movimientos de diferentes orígenes. Esto implica que los datos necesarios tendrán que ser extraídos de todo el conjunto que va a afectar la precisión de los resultados²⁹.

²⁹ Kuzima T. Y, Investigación e implementación de los algoritmos del campo de visión dinámica por computador, Puebla, 2000

5.2.5 Aplicabilidad de las técnicas

Con la posibilidad de controlar una máquina usando los ojos aparece el nuevo tipo de interfaz que no podrá ser más rápido que los dispositivos tradicionales.

El tiempo de respuesta del sistema es :

$$Tr = T_H + T_P + T_K + T_D + T_M + T_R$$

H es mover la mano a diferentes dispositivos

P es apuntar a la posición correcta

K es hacer clic del ratón.

D es dibujar la línea de movimiento

M es para la preparación mental

R es el tiempo de respuesta del sistema

La ventaja principal del ratón es el hecho que se basa en la habilidad humana. Y no es fácil trabajar usando sólo los ojos. Desventajas de esta técnica de usar ratón son:

- No se pueden cerrar los ojos cerca del objeto, ya que podría realizarse una acción en él

- No se pueden realizar movimientos vagos con los ojos por la pantalla.
- La vista del hombre es muy rápida, lo cual dificulta su control..
- Es difícil de apuntar a un área monótona porque los ojos normalmente buscan los objetos que atraen por su contenido de información.

Pero la evidencia empírica muestra que el manejo con los ojos podría resultar más rápido y útil. Por esta razón, los investigadores tratan de encontrar las soluciones posibles al problema.

Ahora existen diferentes software y hardware relacionados con la detección de la orientación de la vista del ojo humano. Una de las herramientas es el dispositivo llamado "Express Eye"³⁰ que es fiable, preciso y capaz de extraer los datos con la resolución alta de tiempo. Enfrente de los ojos hay un detector sostenido por las bandas. El detector puede ser movido en tres dimensiones. La afinación horizontal asegura la posición óptima que se encuentra fácil y rápido. Otra herramienta es el Eye Tech (1999), es un sistema digital que provee el hardware necesario y el software que permite usar los ojos como una alternativa al ratón. El sistema mueve el cursor según el movimiento de los ojos y hace clic con el parpadeo suave o fuerte, o con algún dispositivo.

³⁰ Express Eye, 1999

El sistema puede beneficiar a cualquier persona que no puede operar con las manos o que quiere tenerlas desocupadas.

El sistema de detección de orientación de la vista del ojo humano puede ser muy útil en diferentes situaciones. Un ejemplo que se puede citar es en las fábricas donde puede ocurrir el momento de no tener las manos desocupadas para apretar el botón o una tecla. También este podría ayudar a la gente discapacitada. Los ojos servirían como una alternativa a los dispositivos estándares o un ayudante.

Hoy día se desarrollan varias técnicas para este tipo de aplicación, la cual se puede clasificar en dos grupos:

- Usan contacto estrecho con el usuario
- No usan contacto estrecho.

Las técnicas que utilizan contacto directo con el usuario, han arrojado resultados más precisos, pero estas técnicas no son tan deseables para los usuarios. Y se está trabajando para los métodos en los cuales este contacto no es estrecho arrojen resultados más precisos.

5.3 VISIÓN ARTIFICIAL EN PROCESOS MINEROS

Caso: Medición Granulométrica y Detección de Rocas Grandes

En la industria minera se requieren sofisticados sistemas de control, con el fin de monitorizar y controlar la molienda del mineral como parte de la meta del proceso de extracción. El costo de producción del mineral, se ve afectado por la eficiencia en el proceso de extracción, que se inicia con la tronadura del mineral, para luego dividirse en dos subprocesos: triturado, que consiste en la reducción del tamaño de los fragmentos de rocas, que posteriormente es reducido aún más en tamaño, por el siguiente proceso, conocido como proceso de molienda. En esta fase se consumen grandes cantidades de energía y tiempo, viéndose afectado directamente por el tamaño excesivo de algunas rocas, que son causales de los atollos en la boca de alimentación de los molinos semiautógenos (S.A.G.). Esta dificultad significa detener toda la sección de molienda correspondiente al molino que es afectado, lo que se ve reflejado en la reducción de la producción del mineral.

