



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO.**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
ARAGÓN.**

**“SISTEMAS DE VISIÓN ARTIFICIAL,  
APLICADOS AL CONTROL DE CALIDAD EN  
LA MANUFACTURA NACIONAL”.**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE :  
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICO  
(AREA INDUSTRIAL)**

**P R E S E N T A :  
JOSÉ LUIS ESPINOZA RAMÍREZ**

**DIRIGIDA POR:**

**DR. JOSÉ JAVIER CERVANTES CABELLO.**



EDO. DE MÉXICO

NOVIEMBRE 2006

FES Aragón



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## CONTENIDO.

---

Objetivo.	vi
Planteamiento del problema.	viii
Introducción.	x

---

<b>PARTE I. Conceptos Básicos y terminología.</b>	<b>1</b>
1.-INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS DE MEDICIÓN	2
1.1 <i>Conceptos Básicos.</i>	2
1.1.1 <i>Magnitud y Medición.</i>	2
1.1.2 <i>Señal.</i>	3
1.1.2.1 <i>Tipos de señales.</i>	3
1.1.2.2 <i>Amplificador de señales.</i>	4
2.- SENSORES, TRANSDUCTORES Y DETECTORES.	5
2.1 <i>Sensores.</i>	5
2.1.1 <i>Características Ideales de los sensores.</i>	5
2.1.1.1 <i>Exactitud y Precisión.</i>	5
2.1.1.2 <i>Velocidad de Respuesta.</i>	6
2.1.1.3 <i>Calibración.</i>	6
2.1.1.4 <i>Rango de Funcionamiento.</i>	6
2.1.1.5 <i>Confiabledad.</i>	6
2.1.1.6 <i>Costo y Facilidad de Operación.</i>	6
2.2 <i>Transductores</i>	7
2.2.1 <i>Características Estáticas y Dinámicas.</i>	8
2.2.1.1 <i>Características Estáticas.</i>	8
2.2.1.2 <i>Características Dinámicas.</i>	9
2.3 <i>Detectores.</i>	10
2.3.1 <i>Detectores Pasivos y Activos.</i>	10
2.3.2 <i>Clasificación según la magnitud física a detectar.</i>	11
3.- SISTEMAS DE CONTROL.	15
3.1 <i>Sistemas de Medición</i>	15
3.2 <i>Sistemas de control.</i>	16
3.2.1 <i>Sistemas de Control en Lazo Abierto.</i>	17
3.2.2 <i>Sistemas de Control en Lazo Cerrado.</i>	17
3.2.2.1 <i>Elementos básicos de un Sistema en lazo cerrado.</i>	18

---

<b>PARTE II. Introducción y definición del concepto de Inspección Visual Inteligente, en los ambientes Industriales</b>	<b>21</b>
4.- VISIÓN ARTIFICIAL.	22
4.1 <i>Visión Artificial.</i>	22
4.1.1 <i>Visión humana v.s. Visión por máquina.</i>	22
4.1.2 <i>Fundamentos de la Visión Artificial.</i>	23
5.- CONTROL DE CALIDAD.	25
5.1 <i>Introducción.</i>	25
5.2 <i>¿Qué es Calidad?.</i>	25

5.2.1	<i>¿Qué es un Sistema de Calidad?</i>	26
5.2.2	<i>Filosofía de la Calidad.</i>	26
5.2.3	<i>Herramientas estadísticas aplicadas al control de calidad.</i>	27
5.2.3.1	<i>Control estadístico de procesos.</i>	27
5.3	<i>Inspección</i>	27
5.3.1	<i>Inspección por muestreo.</i>	29
5.3.1.1	<i>Ventajas de la inspección por muestreo.</i>	30
5.3.1.2	<i>Desventajas de la inspección por muestreo.</i>	31
5.3.1.3	<i>Muestreo aleatorio</i>	31
5.3.1.4	<i>Planes de muestreo.</i>	31
5.3.1.5	<i>Unidad de muestreo.</i>	31
5.3.1.6	<i>Determinación de la cantidad de unidades que va a componer la muestra.</i>	32
5.4	<i>Conclusiones.</i>	32
6.-	<b>LOS SISTEMAS DE VISIÓN ARTIFICIAL EN LOS PROCESOS INDUSTRIALES.</b>	33
6.1	<i>Introducción.</i>	33
6.2	<i>Solución al problema de la Inspección.</i>	34
6.3	<i>Inspección Visual Automática.</i>	34
6.3.1	<i>Ventajas de la inspección Automática.</i>	35
6.3.2	<i>Desventajas de la inspección automática.</i>	35
6.4	<i>Introducción en la Industria.</i>	35
6.4.1	<i>Aplicaciones comunes en la Industria.</i>	36
6.4.1.1	<i>Industria Automotriz.</i>	36
6.4.1.2	<i>Industria Electrónica.</i>	37
6.4.1.3	<i>Industria Biomédica/Farmacéutica.</i>	37
6.4.1.4	<i>Industria Alimenticia y de Bebidas.</i>	38
6.4.1.5	<i>Industria del Plástico.</i>	38
6.4.1.6	<i>Industria del empaque.</i>	39
6.4.1.7	<i>Otras Aplicaciones.</i>	39
6.5	<i>Conclusiones.</i>	40
<hr/>		
	<b>PARTE III. Estructura y Funcionamiento de un Sistema de Visión Artificial</b>	41
7.-	<b>ESTRUCTURA DE LOS SISTEMAS DE VISIÓN ARTIFICIAL.</b>	42
7.1	<i>Introducción.</i>	42
7.2	<i>Fundamentos de imagen.</i>	43
7.2.1	<i>Imagen digital.</i>	43
7.2.2	<i>Óptica.</i>	44
7.2.2.1	<i>Cálculo de los lentes.</i>	44
7.2.2.2	<i>Tiempo de exposición.</i>	46
7.3	<i>Módulos de un Sistema de Visión Artificial.</i>	46
7.3.1	<i>Elementos de captura de imagen.</i>	46
7.3.1.1	<i>Sensor CCD.</i>	46
7.3.1.2	<i>Sensor CMOS</i>	47
7.3.1.3	<i>Sensores Lineales.</i>	47
7.3.1.4	<i>Sensores de Iluminación y Velocidad.</i>	47
7.3.1.5	<i>La Cuantización.</i>	47
7.3.2	<i>Sistemas de Iluminación.</i>	48
7.3.2.1	<i>Características de Superficie.</i>	48
7.3.2.2	<i>Técnicas de Iluminación.</i>	49
7.3.2.2.1	<i>Iluminación Frontal.</i>	49

7.3.2.2.2	<i>Iluminación Lateral.</i>	50
7.3.2.2.3	<i>Iluminación de campo oscuro (Dark field)</i>	50
7.3.2.2.4	<i>Iluminación por Contraste.</i>	51
7.3.2.2.5	<i>Iluminación Coaxial.</i>	52
7.3.2.2.6	<i>Iluminación Coaxial Avanzada.</i>	52
7.3.2.2.7	<i>Iluminación Difusa Continua.</i>	53
7.3.2.2.8	<i>Fuentes Luminosas.</i>	54
7.3.2.2.9	<i>Contraste de Colores.</i>	55
7.3.3	<i>Elemento de Estudio.</i>	56
7.3.4	<i>Ordenador o Módulo Procesador.</i>	56
7.3.5	<i>Tarjeta de Adquisición de Datos.</i>	57
7.3.6	<i>Algoritmo de Análisis de imagen.</i>	58
7.3.6.1	<i>Formación de imagen.</i>	59
7.3.6.2	<i>Filtrado.</i>	59
7.3.6.3	<i>Segmentación.</i>	60
7.3.6.4	<i>Extracción de características.</i>	61
7.3.6.5	<i>Clasificación.</i>	61
7.3.7	<i>Actuadores externos al sistema.</i>	62
7.4	<i>Conclusiones.</i>	62
8.-	<b>FUNCIONAMIENTO DE UN SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL.</b>	63
8.1	<i>Introducción.</i>	63
8.2	<i>Funcionamiento de un Sistema de Visión.</i>	64
8.3	<i>Herramientas de Inspección Visual.</i>	65
8.3.1	<i>Localización de Objetos.</i>	65
8.3.2	<i>Identificación.</i>	65
8.3.3	<i>Mediciones.</i>	65
8.3.4	<i>Color.</i>	66
8.3.5	<i>Lectura de código de barras en 1 y 2 dimensiones.</i>	66
8.3.5.1	<i>Lector en 1D.</i>	66
8.3.5.2	<i>Lector en 2D.</i>	66
8.3.6	<i>OCR y OCV</i>	67
8.3.6.1	<i>Reconocimiento Óptico de Caracteres (OCR).</i>	67
8.3.6.2	<i>Verificación Óptica de Caracteres (OCV).</i>	67
<hr/>		
	<b>PARTE IV. Casos de estudio y tendencias a futuro de la Visión Artificial.</b>	68
9.-	<b>CASOS DE ESTUDIO.</b>	69
9.1	<i>Introducción.</i>	69
9.2	<i>Inspección Farmacéutica.</i>	69
9.2.1	<i>Descripción del problema.</i>	69
9.2.2	<i>Solución del Problema.</i>	70
9.2.3	<i>Aplicación de un Sistema de Visión Artificial.</i>	70
9.3	<i>Evaluación del Proyecto.</i>	72
9.3.1	<i>Inversión Inicial.</i>	73
9.3.2	<i>Costo de Mantenimiento.</i>	74
9.3.3	<i>Costo de Servicio.</i>	75
9.3.4	<i>Pago de Impuestos (ISR).</i>	75
9.3.5	<i>Ganancia neta anual.</i>	75
9.3.6	<i>Punto de Equilibrio.</i>	76
9.3.7	<i>Periodo de devolución.</i>	77
9.3.8	<i>Conclusiones.</i>	78
9.4	<i>Instalación del Sistema.</i>	79

9.5 <i>Conclusiones.</i>	87
10.- TENDENCIAS A FUTURO DE LA VISIÓN ARTIFICIAL.	88
10.1 <i>Introducción.</i>	88
10.2 <i>Flexibilidad en los Sistemas de Visión.</i>	88
10.2.1 <i>Construcción de Sistemas Flexibles</i>	
10.3 <i>La Visión Artificial como rama de la Inteligencia Artificial.</i>	89
10.3.1 <i>¿Qué soluciones brinda la Visión Artificial?</i>	
10.4 <i>Conclusiones.</i>	90
11.- CONCLUSIONES	91
GLOSARIO	93
FUENTES DE INFORMACIÓN.	95



# OBJETIVOS.

Los objetivos principales de este estudio son:

1. Resaltar la importancia de los Sistemas de Visión Artificial (SVA), aplicados a la manufactura.
2. Determinar el éxito que presentan los SVA, en los diferentes sectores industriales.
3. Demostrar como se pueden llevar a cabo varias técnicas recientemente desarrolladas, en el campo de la visión artificial, para solucionar problemas de inspección y control de calidad, en la fabricación de diversos productos de la industria nacional.

Por lo que refiere a cada una de sus secciones, los objetivos son:

- **Sección 1. “Conceptos Básicos y Terminología”**
  - Asimilar e identificar, los conceptos básicos y los vocablos que deben tomarse en cuenta para entender el concepto de sistema de control.
- **Sección 2. “Introducción y definición del concepto de Inspección Visual Inteligente, en los ambientes industriales”.**
  - Comprender la importancia que están adquiriendo los SVA, en las tareas de control de calidad, en los



diversos sectores industriales a nivel mundial.

- **Sección 3. "Estructura y funcionamiento de un Sistema de Visión Artificial".**
  - Identificar y conocer los principales elementos que integran un SVA, así como su funcionamiento.
  
- **Sección 4. "Caso de estudio".**
  - Evaluar el éxito o el fracaso de la aplicación de un SVA, en un caso real de control de calidad, para una empresa nacional.





# PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

En un mundo globalizado, en dónde las barreras fronterizas se encuentran en una franca tendencia a desaparecer y la apertura a los mercados mundiales es una realidad latente, gracias a los tratados de libre comercio y convenios internacionales, las empresas nacionales se ven obligadas a ser más competitivas para permanecer activas, ya que ahora, no solo se compite con las empresas locales, sino que se deben medir con empresas internacionales que ofrecen los mismos productos y/o servicios pero a un costo mucho menor y con una mayor calidad.

Las empresas que deseen sobrevivir en este nuevo panorama deben de optimizar sus procesos y recursos, así como de mejorar su tecnología con el fin de crecer y así poder ofrecer al público un producto y/o servicio competitivo.

Este alto nivel de competencia entre los fabricantes, ha ocasionado un rápido desarrollo en las áreas de manufactura asistida por computadora, sistemas de manufactura flexible, e industria inteligente. Estos desarrollos han generado a su vez, la necesidad por la visión inteligente y sistemas automatizados capaces de realizar muchas tareas que tradicionalmente eran hechas por los seres humanos. En el ambiente industrial de hoy, existe la necesidad por los sistemas de inspección visual automatizados, para alcanzar un alto nivel competitivo.

En esta tesis, se plantean tres objetivos. Primero, resaltar la importancia de la Visión Artificial (VA) de una manera informativa y clara, sin el exceso del detalle matemático. Segundo, demostrar la importancia que están adquiriendo estos sistemas en la industria. Y por último, indicar como se pueden llevar a cabo varias técnicas



recientemente desarrolladas para resolver los problemas de la inspección de calidad en la fabricación de productos, para las compañías del sector industrial nacional.

Con estos fines, la tesis es organizada en cuatro secciones. Sección uno, detalla los conceptos básicos de los SVA. La sección dos, introduce y define el concepto de Inspección Visual Inteligente en los ambientes industriales. Sección tres, la estructura y funcionamiento de los Sistemas de Visión Artificial Inteligente. Y por último la sección cuatro, caso de estudio que muestra cómo estos sistemas pueden aplicarse con éxito a un problema de inspección real, con el fin de obtener un producto de alta calidad, y las tendencias a futuro de la VA.

Se pretende que este estudio, sea del interés del ingeniero eléctrico, mecánico, industrial, de los técnicos y gerentes de industrias manufactureras, que estén interesados en el potencial de los Sistemas de Inspección Visual Inteligente aplicados a la manufactura y al control de calidad.



# INTRODUCCIÓN.

Usted podría no entenderlo, pero en este momento está realizando un hecho notable, al leer esta página. Usted está analizando visualmente e interpretando una serie de formas negras pequeñas en una página blanca, asociando estas formas con palabras que usted conoce, y encadenando esas palabras en pensamientos significativos. Al asimilar la información, usted está realizando también una inspección de clases, y probablemente estará juzgando el texto que esta delante de usted, de la misma forma, posiblemente estará revisando la ortografía y juzgando las cosas más sutiles como la gramática, el flujo de la narrativa, y la calidad de la información presentada.

El punto es que los seres humanos, se orientan visualmente y son críticos por naturaleza. Tienen la habilidad de notar pequeñas variaciones en la apariencia de las cosas. Esta habilidad perceptiva hace a los seres humanos buenos inspectores de calidad de diferentes productos, debido a su nivel de inteligencia. Sin embargo, los seres humanos se aburren rápidamente con las tareas repetitivas, como la inspección de productos terminados. Ellos se fatigan rápidamente cuando las tareas requieren concentración constante, cuando la actividad física es pequeña y sus habilidades se deterioran con el tiempo.

La solución obvia para estos problemas, es un sistema de inspección visual automatizado, que sea tan perceptivo y selectivo como un ser humano, pero que pueda operar sin el fastidio y/o la fatiga durante varios días.

El problema con los sistemas de inspección automatizados, es que no han llegado a ser tan perceptivos y selectivos como un operador humano. Los sistemas actuales se diseñan típicamente para una



tarea específica, y esto ocasiona falta de inteligencia y flexibilidad, características que posee un inspector humano. Esta inteligencia y flexibilidad, debe ser construida en los sistemas de inspección visual automatizados, si se pretende acercarse al nivel de una inspección rutinaria lograda por un inspector humano.



# **PARTE I**

---

## Conceptos básicos y terminología.



# 1.- INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS DE MEDICIÓN

## 1.1 CONCEPTOS BÁSICOS.

Todo el control industrial depende de la habilidad para medir el valor de la variable controlada con exactitud y velocidad, y la mejor forma de medir el valor de la variable controlada es convirtiéndola en alguna clase de señal eléctrica.

Tomando en cuenta que los sensores son la principal fuente de información, señales o datos, para un sistema, comencemos a analizar algunos conceptos básicos antes de comenzar a estudiar cómo funcionan, cómo se utilizan y cómo operan los SVA.

### 1.1.1 Magnitud y Medición.

Una MAGNITUD, es una propiedad física susceptible de ser medida.

Ejemplo: Velocidad, Temperatura, Presión, entre otras.

Existen seis tipos de magnitudes:

1. Magnitudes Mecánicas, como posición, velocidad, presión y fuerza.
2. Magnitudes Eléctricas, como corriente, potencia eléctrica o voltaje.
3. Magnitudes Térmicas, como cantidad de calor y temperatura.
4. Magnitudes Químicas o Moleculares, como acidez, concentración y consistencia.
5. Magnitudes Ópticas, como intensidad luminosa y el color.
6. Magnitudes Magnéticas, como flujo magnético e intensidad de campo.

MEDIR, es comparar la cantidad de una magnitud con su respectiva



unidad, con el fin de averiguar cuántas veces esta unidad, está contenida en esa cantidad.

Existen dos formas de medir:

- a) **Medición Indirecta.**- En las mediciones indirectas la cantidad de interés se calcula a partir de otras medidas, aplicando la ley que las relaciona. Por ejemplo para medir la potencia eléctrica utilizamos el producto de la medida del voltaje por la medida de la corriente.
- b) **Medición Directa.**- En las medidas directas la cantidad de interés se obtiene directamente de los trazos o divisiones de los instrumentos y aparatos de medición. Por ejemplo, para medir la corriente se requiere del amperímetro.

### 1.1.2 Señal

Se denomina **señal** a una variable de un sistema físico que puede ser medida. Las señales permiten representar la información y se propagan por el medio de transmisión.

Las señales pueden tener o no variación con el tiempo, distinguiéndose así señales dinámicas y estáticas.

#### 1.1.2.1 Tipos de señales:

- Periódicas / No periódicas.
- Analógicas / Digitales.

**Señales Periódicas.** Se repiten en el tiempo, siendo su período el tiempo que transcurre entre dos instantes en los que la señal pasa por el mismo punto.

**Señales No periódicas.** No tienen repetitividad.

Por último, si las señales son continuas se denominan analógicas, y si son discretas, digitales.

**Señales Analógicas.** Las señales que evolucionan en el tiempo de una manera continua y cuyos valores pueden ser infinitos, se denominan analógicas. En la **figura 1.1**, se muestra la representación de una señal de este tipo.

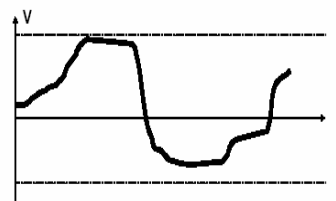


Figura 1.1 Señal Analógica.

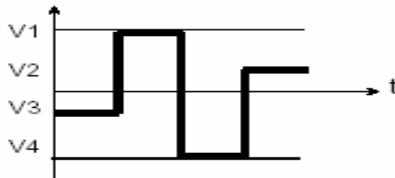


Figura 1.2 Señal Digital.

**Señales Digitales.** Las señales cuya variación sea discontinua y sus valores tomen forma de impulsos, cada uno de los cuales representa la información con valores numéricos o magnitudes discretas (número finito de valores).

Este tipo de señales, en último termino, representan la información con dígitos binarios, 0 y 1. La **figura 1.2**, representa una señal digital.

### 1.1.2.2 Amplificador de señales.

Un amplificador de señales, es un dispositivo que consiste en uno o más transistores y circuitos asociados, utilizados para aumentar la intensidad de una señal.





## 2.- **SENSORES, TRANSDUCTORES Y DETECTORES.**

### 2.1 **SENSORES.**

Tomando en cuenta que una señal es la variación temporal de una magnitud, podemos decir que un **SENSOR**, es un dispositivo capaz de medir una o varias señales procedentes de una magnitud física o condición del mundo real, tal como el movimiento, el calor, la distancia o la luz.

#### 2.1.1 **Características Ideales de los sensores.**

Actualmente tenemos muy diversos tipos de sensores para medir cualquier variable física como las mencionadas anteriormente; es decir, los sensores son tan diversos como los principios físicos en los que se basan, y por lo tanto, se deben clasificar siguiendo algunos criterios, pero antes de clasificarlos, veamos algunas de las características ideales más importantes, que debemos tomar en cuenta para la elección de un sensor.

##### 2.1.1.1 **Exactitud y Precisión.**

Cualquier sensor responde a un principio físico, químico o biológico que permite su funcionamiento, es por eso que todo sensor tendrá limitaciones que serán inherentes a sus principios, y una de estas limitaciones es la exactitud. La EXACTITUD es que el valor verdadero de la variable monitoreada, se pueda DETECTAR SIN ERRORES en la medición, por lo tanto, esta debe ser tan alta como



sea posible.

La PRECISIÓN significa que en la medición de la variable, existe o no una pequeña variación aleatoria, es decir la precisión regula el margen de imprecisión instrumental; para entenderlo mejor pongamos el siguiente ejemplo, tenemos un sistema para medir temperatura, el cual tiene una precisión de  $0.05\text{ }^{\circ}\text{C}$ , cuando este sistema muestra una lectura de  $26.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , significa que la temperatura del proceso o ambiente que se está midiendo está entre  $26.75\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $26.85\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Normalmente la precisión se expresa como un porcentaje de la escala completa y esta asociada al cálculo de la desviación estándar del instrumento. Así entonces esta precisión debe ser lo más alta posible.

#### **2.1.1.2 Velocidad de Respuesta.**

El sensor debe ser capaz de responder rápidamente a los cambios de la variable que se está monitoreando o detectando; si la medición tiene una cinética más lenta que la de la propia variable, tendremos que disponer de sistemas de predicción de este valor, si es que el proceso así lo requiere, y no depender solo del valor instrumental.

#### **2.1.1.3 Calibración.**

El término calibración se refiere a establecer, con la mayor exactitud posible, la correspondencia entre las indicaciones de un instrumento de medida y los valores de la magnitud que se mide con él. Debe ser fácil de calibrar y no debe necesitar una recalibración frecuente. El término desviación se aplica con frecuencia para indicar la pérdida gradual de exactitud del sensor que se produce con el tiempo y el uso, lo cual hace necesaria su recalibración.

#### **2.1.1.4 Rango de Funcionamiento.**

El sensor debe de tener un rango de funcionamiento amplio y debe ser preciso y exacto en todo este rango, sabemos que el rango expresa los límites inferior y superior del instrumento, y muchos de éstos, sobre todo los industriales, permiten definir sub rangos.

#### **2.1.1.5 Confiabilidad.**

Deben tener una alta confiabilidad, es decir, no deben estar sujetos a fallos frecuentes durante su funcionamiento.

#### **2.1.1.6 Costo y facilidad de Operación**

El costo para instalar y comprar nuestro sensor debe de adecuarse a nuestro presupuesto, y lo ideal sería que la instalación y el manejo de estos dispositivos no necesiten de personal altamente calificado.



## 2.2 TRANSDUCTORES

Un **TRANSDUCTOR** es un dispositivo que convierte la señal de entrada, que procede de una magnitud física, en una señal de salida de otro tipo, pero también asociada a una magnitud física; esta señal de salida generalmente es de tipo eléctrico codificada, ya sea en forma analógica o digital.

Por lo general, el termino Sensor y Transductor se emplean a veces como sinónimos, pero Transductor sugiere un significado más extenso. El sensor es sensible a los cambios de la magnitud a medir, como una temperatura, una posición o una concentración química, en cambio, el transductor convierte estas mediciones en señales eléctricas, que pueden alimentar a instrumentos de lectura, registro o control de las magnitudes medidas. Los sensores y transductores pueden funcionar en ubicaciones alejadas del observador, así como en entornos inadecuados o peligrosos para los seres humanos.

Debido a la facilidad con la que se transmite y amplifica la energía eléctrica, los transductores más utilizados son los que convierten algunas formas de energía como calor, luz, sonido o presión, en energía eléctrica. Algunos ejemplos son los micrófonos, que convierten la energía sonora en energía eléctrica; los materiales fotoeléctricos, que convierten la luz en electricidad, los cristales piroeléctricos, que convierten calor en energía eléctrica, o como una fuerza de presión, que al pasar por un transductor, este convierte dicha fuerza en una señal de voltaje. Como se puede observar en la **figura 2.1**.

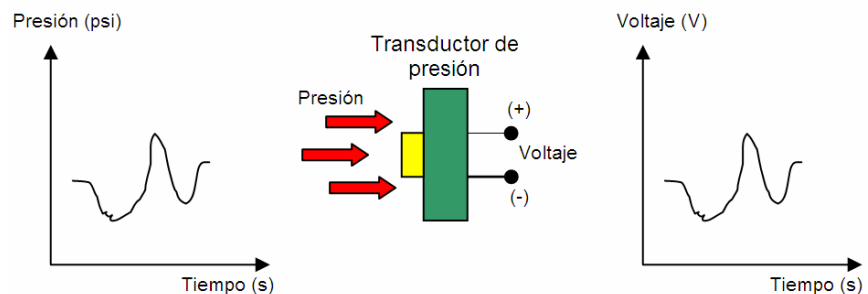


Figura 2.1 Ejemplo de un transductor de Presión.

Los Transductores cuya salida es una magnitud eléctrica o magnética, suelen tener una estructura general como se muestra en la **figura 2.2** en la cual podemos distinguir las siguientes partes.

- **Elemento sensor o captador.** Convierte las variaciones de una magnitud física en variaciones de una magnitud eléctrica o magnética, que denominamos habitualmente señal.
- **Bloque de tratamiento de señal.** Si existe, suele filtrar, amplificar linealizar y, en general, modificar la señal obtenida en el captador, por regla general utilizando circuitos electrónicos.
- **Etapa de salida.** Esta etapa comprende los amplificadores, interruptores, conversores de código, transmisores y en



general, todas aquellas partes que adaptan la señal a las necesidades de la carga exterior.

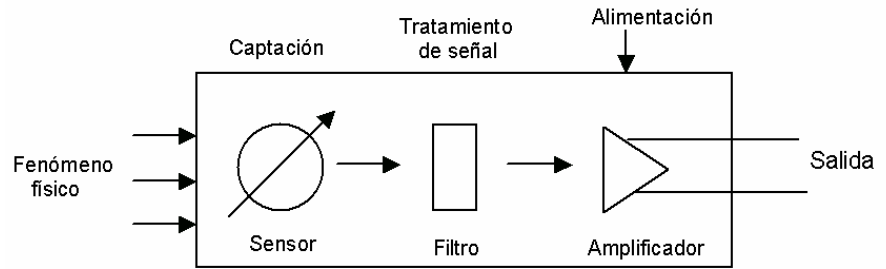


Figura 2.2 Estructura genérica de un Transductor.

## 2.2.1 Características Estáticas y Dinámicas.

A continuación se dan las definiciones de las características estáticas y dinámicas más relevantes que suelen aparecer en la mayoría de las especificaciones técnicas de los sensores y Transductores.

### 2.2.1.1 Características Estáticas.

Las características estáticas, describen la actuación del sensor en régimen permanente o con cambios muy lentos de la variable a medir:

- **Campo de medida:** rango de valores de la magnitud de entrada comprendido entre el máximo y el mínimo detectables por un sensor, con una tolerancia de error aceptable.
- **Resolución:** indica la capacidad del sensor para discernir entre valores muy próximos de la variable de entrada
- **Precisión:** se define como la máxima desviación entre la salida real obtenida de un sensor y el valor teórico de dicha salida, según el patrón definido.
- **Repetibilidad:** es la máxima desviación entre valores de salida, obtenidos al medir un mismo valor de entrada, con el mismo sensor y en idénticas condiciones ambientales.
- **Linealidad:** un transductor es lineal, si existe una constante de proporcionalidad única que relaciona los incrementos de señal de salida con los correspondientes incrementos de señal de entrada, en todo el campo de medida. La no linealidad se mide por la máxima desviación entre la respuesta real y la característica puramente lineal.
- **Sensibilidad:** indica la mayor o menor variación de salida por unidad de magnitud de entrada. La sensibilidad se mide, por la relación:



$$\text{Sensibilidad} = \frac{\Delta \text{ magnitud de salida}}{\Delta \text{ magnitud de entrada}}$$

- **Ruido:** Se entiende como cualquier perturbación aleatoria del propio sensor, que produce una desviación de la salida con respecto al valor teórico.
- **Histéresis:** se dice que un transductor presenta histéresis cuando, a igualdad de la magnitud de entrada, la salida depende de si dicha entrada se alcanzó con aumentos en sentido creciente o en sentido decreciente. Se suele medir en términos de valor absoluto de la variable física o en porcentaje sobre el fondo de la escala.

