

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA



**CONTROL DE CALIDAD CON VISION ARTIFICIAL
PARA DETECTAR DEFECTOS EN SUPERFICIES
ESPECULARES NO PLANAS EN TAPAS DE
ENVASES**

INFORME DE SUFICIENCIA

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO MECATRÓNICO**

JOSÉ ARTURO MENESES ESTRELLA

PROMOCION 2007-II

LIMA-PERU

2 012

DEDICATORIA

**Con un inmenso agradecimiento y
respeto dedico este logro, a aquellos
que siempre creyeron en mi y que
de una u otra manera me apoyaron.**

TABLA DE CONTENIDOS

PRÓLOGO	1
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	3
1.1. Antecedentes	3
1.2. Objetivo	4
1.3. Justificación.....	4
1.4. Alcances del Proyecto	5
CAPÍTULO 2: GENERALIDADES DEL CONTROL DE CALIDAD POR VISIÓN ARTIFICIAL	7
2.1. Visión Artificial	7
2.1.1. Generalidades	7
2.1.2. Campos de Aplicación.....	7
2.2. Inspección Industrial	8
2.2.1. Evolución Histórica	8
2.2.2. Clasificación de los Problemas de Inspección.....	9
2.2.3. Inspección Visual Automatizada	10
2.2.3.1. Funcionamiento General	11
2.2.3.2. Clasificación de Sistemas de Inspección Automatizados	12
2.2.3.3. Ventajas	15
2.3. Superficies Especulares.....	16
2.4. Iluminación	17

2.4.1. Importancia.....	17
2.4.2. Reflexión Luminosa.....	18
2.4.3. Técnicas de Iluminación.....	19
2.5. Defectos.....	26
2.5.1. Generalidades	26
2.5.2. Clasificación de Defectos	26
2.5.2.1. Defectos Geométricos.....	27
2.5.2.2. Defectos de Pulido.....	28

CAPÍTULO 3: SISTEMA PROPUESTO PARA LA DETECCIÓN DE DEFECTOS EN TAPAS DE ENVASES	29
3.1. Proceso Actual de Control de Calidad	29
3.2. Planteamiento del Problema.....	30
3.3. Necesidades Industriales	31
3.4. Descripción General del Sistema	32
3.4.1. Sistema de Rotación	33
3.4.2. Sistema de Adquisición	33
3.4.3. Sistema de Iluminación.....	34
3.5. Concepción del Sistema	34
3.5.1. Relación Geométrica Cámara-Fuente Luminosa.....	34
3.5.1.1. Influencia de la Forma de la Pieza.....	36
3.5.1.2. Influencia de un Defecto.....	39

3.5.2. Principio de Iluminación adaptado en Superficies Especulares	45
3.5.3. Herramienta de Detección	49
3.5.3.1. Transición de Luz	49
3.5.3.2. Sensibilidad de Detección	50
3.5.3.3. Sistema de Detección.....	58
3.5.4. Herramienta de Caracterización de Defectos	60
3.5.4.1. Influencia del Número de Adquisiciones	69
3.5.5. Parámetros adoptados en la adquisición e iluminación	71
3.6. Resultados	76
3.6.1. Tiempo necesario para el Control.....	80
CAPÍTULO 4: COSTOS	81
4.1. Costos Directos	81
4.2. Costos Indirectos.....	82
CONCLUSIONES.....	83
RECOMENDACIONES.....	84
BIBLIOGRAFÍA	85
PLANOS	87
APÉNDICE.....	91
APÉNDICE A Generalidades	92
APÉNDICE B Nota de Aplicación: Selección de Cámara	96
APÉNDICE C Data Sheet: Backlight Lighting	100

PRÓLOGO

El presente informe de suficiencia tiene como objetivo, proponer un sistema de control de calidad con visión artificial para detectar defectos en las tapas de envases de cosméticos, los cuales se caracterizan por tener una superficie especular no plana. Si bien es cierto los laboratorios de Investigación y Desarrollo en el ámbito mundial vienen desarrollando sistemas automatizados para estas tareas, pero lamentablemente en el Perú esto aún no se refleja, ya que los trabajos de investigación aún son escasos, por tanto este informe busca aportar a la literatura existente y servir de base para investigaciones posteriores.