En la actualidad, la remoción de los fragmentos causantes de los atollos se realiza en forma manual. Por lo tanto, es posible reducir el costo de producción, mediante la detección anticipada de las rocas grandes que ingresan a los molinos. De esta manera se logra una reducción de los costos de parada de los procesos de molienda.

El objetivo fundamental es tratar de reducir al mínimo estos atollos, retirando en forma manual las rocas grandes que puedan ser causantes de atollos desde la correa de ingreso al molino sin que estas lleguen a la boca de alimentación.

Por otro lado, la determinación de la granulometría en forma automática en la industria minera es otro de los problemas fundamentales en los procesos de control de triturado y molienda del mineral, especialmente en aquellas empresas que procesan grandes toneladas de mineral en forma continua, para así tener un mejor control sobre la operación óptima de carga de los molinos semi-autógenos como también de los molinos de bolas. El análisis granulométrico en correas transportadoras es un proceso complejo si se requiere incorporarlo en los sistemas de automatización de control de estos procesos mineros, ya que la correa está moviéndose continuamente para transportar el material mineral a una velocidad constante promedio de 2 metros/segundo. Este análisis hasta al momento se hace mediante técnicas de tratamiento digital de imágenes lo cual implica generalmente un gran consumo de CPU, lo que hace que el requisito de procesamiento digital lleve consigo el uso de tecnología de hardware de muy alto costo con un hardware dedicado. En algunos procesos actuales en la minería existe un sistema medidor de granulometría, llamado Piedrómetro, el cual realiza la medición mediante un batch de imágenes de un conjunto de marcos. El tipo de estadística realizada por este instrumento es más bien fuera de línea, aunque lo hace periódicamente pero no es un proceso de tiempo real.

Las grandes empresas mineras de la Región en el Norte Grande de Chile³¹, en su proceso de molienda, cuentan con uno o más molinos S.A.G. alimentados por correspondientes correas transportadoras capaces de llevar hasta 1800 ton / hora de mineral, como se muestra en la figura 30. El atollo , consiste en la acumulación de exceso de mineral en la boca de alimentación del molino S.A.G., identificado como uno de los puntos críticos de mayor incidencia de este tipo de eventos. Un atollo obliga a la detención de todo el sistema ligado al molino afectado: alimentador, correa, molino, descarga, harnero y reciclado, con la consiguiente pérdida de producción.³²

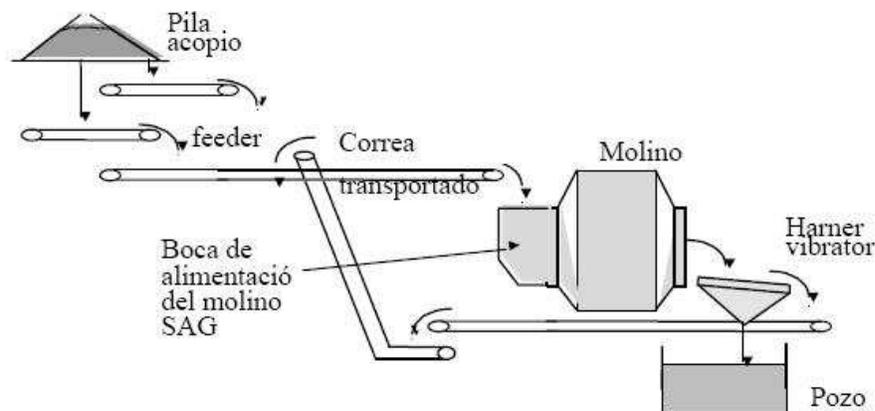


Figura 30 Circuito Proceso de Granulometría

³¹ Esta aplicación está dirigida al sector minero de Chile

³² Los cuadros estadísticos en la empresa minera de Codelco (Chile) muestran que el atollo en la boca de alimentación produce una detención media de 75 minutos mensuales y es el elemento de mayor incidencia en la parada de molino

La evaluación de fragmentación de rocas es muy importante en la industria minera y sus tres aspectos básicos son:

- La operación eficiente de los molinos en cuanto a consumo energético, depende en parte de la distribución granulométrica del mineral de alimentación
- El control granulométrico permite asegurar una mejor recuperación de fino, optimizando el rendimiento del proceso.
- En unidades de acopio, la granulometría incide en la estabilidad de las pendientes del material sobre las paredes del silo, que son importantes para mantener una alimentación uniforme.