### 2.2.1.2 Características Dinámicas.

Las características dinámicas, describen la actuación del transductor en régimen transitorio. Enseguida se enumeran las características dinámicas más importantes.

- **Velocidad de respuesta:** referente a los tiempos que se producen entre la medida tomada y la señal de salida.
  - *Tiempo de retardo.* Tiempo transcurrido desde la aplicación del escalón de entrada hasta que la salida alcanza el 10% de su valor permanente.
  - *Tiempo de subida.* Es el tiempo que corresponde al periodo desde que la salida alcanza el 10% de su valor permanente hasta que llega por primera vez al 90% de dicho valor.
  - *Tiempo de establecimiento al 99%.* Es el tiempo transcurrido desde la aplicación de un escalón de entrada hasta que la respuesta alcanza el régimen permanente, con una tolerancia de  $\pm 1\%$ .
  - *Constante de tiempo.* Para un sensor con respuesta de primer orden (una sola constante de tiempo dominante) se puede determinar la constante de tiempo a base de medir el tiempo empleado para que la salida alcance el 63% de su valor de régimen permanente, cuando a la entrada se le aplica un cambio de escalón.
- **Respuesta frecuencial:** relación entre la sensibilidad y la frecuencia de la señal de entrada, cuando esta es una excitación senoidal.
- **Estabilidad y Derivas:** desviación de salida del sensor respecto a condiciones medioambientales u otras perturbaciones.



## 2.3 DETECTORES

Son elementos electrónicos que con la sola presencia del elemento a detectar, varían la señal de salida. No hace falta que hagan contacto físico con dicho elemento. Pueden trabajar sumergidos en agua, aceite, polvos y otros elementos.

Se eligen por el material del objeto a detectar, y por el entorno y el ambiente donde van a ser instalados. Los materiales de los objetos a detectar se dividen básicamente en metálicos y no metálicos.

Debe tenerse en cuenta las siguientes condiciones del ambiente:

- HUMEDAD
- TEMPERATURA
- ACIDEZ
- POLVO
- EXPLOSIVIDAD

Según el tipo de señal de salida, es decir la forma de codificar la magnitud medida, podemos realizar la siguiente clasificación:

- **Analógicos.** Aquellos sensores que dan como salida un valor de tensión o corriente variable en forma continua dentro de un campo de medida. Es frecuente para este tipo de sensores que incluyan una etapa de salida para suministrar señales normalizadas, utilizadas comúnmente en aplicaciones industriales de 0-10 V o 4-20 mA.
- **Digitales.** Son aquellos que dan como salida una señal codificada en forma de pulsos o en forma de una palabra digital codificada en binario, BCD u otro sistema cualquiera.
- **Todo-nada.** Indica únicamente cuándo la variable detectada rebasa un cierto umbral o límite. Puede considerarse como un caso límite de los sensores digitales en el que se codifican sólo dos estados.

### 2.3.1 Detectores pasivos y activos.

Otro criterio de clasificación, relacionado con la señal de salida, es el hecho de que el captador propiamente dicho requiera o no una alimentación externa para su funcionamiento. En el primer caso se denominan sensores pasivos y en el segundo caso, activos o directos.

Los **detectores pasivos**, requieren de una fuente de alimentación externa y se basan, por lo general, en la modificación de la impedancia eléctrica o magnética de un material bajo determinadas condiciones físicas o químicas (resistencia, capacidad, inductancia, reluctancia y varias más). Este tipo de sensores, debidamente alimentados, provocan cambios de tensión o de corriente en un circuito, los cuales son recogidos por el circuito de interfaz.



Los **detectores activos** son, en realidad, generadores eléctricos, generalmente de pequeña señal. Por ello no necesitan alimentación exterior para funcionar, aunque si suelen necesitarla para amplificar la débil señal del captador.

### 2.3.2 Clasificación Según la Magnitud Física a Detectar.

Según el tipo de magnitud física a detectar podemos establecer la siguiente clasificación:



Figura 2.3 Sensores de temperatura con diversos tipos de elementos en estado sólido.

#### a) Medición de Temperatura (figura 2.3).

- Termostatos.
- Pirómetro de Radiación.
- Termistor.
- Termopar.

#### b) Medición de esfuerzos y deformaciones (figura 2.4).

- Transformador diferencial.
- Galgas extensométricas.
- Transductores piezoeléctricos.
- Deformímetros.

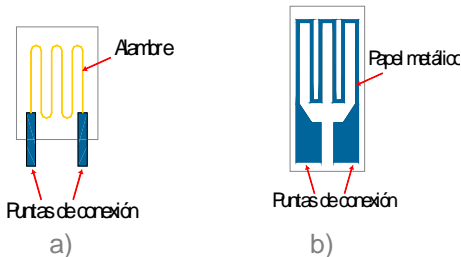


Figura 2.4 Deformímetros: a) de alambre metálico, b) de hoja de papel metálico.

#### c) Medición de Movimiento.

- Grandes distancias: Radar, Laser, Ultrasonido.
- Distancias Pequeñas: Métodos ópticos, Inductivos LDT (Transformador diferencial lineal) y VDT (Transformador diferencial de variación), Métodos Resistivos y Capacitivos.

#### d) Medidores de Posición, Linear o Angular.

- Codificadores Incrementales.
- Codificadores Absolutos.
- Transductores Capacitivos.
- Potenciómetros.

#### e) Sensores de Presencia o Proximidad (figura 2.5).

- Inductivos.
- Capacitivos.
- Fotoeléctricos.
- De efecto Hall.
- Radiación.
- Infrarrojos.
- Neumáticos.
- Ópticos.
- Ultrasónicos.



Figura 2.5 Detector de proximidad inductivo.

#### f) Sistemas de Visión Artificial (figura 2.6), que son de principal interés, para el estudio de esta tesis.



Figura 2.6 Cámara con sensor CMOS.

- Cámaras CCD (Charger Coupled Device o dispositivo de acoplamiento de carga).
- Sensores CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor o semiconductor de óxido de metal complementario).
- Cámaras de video y tratamiento de imagen.

**g) Sensores de Humedad y Punto de Rocío (figura 2.7).**



Figura 2.7 Sensor de humedad.

- Humedad en aire, gases.
- Humedad en sólidos.
- Punto de Rocío.

**h) Sensores de Caudal.**

- De sólidos, líquidos o gases.
- Presión diferencial.
- Medidores Magnéticos.
- Medidores por fuerza de Coriolis.
- Medidores de área variable.
- Medidores de desplazamiento positivo.

**i) Sensores de Nivel (figura 2.8).**

- De líquidos y sólidos.

**j) Sensores de Presión.**

- De membrana y detector de desplazamiento.
- Piezoeléctricos.

**k) Sensores de Fuerza y Par.**

- Calibrador de tensión.
- De array táctil.

**l) Sensores de Intensidad Lumínica (figura 2.9).**

- Detector de luz.
- Luxómetro.

**m) Sensores de Aceleración.**

- Servo Acelerómetro.
- Acelerómetro piezoresistivo.

**n) Sensores de velocidad lineal o angular.**

- Dinamo tacométrico.
- Encoders.
- Detector inductivo u óptico.

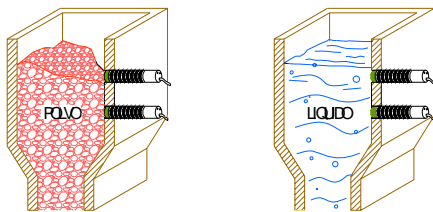


Figura 2.8 Detector de Nivel para polvos y líquidos inflamables.



Figura 2.9 Luxómetro, indicador de proporción de luz ambiental.



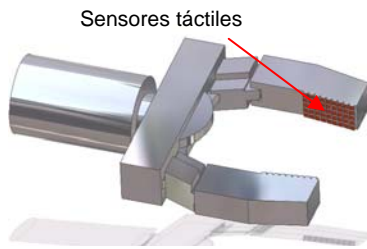


Figura 2.10 brazo de robot con sensores táctiles

**o) Sensores táctiles (figura 2.10).**

- Matriz piezoeléctrica, óptica o capacitiva.
- Matriz de contactos.

Las siguientes ilustraciones, nos muestran algunas aplicaciones típicas de los detectores.



Figura 2.11 Detectores para controlar la apertura y cierre de puertas automáticas.

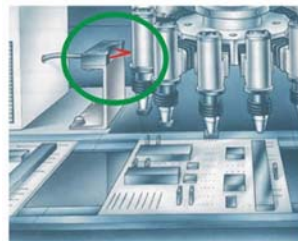


Figura 2.12 Detector de presencia del tipo fotoeléctrico.

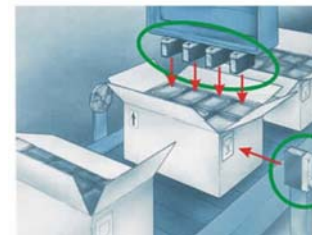


Figura 2.13 Sistema para detección de objetos.

En cuanto a la naturaleza de la magnitud física a detectar, existe una gran variedad de sensores en la industria. En la **tabla 2.1** se da un resumen de los sensores más utilizados en los automatismos industriales.

**Tabla 2.1** Transductores de diversas magnitudes físicas.

Magnitud detectada	Transductor	Características
Posición lineal o angular	Potenciómetro Encoders Sincro y resolver	Analógico Digital Analógico
Desplazamiento o deformación	Transformador diferencial Galga extensométrica	Analógico Analógico
Velocidad lineal o angular	Dinamo tacométrica Encoders Detector inductivo u óptico	Analógico Digital Digital
Aceleración	Acelerómetro Sensor de velocidad	Analógico Digital



	+ calculador	
Fuerza y par	Medición indirecta por galgas o trafos diferenciales	Analógicos
Presión	Membrana + detector desplazamiento Piezoeléctrico	Analógico Analógico
Caudal	De turbina Magnético	Analógico Analógico
Temperatura	Termopar Termostatos Resistencias NTC (Coeficiente Negativo de temperatura) Resistencias PTC(Coeficiente Positivo de temperatura) Bimetálicos	Analógico Analógico Analógico  Todo-nada  Todo-nada
Presencia o proximidad	Inductivo Capacitivo Óptico Ultrasónico	Todo-nada/analógico Todo-nada Todo-nada/analógico Analógico
Táctil	Matriz de contactos Piel artificial Matriz capacitiva, piezoeléctrica u óptica	Todo-nada Analógico Todo-nada
Sistemas de visión artificial	Cámaras CCD Cámaras de video y tratamiento de imagen	Procesamiento digital por puntos o pixels

Como podemos apreciar, existe una gran variedad de sensores para satisfacer cualquier necesidad. Para nuestro estudio nos enfocaremos a los sensores que se utilizan en los SVA.



## 3.- SISTEMAS DE CONTROL.

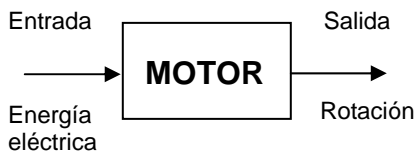


Figura 3.1. Ejemplo de un Sistema

Se denomina Sistema a la combinación de dos o más elementos, subconjuntos y partes necesarias para realizar una o varias funciones y cumplen un objetivo.

Un sistema puede concebirse como una caja con una entrada y una salida y de la cual no nos interesa su contenido, sino la relación que existe entre la salida y la entrada. Por ejemplo un motor se podría considerar como un sistema cuya entrada es la alimentación de energía eléctrica y la salida es la rotación de un eje. En la **figura 3.1** se muestra la representación de un sistema de este tipo.

### 3.1 SISTEMAS DE MEDICIÓN

Un sistema de medición se podría considerar como una caja negra que se utiliza para medir. Su entrada es la magnitud que se desea medir y su salida es el valor correspondiente a dicha magnitud. En el caso de un sistema de medición de temperatura, como, un termómetro, la entrada es la temperatura y la salida es el número que aparece en una escala.

En general, puede decirse que los sistemas de medición están formados por tres elementos, como se muestra en la **figura 3.2**.

1. **Un sensor**, el cual responde a la cantidad que se mide, dando como salida una señal relacionada con dicha cantidad. Un termopar es un ejemplo de un sensor de temperatura. Su entrada es una temperatura y su salida es una f.e.m. (fuerza electromotriz), la cual se relaciona con el valor de la temperatura respectiva.



2. **Un acondicionador de señal**, el cual toma la señal del sensor y la manipula para convertirla a una forma adecuada para su presentación visual o, como en el caso de un sistema de control, para que ejerza una acción de control.
3. **Un sistema de presentación visual (pantalla o display)**, es donde se despliega la salida producida por el acondicionador de señal. Por ejemplo una aguja que se mueve a través de una escala, o bien de una lectura digital.

Considere el ejemplo de un termómetro digital. En la entrada hay un sensor de temperatura, tal vez un diodo semiconductor. La diferencia de potencial en el sensor, a corriente constante, representa una medida de la temperatura. Mediante un amplificador operacional, se amplifica la diferencia de potencial y se obtiene un voltaje con el cual se puede operar directamente una pantalla. Tanto el sensor como el amplificador operacional pueden estar instalados en el mismo chip de silicio.

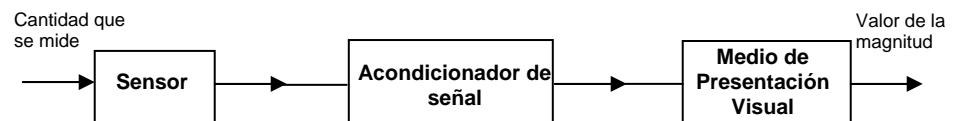


Figura 3.2 Un Sistema de Medición y los elementos que lo forman.

## 3.2 SISTEMAS DE CONTROL.

Un sistema de control, puede considerarse como una caja negra que sirve para controlar la salida de un valor o secuencia de valores determinados. Por ejemplo, la entrada de un sistema de control de calefacción central doméstica correspondería al valor de la temperatura que se desea tener en el interior de una casa; su salida sería mantener la casa a esa temperatura; es decir se fija en el termostato o en el controlador el valor de la temperatura deseada y el horno de calefacción se ajusta de modo que el agua bombeada a través de los radiadores produzca la temperatura deseada en la casa.

Los sistemas de control por retroalimentación, son los que auto corrigen las perturbaciones, eliminando los errores para obtener una salida ideal. El término retroalimentación se usa porque las señales se retroalimentan desde la salida para modificar la entrada.

Para que el cuerpo humano mantenga una temperatura constante, cuenta con un sistema de control de temperatura. Si la temperatura del cuerpo empieza a rebasar el nivel normal, suda; si disminuye, tiene escalofríos. Ambos mecanismos sirven para restaurar la temperatura a su valor normal. El sistema de control mantiene constante la temperatura. Este sistema recibe una entrada enviada por sensores que le dicen cuál es la temperatura y compara estos datos con el valor que debe tener; a continuación produce la respuesta adecuada a fin de lograr la temperatura requerida. El

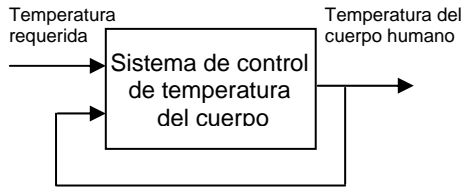


Figura 3.3. Control por retroalimentación de temperatura.

anterior es un ejemplo de control por retroalimentación; las señales de salida regresan como entrada para modificar la reacción del cuerpo a fin de restaurar la temperatura a su valor normal. En un control por retroalimentación, el sistema de control compara la salida real retroalimentada con el valor que se requiere y ajusta su salida de acuerdo con el resultado. En la **figura 3.3** se ilustra este sistema de control por retroalimentación.

### 3.2.1 Sistemas de control en lazo abierto.

En los sistemas de control en lazo abierto, la salida no tiene efecto sobre la acción de control, no hay comparación entre el valor medido en la salida respecto a la entrada, es el camino que sigue la señal sin retroalimentación. En estos sistemas, la acción de control es independiente de la señal de salida. La señal de salida puede cambiar su valor en función de la variación de otros parámetros, (perturbaciones).

Considere un calentador eléctrico que cuenta con un interruptor que permite elegir entre un elemento de calefacción de 1KW o de 2KW. Si una persona utiliza el elemento de calefacción para calentar una habitación, bastaría con poner el interruptor en la posición de 1KW si no desea una temperatura muy elevada. La habitación se calentará y alcanzará una temperatura definida sólo por la elección del elemento de 1KW, no el de 2KW. Si se producen cambios en las condiciones, quizás si alguien abre una ventana, no hay forma de ajustar el calor para compensar el frío. Éste es un ejemplo de control en lazo abierto, ya que no se retroalimenta la información al elemento para ajustarlo y mantenerlo a una temperatura constante. En la **figura 3.4**, se ilustra el sistema.

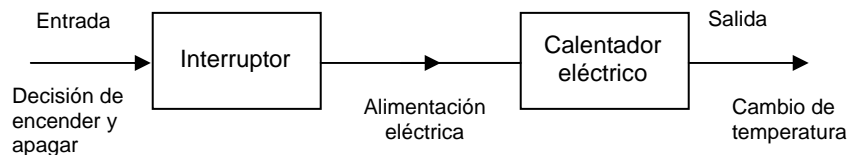


Figura 3.4. Calefacción de una habitación, Sistema en lazo abierto.

Los sistemas en lazo abierto tienen la ventaja de ser relativamente sencillos, por lo que su costo es bajo y en general su confiabilidad es buena. Sin embargo, con frecuencia son imprecisos ya que no hay corrección de errores.

### 3.2.2 Sistemas de Control en lazo cerrado.

Los sistemas de control en lazo cerrado retroalimentado son aquellos en los cuales, la acción de control es en cierto modo dependiente de la salida.



El ejemplo del sistema de calefacción en lazo abierto, que corresponde a la figura 3.4, se puede convertir en un sistema de ciclo cerrado si la persona que tiene el termómetro enciende y apaga los elementos de 1KW y 2KW, dependiendo de la diferencia entre la temperatura real y la temperatura deseada para mantener constante la temperatura de la habitación. En este caso existe una retroalimentación, la entrada del sistema se ajusta según si su salida corresponde a la temperatura requerida. Esto significa que la entrada del interruptor depende de la desviación de la temperatura real respecto a la temperatura deseada; la diferencia entre ambas se obtiene mediante un elemento de comparación, que en este caso es la persona. En la **figura 3.5** se ilustra este sistema.

En un sistema de control en lazo cerrado, la salida sí tiene efecto en la señal de entrada, modificándola para mantener la señal de salida en el valor requerido.

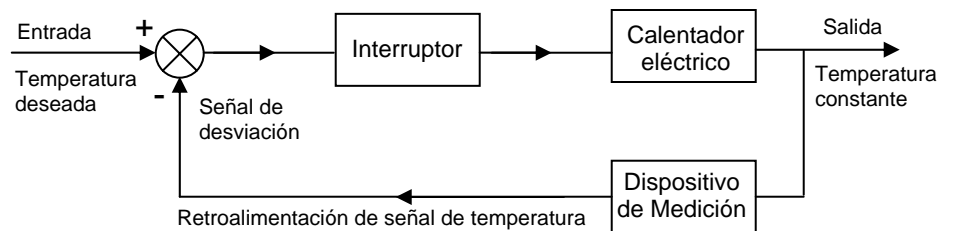


Figura 3.5. Calefacción de una habitación, Sistema en lazo cerrado.

Los sistemas de lazo cerrado tienen la ventaja de ser bastante precisos para igualar el valor real y el deseado. Pero son más complejos y, por lo tanto, más costosos y con mayor probabilidad de descomposturas debido a la mayor cantidad de componentes.

### 3.2.2.1 Elementos básicos de un sistema en lazo cerrado.

Consta de los siguientes elementos:

1. **Elemento de comparación.** Compara el valor deseado o de referencia de la condición variable que se controla con el valor medido de lo que se produce y genera una señal de error. Se le puede considerar como un sumador que añade la señal de referencia, positiva, a la señal del valor medido que en este caso es negativa.

$$\text{Señal de error} = \text{señal del valor de referencia} - \text{señal del valor medido.}$$

En general, el símbolo utilizado para representar un elemento en el que se suman las señales, es un círculo dividido; cada entrada va a un segmento. Como todas las entradas se suman, la entrada de la retroalimentación se



indica como negativa y la señal de referencia como positiva, de manera que la suma da la diferencia entre las señales. Un ciclo cerrado es el medio por el cual una señal relacionada con la condición real producida se retroalimenta para modificar la señal de entrada de un proceso. Se dice que la retroalimentación es una *retroalimentación negativa* cuando la señal que se retroalimenta se resta al valor de entrada. Para controlar un sistema se requiere la retroalimentación negativa. La *retroalimentación positiva* se presenta cuando la retroalimentación de la señal se suma a la señal de entrada.

2. **Elemento de control.** En cuanto se recibe una señal de error, el elemento de control decide qué acción llevar a cabo. Podría tratarse, por ejemplo, de una señal para accionar un interruptor o abrir una válvula. El plan de control que aplica el elemento podría consistir en entregar una señal que encienda o apague un dispositivo al producirse un error, como quizá una señal que abra o cierre proporcionalmente una válvula, de acuerdo con la magnitud de error. Las acciones de control pueden ser *sistemas alambrados*, en cuyo caso la acción de control se define de manera permanente por la conexión entre los elementos; o bien, pueden ser *sistemas programables*, donde el algoritmo de control se almacena en una unidad de memoria y se puede modificar con una reprogramación.
3. **Elemento de corrección.** El elemento de corrección produce un cambio en el proceso a fin de corregir o modificar la condición controlada. Puede ser un interruptor que enciende un calentador para aumentar la temperatura de un proceso, o una válvula que al abrirse permite la entrada de un mayor volumen de líquido al proceso. El término *actuador* designa al elemento de una unidad de corrección que proporciona la energía para realizar la acción de control.
4. **Elemento de proceso.** El proceso es aquello que está controlado. Puede tratarse de la habitación de una casa cuya temperatura se controla, o bien de un tanque con agua cuyo nivel se controla.
5. **Elemento de medición.** El elemento de medición produce una señal relacionada con el estado de la variable del proceso que se controla. Podría tratarse de un interruptor que se enciende cuando se alcanza determinada posición, o bien un termopar que produce una f.e.m. relacionada con la temperatura.

En el caso de un sistema en lazo cerrado como el de la **figura 3.5**, para una persona que controla la temperatura de una habitación, los elementos del sistema son:



Variable controlada	-Temperatura de la habitación.
Valor de referencia	-Temperatura deseada en la habitación.
Elemento de comparación	-Persona que compara el nivel medido y el valor de la temperatura deseada.
Señal de error	-Diferencia entre las temperaturas medida y deseada.
Unidad de control	-Persona.
Unidad de corrección	-Interruptor del calentador.
Proceso	-Calentamiento mediante un calentador.
Dispositivo de medición	-Termómetro.





## **PARTE II**

---

Introducción y definición del concepto de Inspección Visual Inteligente, en los ambientes Industriales.



## 4.- VISIÓN ARTIFICIAL.

### 4.1 VISIÓN ARTIFICIAL

El desarrollo de la tecnología y el aumento de la competencia en el sector industrial, han llevado a las empresas a reestructurarse y perfeccionarse, revisando constantemente su calidad y optimizando sus procesos, por medio de la automatización basada en SVA.

La **visión por computadora** es una rama de la Inteligencia Artificial que tiene por objetivo modelar matemáticamente los procesos de percepción visual de los seres vivos y generar programas que permitan simular estas capacidades visuales por computadora. Dicha tecnología se está introduciendo cada vez más en la industria debido a la necesidad de aumentar la productividad y conseguir productos acabados de una calidad uniforme. Es por esto que las empresas del sector industrial, consideran la VA como un elemento vital en la estrategia para generar competitividad.

En general podemos decir que la VA, es la habilidad de adquirir imágenes de campo y realizar análisis y procesamiento en forma automática, utilizando una PC o un procesador embebido.

#### 4.1.1 Visión humana v.s. visión por máquina.

Considerando la capacidad visual de nuestros ojos y cerebro, los sistemas artificiales correspondientes son totalmente primitivos. El rango de objetos que pueden manejar, la velocidad de interpretación y la susceptibilidad a problemas de iluminación y variaciones menores como textura y la capacidad reflectante de los objetos, son ejemplos de las limitaciones de la tecnología actual. Por otra parte, la visión por máquina tiene claras ventajas en tareas repetitivas y a altas velocidades, por ejemplo, en la inspección ininterrumpida en una línea de ensamble.



Algunas comparaciones entre la visión humana y la artificial son las siguientes:

- La visión humana es una actividad de procesamiento paralelo. En contraste, la gran mayoría de los SVA usan procesamiento serial.
- La visión humana es naturalmente tridimensional debido a la estereoscopia, que es la fusión de las imágenes tomadas por los dos ojos. Por otro lado, la mayoría de los SVA aún realizan procesamiento bidimensional.
- Los seres humanos interpretamos imágenes de color, mientras que muchos de los Sistemas de visión, aún trabajan con imágenes en tonos grises. Conviene mencionar que existen sensores (por ejemplo infrarrojos), que pueden registrar longitudes de onda, que el ojo humano no percibe.
- La visión humana se basa en la percepción de la luz reflejada por un objeto. En cambio, en la VA, otros métodos de iluminación son posibles, por ejemplo con rayo láser o con rayos X.
- Una diferencia importante es que la visión por máquina puede ser cuantitativa, mientras que la visión humana es principalmente cualitativa y subjetiva.

#### 4.1.2 Funciones de la Visión Artificial.

El amplio campo de funciones cubierto por la VA, se debe a que permite extraer y analizar información espectral, espacial y temporal de los distintos objetos.

La información espectral incluye frecuencia (color) e intensidad (tonos de gris). La información espacial se refiere a aspectos como forma y posición (una, dos y tres dimensiones). La información temporal comprende aspectos estacionarios (presencia y/o ausencia) y dependientes del tiempo (eventos, movimientos, procesos).

Según el tipo de aplicación, será el tipo de imagen que se requiera adquirir (imágenes de rayos X e infrarrojo, por mencionar algunas) y el análisis que se aplicará. La mayoría de las funciones de la VA, podemos clasificarlas por el tipo de tarea en inspección (medición, calibración, detección de fallas), verificación, reconocimiento, identificación y análisis de localización (posición y guía).

La **medición** o **calibración** se refiere a la correlación cuantitativa con los datos del esquema, asegurando que las mediciones cumplan con las especificaciones del diseño. Por ejemplo, el checar que un cable tenga el espesor recomendado.

La **detección de fallas** es un análisis cualitativo que involucra la



detección de defectos o artefactos no deseados, con forma desconocida en una posición desconocida. Por ejemplo, encontrar defectos en la pintura de un auto nuevo, o agujeros en hojas de papel.

La **verificación** es el chequeo cualitativo de que una operación de ensamblaje ha sido llevada a cabo correctamente. Por ejemplo, que no falte ninguna tecla en un teclado, o que no falten componentes en un circuito impreso.

El **reconocimiento** involucra la identificación de un objeto con base en descriptores asociados con el objeto. Por ejemplo, la clasificación de cítricos (limones, naranjas y mandarinas) por color y tamaño. Otro ejemplo de reconocimiento podría ser aplicado a células, por área y forma.

**Identificación** es el proceso de identificar un objeto por el uso de símbolos en el mismo. Por ejemplo, el código de barras, o códigos de perforaciones empleados para distinguir hule espuma de asientos automotrices.

El **análisis de localización** es la evaluación de la posición de un objeto. Por ejemplo, determinar la posición donde debe insertarse un circuito integrado ("chip").

**Guía** significa proporcionar adaptativamente información posicional de retroalimentación para dirigir una actividad. El ejemplo típico es el uso de un Sistema de Visión para guiar un brazo robótico mientras suelda o manipula partes. Otro ejemplo sería la navegación en vehículos autónomos.



## 5.- CONTROL DE CALIDAD.

### 5.1 INTRODUCCIÓN

En la actualidad, las empresas, enfrentan una competencia internacional en expansión. La clave para alcanzar el éxito en este mercado global será lograr una mejor calidad en los productos y servicios.

En una primera instancia las primeras soluciones propuestas por las empresas, para superar a sus competidores, en su mayoría, implican cambios de tecnología, diseño e infraestructura, lo que significa una fuerte inversión, pero que en un futuro se vera compensada con una mejor calidad en la producción y por lo tanto mayores ganancias para las compañías industriales.