En el **PRIMER CAPÍTULO** se presentan los antecedentes, objetivos y los alcances del presente informe. Así mismo, se incluye la justificación, en donde se exponen las razones por las que este sistema es importante en el control de calidad.

En el **SEGUNDO CAPÍTULO** se presentan generalidades de las palabras claves que están relacionadas con el tema de estudio, tales como visión artificial, inspección industrial, superficie especular, iluminación y defectos.

En el **TERCER CAPÍTULO** se describe la problemática actual en el proceso de control de calidad de tapa de envases y se describe el sistema propuesto,

APÉNDICE D Data Sheet: Cámara A101p BASLER.....	101
APÉNDICE E Data Sheet: Objetivo.....	102
APÉNDICE F Data Sheet: Tarjeta de Adquisición Numérica.....	105

En el **CUARTO CAPÍTULO** se presentan los costos directos e indirectos correspondientes al sistema propuesto.

Finalmente, las conclusiones y recomendaciones brindarán un alcance de lo que implica la realización de un sistema de control de calidad con visión artificial.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

La competencia en el mercado de la mayoría de los productos ha dejado de ser solamente una competencia local y se ha convertido en una competencia casi global debido al intercambio de productos. Esto conlleva a que los productos que se traen o que se envían de otros lugares deban tener un estándar de calidad y estos tienen que cumplir además con una certificación de calidad mundial. Es por esto que las empresas tienen la necesidad de introducir tecnología en sus procesos para tener una mayor eficiencia en sus productos y para disminuir el costo de producción y aumentar la productividad.

Puesto que el control de calidad es uno de los aspectos más importantes en la competitividad industrial [1], y debido al alto costo de la inspección humana, se han desarrollado sistemas automatizados que realicen estas tareas. En la década de los 90 se ha sido testigo de un crecimiento en el desarrollo de este tipo de máquinas. Por ejemplo, en los Estados Unidos, las ventas de Sistemas de Inspección Visual Automatizada llegaron a \$ 888 millones en 1994 [2]. La tabla 1.1 muestra el mercado de estas máquinas en el año 2001.

Tabla 1.1 Distribución Geográfica del mercado de Sistemas de Inspección Visual Automatizada [3]

Región	Unidades	Unidades (%)
América del Norte	41 685	30.9
Europa	35 981	26.7
Japón	44 545	33.0
Resto del Mundo	12 630	9.4
Total	134 841	100

1.2 OBJETIVO

Proponer un sistema de control de calidad por Visión Artificial que permita detectar los defectos en las superficies especulares no planas que se puedan presentar en la producción de tapas de envases en la industria cosmética.

1.3 JUSTIFICACION

Este Informe de Suficiencia es necesario principalmente para el sector industrial, ya que la calidad del producto se ha convertido en una gran preocupación en la industria, y más aun en la industria cosmética, donde la calidad estética de los productos debe ser objeto de vigilancia especial. Ante esta situación, se propone un sistema que realice esta tarea de manera eficaz y competitiva, además de ser el más adecuado para tareas repetitivas. De esta forma, se evita el cansancio del obrero y se asegura una medida objetiva en el control de calidad.

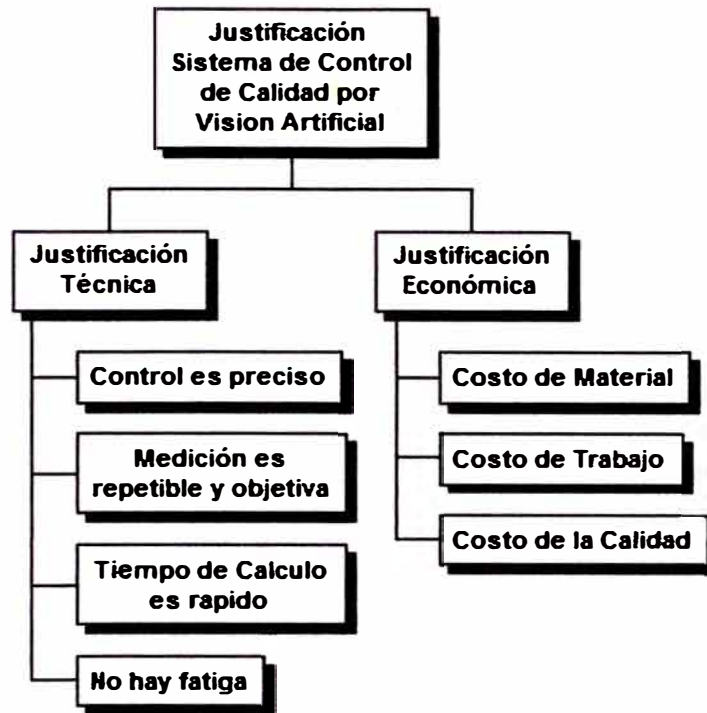


Figura 1.1 Justificación

Finalmente, la visión artificial permite optimizar el uso de materiales, permite comprobar la calidad de los proveedores y garantiza la calidad de los productos terminados [3].