De esta manera la medición de la distribución granulométrica del material resulta en beneficios cuantificables para el proceso minero. La posibilidad de medición normalmente se asocia con el proceso de control. En estos casos resulta viable un sistema de control con prealimentación que maneje la distribución granulométrica para optimizar la operación de los molinos.

5.3.1 Proceso de captura de imágenes

La visión por computador en la inspección industrial esta siendo utilizada en varias aplicaciones.

En minería, es posible monitorizar la dimensión de los fragmentos de roca en el proceso de tamizado, mediante un sistema de inspección visual automatizado. Para esto se necesita una estrategia que realice una medición en tiempo real de las imágenes , identificando los tamaños del mineral en la correa transportadora que alimenta al molino. De esta manera, es posible lograr la clasificación de sus tamaños y remover las rocas que pueden ser causales de un posible atollo. El instrumento en sí, fundamentalmente la cámara de video, es instalada en el riguroso ambiente de la planta minera posicionada sobre la correa transportadora que lleva el mineral hacia el molino (ver figura 31)

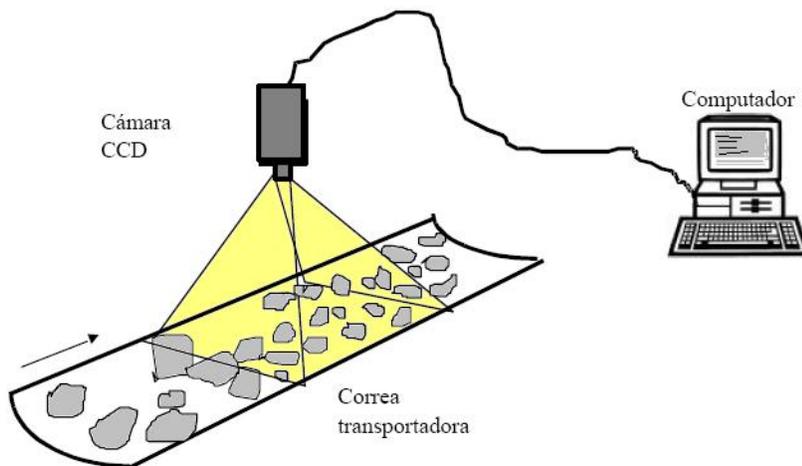


Figura 31 Sistema de inspección Visual

5.3.2 Variables del entorno

El proceso de detección de rocas grandes en las correas transportadoras y la determinación de granulometría debe tener un tiempo de respuesta compatible con los requisitos de los procesos en línea del material. Si se considera que la correa se mueve a una velocidad de 2m/s y que la imagen captada por la cámara de video cubre una superficie de 1m, entonces se necesita muestrear al menos cada 0.5 segundos³³. Sin embargo debido a que ciertos fragmentos de roca aparecerán entrelazados con imágenes consecutivas, es necesario disminuir el tiempo de muestreo a 0.25 segundos, lo que equivale a cuatro cuadros (frame) por segundos.

El sistema se inicia con la captura de la imagen mediante una cámara CCD, la cual toma las imágenes de roca, montada sobre la correa transportadora; una memoria gráfica en el PC recupera, en formato de imagen digitalizada, el marco o cuadro obtenido por la cámara CCD, siendo estas las imágenes a ser preprocesadas.

Los requisitos del sistema son:

- Las imágenes digitalizadas o binarizadas, no pueden omitir rocas de tamaño superior a 50 cm.
- No debe crear rocas falsas, que puedan dificultar la detección posterior.

³³ PON SOTO, Carlos. CHAIT BOLLO, Marcos. Visión Artificial en la Minería con Redes Neuronales. Universidad Católica del Norte: Chile.

- En lo posible, eliminar el material de partículas finas, inferiores a 1 cm, que no representa material información relevante a la etapa posterior.

De esta manera, el resultado son imágenes filtradas y binarizadas, que sirven como entradas a las etapas posteriores basadas en redes neuronales, donde se realiza la clasificación de la roca, para su tamizado y detección de rocas grandes.