A pesar de que los grandes avances, en tecnología de punta son de gran ayuda en el sector industrial para alcanzar un nivel óptimo de control de calidad, no deben ser la primera opción que deban tomar las empresas, primero deben asegurarse que sus procesos actuales son los más adecuados, para evitar gastos de inversión innecesaria, ya que para alcanzar la calidad en cualquier organización, se requiere el trabajo colectivo de todas las áreas y servicios que en ellas se desempeñan.

Pero antes de adentrarnos e investigar de que manera pueden ayudar dichos avances tecnológicos en mantener un buen control de calidad en el sector industrial, definamos qué es calidad y de que herramientas y teorías se basa actualmente para mantenerse activa.

### 5.2 ¿QUÉ ES CALIDAD?.

Dos de los principales factores que los consumidores toman en cuenta para decidir comprar o no un producto o servicio, son el precio y la calidad, pero es esta última la que realmente marca la



diferencia.

La palabra calidad tiene varios significados, muchos de los cuales son subjetivos, como el concepto de “excelencia”. No obstante, en el campo de la gestión de calidad, el significado es más específico. Según la norma ISO 9001:2000, la calidad es “el conjunto de propiedades y características de un producto o servicio, los cuales le confieren la capacidad de satisfacer las necesidades y requisitos del usuario”.

La calidad de un producto o servicio suele referirse a la “idoneidad para el uso” o la “idoneidad para cierto propósito”. La mayoría de las organizaciones satisfacen ciertos criterios específicos de producción como las especificaciones técnicas. No obstante, las especificaciones no necesariamente garantizan que los requisitos del cliente se cumplan de manera constante.

El apartado 4.5 de la norma ISO 9000-1 se refiere a las siguientes cuatro facetas de la calidad:

- Calidad debida a la definición de las necesidades del producto.
- Calidad debida al diseño del producto.
- Calidad debida al cumplimiento del diseño del producto.
- Calidad debida al soporte (servicio) del producto.

Un sistema de calidad eficaz tomará en consideración estas cuatro facetas de la calidad.

### **5.2.1 ¿Qué es un sistema de calidad?**

Un sistema de calidad es la “estructura, los procedimientos, procesos y recursos organizacionales necesarios para implantar la gestión de calidad”. Dicho sistema debe ser sólo, tan completo como sea necesario para satisfacer los objetivos de calidad”. La gestión de calidad se refiere a todas aquellas actividades de la función total de administración que determinan las políticas, objetivos y responsabilidades para lograr la calidad, y que se implantan por medios tales como la planeación, el control, el aseguramiento y el mejoramiento de la calidad dentro de un sistema de calidad.

Algunas normas de calidad, como la ISO 9000 se basan en la idea de que la calidad debe incorporarse en cada uno de los departamentos de la empresa a través de un sistema integrado de gestión de la calidad.

### **5.2.2 Filosofía de la calidad.**

Frases como la calidad total y la mejora continua son usadas para describir la filosofía de las compañías. Estos conceptos, junto con otros dos conceptos modernos de la administración, el justo a tiempo y el mantenimiento productivo total, son estrategias decisivas en la



gestión de calidad, para hacer frente a la cada vez más dura competencia.

La filosofía de la calidad total proporciona una concepción global que fomenta la mejora continua en la organización y la involucración de todos sus miembros, centrándose en la satisfacción tanto del cliente interno como del externo. Podemos definir esta filosofía del siguiente modo: Gestión (el cuerpo directivo que esta totalmente comprometido) de la Calidad (los requerimientos del cliente son comprendidos y asumidos exactamente) Total (todo miembro de la organización esta involucrado, incluso el cliente y el proveedor, cuando esto sea posible).

### **5.2.3 Herramientas estadísticas aplicadas al control de calidad**

En los comienzos de la era industrial, la calidad del producto se realizaba sólo con la inspección posterior. A fin de mejorar el control de la calidad y evitar que se presentaran problemas, los fabricantes crearon herramientas como el control estadístico del proceso e instalaron departamentos de control de calidad.

#### **5.2.3.1 Control estadístico de procesos.**

El control estadístico de procesos (CEP), también conocido por sus siglas en inglés "SPC" es un conjunto de herramientas estadísticas que permiten recopilar, estudiar y analizar la información de procesos repetitivos para poder tomar decisiones encaminadas a la mejora de los mismos, es aplicable tanto a procesos productivos como de servicios siempre y cuando cumplan con tres condiciones: que sea mensurable, observable y que sea repetitivo. El propósito fundamental de CEP es identificar y eliminar las causas especiales de los problemas (variaciones) para llevar a los procesos nuevamente bajo control.

El CEP sirve para llevar a la empresa del control de calidad "correctivo" por inspección, dependiente de una sola área, al control de calidad "preventivo" por producción, dependiente de las áreas productivas, y posteriormente al control de calidad "predictivo" por diseño, dependiendo de todas las áreas de la empresa.

Para lograr su objetivo, los métodos estadísticos, se auxilian de otras herramientas como el diagrama de Pareto, el diagrama de causa efecto (no es precisamente una herramienta estadística), histogramas, gráfica de Gantt, polígonos de frecuencia, teoría e inspección estadística por muestreo, estas últimas son de principal interés para los objetivos de esta tesis, pues conforman uno de los principales problemas que pueden ser solucionados por los SVA. Veamos pues, como se lleva a cabo actualmente la tarea de inspección de materiales y de productos terminados en la industria.

## **5.3 INSPECCION**

La norma ISO 8402, define a la inspección como un conjunto de actividades tales como la medición, examen, pruebas y calibración de una o más características de un producto o servicio y la



comparación de los resultados con los requisitos especificados para establecer si se ha logrado conformidad en cada una de las características.

Los propósitos de la inspección final de los productos, son evaluar la calidad de la manufactura, describir y ayudar a solucionar los problemas de producción que surjan y garantizar que ningún artículo defectuoso llegue al cliente.

En una empresa industrial la inspección es el procedimiento mediante el cual se comprueban las especificaciones de las materias primas, materiales y productos terminados, además el régimen de operaciones y los parámetros del proceso.

Por lo tanto, se inspeccionan:

- Las características del producto, con fines de aceptación (inspección de entrada, en el proceso y al final).
- La calidad del proceso con fines de regulación o control del mismo (inspección preventiva).

Tomando en cuenta lo anterior, podemos decir que las operaciones a ejecutar en el proceso de inspección son:

1. Interpretación de la especificación.
2. Muestreo.
3. Medición de las características.
4. Comparación de lo interpretado con lo medido.
5. Enjuiciamiento de la conformidad.
6. Registro de los datos obtenidos.

Se debe definir si se selecciona el total de las unidades (inspección 100%) o sólo una parte representativa de los productos en elaboración (inspección por muestreo).

La inspección 100% se utiliza para el ensayo final de productos especiales o complejos ya que permite entregar al consumidor productos carentes de defectos. Algunos de los casos, en los que el control de calidad demanda una inspección integral, en todas las piezas son:

- En productos de seguridad para él o los operarios. En la industria automotriz, no se puede permitir una inspección por muestreo de las llantas, rines o sistema frenos ya que una falla de alguno de estos elementos puede provocar un accidente grave.
- En productos farmacéuticos. Todo tipo de medicamentos se debe inspeccionar al 100%, puesto que en caso de consumir un producto deficiente, este puede repercutir en forma negativa en la salud del paciente o consumidor.





A menudo la inspección 100 % resulta impracticable o claramente antieconómica cuando las pruebas son excesivamente costosas, y/o destructivas a gran escala. La inspección por muestreo, tiene un cierto número de ventajas psicológicas sobre la inspección 100%. La fatiga de los inspectores, originadas por operaciones repetitivas puede ser un obstáculo serio para una buena inspección 100%, al mismo tiempo, la inspección por muestreo es más económica y requiere de menor tiempo para su realización.

Es por ello que se llevaron a cabo investigaciones en el campo de la teoría de las probabilidades y la estadística, llegando a la conclusión de que para poder tomar decisiones sobre la calidad de la producción en proceso y terminada, no hay necesidad de efectuar una inspección 100 % sobre todos los artículos, sino que basta con inspeccionar sólo una parte del lote, o sea, una muestra. Así surgió la inspección por muestreo.

### 5.3.1 Inspección por muestreo.

De manera general la inspección por muestreo, es un proceso en el cual se selecciona un cierto número de elementos o productos con las mismas características, estas unidades forman parte de una muestra tomada de un lote. La finalidad es examinar dichos elementos, para verificar si cumplen con las normas o características de calidad establecidas de antemano.

Según Kaoru Ishikawa en el texto Guía de Control de Calidad, señala las situaciones en que es necesaria la inspección por muestreo:

- 1.- Pruebas destructivas.
- 2.- Inspección de productos de gran longitud.
- 3.- Inspección de grandes cantidades.

Otros criterios que debemos tomar en cuenta son:

- a) Cuando se desea bajar los costos de inspección.
- b) Cuando hay muchos rubros o áreas de inspección.

Otro criterio para decidir si se utiliza la inspección 100% o por muestreo es la del punto de equilibrio (P.E), que consiste en determinar el punto de equilibrio a partir del costo de inspeccionar un artículo o una característica de calidad (CI) y del costo de dejar pasar ese artículo defectuoso (CD) y luego compararlo con el porcentaje promedio de defectos (100p).

De esta manera tenemos que la relación proporcional entre el costo de inspeccionar un artículo y el costo de dejar pasar un artículo defectuoso es:

$$P.E. = \frac{CI}{CD} \times 100 \%$$



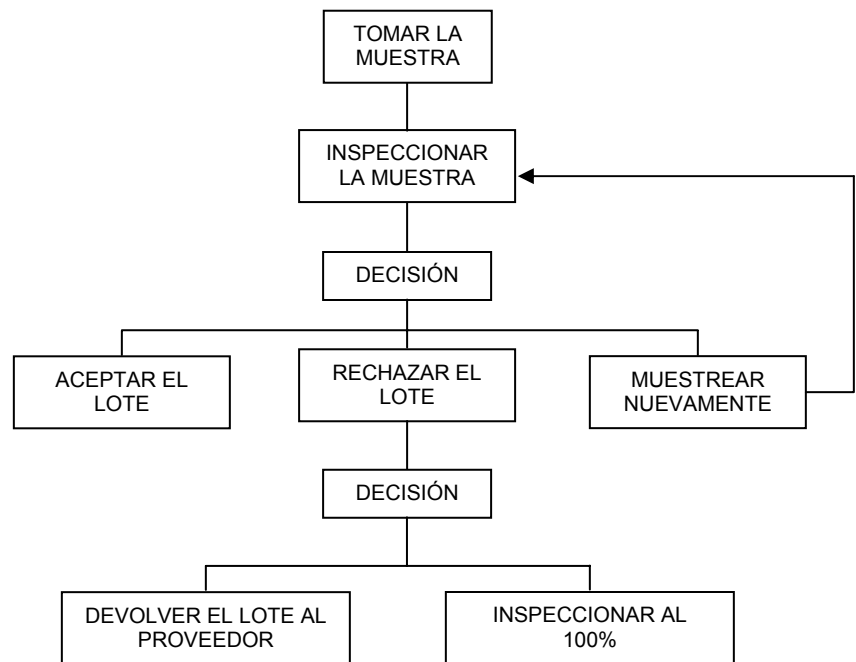
y la ecuación para determinar el porcentaje de defectos esta dada por:

$$100p = \frac{\sum N}{K} \times 100 \%$$

Donde ( $\sum N$ ) es la sumatoria de defectos y ( $K$ ) es el número de unidades inspeccionadas. De estas dos ecuaciones podemos obtener varias combinaciones y determinar si se realiza una inspección 100% o una por muestreo, como se explica a continuación.

<b>Si:</b>	<b>Se recomienda</b>
(PE) se aproxima a (100p),	Inspección por muestreo.
(PE) es menor que (100p),	Inspección 100%.
(PE) es mayor que (100p),	Pero el proceso es errático, inspección por muestreo.
(PE) es mayor que (100p),	Pero el proceso es estable, no se realiza inspección.

En la **figura 5.1**, se muestra un esquema del procedimiento de inspeccionar por muestreo.



**Figura 5.1.** Proceso de inspección por muestreo.

### 5.3.1.1 Ventajas de inspección por muestreo.

Las mejorías que se presentan en una empresa al utilizar un sistema de inspección por muestreo son:

- Economía derivada de inspeccionar solo una porción del lote.
- Reducción de daño por manipuleo durante la inspección.
- Menos inspectores.



- Aplicable a ensayos destructivos.
- Rechazos a los proveedores o a las áreas de operaciones de lotes completos, en lugar de devolver solo los defectuosos, promoviendo así mayor motivación para la mejora.

#### 5.3.1.2 Desventajas de la inspección por muestreo.

Las desventajas que se pueden presentar con un sistema de inspección por muestreo son:

- Riesgo de aceptación de lotes malos y rechazo de los buenos.
- Requiere de la elaboración de planes y documentos.
- La muestra provee menos información sobre el producto que la inspección 100%.

#### 5.3.1.3 Muestreo aleatorio.

La muestra debe ser el resultado de una selección aleatoria. Cada elemento debe tener la misma probabilidad de ser tomado durante el muestreo.

Se emplean tablas de números aleatorios que se confeccionan con computadora. Están formadas por dígitos de 0 a 9, llamados dígitos aleatorios (tienen la misma probabilidad de ocurrencia y la ocurrencia o no de cualquier dígito es independiente de la ocurrencia o no de cualquier otro). Los dígitos se combinan para formar números de más de un dígito.

#### 5.3.1.4 Planes de muestreo.

La forma de inspeccionar puede ser:

- Por atributos.
- Por conteo de defectos.
- Por variable.

Es importante conocer las características del objeto que se ha de inspeccionar, así como las características de cada uno de estas formas para seleccionar la más adecuada.

**Por atributos:** Pasa no pasa, las unidades se consideran defectuosas o no defectuosas, observando una o más características.

**Por conteo de defectos:** Se registra el número de defectos encontrados en cada unidad. Se hace referencia al número de defectos encontrados en la unidad inspeccionada, se expresa como resultado de conteo o relación de defectos por unidad. Obviamente una unidad que contiene uno o más defectos o no conformidades es una unidad defectuosa o no conforme.



**Por variable:** En general se expresa por el promedio y la desviación normal (standard) de la muestra. Se refiere a la distribución de una característica mensurable del producto inspeccionado.

#### 5.3.1.5 Unidad de muestreo.

Es uno de los artículos, longitudes, áreas o volúmenes similares del material a inspeccionar. Según la forma de presentación del material, las unidades de muestreo pueden ser de los siguientes tipos :

- **Unidad aislada:** Un solo artículo
- **Unidad de Continuidad:** Porción de longitud o área especificada que se toma como unidad en el caso de materiales continuos como alambre, tela, hilo, papel en bobinas y otros elementos similares.
- **Unidad de Granel:** Porción de peso o volumen especificado que se toma como unidad en el caso de material a granel como combustibles, granos, arena, entre otros.

#### 5.3.1.6 Determinación de la cantidad de unidades que va a componer la muestra.

En el caso de la inspección de procesos con fines preventivos, cuando la forma de inspección es por variable, los tamaños de muestra más empleados son entre 1 y 25 unidades. Las muestras de 2 o 3 unidades son poco empleadas por su baja sensibilidad, empleándose sólo cuando el costo de las mediciones es muy alto.

Las muestras de tamaño 5 facilitan los cálculos de las medias, en comparación con los de 4 o 6. Las muestras de tamaño 10 hasta 25 se utilizan cuando se desea una alta sensibilidad en el gráfico, y tamaños de muestras mayores de 25 unidades se emplean excepcionalmente.

Cuando la forma de inspección es por atributos, el tamaño de las muestras y el intervalo entre las mismas debe ser tal que se inspeccione aproximadamente un 5% de la producción.

En procesos masivos que no presentan dificultades frecuentes o el porcentaje de producción defectuosa no es grave, este porcentaje se puede reducir a menos de un 5% donde se recomienda que debe existir como mínimo 25 defectos en cada muestra para lograr establecer un comportamiento adecuado del proceso.

## 5.4 CONCLUSIONES.

Hoy, y en un futuro inmediato, la calidad de la producción es un aspecto primordial tanto para la administración como para la fuerza de trabajo. En todo momento los analistas deben exigir y desarrollar métodos, procedimientos y estándares para el control de calidad que sean justos para la compañía (procesos, materiales, personal, entorno). Las mejoras constantes tanto en la calidad como en la producción deben ser una forma de vida.

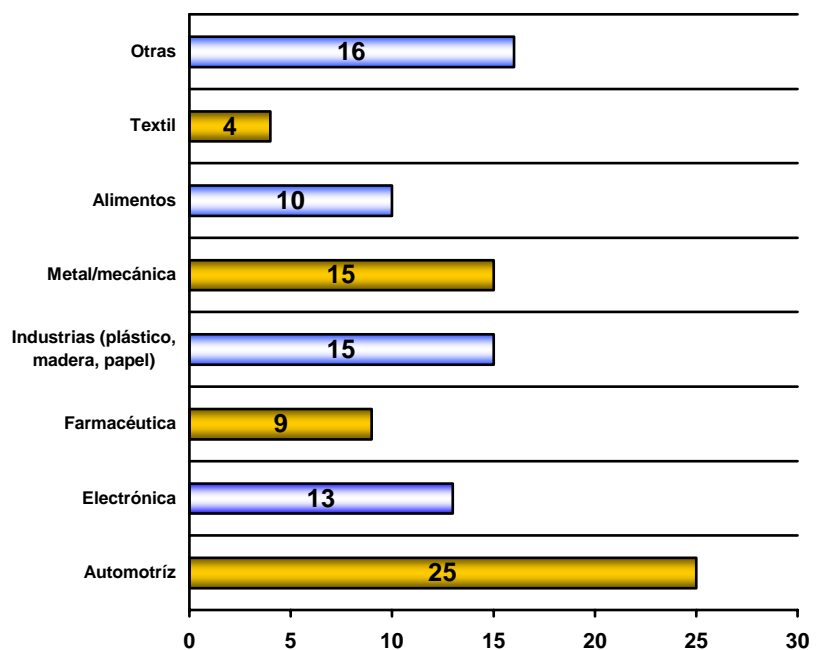


## 6.- LOS SISTEMAS DE VISIÓN ARTIFICIAL EN LOS PROCESOS INDUSTRIALES

### 6.1 INTRODUCCIÓN

El uso de la VA se ha extendido cada día más entre los diferentes sectores industriales, desde el textil hasta la bioingeniería y la robótica, pasando por industrias como la farmacéutica y la electrónica.

La utilización de esta tecnología, y los beneficios que su uso conlleva, se centra principalmente en el sector automotriz, le siguen la industria metal-mecánica y las industrias madereras, papeleras y del plástico. Ver **gráfica 6.1**.



Gráfica 6.1. Porcentaje de aplicaciones de VA en diversos sectores industriales.



## 6.2 SOLUCIÓN AL PROBLEMA DE LA INSPECCIÓN

Desde hace mucho tiempo la visión humana ha desempeñado un papel imprescindible en los procesos de manufactura. Los ojos humanos hicieron lo que ninguna máquina podía hacer, localizar y reconocer piezas, inspeccionar y controlar la calidad de los productos terminados, así como su proceso de fabricación. Hoy sin embargo, los requisitos de muchos procesos de fabricación han sobrepasado los límites de la vista humana. Los artículos manufacturados se producen a menudo demasiado rápido o con tolerancias demasiado pequeñas para ser analizadas por el ojo humano.

En respuesta a las necesidades de los fabricantes, una nueva tecnología conocida como "Visión Artificial" emergió. La VA o por computadora es una alternativa electrónica a las inspecciones visuales hechas por un operador. Esta tecnología ayuda a las compañías a incrementar su productividad y a ahorrar dinero ya que hace posible el control de calidad al 100% del producto, de una manera rápida, precisa y confiable.

Como se explicó en el capítulo cinco, la inspección es un proceso de comparación de piezas, objetos individuales o materiales continuos fabricados según una norma, con el objetivo de mantener cierto nivel de calidad preestablecido. Dicho suceso es realizado por uno o varios individuos, el problema principal es que una inspección al 100% en un proceso de manufactura, es demasiado costosa, aunado a las fallas o errores que pueden presentar los inspectores por fatiga, agotamiento visual o aburrimiento. La solución a este problema es implantar un Sistema de Visión automatizado, que se basa en la VA, para realizar el proceso de inspección, sin fatigarse y operando durante largas jornadas.

## 6.3 INSPECCIÓN VISUAL AUTOMÁTICA.

La inspección visual automática, se define como un proceso de control de calidad que, mediante técnicas de procesamiento digital de imágenes y reconocimientos de patrones, determina automáticamente si un producto se desvía o no, de las especificaciones de fabricación. De esta manera, se pretende garantizar que los productos que pasen el control de calidad, cumplan con las especificaciones que hayan sido establecidas en su producción, ya sea por el fabricante mismo o bien por alguna norma reguladora. Estas especificaciones se fijan de acuerdo a criterios de seguridad, funcionalidad o estética.

Un SVA utilizado en el control de calidad de un producto, debe ser diseñado de tal forma que cumpla con las dos condiciones siguientes:

- **Eficiencia.** De acuerdo a las especificaciones de producción, se debe detectar en lo posible, el total de productos defectuosos, rechazando simultáneamente la menor cantidad en productos en buen estado.
- **Rapidez.** La velocidad de inspección debe ser acorde a los ritmos de producción, de tal forma que la inspección no desacelere el proceso productivo.



En un sistema de inspección visual automático, se deben establecer ciertos parámetros de calidad, es decir, al determinar que una pieza cumple satisfactoriamente con la calidad establecida, se delimitan las tolerancias tanto inferiores como superiores. Por ejemplo, en una línea de producción se desea inspeccionar el diámetro interior de un lote de piezas maquinadas, el diámetro ideal es de 3 ½ pulgadas, la tolerancia nos permite una desviación de  $\pm 1/4$  de pulgada, por lo tanto tenemos un valor límite superior de 3 ¾ de pulgada y un valor límite inferior de 3 ¼ de pulgada, estos valores se almacenan en el procesador o PC, para que el sistema permita la aceptación de piezas que tengan diámetros que estén dentro de este rango de valores.

Si en el sistema se establecen tolerancias muy justas o con muy poco margen de error, podemos obtener un gran número de falsos positivos o comúnmente llamadas falsas alarmas, lo cual ocasiona demoras considerables de tiempo, baja producción y desecho de productos que se encuentran en perfecto estado y que han sido considerados como defectuosos.

### **6.3.1 Ventajas de la inspección automática.**

Los principales beneficios que ofrece la VA, en la inspección de productos son:

- Independencia de factores humanos.
- Permite distinguir detalles no visibles por el ojo humano.
- Permite trabajar fuera del espacio visible.
- Mayor velocidad de inspección.
- Automatizar mediciones precisas.
- Alinear componentes con alta precisión.
- Sistemas basados en PC, trabajan continuamente sin presentar cansancio.

### **6.3.2 Desventajas de la inspección automática.**

Algunos inconvenientes que puede presentar la inspección automática son:

- Fuertes inversiones.
- Sistemas de alto costo de mantenimiento.
- Dependencia tecnológica.
- Sistemas poco flexibles para diversas tareas.

## **6.4 INTRODUCCIÓN EN LA INDUSTRIA**

Los SVA se están implantando en las industrias con procesos productivos que se caracterizan por contar con líneas de producción en serie con múltiples etapas, alta velocidad de la producción y en compañías que necesitan forzosamente de la inspección al 100% del producto terminado por cuestiones gubernamentales. Lo ideal sería que todas las compañías de manufactura, entreguen productos

con un 100 % de calidad.

Las ventajas para la producción suelen ser:

- Control de calidad en virtualmente todas las piezas y no únicamente en la selección por muestreo.
- Independencia de factores humanos y ambientales.
- Permite ahorros de material y consumo energético.
- Posibilitan el reciclado del material.
- Dan información continua de la producción.
- Gran aumento de la producción.
- Automatizar mediciones precisas.

#### 6.4.1 Aplicaciones comunes en la industria.

Las posibles aplicaciones de la VA en la fabricación moderna son prácticamente infinitas. En cada industria, los objetivos de calidad se hacen cada vez más estrictos, los volúmenes de producción aumentan y las exigencias de mejora de la productividad son continuas. Si una característica visual se puede apreciar utilizando una cámara, es posible utilizar un sistema de visión para inspeccionarla, medirla, verificarla o guiarla. A continuación exponemos algunos ejemplos de las aplicaciones de los SVA en la industria:

##### 6.4.1.1 Industria Automotriz.

- Guía de robots de ensamble para identificar y localizar piezas.
- Identificación y verificación de presencia de partes y piezas.
- Mediciones precisas de distancias, ángulos y diámetros de piezas.
- Verificación de armado de partes, presencia de tornillos y roscas en perforaciones.
- Seguimiento de piezas por lectura de códigos de barras, datamatrix y OCR (reconocimiento óptico de caracteres).
- Detección y verificación de colores en partes.
- Verificación de tableros, armado de cinturones, luces y otros componentes.

Ejemplo de una aplicación automotriz:



Figura 6.1. Verificación de acabado en rines.

**Empresa:** Ford.

**País:** Gran Bretaña.

**Aplicación:** Inspección de rines de acero.

Un SVA es utilizado para verificar la calidad y posición de la soldadura en los rines, fabricados a partir de una banda continua de acero que se conforma, se lamina y se suelda. Se comprueba que la soldadura esté íntegra y que los orificios para los tornillos estén fuera de la línea de soldadura. Ver **figura 6.1**.





### 6.4.1.2 Industria Electrónica.

- Inspección de dimensión y presencia de conectores.
- Verificación del estampado en tarjetas de circuitos integrados.
- Identificación de componentes en tarjetas de circuitos integrados.
- Guía de robots de ensamble para identificar y localizar piezas.

Ejemplo de una aplicación electrónica:

**Empresa:** EBV ELEKTRONIK.

**País:** Alemania.

**Aplicación:** Producción de tableros electrónicos.



Figura 6.2. Inspección de tarjetas electrónicas.

El tiempo y la calidad definen el éxito en la producción de tableros electrónicos. En compañía EBV, los sensores de visión garantizan una cadena de producción rápida y eficiente. Su función es verificar la presencia y el correcto ensamble de las piezas que conforman los tableros electrónicos. Ver **figura 6.2**.

Los sensores de visión también son empleados en la robótica. Ofrecen información de proximidad al control de un robot ensamblador. Ver **figura 6.3**.



Figura 6.3. Sensor ultrasónico de peso pluma, para información de control robótico.

### 6.4.1.3 Industria Biomédica/Farmacéutica.

Verificación y lectura de fechas de vencimiento y número de lote.

- Presencia de píldoras en blisters, detección de ruptura o contaminación por color y/o forma.
- Lectura de código de barras en una y dos dimensiones.
- Presencia de sellos o marcas de seguridad.
- Verificación de presencia y verificación de etiquetas.
- Identificación o selección de productos por color, forma o tamaño.

Ejemplo de una aplicación farmacéutica.

**Empresa:** Astra Zeneca.

**País:** Suecia.

**Aplicación:** OCV.



Figura 6.4. Verificación Óptica de Caracteres en frascos de pastillas.

Astra Zeneca, una de las cinco principales compañías farmacéuticas del Mundo, ha seleccionado un SVA para leer las fechas y códigos de los lotes en los contenedores de pastillas. Ver **figura 6.4**. El Sistema está equipado con herramientas especializadas en la verificación óptica de caracteres, comprueban la legibilidad de la información sobre fecha y lote impreso mediante inyección de tinta sobre los frascos de comprimidos.

#### 6.4.1.4 Industria Alimenticia y de Bebidas.

- Inspección general del empaque, forma correcta del producto y estado del sello o tapa.
- Inspección del correcto nivel de llenado de productos.
- Verificación de limpieza de botellas y envases.
- Verificación de etiquetas: presencia, color, calidad de impresión y alineamiento.
- Control de dosificación y verificación de relleno en dulces y galletas.
- Verificación y lectura de fecha de empaque, número de lote o código de barras.

Ejemplo de una aplicación alimenticia:



Figura 6.5. Verificación de tapas en una línea de refrescos.

**Empresa:** SC Jonson.

**País:** Australia.

**Aplicación:** Inspección de botellas.

En la empresa SC Jonson se instaló un sensor de visión para identificar la presencia de las tapas en los refrescos. Después de que las botellas están llenas se les coloca una tapa, el sensor tiene la tarea de verificar que dicha tapa este colocada correctamente antes de empaquetar el producto. Ver **figura 6.5**.

#### 6.4.1.5 Industria del Plástico.

- Detección de rebaba o defectos por inyecciones cortas.
- Inspección del color correcto de las piezas.
- Protección de moldes en inyectoros contra daños por piezas atrancadas.
- Verificación de cuello o fondo de botellas a la salida de sopladoras.
- Control de dimensiones en piezas inyectadas o sopladas.
- Verificación de ensamble de piezas o armado de tapas.