1.4 ALCANCES DEL PROYECTO

El Sistema propuesto detecta defectos en las tapas de los envases de cosméticos. La superficie de estos es especular y su geometría es no plana. Estos productos son de plástico, presentan una capa de barniz y una capa adicional de aluminio.



Figura 1.2 Tapa de Cosmético

Se emplea el término defecto para referirse únicamente a los defectos geométricos o también llamados estéticos, los cuales corresponden a una pequeña deformación (golpe) en la superficie de la pieza (Figura 1.3). De esta manera los defectos funcionales, de color, entre otros no son considerados.

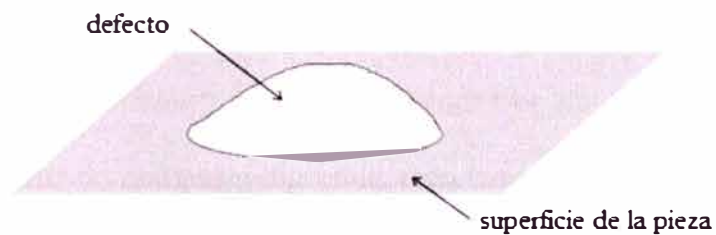


Figura 1.3 Defecto estético

CAPÍTULO 2

GENERALIDADES DEL CONTROL DE CALIDAD POR VISION ARTIFICIAL

2.1 VISION ARTIFICIAL

2.1.1. Generalidades

Se puede definir la “Visión Artificial” como un subcampo de la “Inteligencia Artificial” que, mediante la utilización de técnicas adecuadas, permite obtener, procesar y analizar cualquier tipo de información, todo ello se realiza a partir de imágenes digitales. Con la visión artificial se puede:

- Automatizar tareas repetitivas de inspección.
- Realizar inspecciones de objetos sin contacto físico.
- Realizar la inspección del 100% de la producción a gran velocidad.

2.1.2. Campos de Aplicación

Entre el gran número de aplicaciones, se pueden mencionar:

- Control Industrial: control de dimensiones y calidad de la superficie de los productos fabricados, control del desgaste de las máquinas, control de montaje de componentes electrónicos, entre otros. Esto se realiza por ejemplo en: la industria del automóvil, de los

electrodomésticos, etc. Así mismo, permite detectar defectos en los productos en la industria textil, de empaquetado de alimentos, farmacéutica, cosméticos, de la cerámica, de papel, acero y tarjetas de circuito impreso.

- Control Vehicular: contar y clasificar vehículos, etc.
- Campo de la biometría: detectar personas u objetos sospechosos, etc.

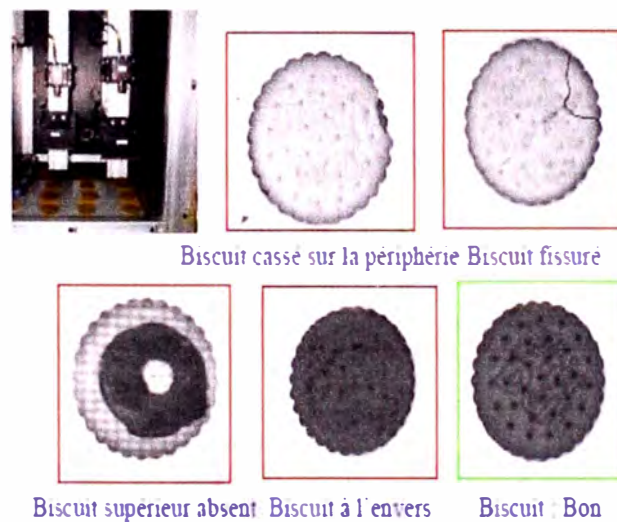


Figura 2.1 Control de calidad

2.2 INSPECCION INDUSTRIAL

2.2.1 Evolución Histórica

La inspección fue uno de los motores de la Revolución industrial. Con partes estándar, la noción de intercambiabilidad fomentada por Eli Whitney fue finalmente una realidad, de esta manera era posible la producción en serie y las organizaciones tendieron a ser más complejas.