El diagrama del proceso está en la figura 32

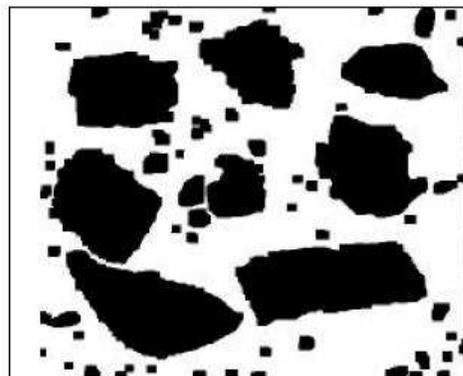


Figura 32 Sistema de Pre-procesamiento

Una imagen que se obtiene durante este proceso puede apreciarse en la figura 33



a)



b)

Figura 33 a) Imagen obtenida por la cámara con buena iluminación b) Imagen procesada por el computador

6. POTENCIALIDADES DE LA VISIÓN POR COMPUTADOR EN LA UTB

La Visión Artificial es una tecnología bastante útil para aplicaciones de inspección que son propensas a errores inherentes a los humanos. Además, en la robótica esta tecnología permite dotar a los robots del sentido de la vista para que sean capaces de interactuar más adecuadamente con el ambiente.

Estos alcances de la visión artificial pueden ser aprovechados en la universidad para realizar trabajos investigativos que conlleven al desarrollo de diseños e implementación de prototipos, tanto para conformar una base de datos actualizada que beneficie a los futuros profesionales como para buscar soluciones para la industria local en materia de seguridad y control de calidad, ubicándonos como un apoyo en sus procesos y abriendo las puertas para futuros trabajos.

A corto plazo, estos trabajos ayudarán al desarrollo de prácticas de laboratorio para afianzar los conocimientos adquiridos en las clases y de esta manera instruir a los estudiantes en esta tecnología. Todo esto le permite a los estudiantes adquirir habilidad en el manejo de estos conceptos y los motiva a seguir desarrollando este tipo de investigaciones.

7. CONCLUSIÓN

Los sistemas de visión artificial son unos de los últimos y más útiles avances en la automatización de procesos, dirigida a actividades de inspección y monitoreo de producción.

Por todas estas razones es conveniente tener un conocimiento apropiado de estas nuevas técnicas, toda vez que permite estar a la vanguardia de la innovación tecnológica y al mismo tiempo aporta innumerables beneficios a los procesos sobre los cuales trabaja. Por ejemplo, estos sistemas pueden tomar el lugar de los operarios en procesos fatigosos o difíciles de realizar, aliviando la carga para estos y realizando el trabajo de forma más eficiente, y de esta forma optimizar los procesos tanto física como económicamente.

Los sistemas de visión artificial también permiten llevar una estadística sobre los errores que detectan, cuando se utilizan en la industria, y de esta manera ayudan a su prevención o erradicación.

La visión artificial trae consigo una serie de características que le permiten tener un gran campo de aplicación, por ejemplo en la medicina, la robótica y los sistemas de seguridad. La visión artificial esta diseñada para hacer un tratamiento muy específico sobre las imágenes para luego dependiendo de la aplicación hacer control o cualquier otra operación de respuesta.

La aplicación en el área de minería puede convertirse en un campo fuerte debido a que en Colombia se encuentran gran variedad de minas, cuyos procesos de producción pueden verse muy beneficiados con la implementación de sistemas con esta tecnología.

La visión artificial es muy ventajosa para aplicaciones en las cuales la objetividad humana puede fallar y debido a su variedad de campos de aplicación, en la universidad se pueden realizar trabajos de investigación para profundizar en un área y de esta manera sentar las bases para diseños de prototipos que pueden implementarse para optimizar procesos en la industria local, en campos como la seguridad y la inspección de procesos para control de calidad.

GLOSARIO

Asíncrono: Se dice del proceso o del efecto que no ocurre en completa correspondencia temporal con otro proceso u otra causa.

Codificar: Transformar mediante las reglas de un código la formulación de un mensaje.

Convolución: En matemáticas y en particular en Análisis funcional, una convolución es un operador matemático que transforma dos funciones f y g en una tercera función que en cierto sentido representa la magnitud en la que se "traslapan", se sobreponen, f y una versión trasladada y revertida de g . Una convolución es un tipo de cierto promedio en movimiento. Se denomina convolución a una función, que de forma lineal y continua, transforma una señal de entrada en una nueva señal de salida

Decibelios: La décima parte de un Bel, expresa siempre una relación de potencia, intensidad y se suele usar para ver la amplificación o atenuación.

Difuso: Vago, impreciso.

Dinámico: Perteneiente o relativo a la fuerza cuando produce movimiento.

Espectro Electromagnético o Luminoso: Banda matizada de los colores del iris, que resulta de la descomposición de la luz blanca a través de un prisma o de otro cuerpo refractor.