Ejemplo de una aplicación en plásticos.

**Empresa:** Sherman Plastics.

**País:** USA.

**Aplicación:** Inspección de cuello de botella.

Para evitar goteos y mantener la pureza de los líquidos, el cuello de las botellas de plástico debe tener las dimensiones correctas y no



Figura 6.6. Inspección de acabado final en botellas de plástico.

presentar daños. Como el material es normalmente transparente, se necesita una luz especial para poder ver bien. Sherman utiliza un SVA para inspeccionar más de dos botellas por segundo, comprobando que el cuello tenga el diámetro correcto, sea redondo y no tenga deformaciones que evitarían que la tapa sellara eficazmente en la botella. Ver **figura 6.6**.

En esta empresa encontramos otra aplicación. En una máquina de inyección de plástico, se coloca un SVA a los costados de la puerta, que abre la cavidad donde se coloca el molde para la inyección, formando una cortina de luz, ver **figura 6.7**. La puerta se abre al final de cada ciclo de moldeo para permitir que el operador de la máquina retire las piezas mezcladas antes del próximo ciclo. No se puede iniciar un nuevo ciclo si la cortina de luz se interrumpe. Si se interrumpe la cortina de luz mientras la puerta se cierra, la puerta invertirá la dirección, y el ciclo se cancelará.

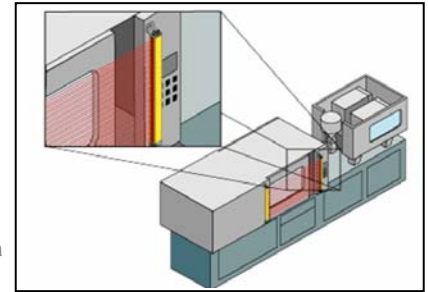


Figura 6.7. Sensor en forma de cortina de luz, para controlar el ciclo de inyección de plástico.

#### 6.4.1.6 Industria del Empaque.

- Verificación y lectura de fechas de vencimiento y número de lote.
- Guía de robots de empaque y paletización.
- Inspección general del empaque, forma correcta del producto y estado del sello o tapa.
- Clasificación y conteo de diferentes productos en la misma línea.
- Inspección de contenido correcto previo a cerrar el empaque.

Ejemplo de una aplicación, para empaque:



Figura 6.8. Robot de palletizado y depalletizado.

**Empresa:** Cryovac.

**País:** Alemania.

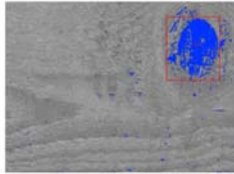
**Aplicación:** Empaquetado de producto terminado.

Esta compañía cuenta con un SVA instalado en un robot. El sistema brinda al robot información de la posición y del estado de las cajas o productos para acomodarlos o descargarlos. Ver **figura 6.8**.

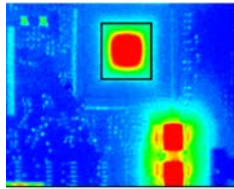
#### 6.4.1.7 Otras aplicaciones.

- Verificación de ensamblados.

- Inspección de papel y madera. Figura 6.9a).
- Monitoreo remoto.
- Verificación de colores.
- Control térmico, verificación de disipación de calor e información de defectos térmicos. Figura 6.9b).
- Inspección de transplante de corneas y densidad celular. Figura 6.9c).



a) Inspección de Madera



b) Control Térmico.



c) Inspección de Córneas.

## 6.5 CONCLUSIONES.

La VA, es una herramienta que esta siendo empleada a nivel mundial en empresas de manufactura y en avances de la medicina. Cada día son más los sectores industriales que ven en estos sistemas una solución para aumentar la productividad y la calidad de sus compañías.

Para las industrias de México esta tecnología puede ser una valiosa herramienta ya que día con día son más los países con los que se tiene que competir industrialmente. La única manera para hacer frente a esta competencia es mantener un alto estándar de calidad y funcionalidad en los productos nacionales.



## **PARTE III**

---

Estructura y funcionamiento de un Sistema de Visión Artificial.



# 7.- ESTRUCTURA DE LOS SISTEMAS DE VISIÓN ARTIFICIAL.

## 7.1 INTRODUCCIÓN

La distribución de un Sistema de Visión Inteligente, puede ser muy variada, dependiendo del tipo de aplicación. Pero en general, podemos decir, que este tipo de sistemas se compone básicamente de los siguientes elementos:

- **Sensores de Imagen o cámaras.** Es el encargado de recoger las características del objeto bajo estudio.
- **Una excelente iluminación.** Es un aspecto de vital importancia ya que debe proporcionar unas condiciones de iluminación uniformes e independientes del entorno, facilitando además, si es posible, la extracción de los rasgos de interés para una determinada aplicación.
- **Objeto de inspección.** Es el elemento u objeto a inspeccionar.
- **Ordenador o modulo procesador.** Es el sistema que analiza las imágenes recibidas por el sensor para extraer la información de interés en cada uno de los casos, implementando y ejecutando los algoritmos diseñados para la obtención de los objetivos.
- **Tarjeta de captura o adquisición de imágenes.** Es la interfase entre el sensor y la computadora o módulo de proceso que permite al mismo disponer de la información capturada por el sensor de imagen.
- **Algoritmo o software de procesamiento.** Es la parte inteligente del sistema. Su misión consiste en aplicar las transformaciones necesarias y extracciones de información



de las imágenes capturadas, con el fin de obtener los resultados para los que haya sido diseñado.

- **Actuadores externos del proceso (opcional).** Son elementos externos al sistema. En un sistema de visión se puede emplear un actuador externo (brazo mecánico ó pistón neumático), para retirar de la línea de producción las piezas clasificadas como errores por dicho sistema.

En la siguiente figura, se muestran los componentes que forman un Sistema de Visión Inteligente.

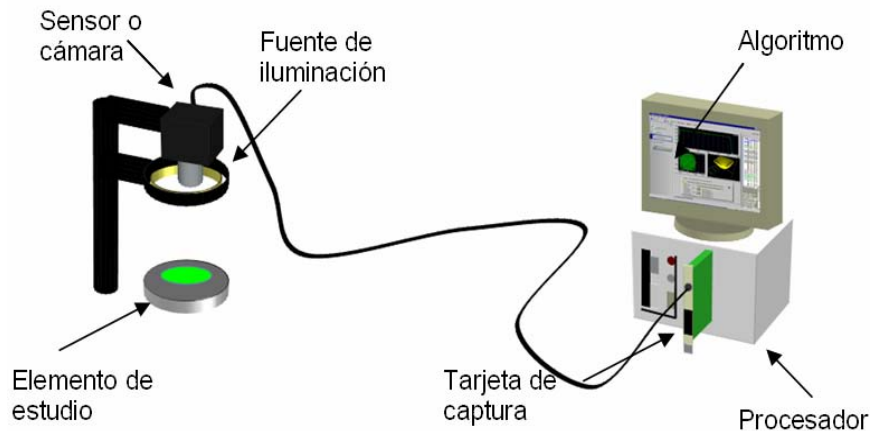


Figura 7.1 Elementos de un sistema de visión Artificial.

Pero antes de analizar la función que realiza cada uno de los elementos mencionados, veamos que es lo que hace exitoso a un sistema de visión.

## 7.2 FUNDAMENTOS DE IMAGEN.

Una imagen perfecta, es lo que hace exitoso a un SVA. Con el fin de alcanzar sus objetivos, la VA se basa principalmente en la imagen digital.

### 7.2.1 Imagen digital.

La imagen digital, está formada por un conjunto definido de puntos llamados píxeles, que forman una matriz con filas y columnas (**figura 7.2**). Cuando mayor sea el número de filas y columnas, mayor será la calidad de la imagen y mayor será su tamaño de archivo.

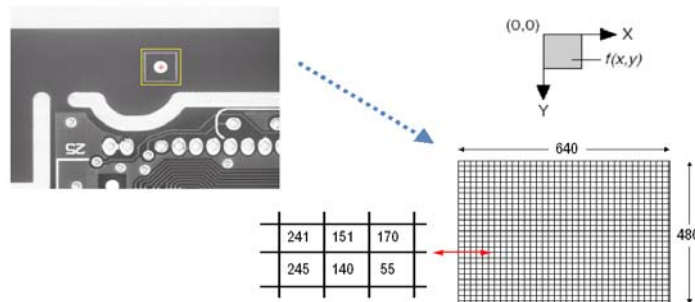


Figura 7.2 Arreglo de píxeles, en forma de matriz de una imagen.

En la imagen anterior, podemos apreciar un arreglo matricial de 640x480 píxeles. Cada píxel de una imagen, almacena la información





de su tono o luminosidad, donde el tono blanco es el valor 0 y el negro es el valor más alto, normalmente 255 en escala de grises (imagen monocromática), pero en formato binario. El formato binario es una notación numérica como puede ser la que utilizamos normalmente, la decimal, con la diferencia de que la binaria es la única que entienden los ordenadores.

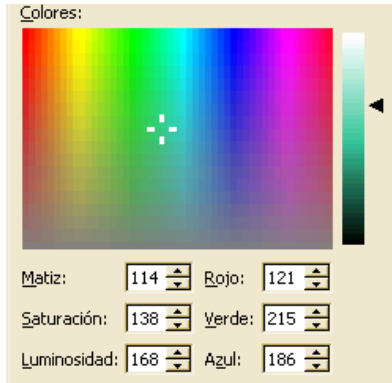


Figura 7.3 Selección de colores.

Veamos el siguiente ejemplo. El color que nos brinda un píxel, es consecuencia de la combinación de varios planos (Alpha, Rojo/Matiz, Verde/Saturación y Azul/Luminosidad). Supongamos que hemos elegido un color, como se muestra en la **figura 7.3**, y obtenemos los siguientes valores:

	Ejemplo	Binario
<b>Alpha</b>	sin uso	---
<b>Rojo/Matiz</b>	121	01111001
<b>Verde/Saturación</b>	215	11010111
<b>Azul/Luminosidad</b>	186	10111010

Convirtiendo el valor binario a decimales, tenemos que el número del color es 7 985 082.

Como podemos apreciar las imágenes son el corazón de los sistemas de visión, y la calidad de estas es de vital importancia, entre mayor sea el número de píxeles, mayor será su nitidez. Ver ejemplo de la **figura 7.4**.



Figura 7.4 a) Imagen normal 40X25 píxeles.



Figura 7.4 b) Imagen normal 320X200 píxeles.

Figura 7.4 Comparación de imágenes con distinto pixelaje.

## 7.2.2 Óptica.

La óptica es una rama de la física que se ocupa de la propagación y el comportamiento de la luz. Su estudio se divide en dos ramas, la óptica física y la óptica geométrica, esta última, es la encargada del cálculo y diseño de lentes para obtener imágenes de mayor calidad.

### 7.2.2.1 Cálculo de los lentes

La distancia adecuada, del lente de la cámara al objeto de estudio, brinda una mejor adquisición de imagen. Veamos la relación entre la cámara o sensor y el área de trabajo (**figura 7.5**). De esta imagen, podemos deducir las siguientes relaciones ópticas:

- Con una distancia de trabajo (DT) constante, entre más





grande el campo de visión (CV) menor tendrá que ser la distancia focal de los lentes.

- Aumentando la apertura del lente se decrementa la profundidad de campo (PC).
- Los lentes vienen con una distancia de trabajo específica (mínima y máxima), dentro de la cual se puede ajustar correctamente el foco de la imagen.

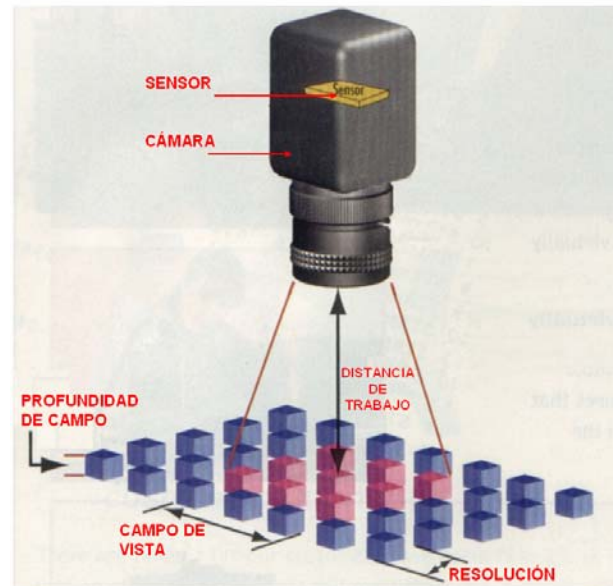


Figura 7.5. Relaciones ópticas.

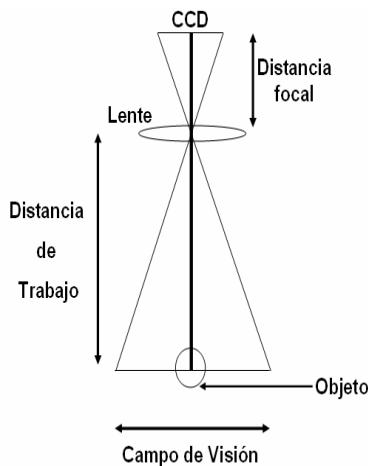


Figura 7.6. Distancia de los lentes.

Veamos ahora una ecuación para determinar la distancia de los lentes. Para ello, nos auxiliaremos de la **figura 7.6**.

la relación para el cálculo de los lentes nos queda de la siguiente manera:

$$\frac{\text{Tamaño de CCD}}{\text{Distancia Focal}} = \frac{\text{Tamaño CV}}{\text{Distancia de trabajo}}$$

Cuanto mayor sea la distancia focal, más grande se apreciara el objeto observado y será menor el campo de visión de la cámara. En la siguiente imagen (**figura 7.7**), tenemos un ejemplo de esta aplicación.

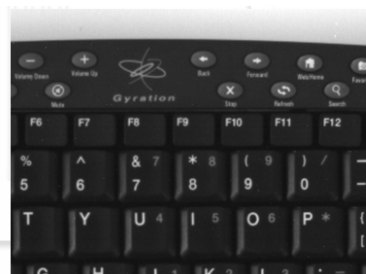


Figura 7.7 a). Lente de distancia focal larga (16mm).



Figura 7.7 b). Lente de distancia focal corta (4.8mm).

Figura 7.7. Diferencia entre distancias focales.



### 7.2.2.2 Tiempo de exposición.

El tiempo de exposición es el periodo que tarda el objeto de estudio, en estar frente al lente de la cámara. Entre mayor sea el tiempo de exposición, la ganancia será baja y por el contrario un tiempo de exposición bajo asegura una ganancia elevada. Veamos la diferencia, en la **figura 7.8**, la imagen de la izquierda fue captada con un tiempo de exposición alto y la imagen de la derecha fue captada en un periodo corto.

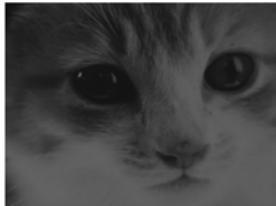


Figura 7.8 a). Tiempo de exposición alto, baja ganancia.



Figura 7.8 b). Tiempo de exposición bajo, ganancia elevada.

Figura 7.8. Diferencia entre periodos de exposición.

## 7.3 MÓDULOS DE UN SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL.

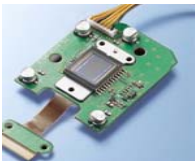


Figura 7.9 Sensor CCD.

### 7.3.1 Elemento de captura de imagen.

Actualmente existe una gran variedad de elementos para capturar imágenes. En los siguientes apartados se mencionan los más importantes.

#### 7.3.1.1 Sensor CCD

Los sensores de imagen o cámaras inteligentes son componentes sensibles a la luz que modifican su señal eléctrica, en función de la intensidad luminosa que perciben. La tecnología más habitual en este tipo de cámaras, es el CCD (Charger Coupled Device o dispositivo de acoplamiento de carga), donde se integra en un mismo chip, los elementos fotosensibles, un conjunto de puertas lógicas y circuitería de control asociada, **figura 7.9**.

El CCD, es un sensor de imagen que utiliza elementos semiconductores fotosensibles en forma de arreglos matriciales, como se puede apreciar en la **figura 7.10**. Los receptores activos de este arreglo son distribuidos en píxeles individuales.

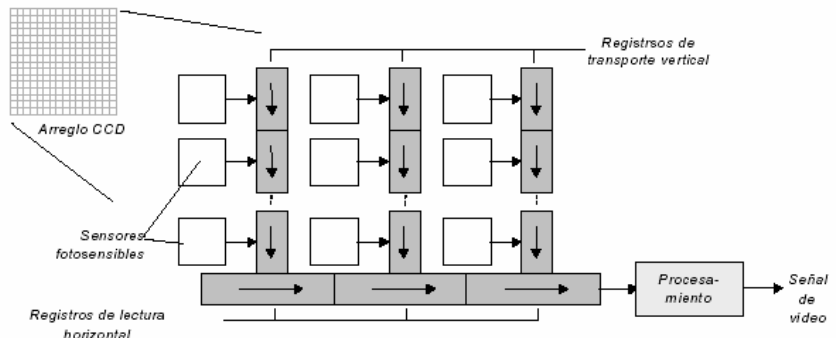


Figura 7.10. Construcción de un arreglo CCD.



Las cámaras CCD son consideradas como dispositivos que poseen una muy baja deformación geométrica de la imagen, una muy buena sensibilidad a la luz y una muy buena resolución llegando típicamente a los 400,000 píxeles. El tiempo de captura de la imagen está típicamente en el rango de 1/60s y 1/10000s.

#### 7.3.1.2 Sensor CMOS.

Otra tecnología que está empezando a extenderse son los sensores **CMOS** (Complementary Metal Oxide Semiconductor), dadas las ventajas de éstos sobre los CCD y la reducción de precios de estos dispositivos. En cuanto al rango dinámico (rango de amplitud entre los valores máximos y mínimos que un elemento puede producir, medidos en decibelios), se pasa de los 70dB de los sensores CCD a los 120dB de los sensores CMOS, valor más cercano a los 200dB del ojo humano, como se puede apreciar en la **figura 7.11**



Figura 7.11. Diferencia de un rango dinámico entre sensores CCD (izquierda) y sensores CMOS (derecha).

#### 7.3.1.3 Sensores Lineales.

Existen diferentes arquitecturas de sensores. En primer lugar están los **sensores lineales**, estos dispositivos están compuestos por una línea de fotodiodos. Esta arquitectura permite la utilización de sensores de 1X1024, 1X2048, 1X4096 e incluso 1X6000 píxeles, lo que la hace muy adecuada para trabajar con altas resoluciones sobre superficies en movimiento.

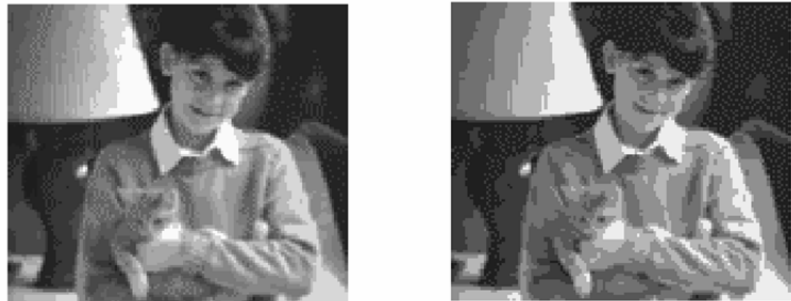
#### 7.3.1.4 Sensores de Iluminación y Velocidad.

Para condiciones de iluminación muy exigentes o velocidades de trabajo muy altas existe la posibilidad del uso de los **sensores TDI** (*Time Delay Integrated*). Esta tecnología consiste en el uso de varias líneas de captura sobre la misma línea del objeto, con el fin de sumar su carga y obtener así una mayor sensibilidad. En segundo lugar están los **sensores de área**. Estos alcanzan resoluciones habituales de 1024X1024 y presentan dos tecnologías de adquisición de imágenes, entrelazada y no entrelazada. El método entrelazado captura las líneas pares e impares que forman una imagen en instantes de tiempo diferentes. La tecnología de no entrelazado (*progresive scan*) *capturan todas las líneas en el mismo instante de tiempo*. Es más costoso económicamente, pero indispensable para trabajar con objetos en movimiento.

#### 7.3.1.5 La Cuantización.

Independientemente de la arquitectura utilizada, existen otros

aspectos importantes en los sensores. La **cuantización** (conversión Analógica-Digital), determina el número de bits utilizados para representar la información capturada. Por ejemplo, utilizando un sistema blanco y negro de 8 bits tenemos 256 niveles de gris diferentes, mientras que, usando un sistema de 16 bits, obtendríamos 1024 niveles de gris diferentes, lo que permite una mayor definición, como lo podemos ver en la **figura 7.12**.



**Figura 7.12** Comparación de cuantización entre imágenes. Imagen con 16 niveles de gris (izquierda), imagen con 8 niveles de gris (derecha).

### 7.3.2 Sistemas de Iluminación.

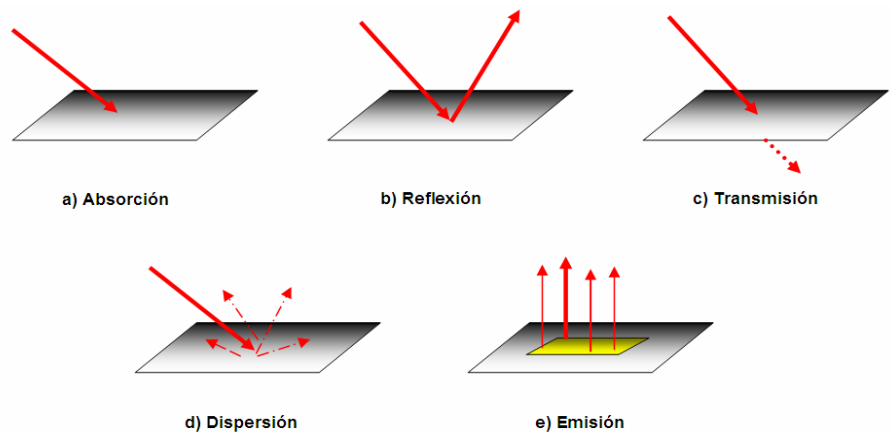
Un buen sistema de iluminación simplifica de manera considerable, el análisis de una imagen captada.

La iluminación ambiente no es deseada, normalmente, debido a que proporciona imágenes con poco contraste, proyecta sombras no deseadas sobre los objetos inspeccionados, no es controlable y puede cambiar de forma aleatoria.

Los objetivos de una iluminación adecuada son, básicamente independizar las condiciones del entorno y resaltar los rasgos de interés del objeto en estudio, para una determinada aplicación.

#### 7.3.2.1 Características de superficie.

Los objetos presentan ciertas características sobre sus superficies, en la **figura 7.13**, se ejemplifican dichas cualidades.



**Figura 7.13** Características de superficie. a) Absorción, b) Reflexión, c) Transmisión, d) Dispersión, e) Emisión.



- a) Absorción.** Las superficies de absorción no reflejarán ni transmitirán ninguna luz que se incida sobre ellas.
- b) Reflexión.** Una superficie reflectora, reflejará toda la luz que es incidente en la superficie.
- c) Transmisión.** Este tipo de superficie permite que pase una cierta cantidad de luz a través de sí misma.
- d) Dispersión.** Es otro tipo de reflexión. En la superficie de dispersión la luz se refleja en todas direcciones, mientras que en la de reflexión, el ángulo de luz incidente es igual al ángulo de luz reflejada.
- e) Emisión.** La emisión es cuando la superficie emite luz por sí misma. Esto es normalmente debido a que se está irradiando luz térmica desde la pieza.

### 7.3.2.2 Técnicas de iluminación.

Una de las consideraciones a tener en cuenta cuando se desarrolla un SVA, es el ambiente de iluminación.

Muchas de las aplicaciones funcionan correctamente en el laboratorio, sin embargo cuando se instalan en la línea de producción de la fábrica no funcionan porque se ven afectadas por la luz ambiente. En este caso se debe controlar el ambiente en el que se va a hacer la inspección, bien puede ser instalando una carcasa, o utilizando una iluminación con una longitud de onda determinada y una cámara con un filtro para esa longitud de onda.

Existen diferentes técnicas de iluminación que se utilizan para resaltar diferentes aspectos de las piezas que se van a analizar en una aplicación de visión artificial. Describiremos las formas de iluminación, según distintas categorías: Iluminación frontal o de campo claro, iluminación lateral, iluminación de campo oscuro, iluminación por contraste, iluminación en el mismo eje o coaxial, iluminación coaxial avanzada e iluminación difusa continua.

#### 7.3.2.2.1 Iluminación frontal.

Es la técnica más común de iluminación. La cámara se posiciona mirando al objeto en la misma dirección que la luz. La cámara recibe la luz reflejada del objeto (**figura 7.14**). Este tipo de iluminación se consigue mediante anillos de luz, iluminadores puntuales, de área y lineales. Esta iluminación es especialmente útil en superficies con pocos reflejos (papel, tela, cartón entre otros).

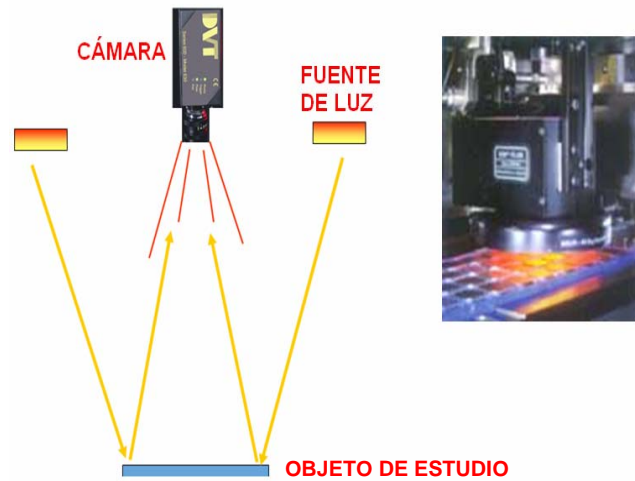


Figura 7.14 Técnica de iluminación frontal.

### 7.3.2.2 Iluminación lateral.

Esta técnica se utiliza para resaltar ciertos detalles en las piezas que solo son visibles orientando la luz en forma lateral a la posición de la cámara, ver **figura 7.15**.

Figura 7.15 Técnica de iluminación lateral (figura izquierda). En la imagen derecha, podemos apreciar el efecto de la iluminación, aplicado a una pieza de metal.

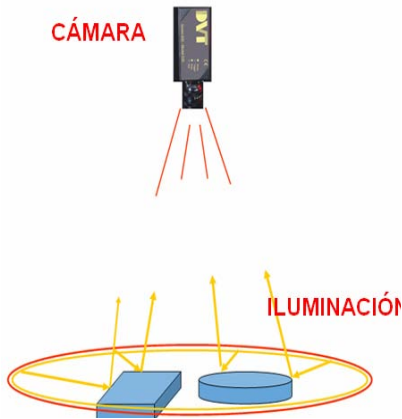


Figura 7.16 Iluminación en campo oscuro.

### 7.3.2.2.3 Iluminación de campo oscuro (Dark field).

Esta técnica se utiliza para resaltar los defectos superficiales, grietas, surcos y detalles de impurezas. O para detectar, identificar y leer caracteres o barras grabadas en una superficie. Normalmente se utilizan anillos de luz en dirección perpendicular a la cámara. En la **figura 7.16**, podemos apreciar esta técnica.

En la siguiente figura podemos ver una aplicación con luz anular y otra de iluminación en campo oscuro (**figura 7.17**). La imagen de la izquierda es una tuerca iluminada con una luz anular. La misma tuerca iluminada con la técnica de campo oscuro (figura derecha), proporciona una imagen más clara para apreciar los bordes de la





pieza, permite que se distingan más fácilmente las superficies y los contornos de la pieza.



Figura 7.17 a) Llave iluminada con luz anular.



Figura 7.17 b) La misma Llave iluminada con luz Dark Field.

Figura 7.17 Ventajas de la iluminación en campo oscuro.

#### 7.3.2.2.4 Iluminación por contraste.

Esta técnica se utiliza colocando el objeto entre la iluminación y la cámara (*figura 7.18*). De esta forma se puede reconocer la silueta del objeto por contraste y realizar mediciones muy precisas. Aunque no permite reconocer los detalles superficiales de las piezas a inspeccionar. Se utiliza también en aplicaciones con materiales translucidos o transparentes para visualizar manchas, rayas o grietas.