A principios de siglo, con el aumento de la complejidad se necesitaron los departamentos de inspección. Durante las tres cuartas partes del siglo, el número de inspectores se incrementó paulatinamente, dándoles la responsabilidad de la calidad de los productos. Durante la mayor parte del siglo XX, la organización de la inspección estaba normalmente separada del proceso productivo. La responsabilidad de la inspección de los productos dependía del departamento de calidad. Sin embargo, se constató que la calidad del producto no podía darse desde fuera, sino en el mismo proceso, esto fue el punto de inflexión en la Inspección industrial.

En una industria cada vez más automatizada, se requiere que las operaciones de inspección deben formar parte del proceso, ya que la mejora de la producción manufacturera depende de la integración de sistemas de inspección dentro del proceso [4]. En el proceso productivo, el resultado es un producto cuyas propiedades varían dentro de un rango. Por tanto podrían producirse productos aceptables, rechazables o bien provocar el reajuste del propio proceso.

En términos simples, la inspección puede ser vista como el examen de alguna característica del producto, el cual trata de determinar si se encuentra dentro de los valores esperados.

2.2.2 Clasificación de los Problemas de Inspección

Primero, de acuerdo al lugar donde se realiza la inspección, se tienen las siguientes: inspección en la recepción de las materias primas, a lo largo del proceso de producción, y al término del mismo. En la recepción se

verifican las especificaciones de las materias primas. La inspección a lo largo de la fabricación tiene por objeto vigilar el funcionamiento del sistema en las mejores condiciones posibles y recoger información para mejorarlo. El control de fabricación produce, a la larga, los mayores beneficios. Las inspecciones en la salida van dirigidas a aceptar o rechazar el producto.

Segundo, en función al tipo de medida, se tienen inspecciones que toman en cuenta características medibles (longitud, masa, etc.) y característica cualitativas o atributos (control pasa/no pasa, por piezas defectuosas). El control por características medibles o por variables es más informativo que por atributos, ya que indica no sólo si un elemento es o no defectuoso, sino, además, la magnitud del defecto.

Por último, se pueden clasificar según los métodos empleados, las cuáles son realizadas manualmente o automáticamente. La capacidad de razonamiento del humano es un elemento importante en estas operaciones, puesto que su habilidad y flexibilidad no puede ser comparada con ninguna máquina. Sin embargo, los aspectos de fatiga y cansancio, hacen mella en el operario, tomando a veces actitudes subjetivas. En cambio la automatización de la inspección, permite dar un juicio invariable en el tiempo, aunque este juicio no sea tan rico en matizaciones como el del humano.

2.2.3 Inspección Visual Automatizada

La inspección visual de objetos forma parte del proceso de fabricación. La automatización de esta tarea está siendo realizada de manera lenta, si se compara con otros eslabones de la cadena de producción, como

transporte de materias primas o más recientemente la mecanización y ensamblaje de productos. Su complejidad viene originada, por la cantidad de capacidad de razonamiento que es necesaria implementar, sin embargo la automatización de estas tareas se convierte en exigencia en sectores productivos con altos niveles de competencia.

2.2.3.1 Funcionamiento General

El principio de funcionamiento general es mostrado en la Figura 2.2, donde se tienen las siguientes etapas:

- Adquisición
- Tratamiento
- Análisis
- Interpretación
- Comunicación

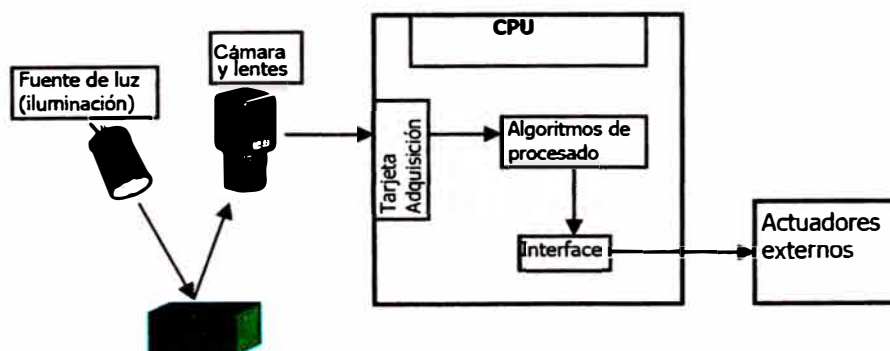


Figura 2.2 Funcionamiento General

La adquisición consiste en la extracción de la imagen en formato digital. Para esto, se requiere de la iluminación, óptica, cámaras. El tratamiento, éste reagrupa un conjunto de técnicas destinadas a mejorar la calidad de la imagen, tales como: restauración, mejora. El análisis consiste en extraer la información contenida en una imagen. Para esto se emplea diversas técnicas, como la segmentación (umbral, límite de detección, etc.). Luego, de acuerdo a las características extraídas, como el tamaño, posición de los defectos, posición de los contornos, color de los objetos, el sistema reduce el número de datos y devuelve el resultado o toma una decisión. Y como último paso, la comunicación [3].

2.2.3.2 Clasificación de los Sistemas de Inspección Automatizados

Atendiendo a la geometría de la superficie a inspeccionar

Newman realizó una clasificación de los posibles escenarios en los que se enfrenta la inspección visual [5]. En el primer nivel (ver Figura 2.3) se distinguen objetos con “superficies arbitrarias” y “superficies cuadráticas”. Muchos de los objetos industriales pueden modelarse usando planos y unas pocas primitivas cuadráticas, como esferas y cilindros.

El siguiente nivel está relacionado al reconocimiento de formas. Los objetos expuestos delante de los sensores pueden ser conocidos o no de antemano. Por último, está si se conoce o no la posición de los objetos.

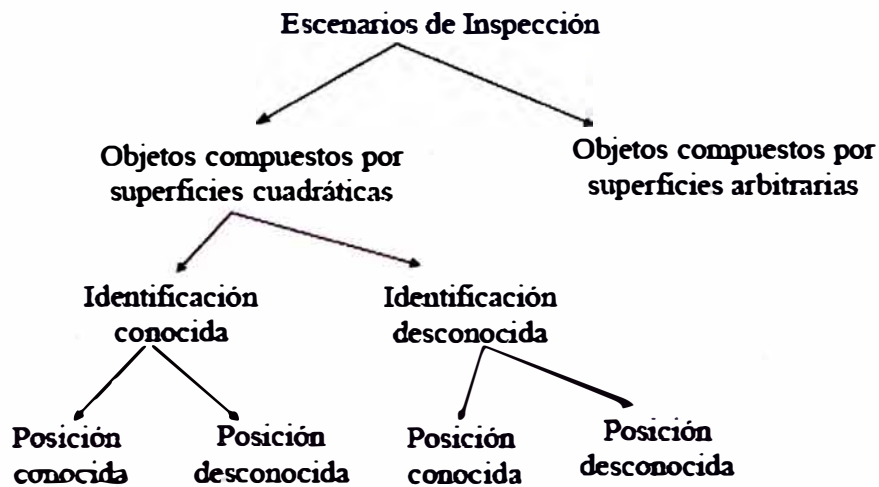


Figura 2.3 Escenarios de inspección según Geometría de superficies

En este Informe de Suficiencia, se considera un escenario de superficies cuadráticas (no planas), objetos identificados y posiciones conocidas.

Atendiendo al tipo de imágenes adquiridas

Según el tipo de información dada por los sensores, los sistemas se pueden clasificar en inspección basada en imágenes binarias, en niveles de grises, en imágenes de color o en imágenes tridimensionales.

Históricamente, la mayoría de los sistemas ha usado imágenes binarias. Muchos de estos sistemas utilizan imágenes de baja resolución y sus prestaciones suelen ser simples verificaciones [6].

Esta arquitectura ofrece ventajas de tipo económico, al ser constituido por sensores de bajo costo, en conjunción de sistemas de iluminación simples, La información adquirida permite inspeccionar objetos de altos contrastes

entre sí. De otro lado, el nivel de datos a procesar se reduce considerablemente [7].

En cambio, se ha observado que el color es un factor importante en la inspección de textiles y alimentos [8].