Estereograma: Diagrama que representa un objeto o un conjunto de variables en tres dimensiones, produciendo una sensación de relieve.

Extrapolar: Aplicar conclusiones obtenidas en un campo a otro.

Fotones: El fotón es una partícula cuya carga y masa en reposo son nulas y que se mueve continuamente a la velocidad de la luz. Una luz muy intensa es aquella que posee muchos fotones; una luz muy energética es la que posee fotones de gran energía.

Fotorreceptor: Sensor que recibe y traduce la sensaciones luminosas

Fóvea: Porción pequeña de la retina de los primates, carente de bastones y con gran cantidad de conos, que constituye el punto de máxima agudeza visual.

Grado de Arco: Cada una de las 360 partes iguales, a veces 400, en que puede dividirse la circunferencia. Se emplea también para medir los arcos de los ángulos.

Histograma: Representación gráfica de una distribución de frecuencias por medio de rectángulos, cuyas anchuras representan intervalos de la clasificación y cuyas alturas representan las correspondientes frecuencias.

Longitud de Onda: Distancia entre dos puntos correspondientes a una misma fase en dos ondas consecutivas.

Luz Colimada: Haz de rayos paralelos a partir de un foco luminoso.

Mate: Amortiguado, sin brillo.

Modular: Modificar los factores que intervienen en un proceso para obtener distintos resultados

Muestreo: Es la medida, a intervalos de tiempo iguales, de la amplitud de una forma de onda que varía (en orden de convertirla a una forma digital).

Nanómetro: es la mil millonésima parte de un metro, o millonésima parte de un milímetro. (1×10^{-9} m)

Percepción Visual: es un proceso activo mediante el cual el cerebro transforma la información lumínica que capta el ojo en una recreación de la realidad externa o copia de ella, que es personal, basada en programas genéticamente determinados y que adquiere una tonalidad emocional única.

Perspectiva: Modo de representar en una superficie los objetos, de manera que aparezcan en la forma y disposición en que se muestran a la vista de la realidad.

Plano Cartesiano: plano que está determinado por dos rectas perpendiculares llamadas ejes de coordenadas y que lo divide en 4 cuadrantes.

Redes Neuronales Artificiales: conjunto de circuitos eléctricos que realizan la suma ponderada de las diferentes señales que reciben de otras unidades iguales y producen en la salida un uno o un cero, según el resultado de la suma con relación al umbral o nivel de disparo, emulando a las neuronas biológicas.

Reflectancia: la cantidad de radiación reflejada

Reflexión: cambio de dirección de las ondas cuando en un movimiento ondulatorio, estas encuentran un obstáculo que impide su propagación y no absorbe su energía.

Reset: restablecer los valores iniciales de un dispositivo

Restauración de imágenes: procesos encaminados a la mejora del aspecto visual de una imagen, utilizando para ello diversas técnicas de copiado, filtrado, etc., y todas las posibilidades que brinda la tecnología informática para el tratamiento de imágenes.

Umbral de Decisión: valor fijo de la cantidad de decisión que se decide, cuando se ve excedido por el resultado de una medición real que cuantifica un efecto físico, que dicho efecto físico sí se da.

BIBLIOGRAFÍA

- ✓ Pajares Gonzalo. Visión por Computador Imágenes Digitales y Aplicaciones. Alfa Omega Grupo Editor S.A. 1ra edición
- ✓ MERY Domingo, Visión por Computador Departamento de Ciencia de la Computación, Universidad Católica de Chile, Santiago de Chile, 17 de Agosto de 2004.
- ✓ Kuzima T. Y, Investigación e implementación de los algoritmos del campo de visión dinámica por computador, Puebla, 2000
- ✓ AITEX Instituto Tecnológico Textil, Análisis de la tecnología de Visión Artificial aplicada a la industria textil, 2002
- ✓ PON SOTO, Carlos. CHAIT BOLLO, Marcos. Visión Artificial con Redes Neuronales aplicada a la Minería. Universidad Católica de Chile, capítulo 4.
- ✓ BRANCH, John William. OLAGUE, Gustavo. La Visión Por Computador: Una Aproximación al Estado del Arte. 2001

Consultas en Internet:

<http://www.etsimo.uniovi.es/vision/intro/node3.html>

<http://www.uc3m.es/uc3m/dpto/IN/dpin04/vision.html>