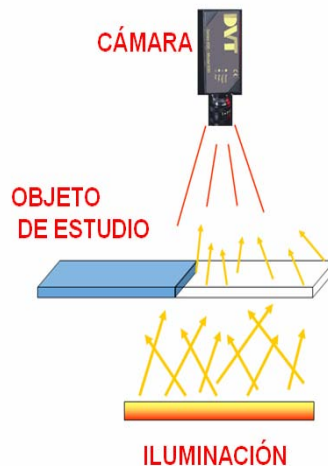


Figura 7.18 Técnica de iluminación por contraste.

En la *figura 7.19*, podemos valorar la aplicación de esta técnica. En la imagen izquierda tomada con luz anular, se muestra una gran cantidad de reflexión, no se proporciona contraste en el espacio de interés (el filamento y su envoltura). En la imagen derecha, el elemento de estudio, que es iluminado por contraste, proporciona una buena diferencia entre el filamento y la cubierta exterior del bulbo.

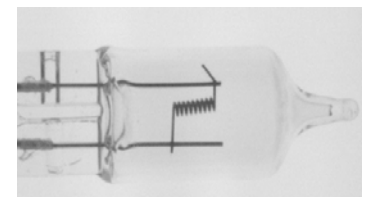
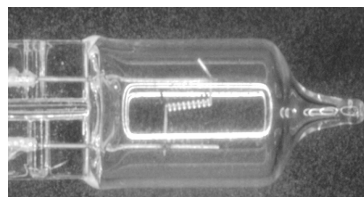


Figura 7.19 Diferencia entre una iluminación sencilla y una iluminación por contraste.

### 7.3.2.2.5 Iluminación coaxial.

Esta es una técnica que se usa para iluminar objetos reflectantes. La luz se emite de forma lateral sobre un espejo semitransparente (separador de haz), que desvía los haces de luz en la misma dirección que el eje de la cámara, como se muestra en la **figura 7.20**. El 75% de la luz es reflejada por el espejo, el 25% restante pasa a través de este. Cuando la luz refleja el objeto, cerca del 25% de la imagen captada, se refleja de regreso del separador de haz. El resultado final es que cerca del 50% de la luz que se crea de la fuente, se refleja del objeto directamente a la cámara. De esta forma se consigue una luz difusa homogénea.

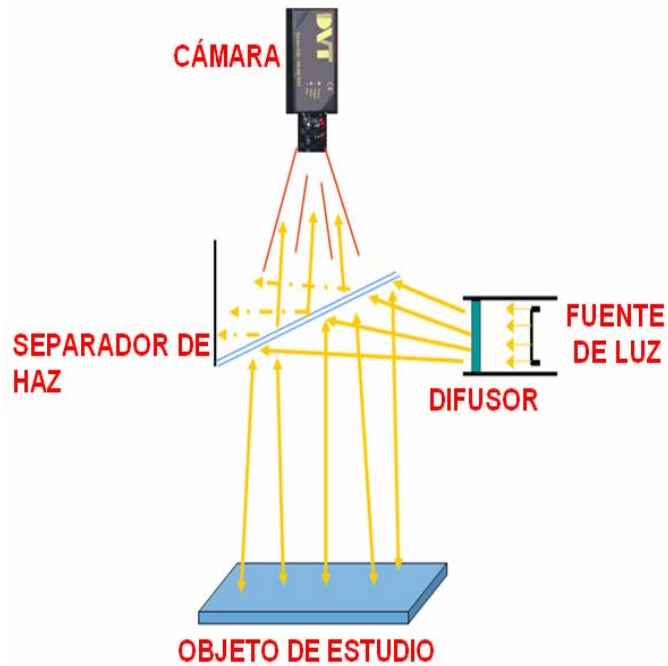


Figura 7.20 Iluminación coaxial.

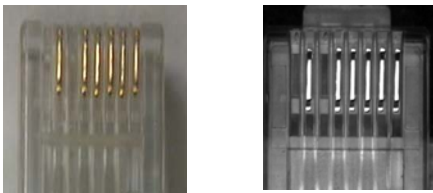


Figura 7.21 Ventajas de la iluminación coaxial.

Esta técnica es ideal para la inspección de objetos muy reflectantes, como verificar la presencia de conductores de metal, en un conector de plástico, ver **figura 7.21**. Como puede apreciarse en la imagen de la izquierda, los conectores de metal no se distinguen claramente de la cubierta de plástico. En cambio en la imagen de la derecha, los conectores se pueden distinguir claramente gracias a la iluminación coaxial.

### 7.3.2.2.6 Iluminación coaxial avanzada.

Este tipo de iluminación ofrece un mejor rendimiento en aplicaciones con materiales altamente reflectantes. Es muy similar a la aplicación anterior, solo que en esta se añade otro difusor (ver **figura 7.22**), de tal forma que la luz incide de manera más indefinida sobre el objeto.



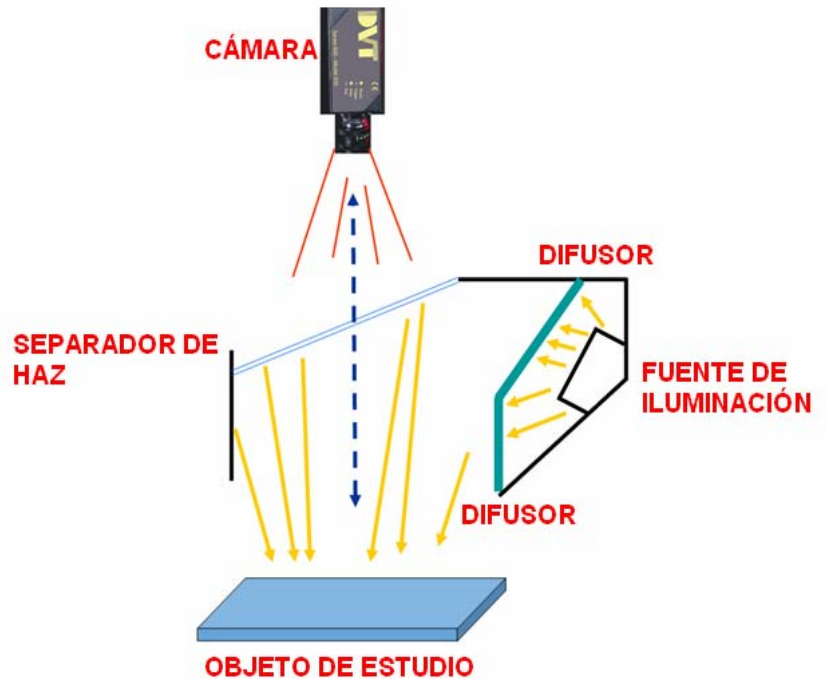


Figura 7.22. Iluminación coaxial avanzada.

Este tipo de arreglos se utilizan para iluminar superficies muy brillantes, como papel de aluminio, blister farmacéuticos o códigos de barra. En la siguiente imagen (**figura 7.23**) podemos apreciar una de sus tantas aplicaciones.

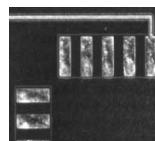


Figura 7.23 a) Imagen captada con luz anular.

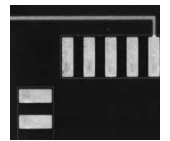


Figura 7.23 b) Misma imagen con iluminación coaxial avanzada

Figura 7.23 Beneficios de la iluminación coaxial avanzada.

### 7.3.2.2.7 Iluminación difusa continúa.

La técnica denominada Difusión Continua ofrece el máximo nivel posible de rendimiento en iluminación difusa. Ha sido diseñada para las aplicaciones más complejas y combina iluminación reflectante en una cúpula esférica (Iluminador Difuso Continuo (IDC)) e iluminación coaxial en la parte superior (**figura 7.24**). La luz se encuentra dentro del domo y se refleja en toda la superficie interior hacia el objeto. Esto brinda luz instantáneamente de todos los ángulos al elemento de estudio, ocasionando una iluminación uniforme y completamente dispersa.

Ha esta iluminación se le denomina también "Iluminación de Día Nublado" ya que no produce ningún tipo de sombra. Puede utilizarse para iluminar las superficies especulares más complejas, incluyendo instrumental médico, espejos, compact disk, o latas de refresco.

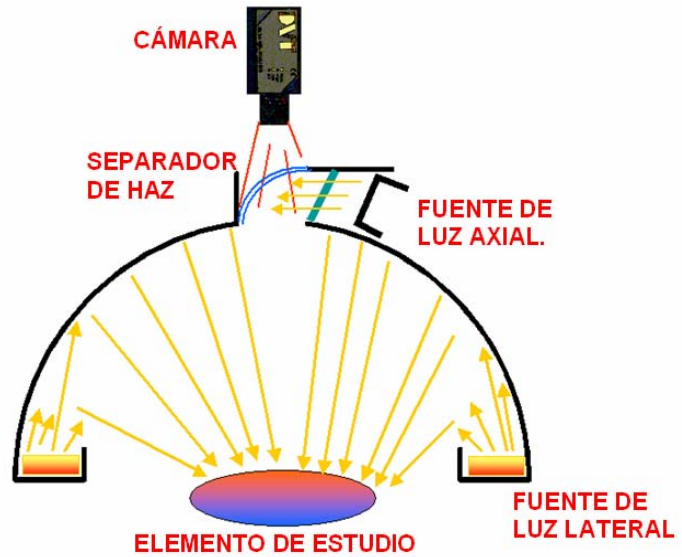


Figura 7.24 Arreglo de iluminación difusa continua.

Una aplicación exitosa del Iluminador Difuso Continuo es la siguiente. La imagen de la **figura 7.25**, muestra la parte inferior de una lata de soda (imagen izquierda), con una superficie muy reflejante y de forma cóncava. Este tipo de imperfecciones son solucionadas con el IDC. En la imagen de la derecha, se observa el mismo objeto iluminado con la ayuda de una luz difusa continua. Como puede apreciarse esta imagen es mucho más confiable, ya que proporciona el contraste necesario para una inspección de fechas de caducidad, en productos alimenticios.



Figura 7.25 a) Objeto con iluminación deficiente.



Figura 7.25 b) Aplicación de Iluminación Difusa Continua.

Figura 7.25 Beneficio de la iluminación difusa continua sobre una iluminación ordinaria.

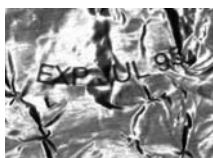


Figura 7.26 a) Sello de papel aluminio con luz directa frontal.

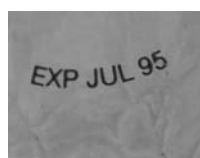


Figura 7.26 b) Sello de papel aluminio con técnica IDC.

Figura 7.26 Ventajas de la Iluminación Difusa Continua sobre una iluminación normal.

Otro empleo aceptable del Iluminador de Día Nublado, es el que se presenta en la **figura 7.26**. La imagen del lado izquierdo muestra una lámina plegada, iluminada con una luz anular. La imagen del lado derecho, muestra la misma lámina iluminada con el IDC. Como se puede percibir, sería imposible que un Sistema de Visión leyera la fecha y el código de seguridad de la imagen de la izquierda. La fecha de caducidad en la imagen del lado derecho, es muy fácil de leer ya que proporciona un contraste uniforme.

### 7.3.2.2.8 Fuentes luminosas.

Entre los elementos comerciales que se pueden utilizar para una correcta iluminación de un sistema de visión cabe destacar: luces incandescentes, focos halógenos, fluorescentes, el láser, leds, fibra óptica y luces estroboscópicas.



- **Luces Incandescentes.** Las luces incandescentes presentan un coste bajo, son fáciles de usar y además pueden estar funcionando durante largos periodos de tiempo. Éstas suelen ser puntos luminosos, no direccionales y con moderada eficiencia energética. Generalmente presentan la posibilidad de ajustar la intensidad lumínica. El principal inconveniente es el elevado calor que desprenden, producto de su funcionamiento y que limita su aplicación.

- **Focos halógenos.** Cuando las fuentes luminosas emplean corriente alterna, la radiación luminosa varía de intensidad y puede provocar la variación de una imagen a otra. Por eso, a veces, se emplean fuentes luminosas que puedan ser alimentadas con corriente continua, como sucede con las lámparas halógenas. Estas bombillas tienen una temperatura menor que las incandescentes (350°C).



Figura 7.27. Lámpara Fluorescente tipo corona.

- **Lámparas fluorescentes.** Los fluorescentes son fuentes de luz que se caracterizan por no generar calor. Presentan formas y tamaños variables, así como de diversos colores de luz (**figura 7.27**). Son comúnmente empleados en iluminación difusa. La alimentación debe ser en corriente alterna y para evitar fluctuaciones en las imágenes se emplean reactancias de altas frecuencias (de 100Hz a 25kHz).



Figura 7.28. Luz láser.

- **Láser (**figura 7.28**).** Es una fuente monocromática que puede presentar diferentes patrones de luz: punto, línea y rejillas. Su gran inconveniente es la necesidad de emplear sistemas de seguridad, para evitar daños en los operarios que trabajen cerca de estos sistemas de iluminación (el láser por encima de 5 mW es peligroso).

- **Fibra óptica.** El uso de fibra óptica, como guía de luz, está asociado a la transmisión de la iluminación pero no del calor, por lo que suele ir asociado a fuentes incandescentes. Su aplicación está principalmente en la iluminación de pequeñas áreas y concavidades, como por ejemplo en la endoscopia.

- **Las luces estroboscópicas.** Son ideales para analizar objetos en movimiento o piezas en una cinta transportadora. Dan una iluminación intensa, por lo que la iluminación ambiental influye poco. Existen elementos con pulsos de 2 microsegundos. El mayor inconveniente es el proceso de sincronización entre la iluminación y la cámara.

#### 7.3.2.2.9 Contraste de colores.

Las luces de color son de gran utilidad para crear contraste en los objetos que se van a inspeccionar. Al usar una luz de color opuesta al color del objeto (ver **figura 7.29**), la imagen captada de dicho objeto aparecerá más oscura (luz roja hace al verde más oscuro). Por el contrario al utilizar una luz del mismo color, estaremos

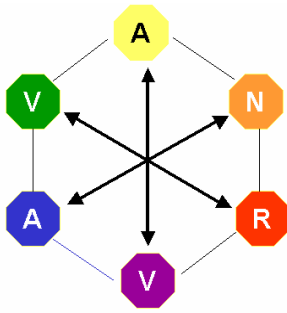


Figura 7.29 Relación de colores.

resaltando las características del objeto iluminado.

En el siguiente ejemplo (**figura 7.30**), podemos apreciar un disco rojo iluminado por una luz roja (imagen izquierda). En la imagen del lado derecho, tenemos el mismo disco pero iluminado por una luz verde. Como se puede observar este último efecto ocasiona un mayor contraste y por lo tanto una mejor apreciación del objeto.

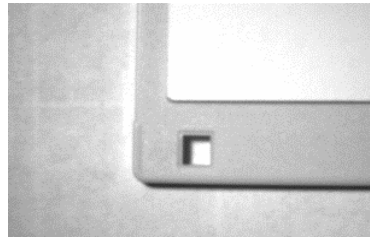


Figura 7.30 a) Disco rojo con luz roja.

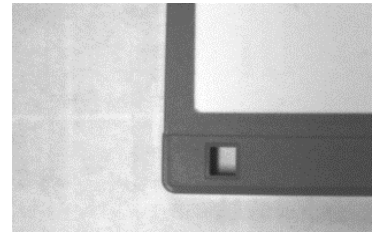


Figura 7.30 b) Disco rojo con luz verde.

Figura 7.30 Diferentes contrastes entre color de luz y color del elemento de inspección.

### 7.3.3 Elemento de estudio.

Un elemento de estudio es todo artículo, objeto, elemento o producto que puede estar parcial o totalmente terminado y que forma parte de una línea de producción continua.

El principal objetivo de inspeccionar este elemento es el de verificar que cumpla con ciertas normas de calidad preestablecidas, para la total satisfacción de los consumidores de este producto.

### 7.3.4 Ordenador ó Módulo Procesador.

Es el sistema que analiza las imágenes recibidas por el sensor para extraer la información de interés en cada uno de los casos implementando y ejecutando los algoritmos diseñados para la obtención de los objetivos a la velocidad necesaria para poder interactuar con el entorno en tiempo real. Los altos requerimientos computacionales de esta tecnología no se pueden especificar en una forma genérica.

Quizás sea este el campo que más rápidamente ha evolucionado, debido al uso generalizado de este tipo de sistemas en todos los campos. La potencia de los procesadores actuales, junto con las arquitecturas hardware y software, permite el desarrollo de algoritmos complejos con tiempos de respuesta muy cortos y dentro de los requerimientos de las aplicaciones de tiempo real.

Estas unidades procesadoras suelen estructurarse en tres formas básicamente: como una PC normal, como un procesador embebido y como sistemas multiprocesadores.

- **PC.** Es un procesador comúnmente conocido como PC de escritorio y que trabaja bajo un sistema operativo como



Figura 7.31 Procesador embebido.

windows 98, 2000, NT server o XP. Cuenta con un alto procesamiento y capacidad de disco duro y se puede programar en diferentes lenguajes (msdos, C++, entre otros).

- **Procesador Embebido.** Es un pequeño módulo procesador de datos (**figura 7.31**), en tiempo real y con una conectividad múltiple de cámaras o sensores.
- **Sistemas Multiprocesadores.** Es una combinación de los dos sistemas anteriores (**figura 7.32**) cuenta con gran capacidad de disco duro, alto procesamiento, trabaja en sistema operativo Windows o en tiempo real y tiene la capacidad de programarse en varios lenguajes.



Figura 7.32 Sistemas Multiprocesadores.

### 7.3.5 Tarjeta de adquisición de datos.

Es la interfase entre el sensor y el ordenador o módulo de proceso, que permite al mismo, disponer de la información capturada por el sensor de imagen.

Las tarjetas de captura de imagen permiten transferir la imagen de la cámara a la memoria del ordenador, con el fin de que este pueda realizar el procesamiento adecuado de las imágenes. Aspectos importantes en esta tarjeta son la velocidad de transmisión, el formato de los datos, el número de píxeles, la capacidad de captura por disparo, la velocidad de transferir la imagen a la memoria del procesador y la capacidad de controlar parámetros de la cámara en tiempo real.

Un aspecto relativamente reciente 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 que dispone para trabajar con cámaras *multitap* que transmiten a la vez varios píxeles por cada uno de los canales.



Figura 7.33 tarjeta de captura (Anaconda).

Actualmente una de las tarjetas más sofisticada es la conocida como Anaconda (**figura 7.33**). Basada en una tarjeta de 64bits, la Anaconda ha sido diseñada especialmente para la captura, proceso y análisis de la imagen en tiempo real. Combina la posibilidad de conectar dos cámaras a un sistema de captura de imagen a muy alta velocidad (Hasta 85MHz por canal), con una memoria programable por el usuario. El conjunto permite realizar cualquier tipo de proceso y análisis de imagen en tiempo real en una sola placa, sin necesidad de utilizar la CPU del PC.



La Anaconda es ideal para aplicaciones embebidas donde se requiere un intenso procesamiento de las imágenes siendo especialmente útil en entornos científicos como el diagnóstico por rayos X, fluoroscopia, en sistemas industriales como la inspección de pantallas LCD, inspección de obleas de semiconductores, así como en aplicaciones militares y aeroespaciales donde se requiera una excepcional potencia de proceso.

### 7.3.6 Algoritmos de análisis de imagen.

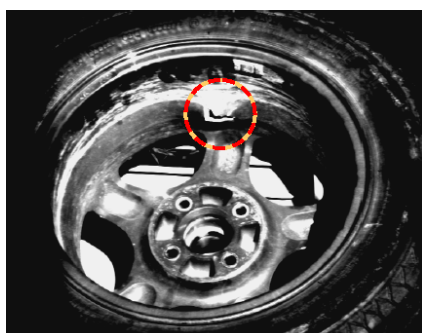
Es la parte inteligente del sistema. Su misión consiste en aplicar las necesarias transformaciones y extracciones de información de las imágenes capturadas, con el fin de obtener los resultados para los que haya sido diseñado.

La base de la algoritmia de un SVA, es la interpretación y el análisis de los píxeles de una imagen y abarca numerosas técnicas y objetivos. El resultado final puede ser, desde la medida de una partícula, a la determinación o lectura de una serie de caracteres (OCR), pasando por cualquier otro proceso que podamos imaginar sobre las imágenes.

En una aplicación industrial los algoritmos de procesamiento abarcan varias etapas:

- **Filtrado o pre-procesamiento.**
- **Segmentación o aislamiento de los objetos de interés.**
- **Extracción y selección de características.**
- **Clasificación.**

Veamos el siguiente ejemplo para entender mejor cada una de las etapas de la algoritmia.



**Figura 7.34** Accidente en una rueda, producto de una inspección deficiente.

Hay varios casos en la industria en los que la inspección debe aplicarse rigurosamente en función de la seguridad. Uno de ellos es el caso de la industria automotriz, en la que se utilizan rayos X para determinar si las piezas presentan fallas internas. En este caso un control de calidad errado que no detecte una fisura o una burbuja interna en una rueda, puede ocasionarle al conductor un accidente serio, como se aprecia en la **figura 7.34**. Cabe mencionar, que este tipo de inspección, si lo realizará una persona, no debe ser por muestreo, ya que es necesario examinar el 100% de las piezas fabricadas.

La inspección visual automática se realiza comúnmente utilizando un método de reconocimiento de patrones (algoritmo de análisis de imagen), como ya lo hemos mencionado. Veamos los pasos a seguir (**figura 7.35**). Los procedimientos son: formación de la imagen, filtrado o preprocesamiento, segmentación, extracción de características y clasificación.

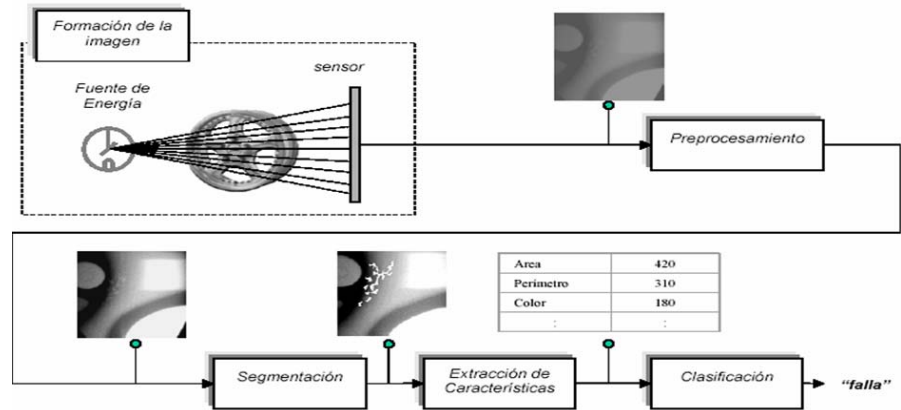


Figura 7.35 Etapas de la detección automática de fallas.

### 7.3.6.1 Formación de imagen.

La imagen debe obtenerse utilizando alguna fuente de energía que en interacción con el objeto de análisis brinde información sobre su estado. 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.

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

El sensor debe ser bidimensional (o unidimensional en movimiento) para poder captar las dos dimensiones de la imagen. A través de un conversor análogo-digital se convierte la señal eléctrica a un código binario que puede ser interpretado por un procesador para conformar una imagen digital del objeto de estudio.

### 7.3.6.2 Filtrado.

En esta etapa se intenta aumentar la calidad de la imagen con el fin de reconocer mejor las fallas que puedan existir en la misma.

Algunas de las técnicas empleadas en el filtrado son:

- Conversión de los niveles de gris. Su objetivo es la mejora de la calidad de la imagen.
- Transformaciones geométricas. Los objetivos de ésta son la corrección de la perspectiva y la reconstrucción tridimensional de los objetos de la escena.
- Transformación del histograma. Las transformaciones del histograma pueden facilitar la segmentación de objetos de la imagen, aunque habitualmente sólo sirve para modificar el contraste de la imagen y el rango dinámico de los niveles de gris.



- Filtrado digital o integración. Dado que pueden suponer una importante modificación de la imagen original, generalmente sólo se consideran filtrados aquellas operaciones realizadas en el dominio espacial o frecuencial que suponen transformaciones pequeñas de la imagen original.

Continuado con nuestro ejemplo, se muestra en la **figura 7.36** la técnica de integración, en la que se toman  $n$  imágenes de la misma escena a analizar. La imagen "integrada" corresponde al promedio de las  $n$  imágenes tomadas. El objetivo de esta técnica es disminuir el factor ruido.

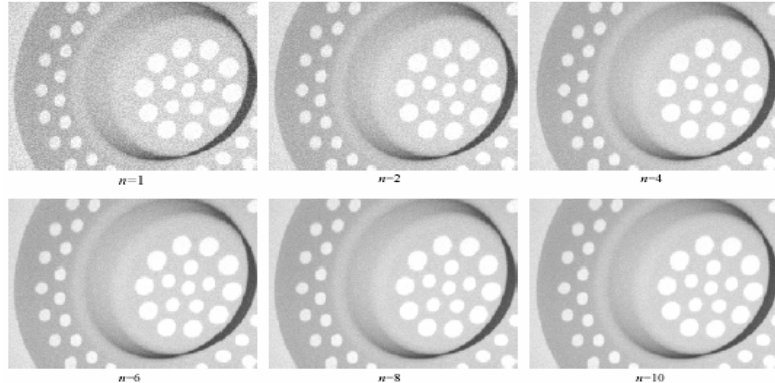


Figura 7.36 Integración de "n" imágenes para reducción de ruido.

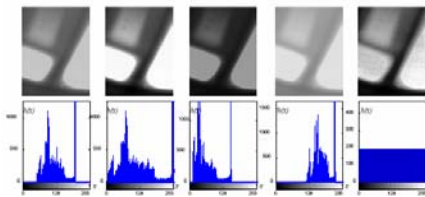


Figura 7.37 Mejora de contraste: imágenes (arriba), histograma (abajo).

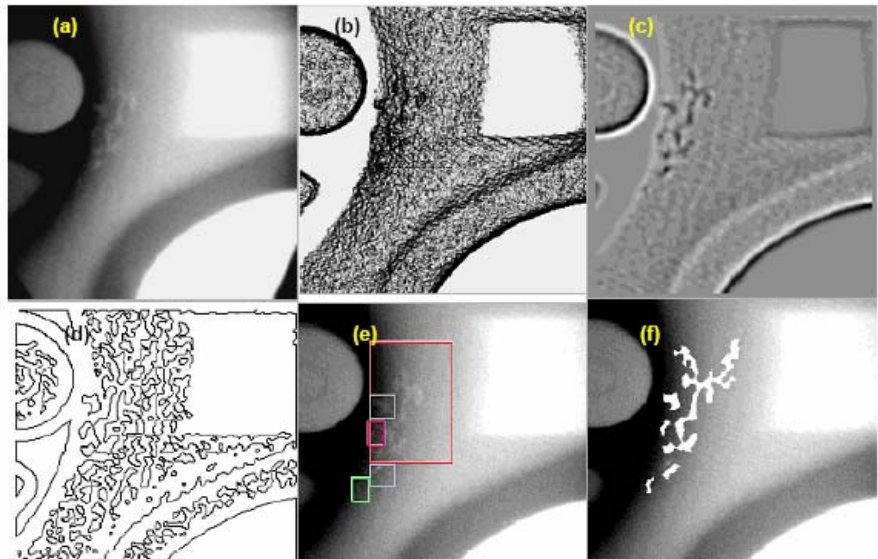
La modificación del histograma de la imagen es ampliamente usada para mejorar el contraste de una imagen. Veamos el ejemplo de la **figura 7.37**.

### 7.3.6.3 Segmentación.

El proceso de segmentación divide la imagen digital en regiones inconexas, con el fin de separar las partes de interés del resto de la escena. A lo largo de las últimas décadas se han desarrollado diversas técnicas de segmentación, las que se pueden agrupar en tres: técnicas orientadas al pixel, a los bordes y a las regiones. Dentro de ellas se pueden destacar los siguientes métodos: ajuste de umbral (*thresholding*), que según el análisis del histograma de la imagen se puede establecer un umbral en la escala de grises (o color) que separe los pixeles de las partes de interés del resto de la escena; línea divisoria de aguas (*watershed*) que a partir de los mínimos en la imagen se aumenta gradualmente el nivel de gris, como si fuera agua que se vierte en un valle, hasta encontrar sus *valles* vecinos; detección de bordes de las regiones mediante la búsqueda de máximos en el gradiente de la imagen (segunda derivada de la imagen); filtros en los que se considera la exactitud en la posición del borde y la cantidad de bordes detectados; y detección de regiones mediante agrupación de pixeles vecinos con características similares (*Region Growing*).

Se presenta en la **figura 7.38**, una detección de fallas utilizando la detección de bordes. En esta técnica se buscan los cambios bruscos del color en la imagen (bordes), para constituir así zonas delimitadas por bordes que constituyen fallas.