Tabla 2.1 Referencias de Sistemas de Inspección implementados

Aplicación	Tipo de Información	Método	Geometría
Acero	Niveles de gris	Características	Plana
Agricultura	Color	Características	Arbitraria
Aluminio	Niveles de gris	Características	Plana
Textiles	Niveles de gris	Características	Plana
Madera	Color	Características	Plana

Atendiendo a las técnicas empleadas de detección

Las técnicas empleadas pueden clasificarse en dos grandes grupos. El primero comprende las técnicas de casamiento de patrones, template matching, mediante las cuales se detectan anomalías visuales comparando las imágenes del producto sometido a inspección con imágenes que no contienen defectos. El segundo grupo incluye aquellas técnicas basadas en la extracción de características desde la imagen, que comparan los valores con modelos de reglas, cognitivos o estadísticos.

La inspección visual mediante el casamiento con un patrón consiste en una comparación pixel a pixel de dos imágenes: una del producto sometido a inspección y otra del producto ideal sin defectos. Esta segunda imagen patrón se encuentra almacenada en el sistema y puede ser una imagen obtenida por

una cámara, por un conjunto de imágenes procesadas o de un modelo sintético obtenido por CAD [9].

La mayoría de los sistemas implementados en la industria usa métodos basados en la extracción de características. Esta modelización consiste en una serie de características extraídas de la imagen, lo que se conoce como vector de características. Estos parámetros pueden ser áreas, texturas, momentos de inercia, histogramas, etc. Una vez obtenido el modelo de la imagen, se clasifica mediante algunas de las técnicas de reconocimiento de formas.

2.2.3.3 Ventajas

En el mundo industrial, las tareas de inspección han sido realizadas tradicionalmente por operarios, ya sea en su totalidad o por muestras representativas del lote. Algunas experiencias [10] han indicado que los inspectores humanos tienden a ser más exactos, en la inspección por lotes muestreados que en la modalidad de 100 % del producto, probablemente por razones de fatiga.

De hecho, en los estudios llevados a cabo [11], se ha observado que la inspección visual humana tiene, en el mejor de los casos, una efectividad del 80 %. En cambio, los sistemas automatizados garantizan una medida de calidad objetiva, medible y mejorable. Por otro lado, los sistemas automatizados pueden ser ubicados en ambientes insalubres.

Resumiendo, se muestra en la tabla 2.2 las ventajas del sistema automatizado respecto al sistema de visión humano.

Tabla 2.2 Comparación entre Sistema Automatizado y Sistema Visión Humano

Visión Humana	Sistemas Automatizados
Vulnerable	Pueden ser ubicados en ambientes peligrosos
Inspección subjetiva	Medidas objetivas
Falible	No existe error por cansancio o falta de atención
Inspección lenta	Puede trabajar en tiempo real

2.3 SUPERFICIE ESPECULAR

Esta superficie se comporta como un espejo, donde los rayos incidentes se reflejan totalmente con un ángulo igual al de incidencia (ambos tomados con respecto a la perpendicular al plano en ese punto) [13]



Figura 2.4 Superficie Especular

La superficie de los objetos considerados en este informe es especular. Esta característica se adquiere después de agregar una capa de barniz y una capa adicional de aluminio a las tapas de plástico.

Así mismo, es necesario indicar que cada objeto iluminado se comporta como una nueva fuente luminosa que reenvía los rayos luminosos de una manera que depende de la característica física del objeto. Existen

principalmente 2 mecanismos de reflexión: una reflexión en superficie y una reflexión interna [14], [15] como se indica en la Figura 2.5

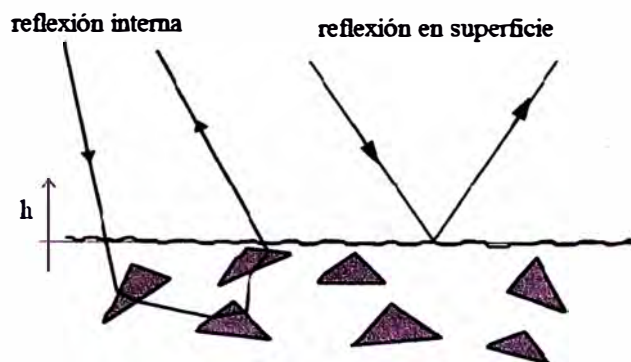


Figura 2.5 Mecanismos de reflexión de la luz

Si bien es cierto, la superficie que hemos considerado, es la superficie especular, pero igualmente como referencia describiremos la reflexión de la luz en otro tipo de superficies. Por ejemplo: Una superficie lisa reflejará la luz a lo largo de una dirección única mientras que una superficie rugosa tenderá a difundir la luz. La magnitud física asociada a la difusión es la rugosidad, ella caracteriza las irregularidades microscópicas de la superficie [15].