**Figura 7.38** Detección de fallas utilizando detección de bordes: a) Imagen original, b) gradiente, c) segunda derivada, d) y e) bordes usando filtros y f) detección de fallas.

#### 7.3.6.4 Extracción de características.

En la inspección de objetos, la segmentación detecta regiones que pueden ser fallas (ver imagen 7.38), o bien, otras secciones del objeto. Luego, la extracción de características se centra principalmente en la medición de las propiedades geométricas (área, perímetro, factores de forma, o momentos invariantes y de coloración de las regiones (nivel de gris, componentes de color, gradiente, segunda derivada, características de textura). Es importante saber cuáles características son las que brindan información sobre las fallas. Con este fin se realiza una selección de características, tomando aquellas que mejor describen las fallas (eliminando por ejemplo aquellas características que estén correlacionadas entre sí o que no brinden información alguna).

#### 7.3.6.5 Clasificación.

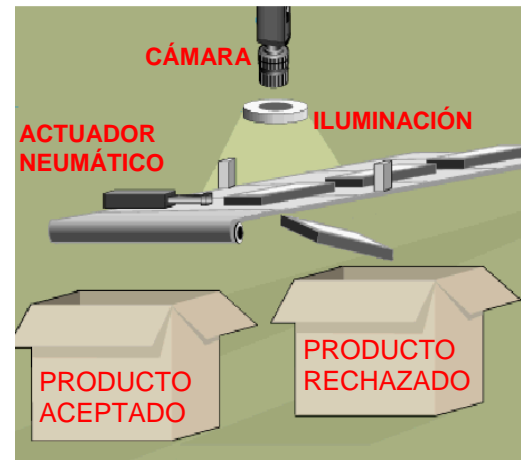
Finalmente, la clasificación ordena las regiones segmentadas en determinadas clases según las características que posean, asignando cada región a un grupo de muchos grupos preestablecidos, que representan todos los posibles tipos de regiones que se espera que existan en la imagen. Comúnmente las clases existentes son dos: 'fallas' o 'falsas alarmas'. Es necesario destacar que la clasificación se realiza en un sistema automático de inspección luego de una etapa de entrenamiento supervisado. En esta etapa se hace un estudio estadístico de las características que se extraen de objetos cuyas fallas sean conocidas a priori.

Después de toda esta información recabada, el sistema procede a determinar la falla o la calidad aceptable del objeto de estudio. Que para nuestro ejemplo utilizado, la conclusión es una falla (una grieta) encontrada en la pieza de aluminio fundido.

#### 7.3.7 Actuadores externos al sistema.



Son elementos que se pueden colocar adicionalmente al SVA, para cumplir con algún objetivo en específico. Pueden ser neumáticos, mecánicos o eléctricos. Por ejemplo, en una línea de producción se puede implantar un Sistema de inspección automatizada para el control de calidad de algún producto. Cuando el sistema detecta un defecto en alguno de los artículos, se puede accionar un elemento neumático (ver **figura 7.39**) que saque de la línea de producción a dicho elemento, para posteriormente reprocesarlo o desecharlo.



**Figura 7.39** Sistema de inspección con actuador neumático para rechazar producto defectuoso.

## 7.4 CONCLUSIONES.

Se puede señalar que en las últimas décadas se han desarrollado muchas técnicas de inspección visual automática. La gran mayoría de ellas han sido diseñadas para una aplicación específica. Debido a las restricciones del tiempo de procesamiento existentes en las líneas de producción, estas técnicas deben ser sencillas y rápidas.

Hoy en día sin embargo, debido al gran adelanto tecnológico que han tenido los microprocesadores, es posible pensar en nuevas estrategias de inspección más sofisticadas, con las que se pueda procesar métodos más robustos en el tiempo requerido.



## 8.- FUNCIONAMIENTO DE UN SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL.

### 8.1 INTRODUCCIÓN

La inspección visual automática se define como un proceso de control de calidad que, mediante técnicas de procesamiento digital de imágenes y reconocimientos de patrones, determina automáticamente si un producto se desvía de las especificaciones de fabricación. De esta manera, se pretende garantizar que los productos que pasen el control de calidad, cumplan con las especificaciones que hayan sido establecidas en su producción, ya sea por el fabricante mismo o bien por alguna norma reguladora. Estas especificaciones se fijan de acuerdo a criterios de seguridad, funcionalidad o estética.

Un SVA utilizado en el control de calidad de un producto, debe ser diseñado de tal forma que cumpla con las siguientes dos condiciones:

- **Eficiencia.** De acuerdo a las especificaciones de producción, se debe detectar en lo posible el total de productos defectuosos.
- **Rapidez.** La velocidad de inspección debe ser acorde a los ritmos de producción, de tal forma que la inspección no desacelere el proceso productivo.

El cumplimiento de las dos condiciones (eficiencia y velocidad) hace aumentar directamente el rendimiento económico del proceso productivo.

Si bien es cierto, que la inspección visual humana es muy flexible y se puede adaptar a situaciones nuevas de una manera muy rápida, también es sabido que, tanto la diferencia existente en la capacidad y experiencia de las personas que examinan, como la fatiga y la



monotonía de este trabajo, hacen que la inspección visual humana sea de una eficiencia inconstante y muchas veces poco segura. Es por esta razón que el control de calidad hoy en día apunta a ser 100% automático. De esta manera se reducen los costos de producción, y al mismo tiempo se logra obtener una inspección visual objetiva.

Casi todos los métodos de inspección desarrollados son específicos al producto que se desea examinar. De esta manera, un método diseñado para reconocer las fallas en un producto, difícilmente servirá para detectar las fallas en otro producto que tenga otra forma o color.

## 8.2 FUNCIONAMIENTO DE UN SISTEMA DE VISIÓN.

De manera general el funcionamiento de un SVA, es el siguiente:

1. Se definen las normas y parámetros de calidad, del producto a inspeccionar, estas pueden ser calidad de color, texto, forma, dimensiones, acabado o presencia de objetos en lugares específicos. En dichas normas, se deben establecer tolerancias de calidad, tanto superiores como inferiores, dando cierta holgura para evitar productos rechazados que estén en buen estado.
2. Se procede a instalar el sistema de visión (sensores, cámaras, fuentes de iluminación, procesador y en caso que se requiera, actuadores externos) en la línea de producción donde se van a inspeccionar los elementos de estudio. Dicha instalación debe ser, en todo lo posible, de lo más práctica y sin demasiadas modificaciones a la línea productiva, esto nos garantiza que la instalación del sistema no detendrá mucho tiempo la producción.
3. Se establece la iluminación adecuada para la pieza a inspeccionar. Una vez establecida la iluminación artificial, se debe evitar la luz ambiental del lugar de trabajo ya que el Sistema de inspección podría marcar errores en piezas aceptables. Lo más conveniente es colocar una especie de domo o cubierta en el espacio donde se llevara a cabo la inspección (entre la cámara y el objeto de estudio), para no tener ninguna afectación del entorno.
4. Calibramos la cámara o sensor, ajustamos los lentes, especificamos el tiempo de exposición de la imagen y el periodo y velocidad de inspección (productos/minuto). En general verificamos si la calidad de las imágenes que serán capturadas es la ideal.
5. Implantamos el algoritmo de control en el sistema, dependiendo del objetivo que se desea alcanzar.
6. Se realizan prueba y una vez aceptadas se procede a echar a andar el sistema de visión. La imagen es captada, procesada, estudiada y finalmente calificada de acuerdo a los parámetros



establecidos para decidir si acredita la prueba de calidad. En caso de no acreditar, el sistema manda una señal de error y rechaza la pieza, sacándola de la línea de producción para reprocesarla o eliminarla por completo según sea el caso.

### 8.3 HERRAMIENTAS DE INSPECCIÓN VISUAL.

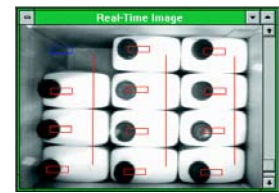
A continuación se mencionan todas las herramientas de inspección que normalmente se presentan en los SVA.

#### 8.3.1 Localización de objetos.

El localizador de objetos es una herramienta que ubica posiciones. Se usa básicamente para localizar las coordenadas de una imagen previamente aprendida. En la **figura 8.1** vemos un ejemplo de la utilidad de esta herramienta. En una compañía fabricante de aceite para automóviles, se implanto un sistema de localización de objetos para verificar un total de doce piezas en cajas de cartón. Además el sistema, inspecciona que todos los garrafones cuenten con su respectivo tapón.



PASA

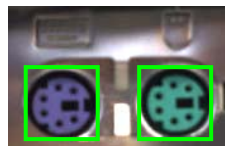


FALLA

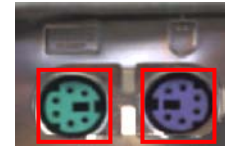
Figura 8.1 Aplicación de la herramienta para localizar objetos.

#### 8.3.2 Identificación.

La identificación de figuras u objetos, se apoya en la herramienta de igualación de patrones, que está diseñada para aprender automáticamente la porción de una imagen y buscar dicha imagen en inspecciones posteriores. Esta herramienta además calcula los errores de la imagen aprendida. En la **figura 8.2**, podemos ver una aplicación de esta herramienta. En una empresa dedicada al ensamble de computadoras se instalo un SVA para identificar la correcta colocación de los conectores para el ratón y el teclado en la tarjeta madre de una PC.



PASA



FALLA

Figura 8.2 Inspección e identificación de conectores para PC.

#### 8.3.3 Mediciones.

Las herramientas de mediciones incluyen herramientas tipo calibradores (llamadas Medida a través de una línea, Medida a través



Figura 8.3 Medición entre cátodo y ánodo

de un área, y localizador de círculos) y herramientas matemáticas, para hacer mediciones precisas.

Veamos el siguiente ejemplo. En la **figura 8.3**, utilizamos la herramienta de medición para checar la apertura entre el cátodo y el ánodo de una bujía de automóvil.

### 8.3.4 Color.

La herramienta de color, se utiliza para el reconocimiento, inspección y localización de patrones de color o escala de grises. Puede ser utilizada en la identificación de componentes electrónicos de un mismo color, como los de la **figura 8.4**

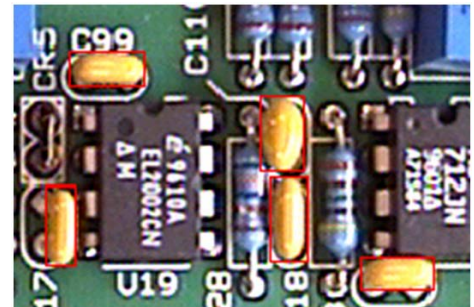


Figura 8.4 Identificación por color de componentes en una tarjeta electrónica.

### 8.3.5 Lectura de código de barras en 1 y 2 dimensiones.

#### 8.3.5.1 Lector 1D

El lector del código de barras en una dimensión, es ideal para aprobar o rechazar la inspección basada en la información descifrada (cadena) contenida en el código. Además verifica la calidad de los símbolos impresos. A continuación se muestran ejemplos de estos tipos de código de barras (**figura 8.5**):



Figura 8.5 Descifrado de códigos, de izquierda a derecha: USS-128, pharmacode, coda bar.

#### 8.3.5.2 Lector 2D.

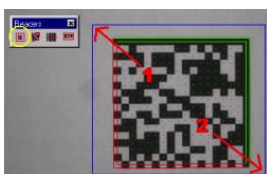


Figura 8.6 Ejemplo de lectura en un código DataMatrix.

El código bidimensional (DataMatrix) permite incluir mayor información en un área más pequeña, es apropiado para ambientes industriales. La herramienta de lectura DataMatrix, esta siendo utilizada en gran escala en la industria automotriz para inspeccionar números de serie y datos de motores para vehículos. Permiten la detección de códigos falsos. En la **figura 8.6** tenemos un ejemplo de estos códigos.



A manera de conclusión, podemos decir que los lectores de una y dos dimensiones pueden pasar o rechazar las inspecciones en base a la información decodificada (cadena de caracteres) contenida en el código.

### 8.3.6 OCR y OCV.

#### 8.3.6.1 Reconocimiento Óptico de Caracteres (OCR).

El OCR (Reconocimiento Óptico de Caracteres), es una poderosa herramienta de lectura industrial que proporciona habilidades muy confiables de verificación y lectura de caracteres. Esta diseñada para leer códigos de lote, números seriales, etiquetas, signos alfanuméricos y símbolos en ambiente industrial.

Esta herramienta reconoce y lee caracteres y los compara con una lista previamente aprendida. Lee cualquier código que contengan dichos caracteres. Es aplicada en varios sectores industriales (ver **figura 8.7**).




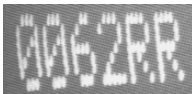
<p><b>Figura 8.7a)</b> Industria Farmacéutica, lectura e inspección de etiquetas.</p>	
<p><b>Figura 8.7b)</b> Electrónica/Semiconductores, identificación del número de componente.</p>	
<p><b>Figura 8.7c)</b> Industria Automotriz, identificación de monoblock.</p>	
<p><b>Figura 8.7d)</b> Manufactura en general, código de lote.</p>	

Figura 8.7 Aplicaciones Industriales, OCR.

#### 8.3.6.2 Verificación Óptica de Caracteres (OCV).

Es una herramienta similar a OCR. Esta herramienta verifica la correspondencia de un patrón definido de caracteres específicos, es decir, verifica una secuencia determinada de símbolos o caracteres.



## **PARTE IV**

---

Casos de Estudio y tendencias a futuro de la Visión Artificial.





## 9.- CASOS DE ESTUDIO.

### 9.1 INTRODUCCIÓN.

Es el objetivo de este capítulo es demostrar como algunas de las técnicas discutidas en esta tesis pueden ser aplicadas con éxito a problemas de inspección real.

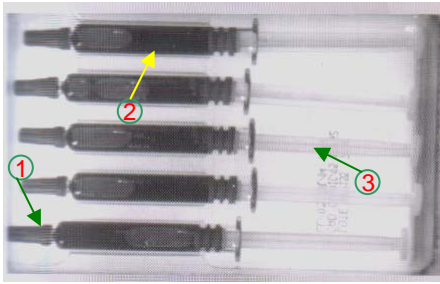
Un problema es estudiado en la siguiente sección, la inspección de características deseadas en cinco jeringas contenidas en un blister. El sistema propuesto para resolver este problema es automatizado y diseñado para no depender de la visión humana y con la capacidad de leer varias categorías de defectos.

Este capítulo muestra que un sistema de inspección visual inteligente y automatizado, basado en la VA, puede funcionar muy bien en cualquier proceso de manufactura que pueda ser captado por una cámara.

### 9.2 INSPECCIÓN FARMACÉUTICA

#### 9.2.1 Descripción del problema.

Muchos productos farmacéuticos se proveen en blisters, que son empaques para contener y mantener en buen estado, jeringas o medicamentos, como pastillas o píldoras. Estos paquetes se construyen generalmente de dos piezas, un contenedor de aluminio o plástico con un diseño para contener cierto elemento o medicina y una cubierta de hoja de película plástica para sujetar el producto. En nuestro caso de estudio vamos a inspeccionar las jeringas contenidas en un blister. Durante el proceso de empaquetado los contenedores de plástico vacíos, se mueven a través de una cadena de producción donde se les colocaran cinco jeringas. En este problema, se desea detectar que los blisters lleven todas las jeringas con todos sus aditamentos, que lleven el tapón de la punta, que no



**Figura 9.1.** Blister de cinco jeringas. Elementos: 1) Tapón, 2) Nivel de Líquido, 3) Vástago.

tengan faltante de líquido y que cuenten con su vástago (ver **figura 9.1**), para posteriormente meterlas a una máquina blisteadora.

Es deseable examinar las jeringas antes de que se aplique o se cierre la cubierta del blister, ya que es más sencillo y menos costoso descubrir y corregir errores en esta etapa. Es también necesario para muchas empresas del sector farmacéutico inspeccionar en un 100% sus productos por mandato del gobierno, por razones de salud y seguridad.

Específicamente este problema se presentó en la empresa PLASTIESTÉRIL, ubicada en Atlacomulco, Estado de México. Para verificar la integridad de las jeringas, un operador detiene la línea de producción en caso de que se presenten elementos dudosos e inspecciona manualmente el producto. Estas interrupciones constantes están teniendo un impacto negativo en la cantidad de producción y por lógica en las ganancias de la empresa.

### 9.2.2 Solución del Problema.

Después de realizar varios estudios para solucionar los problemas que se presentan en la línea de producción, los ingenieros de la empresa han localizado el origen de algunas de las fallas. Un operario mal calificado, mal funcionamiento de una de las máquinas inyectoras de líquido y operarios aburridos y cansados de realizar siempre la misma tarea. Las soluciones fueron calibrar bien la máquina inyectora, capacitación de operarios y rolar las actividades de los mismos cada cuatro horas, para evitar aburrimiento y fatiga. El porcentaje de error, en la producción de jeringas, se ha reducido al 2.8%, pero como ya mencionamos anteriormente las leyes y normas gubernamentales exige el 100% de calidad en los productos farmacéuticos. Por este motivo los ingenieros miran en la VA una solución apropiada para obtener una producción con cero defectos.

### 9.2.3 Aplicación de un Sistema de Visión Artificial.

La empresa solicitó la participación de un equipo de ingenieros dedicados a implantar SVA; para diseñar el sistema adecuado a las necesidades mencionadas anteriormente, el procedimiento se lleva de la siguiente manera:

- 1) Se pidió a la empresa Plastiesteril que proporcionara varias muestras de blister con jeringas, tanto en buen estado como en mal estado. La primera etapa de la solución, es trabajar en un laboratorio fuera de la empresa para realizar pruebas.
- 2) En el laboratorio de pruebas se toma uno de los blister que tenemos con productos en buen estado, este será nuestro objeto de estudio. El primer paso es seleccionar el tipo de cámara o sensor de imagen. Para este tipo de aplicación bastara con una cámara en blanco y negro, el tiempo de



exposición será bajo para obtener una ganancia elevada y se establecerá la distancia adecuada de la cámara al objeto de estudio, también seleccionaremos el lente apropiado para esta aplicación. La cámara debe de adquirir imágenes con una matriz de 100X100 pixeles, por cada blister a inspeccionar.

- 3) El siguiente paso es seleccionar el tipo de iluminación. Para verificar la presencia del tapón en la punta de las jeringas y el vástago, lo ideal es utilizar una iluminación por contraste, es decir, una fuente de luz difusa posicionada en la parte posterior del objeto de estudio, generando una silueta de alto contraste. Para inspeccionar el llenado de líquido en las jeringas, es necesario una iluminación frontal a las mismas.
- 4) Se determina las herramientas de inspección visual a utilizarse para satisfacer las necesidades de este sistema. Para este caso se tienen que tomar en cuenta dos herramientas:
  1. Para el caso del verificar el tapón y el vástago de las jeringas, se utiliza la herramienta de presencia o ausencia de objetos.
  2. Para verificar el llenado de líquido en las jeringas, la herramienta adecuada es la de localización de patrones de color o escala de grises.
- 5) Por último, una vez teniendo seleccionada la iluminación adecuada, el tipo de cámara y las herramientas de VA a utilizar se procede a planear o diseñar las modificaciones que se tendrán que llevar a cabo en la línea de producción.

En este sistema se debe de instalar un dispositivo o un mecanismo que coloque los blisters bajo la cámara y en el área de iluminación, siempre en la misma posición, nunca debe de presentar variaciones para no afectar el funcionamiento del mismo. Se puede colocar también un sensor de disparo, que detecte el momento preciso en que el blister se coloca exactamente bajo el lente de la cámara y mande la orden a dicha cámara para tomar la imagen. Además se debe de colocar una cubierta en el área de iluminación, para que la luz ambiental no afecte nuestro proceso.

Todos los mecanismos, dispositivos y modificaciones que se deben realizar a la línea de producción, se deben de estimar antes de instalarlos. Se deben tomar en cuenta las dimensiones del equipo (cámaras, mecanismos, cubiertas y fuentes de iluminación) y los lugares específicos de la línea en donde se llevaran a cabo las modificaciones, así como de los espacios que se deben dejar para darle mantenimiento a dicho equipo.



En el siguiente apartado se realiza una evaluación económica del proyecto, que funcionara para analizar la inversión que debe pagar la empresa por el sistema de visión, los beneficios financieros que se pueden alcanzar con la implantación del sistema y el tiempo de recuperación de la inversión.

### 9.3 EVALUACIÓN DEL PROYECTO.

Para que este tipo de proyectos sea aprobado, tenemos que demostrar los beneficios que se obtendrán comparándolos con el rendimiento que presenta la empresa sin contar con el SVA. La siguiente tabla muestra el rendimiento de la compañía utilizando un operario humano para verificar el control de calidad en los blisters.

Tabla 9.1. Rendimiento de la compañía utilizando un operario humano.

CONCEPTOS	CANTIDAD
1.- Piezas producidas por minuto	120
2.- Horas de producción al día	16
3.- Días a la semana de producción	6
4.- Porción que se paga por hora al Inspector de calidad (dólares).	\$ 10.00
5.- Porcentaje estimado por la compañía de productos defectuosos.	1.875%
6.- Costo de producción por jeringa (dólares).	\$0.22
7.- Después de la inspección, que otros costos (por concepto de empaque, etiquetado o transporte) se agregan a cada blister (en dólares).	\$0.03

Veamos ahora el rendimiento anual de la empresa.

Tabla 9.2. Rendimiento anual de la compañía con un operario humano.

CONCEPTO	CANTIDAD
1.-Piezas producidas por año	35,942,400
2.-Productos defectuosos por año	673,920
4.-Gastos por concepto de pago al inspector de calidad (en dólares)	\$49,920.00
5.- Pérdidas netas por productos defectuosos.	\$168,480.40

Veamos ahora en las siguientes tablas los beneficios que obtendría la compañía utilizando un SVA para su proceso de inspección. Por principio, al contar con un sistema de este tipo, no es necesario detener la línea de producción para inspeccionar productos dudosos, ocasionando un aumento en la producción (80 piezas más por minuto).

Tabla 9.3. Rendimiento de la compañía utilizando un sistema de visión artificial.

CONCEPTO	CANTIDAD
1.- Piezas producidas por minuto	200
2.- Horas de producción al día	16
3.- Días a la semana de producción	6
4.- Porción que se paga por hora al encargado del mantenimiento y operación del Sistema de Visión (dólares).	\$10.00
5.- Porcentaje de productos defectuosos.	0.0098%
6.- Costo de producción por jeringa (dólares).	\$0.22
7.- Después de la inspección, que otros costos (por concepto de empaque, etiquetado o transporte) se agregan a cada blister (dólares).	\$0.03

Veamos ahora, en la siguiente tabla, el rendimiento anual de la empresa, con un SVA.



**Tabla 9.4.** Rendimiento anual de la compañía con un sistema de visión artificial.

CONCEPTO	CANTIDAD
1.- Piezas producidas por año	59,904,000
2.- Productos defectuosos por año	5,871
3.- Gastos por concepto de pago al encargado del mantenimiento y operación del Sistema de Visión (dólares)	\$49,920.00
4.- Pérdidas netas por productos defectuosos (dólares).	\$1,467.75

En la siguiente tabla podemos comparar perfectamente los dos sistemas de trabajo y los benéficos que se pueden obtener. Tomemos en cuenta que la ganancia neta por cada jeringa es de \$.08 dólares

**Tabla 9.5.** Comparación de un sistema de trabajo con inspector humano v.s. un Sistema de Visión Automatizado.

	Con Operario Humano	Con un Sistema de Visión Artificial.	Beneficios
Piezas producidas al año.	35,942,400	59,904,000	+23,961,600
Productos defectuosos al año.	673,920	5,871	-668,049
Perdidas netas por productos defectuosos al año. (dólares)	\$168,480.40	\$1,467.75	-\$167,012.65
Pago por concepto de supervisión al año. (dólares)	\$49,920.00	\$49,920.00	Nulo
Ganancias Netas anuales. (dólares)	\$3,594,240.00	\$5,990,400.00	+\$2,396,160.00

Como podemos observar con la implantación de un SVA, obtendremos una ganancia neta del 40%. Hay que mencionar que ha esta ganancia neta tenemos que restarle los gastos anuales por conceptos de mantenimiento del equipo y consumo de energía eléctrica. Enseguida vamos a determinar a cuanto ascienden estos gastos.

### 9.3.1 Inversión Inicial.

La inversión inicial comprende la adquisición e instalación del SVA en la compañía, así como la capacitación necesaria del personal de la empresa para operar y mantener en buen estado el equipo. En la siguiente tabla se muestra el presupuesto del equipo de VA que satisface las necesidades de la empresa Plastiéstéril.

**Tabla 9.6.** Presupuesto de la instalación y puesta en marcha del equipo de Visión Artificial.

No.	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL
1.-	Suministro y colocación del sensor de imagen, incluye soporte estructura de aluminio.	Pza.	1.00	\$7,000.00	\$7,000.00
2.-	Suministro y colocación de fuente de iluminación, lámpara tipo "Direct Bar", modelo IDB-100/180, dimensiones 100X180 mm., 27.4 Watts.	Pza.	1.00	\$1,456.00	\$1,456.00
3.-	Suministro y colocación de fuente de iluminación, lámpara tipo Cold-Cathode Fluorescent Backlight Panel 90-250V ac, modelo NT58-33, de 15X20 mm., 12 Watts	Pza.	1.00	\$789.00	\$789.00
4.-	Suministro y colocación de Fuente de Poder 24V cd., tipo Basic Current Source, modelo NT56-44, de 74X81X53 mm., 28.8 Watts.	Pza.	1.00	\$686.00	\$686.00



5.-	Suministro y colocación Sensor de disparo 10-30V cd, modelo PD100, de 41X13X46 mm.	Pza.	2.00	\$499.00	\$998.00
6.-	Suministro y colocación de Tarjeta para Adquisición de Datos, modelo NI IEEE-1394.	Pza.	1.00	\$1,095.00	\$1,095.00
7.-	Suministro y colocación de Panel de conexiones de la serie 600 (CON 600), con fuente de poder de 24Vdc, 6 Watts.	Pza.	1.00	\$845.00	\$845.00
8.-	Diseño y colocación de mecanismo para la distribución adecuada de los blister en el área de iluminación y bajo la óptica de la cámara.	Pza.	1.00	\$2,000.00	\$2,000.00
9.-	Gastos de transporte del equipo a la empresa.	viaje	1.00	\$700.00	\$700.00
10.-	Curso de Capacitación, para el personal de la compañía, de operación y mantenimiento del Sistema de Visión Artificial.	curso	1.00	\$1,200.00	\$1,200.00
11.-	Pc portatil, Pentium M 740 a 1.73GHz, 512MB en Ram, CD Rom 52X	Pza.	1.00	\$1,639.00	\$1,639.00
12.-	Software NI Vision Builder for Automated Inspection, incluye programación.	Programa	1.00	\$1,495.00	\$1,495.00
				<b>SUB TOTAL</b>	<b>\$19,903.00</b>
				<b>I.V.A</b>	<b>\$2,985.45</b>
				<b>TOTAL</b>	<b>\$22,888.80</b>

El costo total de la inversión es de **\$22,888.00 dólares**, incluye IVA y mano de obra.

### 9.3.2 Costo de Mantenimiento.

Ahora estimaremos el costo anual de mantenimiento (póliza de mantenimiento). Según indicaciones del proveedor, el costo anual de mantenimiento del equipo es aproximadamente el (10%) del costo del mismo. En la **tabla 9.7**, se muestra dicho cálculo.

EQUIPO	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL
Sensor de Imagen modelo Smartimage serie 600	1.00	\$3,500.00	\$3,500.00
Lámpara tipo Direct Bar, modelo IDB- 100/180, de 100X180 mm.	1.00	\$956.00	\$956.00
Lámpara tipo Cold-Cathode Fluorescent Blacklight modelo NT58-33.	1.00	\$298.00	\$298.00
Fuente de poder, modelo NT56-54, de 74X81X53.	1.00	\$286.00	\$286.00
Sensor de disparo, modelo PD-100.	2.00	\$349.00	\$698.00
Tarjeta de adquisición de datos, modelo NI IEEE-1394	1.00	\$895.00	\$895.00
Panel de conexiones, serie 600 (CON 600).	1.00	\$645.00	\$645.00
Mecanismo para colocación adecuada de blister en el área de trabajo.	1.00	\$1,500.00	\$1,500.00
PC Portátil Pentium M740	1.00	\$1639.00	\$1,639.00
<b>TOTAL</b>			<b>\$10,417.00</b>

**Tabla 9.7.** Costo anual de mantenimiento del equipo (cifras en dólares).

El valor inicial del equipo es de **\$10,417.00 dólares**, por lo tanto, los gastos de mantenimiento anuales (10% del costo inicial) son **\$1,041.70 dólares**.



### 9.3.3 Costo de Servicio (Energía Eléctrica).

El costo de la energía eléctrica se calculó con base en las especificaciones técnicas individuales de cada equipo, considerándose las tarifas vigentes (\$1.656 kW M.N.) de la Comisión de Luz y Fuerza del Centro, S.A.

En la **tabla 9.8**, aparece la relación de consumo de energía eléctrica en kwatts/hora por equipo.

EQUIPO	CANTIDAD	CONSUMO (watts)	
		Por equipo	Total
Sensor de Imagen modelo Smartimage serie 600	1.00	5	5
Lámpara tipo Direct Bar, modelo IDB- 100/180, de 100X180 mm.	1.00	27.4	27.4
Lámpara tipo Cold-Cathode Fluorescent Blacklight modelo NT58-33.	1.00	12	12
Fuente de poder, modelo NT56-54, de 74X81X53.	1.00	28.8	28.8
Sensor de disparo, modelo PD-100.	2.00	3	6
Panel de conexiones, serie 600 (CON 600).	1.00	6	6
PC Portátil Pentium M740	1.00	140	140
<b>TOTAL</b>			<b>225.20</b>

Tabla 9.8. Relación de consumo de energía eléctrica en kwatts/hora por equipo.

Los cálculos del costo de energía eléctrica son:

Precio: \$1.656 kW. \*  
 Número de horas en uso: 16 horas diarias (6 días a la semana)  
 96 horas/semana.  
 4,992 horas/año.

0.2252 kwatts/hora x 4,992 horas al año = 1,124.20 kwatts al año  
 1,124.20 kwatts al año x \$1.656 = \$1,861.67 M.N. al año.

Tomando en cuenta el valor de un dólar, en diez pesos aproximadamente, el consumo de energía eléctrica al año es de **\$186.16 dólares**.

EQUIPO	COSTO TOTAL	DEPRECIACIÓN
Sensor de Imagen	\$3,500.00	\$875.00
Lámpara Direct Bar	\$956.00	\$239.00
Lámpara Cold-Cathode	\$298.00	\$74.50
Fuente de Poder NT56-54	\$286.00	\$71.50
Sensor de Disparo	\$698.00	\$174.50
Panel de Conexiones	\$645.00	\$161.25
PC Portátil	\$1,639.00	\$409.75
Tarjeta de Adquisición de Datos	\$895.00	\$223.75
Software NI Vision Builder	\$1,495.00	\$373.75
<b>TOTAL</b>	<b>\$8,917.00</b>	<b>\$2,603.00</b>

Tabla 9.9. Depreciación del equipo. Tasa de depreciación: 25% anual en dólares.

### 9.3.4 Pago de impuesto, (ISR).

En la ley del impuesto sobre la renta (ISR), se incluye el equipo de VA como una inversión sujeta a la tasa del 25% de depreciación anual a cuatro años, sobre el valor de adquisición del bien

En la **tabla 9.9** se presenta los datos desglosados con las depreciaciones del equipo.

### 9.3.5 Ganancia neta anual.

Como se indica en la **tabla 9.5**, la ganancia neta anual es de **\$5,990,400.00** (cinco millones novecientos noventa mil cuatrocientos dólares 00/100). Pero a esta cantidad le tenemos que restar los gastos anuales por concepto de mantenimiento y consumo de energía eléctrica.

\* Precio por kW \$1.656 M.N.. Dato obtenido del Diario Oficial de la Federación 23-feb-2006.





Ganancia Neta:	\$5,990,400.00
menos gastos por mantenimiento:	\$1,041.70
menos consumo de energía eléctrica	\$186.16
menos depreciación anual del equipo:	\$2,603.00

Desarrollando la operación anterior, tenemos una ganancia neta anual de **\$5,986,569.14 dólares**.

De acuerdo a la inversión inicial, veamos a continuación en cuanto tiempo la empresa estaría recuperando dicha inversión.

### 9.3.6 Punto de Equilibrio.

El análisis del punto de equilibrio es una técnica útil para estudiar las relaciones entre los costos fijos, los costos variables y los beneficios. Para nuestro caso de estudio determinaremos el Punto de Equilibrio (PE), aplicando la siguiente fórmula.

UTILIDAD NETA= PRECIO DE VENTA POR UNIDAD-COSTOS VARIABLES POR UNIDAD-GASTOS FIJOS.

Donde: Precio de Venta por jeringa = \$0.35 dólares.  
 Costos Variables por jeringa= \$0.25 dólares.  
 Costos fijos (inversión) = \$22,888.00 dólares.  
 Número de unidades = X.  
 Utilidad Neta = 00.00

Sustituyendo en la fórmula tenemos:

$$\$0.35 (X) - \$0.25 (X) - \$ 22,888.00 = 00.00.$$

Resolviendo.

$$\begin{aligned} \$0.10 (X) &= \$22,888.00 \\ (X) &= \$22,888.00 / \$0.10 \\ (X) &= 228,880 \text{ piezas.} \end{aligned}$$

Por lo tanto cuando la empresa fabrique y venda 228,880 jeringas, estará recuperando la inversión inicial del SVA.

Veamos estos datos en una representación gráfica (ver **gráfica 9.1**). Para trazar los costos variables, se selecciona un volumen de ventas conveniente. Por ejemplo 340,000 unidades. Se marcan los costos variables totales para ese volumen  $340,000 \times \$0.25 = \$85,000.00$  dólares (punto A), se traza la línea de costos variables desde el punto “A” hasta el punto de origen. Para determinar los costos fijos, se determina la posición de \$22,888.00 dólares, en el eje vertical (punto B). Se añaden a los costos fijos, los costos variables (\$22,888.00 + \$85,000.00) al nivel de volumen de 340,000 piezas, para llegar al punto C \$107,888.00 dólares. Utilizando estos dos puntos (B y C), trazar la línea de gastos totales paralela a la línea de gastos variables. Para marcar las ventas, se selecciona el mismo volumen de piezas (340,000). Se determina el punto D, para el

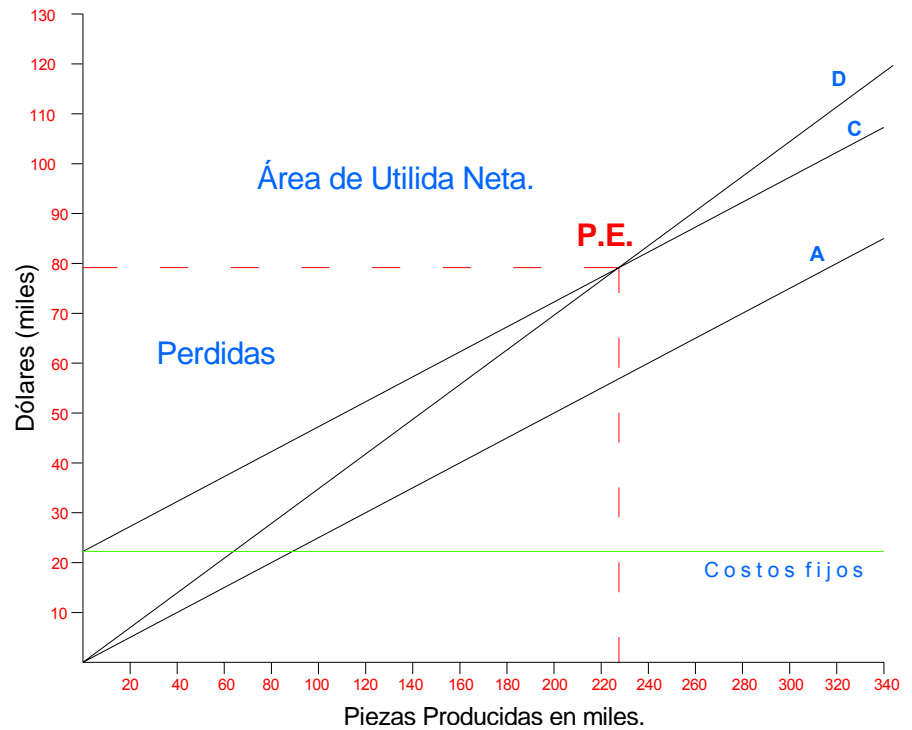




importe total de las ventas y ese volumen, es decir,  $340,000 \times \$0.35$  dólares = \$119,000.00 dólares. Se traza la línea de las ventas totales desde el punto D hasta el punto de origen. El punto de equilibrio es donde se cruzan la línea de ventas totales y la línea de gastos totales.

Esta gráfica, además muestra la perspectiva de utilidades o pérdidas para una amplia escala de volumen.

Veamos enseguida el tiempo en que la empresa tardara para recuperar la inversión de dicho proyecto.



Gráfica 9.1. Punto de equilibrio para la evaluación del Proyecto de Inspección Artificial.

### 9.3.7 Periodo de devolución.

El periodo de devolución, es el tiempo requerido para recuperar el monto inicial de una inversión de capital. Este método calcula la cantidad de tiempo que se tomaría para lograr un flujo de caja positivo igual a la inversión total.

La empresa vende cinco días a la semana un promedio de 7,890 jeringas por día, la ganancia libre por jeringa es de \$0.13 dólares, pero a esta ganancia hay que restarle \$0.03 dólares por jeringa por conceptos de empaque, etiquetado y transporte. Por lo tanto, los cálculos para determinar el tiempo de recuperación de la inversión son:

Ganancia al día=  $7,890 \text{ piezas} \times \$0.13 = \$1,025.70$  dólares.  
 Menos gastos extras=  $7,890 \text{ piezas} \times \$0.03 = \$236.70$  dólares.

Ganancia al día \$789.00 dólares \* 5 días a la semana = \$3,945.00 dólares \* 4 semanas al mes = \$15,780.00 dólares al mes.



Del ingreso total, únicamente de la venta de jeringas, se destina el 15%, para solventar los gastos de la inversión inicial. Por lo tanto la ganancia de recuperación al mes es de **\$2,367.00 dólares** y el tiempo de recuperación es:

Inversión del proyecto \$22,888.00 dólares / \$2,367.00 dólares de ganancia mensual = 9.66 meses.

En un lapso de 9.66 meses aproximadamente, la empresa PLASTIESTÉRIL estará recuperando la inversión del S.V.A. para la inspección de blisters.

### 9.3.8 Conclusiones.

Después de realizar el estudio económico de la inversión del proyecto para la empresa PLASTIESTÉRIL, tenemos el análisis costo-beneficio para el primer año (**tabla 9.10**).

COSTO		BENEFICIO
1.- Inversión del proyecto	\$22,888.00 dólares.	1.- Aumento de 23,961,600 piezas producidas al año, sobre lo que se fabricaba anteriormente.
2.-Mantenimiento anual del Equipo.	\$1,041.70 dólares.	2.-Disminución de productos defectuosos, 668,049 piezas al año.
3.-Consumo anual de Energía Eléctrica.	\$186.16 dólares.	3.-Ahorro de \$167,012.65 dólares, por productos defectuosos al año.
4.-Depreciación anual del equipo, a un plazo de 4 años.	\$2,603.25 dólares.	4.-Una ganancia de \$2,396,160.00 dólares al año, sobre las ganancias en años pasados.
		5.-Asegurar la Calidad del Producto.
		6.-Eliminar reclamos de los clientes.
		7.-Fortalecer la Imagen Corporativa.
		8.-Cumplir con las Normas de Calidad.
		9.-Reducir Costos de Producción.
		10.-Incrementar la Eficiencia de la Productividad.

Tabla 9.10. Análisis Costo-Beneficio, para el primer año.

Como se puede apreciar un SVA ofrece grandes beneficios. Pero los Ingenieros y Técnicos encargados de la producción de su empresa, deben realizar un estudio riguroso antes de recurrir a estos, ya que muchos errores se pueden solucionar con una capacitación adecuada para el personal, con la revisión periódica y un adecuado mantenimiento de la maquinaria y equipo de manufactura.

Un SVA, ofrece grandes soluciones y beneficios para satisfacer las demandas de mercados cada vez más exigentes.



## 9.4 INSTALACIÓN DEL SISTEMA.

Después de mostrar el análisis costo-beneficio para el primer año a los ingenieros y jefes de la compañía, ellos han tomado la decisión de aprobar la instalación del SVA para la inspección de calidad de los blisters.

Se debe informar a los técnicos de la empresa, las dimensiones de los equipos (cámaras, mecanismos, cubiertas y fuentes de iluminación) y los lugares específicos de la línea de producción, en donde se llevaran acabo las modificaciones para que se preparen estas áreas con fuentes de energía eléctrica, o con lo que sea necesario para el buen funcionamiento de todos los equipos del sistema y dejar espacios o elementos para el mantenimiento de dicho equipo. Todo esto es con la finalidad de que una vez que el equipo de VA llegue a la empresa, se instale de inmediato, ya que un equipo, máquina o sistema de trabajo una vez entregado, comienza a depreciarse, aún sin estar funcionando.

Se programa la hora de entrega e instalación del equipo, se selecciona una hora en la cual la línea de producción esta normalmente fuera de funcionamiento, se calcula el tiempo estimado para la instalación que en la mayoría de los equipos de visión es de seis a ocho horas, dependiendo de la complejidad del proceso a inspeccionar.

A continuación mencionaremos cada una de las etapas de la instalación del equipo de VA:



Figura 9.2. Conexión del cable de 15 pernos al Sensor de Imagen.



Figura 9.3. Conexión del cable Ethernet al Sensor de Imagen.



Figura 9.4. Conexión del cable de 15 pernos al panel de conexiones.

- 1) Se conecta un cable de 15 pernos para corriente y entradas y salidas digitales al sensor de imagen, ver **figura 9.2**. El cable que se usa aquí tiene un conector de alta densidad de 15 pernos en ambos extremos (1 macho y 1 hembra).
- 2) Se conecta un cable Ethernet al sensor de imagen (ver **figura 9.3**), este elemento nos sirve para realizar la conexión del sensor a la computadora portátil o a la tarjeta de adquisición de datos.
- 3) Se conecta el extremo opuesto del cable de 15 pernos para corriente y E/S digitales al panel de conexiones de la serie 600, dicho panel va a una fuente de poder de 24V DC. En la **figura 9.4**, podemos apreciar esta conexión.
- 4) Se aplica corriente al sensor de imagen y esperamos a que inicie el sistema. La cámara enciende un foquito verde de "Listo" cuando concluya la instalación del sistema, ver **figura 9.5**.



Figura 9.5. Instalación lista del Sensor de Imagen.



Figura 9.6. Instalación del lente en la cámara.

- 5) Se instala el lente de la cámara, ver **figura 9.6**. En el diagrama de la **figura 9.7**, se muestra la instalación típica de este sistema.

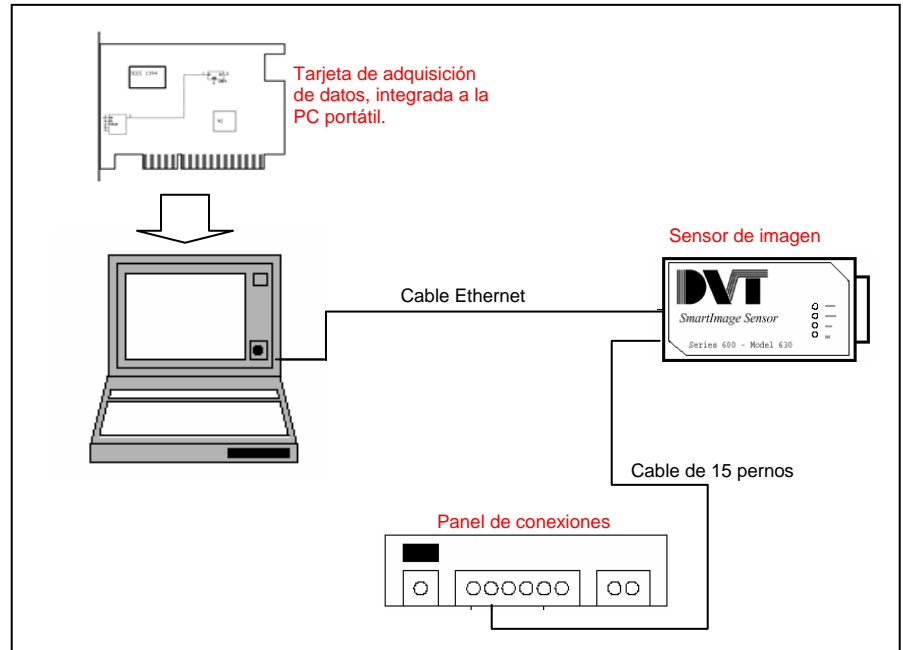


Figura 9.7. Diagrama de Conexiones.



Figura 9.8. Montaje del sensor en la línea de producción.

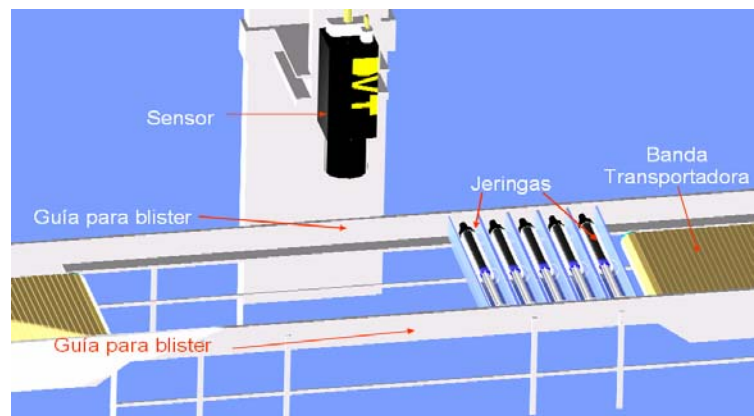
- 6) Se realiza el montaje del sensor de imagen en la línea de producción. Se coloca el sensor sobre un soporte mecánico, atornillado en cuatro puntos, el tamaño de este es de 114X55X40 mm. (sin incluir el lente), se deja un espacio libre de 120mm. aproximadamente, para librar el cableado. El peso de este elemento es de 170g (sin lente) y su temperatura de operación es de 0-45 ° C. El sensor de imagen es del tipo CCD de 4.8 X 3.6 mm., con una resolución de 640X480 píxeles.

En la **figura 9.8**, se aprecia el montaje del sensor en la línea de producción.

- 7) Tenemos que dar de alta el sensor de imagen en nuestra computadora. Todos los sensores de imagen de la serie 600 están pre-programados con el número IP 192.168.0.242. Para que la computadora reconozca el sensor tenemos que realizar los siguientes pasos:
- En la computadora, damos click al menú de **Inicio**, seleccionamos **Configuración**, y después seleccionamos **Panel de control**.
  - Damos un doble click al icono de **Redes** en el Panel de Control.
  - Seleccionamos el protocolo TCP/IP y damos un click al botón de **Propiedades**.



- d) Activamos la opción de “Especificar una dirección IP” y tecleamos la dirección 192.168.0.242. para que el sensor y la computadora se identifiquen. También tecleamos en el espacio de subred 255.255.255.0.
  - e) Damos un click en **OK** para cerrar la ventana de diálogo de las Propiedades de TCP/IP.
  - f) Nuevamente damos click en **OK** para cerrar el Panel de Control de Redes.
  - g) Windows pedirá que reiniciemos la computadora, damos un click para reiniciarla.
  - h) En la ventana de diálogo de las **Comunicaciones de la Computadora**, ampliamos el árbol de Ethernet y seleccionamos “Unidad serial 600 por Omisión” y damos click al botón de **Conectar**. De esta manera tenemos lista la comunicación entre el sensor de imagen y la computadora.
- 8) Ahora se instala el mecanismo para que los blister lleguen al área de Inspección siempre en la misma forma. Los blister viajan en una banda transportadora, llegan a una estación en donde se colocan las cinco jeringas y en seguida tienen que pasar al área de inspección. El mecanismo propuesto son dos guías mecánicas para que los blister lleguen de igual manera en la zona de inspección. En la **figura 9.9**, se presenta una simulación de la instalación de dicho mecanismo.



**Figura 9.9** Instalación de guías mecánicas para el desplazamiento de los blisters.

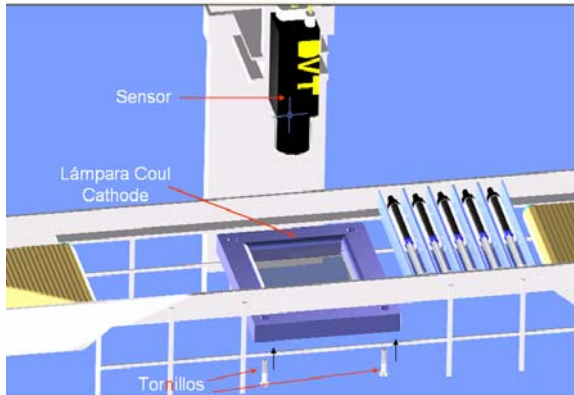
- 9) Instalación de Fuentes de Iluminación. Enseguida vamos a colocar las fuentes de iluminación. La primera de ellas es la lámpara Cold-Cathode Fluorescent Blacklight modelo NT58-33. Esta lámpara se coloca en la parte inferior del área de inspección para que proporcione una iluminación por contraste. Con esta iluminación, el sistema podrá inspeccionar la presencia del tapón y el vástago de la jeringa (ver la **figura 9.10**).

A continuación vamos a colocar la lámpara tipo Direct Bar,

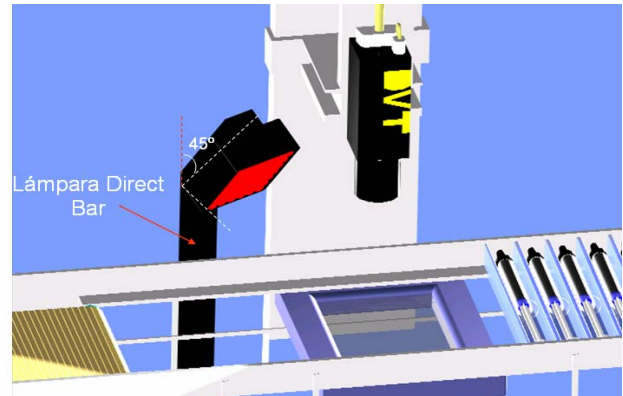




modelo IDB-100/180. Esta lámpara se coloca con un soporte mecánico fijado a cuatro puntos a un costado de la línea de producción, específicamente en el área de inspección a un ángulo de 45° en dirección de los elementos de estudio como se muestra en la **figura 9.11**. Esta lámpara proporcionará una iluminación frontal a los blisters para verificar el llenado de las jeringas. Posteriormente, instalaremos una cubierta en el área de iluminación, para que la luz ambiental no afecte el proceso de inspección.

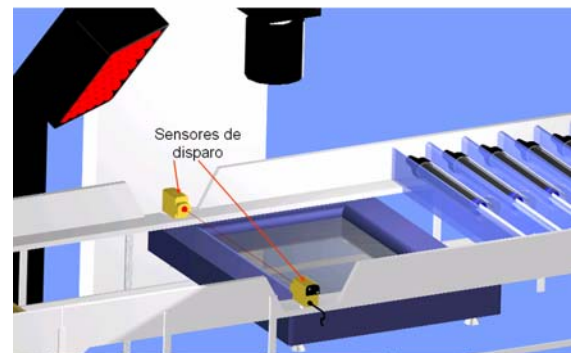


**Figura 9.10** Colocación de Lámpara Coul-Cathode, fijada en cuatro puntos en la parte inferior de la guía mecánica.



**Figura 9.11** Instalación de la Lámpara Direct Bar.

- 10) Instalamos enseguida los sensores de disparo. Dichos sensores se colocan, en cada una de las guías mecánicas, cargados al lado izquierdo en el área de inspección (ver **figura 9.12**). Su función es mandar una señal a la cámara, al momento en que se coloque un blister en el área de inspección. Esta señal le indica a la cámara que capture la imagen para inspeccionarla. Se realiza una prueba para verificar el buen funcionamiento de los sensores de disparo.



**Figura 9.12** Instalación de los sensores de disparo, fijados sobre la guía mecánica.

- 11) Instalación del software. Procedemos a instalar el software de VA en la PC portátil. Este procedimiento es de lo más común y es similar a la instalación de cualquier programa. Una vez instalado el software vamos a cargar los parámetros de captura de imagen.
- 12) Para instalar los parámetros de captura de imagen, vamos a llevar a cabo los siguientes pasos.

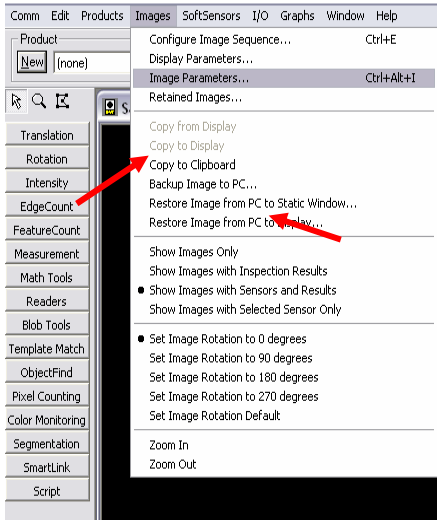


Figura 9.13 Selección de Parámetros de Imagen.

a) Por medio de la PC y con ayuda del Software de VA vamos a determinar la señal de disparo.

La señal de disparo se genera ya sea externa o internamente, para nuestro caso de estudio se generara externamente por medio de los sensores de disparo. Para realizar esta selección en la plataforma del programa de Visión Artificial (ver **figura 9.13**), damos clic al menú de **Imágenes** y seleccionamos **Parámetros de Imagen**. Aparecerá una ventana de diálogo como la mostrada en la **figura 9.14** y seleccionamos la opción de disparo externa.

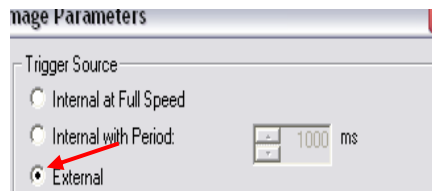


Figura 9.14 Opciones de Fuente de disparo.

b) Se determina el Tiempo de Exposición de la Imagen (tiempo que el CCD en el sensor está expuesto a la luz durante la adquisición de imagen).

Tres factores determinan el tiempo de exposición para programar una inspección:

1) La velocidad total de avance de las piezas a inspeccionar. Para nuestra inspección, la velocidad a utilizar será alta, por lo tanto, se necesitará de tiempos cortos de exposición para minimizar la posibilidad de obtener imágenes borrosas.

2) La frecuencia de inspección (partes por minuto). Programaremos nuestro sistema para inspeccionar 200 piezas por minuto. En este caso también se debe tratar de reducir el tiempo de exposición para optimizar la inspección.

3) La luz disponible. Debemos programar el tiempo de exposición de acuerdo al tipo de iluminación que estamos utilizando.

c) Se determina el Tiempo de Inspección. Para determinar este periodo, es necesario sumar los siguientes valores: 1) tiempo de exposición, 2) adquisición de la imagen, y 3) el tiempo de reconocimiento.

1) Tiempo de Exposición. El tiempo de exposición de la imagen se da en milisegundos, este valor usualmente se encuentra entre 1ms y 10ms. Para nuestra inspección asignaremos el valor de 10ms.

2) Adquisición de la Imagen. Después de que el CCD ha

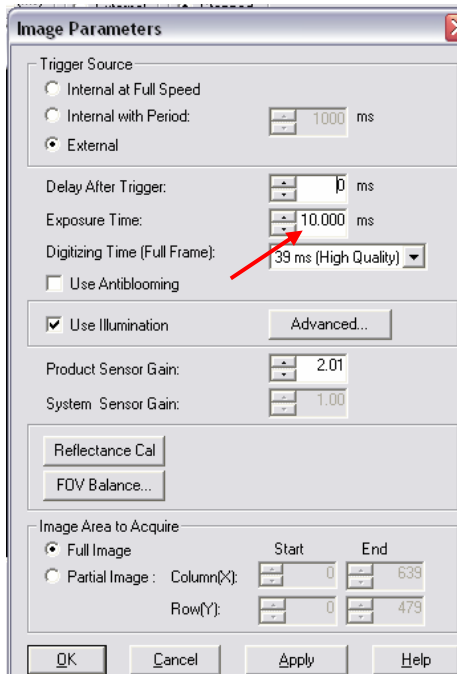


Figura 9.15 Parámetros de Imagen.

sidó expuesto a la luz durante el tiempo de exposición (10ms), la imagen debe cambiarse del CCD a la memoria de la cámara. Esta conversión analógica a digital toma alrededor de 40ms para una imagen como la que estamos inspeccionando (640X480 píxeles). El tiempo de adquisición de la imagen se puede manipular en la ventana de diálogo de **Parámetros de la Imagen**, como se muestra en la **figura 9.15**.

- 3) Tiempo de Reconocimiento. Es el periodo que tarda el sistema en estudiar y dar el visto bueno o la falla del objeto de estudio. El tiempo dependerá de que tan compleja sea nuestra aplicación. Para la inspección de las jeringas necesitamos verificar 3 características en la imagen (tapón, vástago y líquido). Cada una de estas características se lleva un tiempo de reconocimiento aproximado de 0.08 segundos.

El tiempo total de Inspección para este caso, es el siguiente:

T. de exposición (0.01) + Adquisición de Imagen (0.04) + T. de reconocimiento (0.24) = 0.29 seg. Por lo tanto el sistema estará verificando 200 blisters por minuto.

- 13) Una vez establecidos los parámetros de captura de imagen, vamos a especificar las herramientas y algoritmos para cada una de las inspecciones que se van a efectuar.

- a) De la barra de herramientas de inspección, activamos la herramienta para **localizar objetos** (ObjectFind). El localizador de objetos usa algoritmos avanzados para aprender las características de una figura y así encontrar figuras similares en imágenes futuras. Con esta herramienta vamos trazar un rectángulo en el espacio donde se encuentra el tapón de la jeringa, como se muestra en la **figura 9.16**, el programa nos pedirá que le designemos un nombre a esta inspección, a lo respondemos escribiendo “**Inspección Tapón 1**” en el espacio de resultados globales. Esta misma operación la vamos a repetir en los tapones de las otras jeringas.

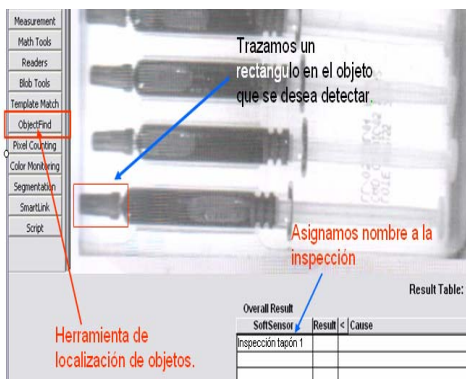


Figura 9.16 Herramienta de localización de objetos, tapón jeringa 1.

Le tenemos que indicar al sistema que cada vez que se presente un blister, cuyas jeringas cuenten con sus respectivos tapones, acredite la inspección. Pero en caso contrario, es decir, que una o varias jeringas no cuente con dicho tapón, aparezca una señal de falla rechazando el producto.

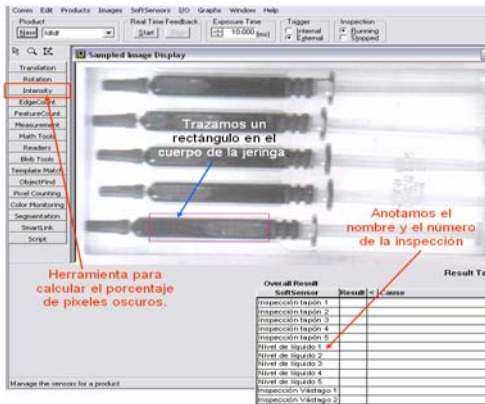
- b) Utilizamos nuevamente la herramienta de localización de objetos para determinar el espacio que ocuparan los vástagos de las jeringas. Nuevamente escribimos el nombre de cada una de las inspecciones, en este caso le damos el calificativo de “**Inspección Vástago 1**” en





resultados globales y así sucesivamente hasta completar los vástagos de las cinco jeringas.

A este conjunto de inspecciones le indicaremos que realice el mismo algoritmo que en el caso de los tapones. En caso de presentarse los cinco vástagos, la inspección se calificara como exitosa y como fallo si faltase uno o varios vástagos.



- c) Ahora vamos a utilizar la herramienta de Intensidad (Intensity). Esta herramienta la utilizaremos para analizar el nivel de líquido en las jeringas. La herramienta de Intensidad calcula el porcentaje de los píxeles oscuros en un área determinada. El principal objetivo es determinar la presencia de píxeles oscuros en el cuerpo de la jeringa, espacio que contiene una sustancia medica.

Activamos la herramienta y trazamos un polígono en el cuerpo de la jeringa (ver **figura 9.17**). Asignamos nombre a esta inspección, escribimos “**Nivel de Líquido 1**” y repetimos esta tarea para las demás jeringas.

Figura 9.17 Herramienta de intensidad de píxeles, jeringa1.

Es muy importante para este tipo de aplicaciones el nivel de umbral (1). El porcentaje de umbral para esta aplicación debe ser como mínimo 83% y como máximo 100%, dándonos un 17% de margen que servirá para evitar el rechazo de productos buenos que parezcan dudosos. Por ejemplo, si manejáramos un margen elevado (95% a 100%), estaríamos rechazando muchos productos que perfectamente pueden ser calificados como aceptables, ya que desde un 81% de umbral, podemos considerar que físicamente tenemos buen nivel de líquido en el cuerpo de la jeringa.

Se le da la indicación al sistema de rechazar todo producto cuyo porcentaje de píxeles oscuros, este por debajo del 83% y por lógica aceptar los que estén arriba de este porcentaje. Este será nuestro algoritmo de control para esta aplicación.

En este momento esta todo listo para poner en marcha la línea de producción. Se verifica que el sistema inspeccione los 200 blister por minuto como se propuso al inicio y comprobamos el efectivo rechazo de productos defectuosos.

En las siguientes imágenes podemos apreciar el funcionamiento del SVA.

Los técnicos de la compañía se encargaran de instalar un mecanismo que retire de la línea de producción los blister defectuosos. Consta de un brazo neumático que rechazara las piezas al momento de recibir una señal por parte del sistema.

(1) El umbral es el nivel de intensidad que divide a todos los tonos de gris solo en brillante u oscuros.

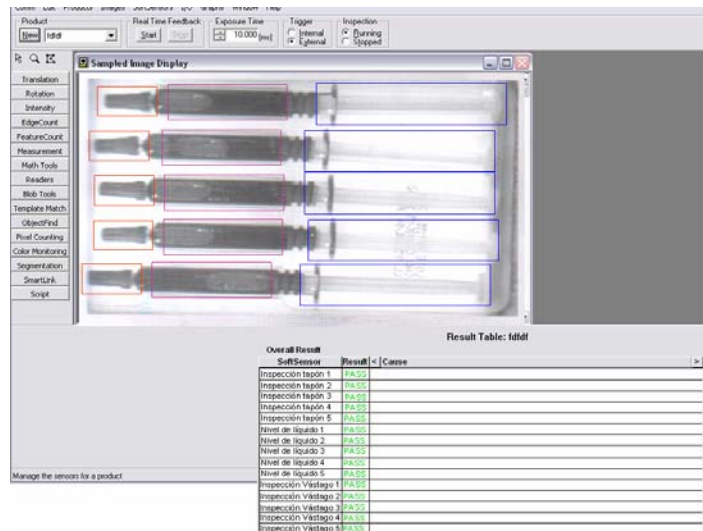


Figura 9.18 Imagen de Blister Completo.

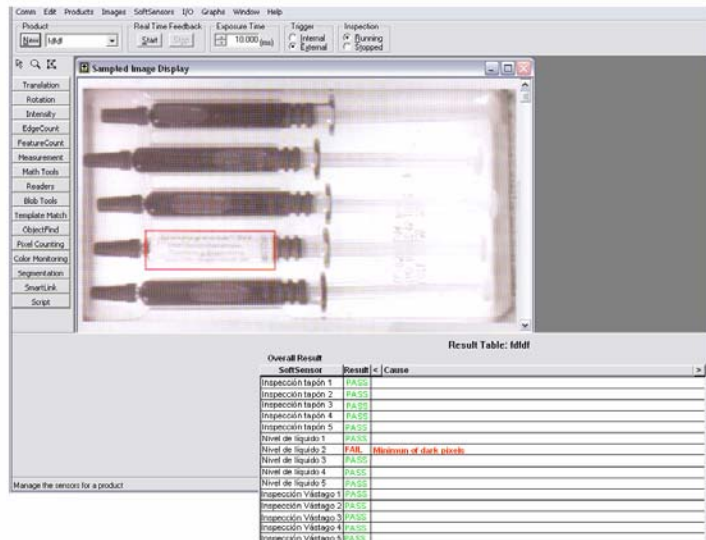


Figura 9.19. Imagen faltante de líquido en la jeringa.

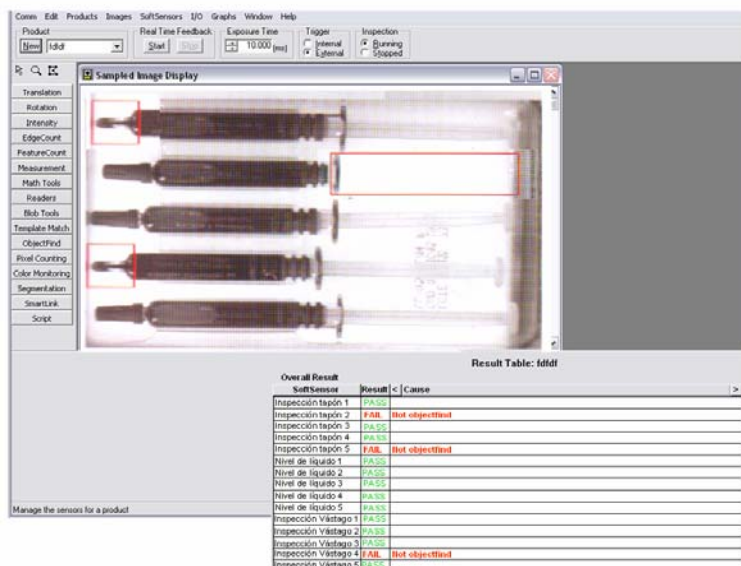


Figura 9.20 Imagen con jeringas sin tapón y vástago.

En la figura 9.21, podemos apreciar una simulación de la organización final del sistema de visión.

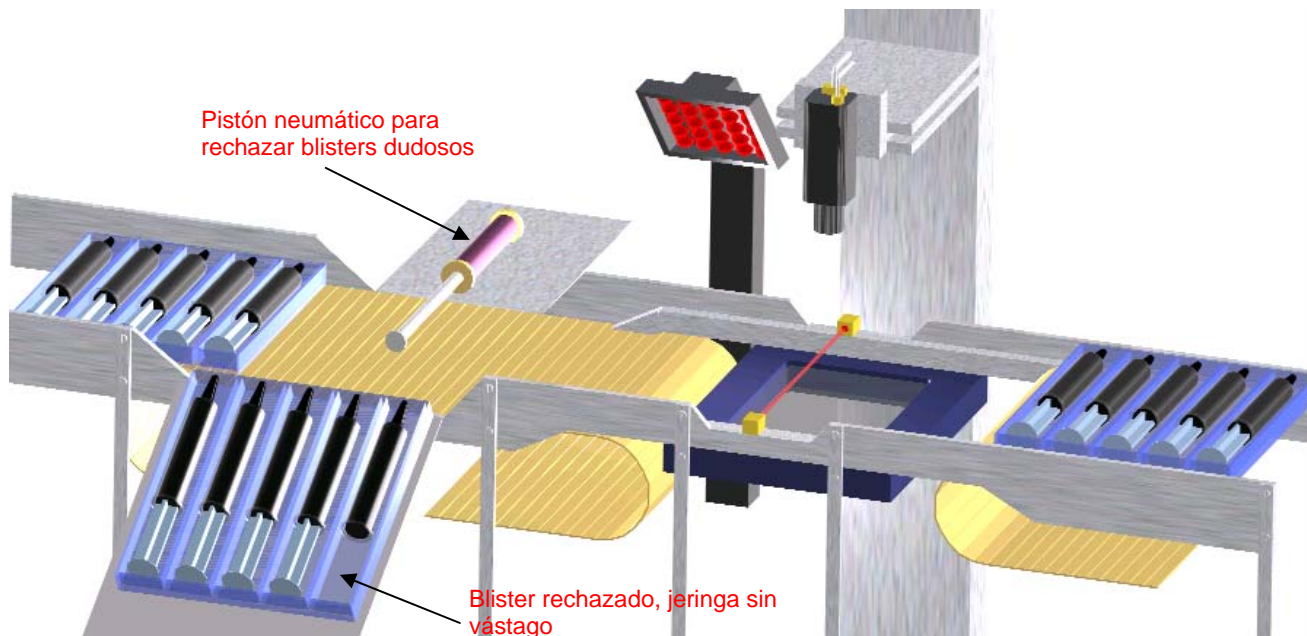


Figura 9.21 Sistema de Visión Artificial para la inspección de jeringas, empresa PLASTIESTÉRIL.

## 9.5 CONCLUSIONES.

El SVA propuesto para la empresa PLASTIESTERIL, demostró ser una herramienta de gran utilidad para la inspección de calidad de sus productos. Los resultados obtenidos son los siguientes:

- Durante las pruebas de funcionamiento, el sistema presentó una buena respuesta para la detección de jeringas sin tapón, sin vástago, sin líquido o jeringas completas faltantes en los blisters.
- El tiempo requerido por el SVA para realizar un análisis completo de una jeringa fue aproximadamente de 0.3seg. alcanzándose el objetivo de inspeccionar 200 jeringas por minuto (un blister cada 1.5 seg.).
- La línea de producción ya no se detiene al inspeccionar un producto dudoso. Esto trajo como consecuencia un aumento en el nivel de productividad y en la entrega de productos.
- La empresa alcanzó un 99.99% en el control de calidad de sus productos.

Quedo comprobado que un SVA brinda una excelente solución para la empresa. Pero antes de que los ingenieros y técnicos de las empresas manufactureras piensen en estos sistemas como una solución a sus problemas de producción, tienen que analizar detenidamente el problema y buscar soluciones internas que satisfagan sus necesidades. Ya que un SVA es una herramienta costosa, pero si es bien utilizada los beneficios se verán reflejados en la producción y por consecuencia en la economía de las empresas.



## 10.- TENDENCIAS A FUTURO DE LA VISIÓN ARTIFICIAL.

### 10.1 INTRODUCCIÓN.

El principal objetivo de este capítulo es mirar hacia el futuro de la VA, y ver el impacto que pueden tener los sistemas basados en esta tecnología, aplicados a la manufactura flexible en la industria de la producción y en otras áreas de interés.

### 10.2 FLEXIBILIDAD EN LOS SISTEMAS DE VISIÓN.

Los SVA se encuentran en una etapa de desarrollo e investigación. Estos sistemas han cubierto grandes necesidades en la industria, pero aún no han llegado a ser lo suficientemente flexibles como un operador humano.

Un sistema de visión se programa para realizar una tarea específica, y se tendría que volver a programar para realizar una o varias actividades distintas. En un futuro se busca que los SVA alcancen un alto nivel de flexibilidad. Se pretende que estos sistemas realicen múltiples y variables tareas de inspección sin tener que reprogramar cada acción que deban realizar, y que dichas inspecciones sean más rápidas y precisas.

La tendencia a futuro es desarrollar sistemas inteligentes, es decir, sistemas que sean programados para resolver problemas por sí mismos, que presenten la cualidad de aprender de las experiencias y de su entorno, en una palabra que sean autónomos.

#### 10.2.1 Construcción de Sistemas Flexibles.

Un SVA consta de varios elementos que se tienen que ensamblar e instala en equipos, o en líneas de producción. Esta instalación implica rediseñar y modificar la estructura productiva de las



empresas que buscan soluciones en la VA. Actualmente se está trabajando en diseñar y elaborar equipos que cuenten con un SVA integrado y programado para realizar múltiples tareas, como en máquinas empaquetadoras, blisteadoras, de lavado, de acabado, de pintura, entre otras.

## 10.3 LA VISIÓN ARTIFICIAL COMO RAMA DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL.

Se pretende que con los avances de la Inteligencia Artificial, los SVA (como rama de esta ciencia), alcancen un extraordinario crecimiento en todos los sectores Industriales.

La Inteligencia Artificial es una ciencia que busca programar una computadora para que posea la facultad de hacer aquello que la mente humana puede realizar. Este tipo de Inteligencia autónoma tiene que implantarse en los SVA para que lleguen a ser lo suficientemente flexibles y brinden soluciones ilimitadas a la industria. Prácticamente cualquier sector industrial se verá beneficiado con los avances de esta tecnología, para acelerar sus procesos, para reducir sus costos de producción o para mejorar la calidad de sus productos finales.

### 10.3.1 ¿Qué soluciones brinda la Visión Artificial?.

Existen muchos campos en donde la VA está siendo utilizada para resolver infinidad de inconvenientes. Veamos algunos ejemplos de estas aplicaciones:

- En la bioingeniería. Se trabaja en diseñar prótesis visuales, estas prótesis proveen de VA a personas con problemas de visión. Consta en una diminuta cámara digital que se monta en los anteojos del paciente; conectada a una computadora portátil, traduce las imágenes en señales eléctricas y las envía a un dispositivo implantado en una región del cerebro (lóbulo occipital), donde las señales son interpretadas como imágenes. El resultado es una visión acotada que permite la autonomía del paciente.
- En la industria automotriz. Un grupo de científicos está por patentar un SVA para automóviles. Este sistema (**figura 10.1**) permite la detección automática de señales de tráfico, neblina, obstáculos en el camino, el aviso de infracciones cometidas por el conductor, además de la velocidad de vehículos cercanos. En la siguiente (**figura 10.2**), tenemos un ejemplo de la aplicación.

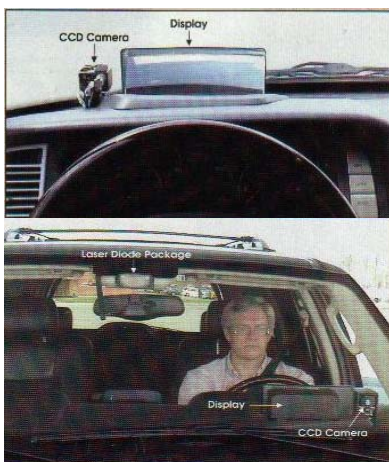


Figura 10.1 Sistema de Visión Artificial, instalado en el tablero de un vehículo.



Figura 10.2 a) Visibilidad normal de una persona, con neblina.



Figura 10.2 b) Visibilidad del mismo camino con el sistema de la figura 10.1



Otra de las múltiples aplicaciones de esta técnica es el control adaptativo de la velocidad del vehículo. El objetivo es mantener un tiempo de seguridad preestablecido con respecto a los coches precedentes en el carril.

Cuando detecta fatiga o somnolencia en el conductor, el sistema manda una señal de alarma o disminuye automáticamente la velocidad para poner a salvo tanto al conductor como a los peatones, evitando posibles atropellamientos.

## 10.4 CONCLUSIONES.

La VA es una realidad y la industria manufacturera esta echando mano de ella para mejorar su nivel de producción. En un periodo no muy lejano nos esperan sistemas de visión autónomos, capaces de realizar múltiples tareas y responder a los inconvenientes por si mismos sin tener que reprogramarlos.

Nos encontramos en una etapa de grandes avances tecnológicos, pero esta carrera es infinita ya que la tecnología en ningún momento llegara a ser la mejor, sino que será menos tonta que antes. Porque nunca se llegara a un límite, porque siempre, se podrá alcanzar más.





# 11.- CONCLUSIONES.

Se cumple con los objetivos de este estudio. La VA es como el sentido de la vista en una máquina, robot o procesador, y brinda la oportunidad de automatizar y mejorar muchos procesos, tanto en la industria como en el campo de la medicina. El objetivo de un SVA en una empresa de manufactura, es elevar la producción, inspeccionar productos en un menor tiempo y ofrecer al consumidor artículos con la mejor calidad.

Los SVA se emplean con éxito en la gran mayoría de los sectores industriales a nivel mundial, siendo el sector automotriz, el más favorecido. Los beneficios más importantes son:

- Económicos. Reduce costos de productos manufacturados al detectar condiciones de error, en un punto de menor valor agregado.
- De calidad. Mejora la calidad al inspeccionar el 100% de los productos, en lugar de realizar inspección por muestreo e incrementa la satisfacción del cliente.
- De las personas. Un SVA puede trabajar en lugares peligrosos o dañinos para las persona. Elimina trabajos monótonos y repetitivos, evita errores ocasionados por cansancio y fatiga.

En el caso de estudio presentado (inspección de jeringas, empresa PLASTIESTERIL), implantar un SVA demostró ser eficaz para:

- Un control de calidad exigente.
- Aumentar la productividad anual hasta un 66.66%.



- Aumentar la ganancia neta anual en un 40%.
- Cumplir con las normas de calidad establecidas por la ley.
- Fortalecer la imagen corporativa.
- Recuperación de la inversión en un periodo relativamente corto.

En México, existen muchas oportunidades para la aplicación de la VA, aunque en general, sólo se han adaptado soluciones y técnicas existentes en otros países y la innovación ha sido más limitada.

En la industria nacional se ha detectado la necesidad de recurrir a los SVA, por ejemplo, en la inspección automática de telas, detección automática de derrames en ductos, detección automática de intrusos en sitios de alta seguridad y otros más. Aunque algunas de las soluciones están al alcance de nuestros centros de investigación (UNAM, IPN, CONACyT), las empresas o el gobierno no se deciden a financiar tales proyectos, porque no existe la cultura del acercamiento empresa-academia-industria.

México tiene que ver en los avances tecnológicos, una herramienta vital para su industria, las empresas nacionales tienen que hacer frente a la competencia de países extranjeros, y buscar la forma de exportar sus productos, pero para hacerlo, se tiene que alcanzar un alto nivel de calidad y formar empresas aptas de competir en los grandes mercados.

No hay industria ni negocio, que pueda aspirar a ser exitoso sin un buen sistema de control de calidad. El futuro de la manufactura, es la fábrica inteligente.



## GLOSARIO

---

**CALIDAD.** Conjunto de propiedades y características de un producto o servicio, los cuales le confieren la capacidad de satisfacer las necesidades y requisitos del cliente.

**DETECTORES.** Elemento electrónico que con la sola presencia, del elemento a detectar, varían la señal de salida.

**GESTIÓN DE CALIDAD.** El total de las actividades de la función administrativa que determinan las políticas, objetivos y responsabilidades para lograr la calidad.

**INSPECCIÓN.** Conjunto de actividades tales como la medición, examen, pruebas y calibración de una o más características de un producto o servicio.

**INSPECCIÓN POR MUESTREO.** Proceso en el cual se selecciona un cierto número de elementos o productos (muestra) con las mismas características, para examinarlos.

**INTELIGENCIA ARTIFICIAL.** Ciencia cuyo objetivo, es modelar matemáticamente en un ordenador o computadora, el comportamiento y razonamiento humano.

**SENSOR.** Dispositivo capaz de medir una o varias señales procedentes de una magnitud física (velocidad, temperatura, presión)

**SEÑAL.** Es una variable de un sistema físico, capaz de ser medida.

**SISTEMA.** Es la combinación de varios elementos con la finalidad de realizar una o varias funciones para cumplir con un objetivo en común.

**SISTEMA DE CALIDAD.** La estructura, los procedimientos, procesos y recursos organizacionales, necesarios para implantar la gestión de calidad. Dicho sistema debe ser sólo, tan completo como sea necesario para satisfacer los objetivos de calidad.

**SISTEMA DE CONTROL.** Conjunto de elementos, cuya función es controlar la salida de un valor determinado.

**SISTEMA DE CONTROL EN LAZO ABIERTO.** En este tipo de sistemas, la salida no tiene efecto sobre la acción de control.

**SISTEMA DE CONTROL EN LAZO CERRADO.** Son aquellos sistemas en los cuales la acción de control, es dependiente de la salida.

**SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL.** Un sistema de visión artificial se compone principalmente por un sensor o cámara, una buena iluminación, un procesador de datos, tarjeta de adquisición de imagen, algoritmo de procesamiento y un objeto de estudio. Un SVA, captura una imagen, la estudia y procesa para evaluar una orden previamente establecida en el procesador.

**VISIÓN ARTIFICIAL.** Es una rama de la Inteligencia Artificial, que tiene por objetivo modelar matemáticamente los procesos de percepción visual de los seres vivos y generar programas que permitan simular estas capacidades visuales por computadora

## FUENTES DE INFORMACIÓN.

### BIBLIOGRAFÍA.

---

- |      |                                      |   |  |
|------|--------------------------------------|---|--|
| 1.-  | Baca Urbina Gabriel                  | "EVALUACIÓN DE PROYECTOS"<br>(Quinta edición)   | McGraw - Hill 2001   |
| 2.-  | Bolton Andrew.                       | "SISTEMAS DE GESTIÓN DE CALIDAD PARA LA INDUSTRIA, GUÍA PARA ISO 9001"<br>(Segunda Edición)             | Acribia, s.a.<br>1999  |
| 3.-  | M. Lindsay William / R. Everts James | "ADMINISTRACIÓN Y CONTROL DE LA CALIDAD"<br>(sexta edición)   | Internacional Thomson Editores.<br>2005  |
| 4.-  | Niebel Benjamín / Freivalds Andris.  | "INGENIERÍA INDUSTRIAL, MÉTODOS, ESTÁNDARES Y DISEÑO DEL TRABAJO"<br>(Décima edición)                   | Alfaomega Grupo Editor<br>2001   |
| 5.-  | Pallás Areny Ramón.                  | "SENSORES Y ACONDICIONADORES DE SEÑAL"<br>(Tercera edición).  | Alfaomega Grupo Editor   |
| 6.-  | Syed Imitas Haider                   | "ISO 9001:2000, DOCUMENT DEVELOPMENT COMPLIANCE MANUAL"   | St. Lucie Press.<br>2001   |
| 7.-  | Valencia Figueroa Javier.            | "APUNTES DEL CURSO AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL"<br>(Evaluación de los Sistemas de Control).               | Palacio de Minería, feb. 1999.<br>Facultad de Ingeniería, UNAM.<br>División de Educación Continua. |
| 8.-  | Vázquez F. Gabriel                   | "CALIDAD EN LA EDUCACIÓN E ISO 9001:200"<br>(Una herramienta para mejorar la calidad en la escuela).    | Facultad de Psicología, UNAM. 2000   |
| 9.-  | W. Bolton                            | "MECATRÓNICA (SISTEMAS DE CONTROL ELECTRÓNICO EN INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA)"<br>(Segunda edición) | Alfaomega Grupo Editor<br>2001   |
| 10.- | W. Peach Robert.                     | "MANUAL DE ISO 9000"<br>(Tercera edición).  | McGraw - Hill 1999   |

## REVISTAS

---

- |     |                                   |   |  |
|-----|-----------------------------------|---|--|
| 1.- | IN TECH MÉXICO<br>AUTOMATIZACIÓN. | Artículo "Sensores<br>Inteligentes en la<br>Manufactura",<br>pag. 26-29 | Año 2, No. 3 Julio-Septiembre<br>2003. |
| 2.- | MANUFACTURA.                      | Artículo "Lecciones de<br>Mejora Continua", pag.<br>23-26               | No. 122, Agosto 2005<br>No.            |
| 3.- | Vision Systems Design.            | Artículo "Lighting desing<br>enables vision system",<br>pag. 25         | Diciembre 2005                         |
| 5.- | Vision Systems Design.            | Artículo "3-D vision<br>system checks tires",<br>Pag. 31-35             | Febrero 2006                           |
| 4.- | Vision Systems Design.            | Artículo "Electronics<br>Manufacturing",<br>pag. 35-38                  | Junio 2006                             |

## CURSOS

---

- |     |                                       |             |
|-----|---------------------------------------|-------------|
| 1.- | "VISIÓN ARTIFICIAL, DVT SENSOR"       | Agosto 2005 |
| 2.- | "INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL BÁSICA"   | Abril, 2002 |
| 3.- | "ROBÓTICA, APLICACIONES INDUSTRIALES" | Junio, 2000 |

## REFERENCIAS INSTITUCIONALES.

---

- |     |  |   |
|-----|--|---|
| 1.- | Instituto Mexicano de la Normalización y Certificación<br>(IMNC) | Orientación acerca de los<br>requisitos de documentación de<br>la Norma NMX-CC-9001-INMC-<br>2000 |
| 2.- | Instituto Mexicano de la Normalización y Certificación<br>(IMNC) | Orientación acerca del apartado<br>1.2 "Aplicación" de la Norma<br>NMX-CC-9001-INMC-2000.         |

## SITIOS WEB.

---

- 1.- [www.vision-systems.com](http://www.vision-systems.com)
- 2.- [www.bannerengineering.com](http://www.bannerengineering.com)
- 3.- [www.redlake.com](http://www.redlake.com)
- 4.- [www.vision-components.com](http://www.vision-components.com)
- 5.- [www.sony.com/videocamaras](http://www.sony.com/videocamaras)
- 6.- [www.ni.com](http://www.ni.com)