2.4 ILUMINACIÓN

2.4.1. Importancia

La iluminación es el aspecto más decisivo de cualquier aplicación de visión artificial. Asumir que mediante un algoritmo se puede compensar una iluminación inadecuada es un error muy serio y costoso.

En nuestra experiencia diaria, usamos la luz del ambiente, en las aplicaciones de visión artificial la luz del ambiente de trabajo es peligrosa debido a que cambia cuando menos lo esperamos. Por esta razón, se necesita proveer de luz controlada de manera que se acentúen las características de interés y se minimicen aquellas intrascendentes.



Figura 2.6 Iluminación

2.4.2. Reflexión Luminosa

La luz es reflejada por los objetos de dos maneras. En la reflexión especular, cada rayo incidente se refleja en una única dirección (los rayos reflejados son paralelos). Por otro lado, en la reflexión difusa los rayos incidentes son dispersados en un rango de ángulos salientes. En realidad, los objetos exhiben todas las clases de conductas entre los extremos de la reflexión especular y la difusa.



Figura 2.7 Reflexión Luminosa (a) Reflexión Especular (b) Reflexión Difusa

Reflexiones Especulares

Las reflexiones especulares son brillantes pero poco confiables. Son brillantes porque la intensidad de la reflexión es comparable con la intensidad de la luz que proviene de la fuente. En muchos casos, las reflexiones especulares saturan al sensor de la cámara. Las reflexiones especulares no son confiables debido a que un pequeño cambio en el ángulo entre la fuente de luz, el objeto y las lentes puede causar que la reflexión especular desaparezca completamente.

Reflexiones Difusas

Las reflexiones difusas son tenues pero estables. La intensidad de la reflexión puede ser de 10 a 1000 veces menor que la intensidad de la fuente de luz. La intensidad de la luz reflejada cambia lentamente con el ángulo [16].

2.4.3. Técnicas de Iluminación

Existen innumerables técnicas de iluminación desarrolladas. Sin ser exhaustivos, las más importantes y aplicables en superficies especulares son:

Sistema D SIGHT

Esta técnica convierte las variaciones de curvatura de superficie en cambios de intensidad luminosa [17]. Este sistema de inspección está compuesto de una cámara matricial, de una fuente luminosa direccional posicionada al lado del objetivo de la cámara y un panel retro reflector. (Ver Figura 2.8)

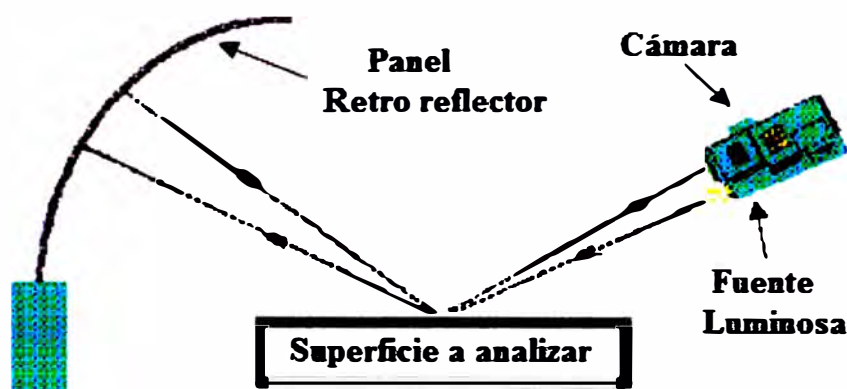


Figura 2.8 Principio del Sistema D SIGHT

El panel, constituido de microbillas, es el elemento clave del sistema. El panel refleja casi toda la luz en la misma dirección que la dirección incidente. Una pequeña porción de luz es dispersada. Cuando una superficie es iluminada por una fuente luminosa, las curvaturas locales concentran o dispersan la luz en el panel retro reflector. Un motivo luminoso se forma en el panel y es reflejado hacia la fuente con una débil dispersión. La superficie del objeto es retro reflectada por el motivo y aumenta el efecto de dispersión inducido por la deformación en la superficie.

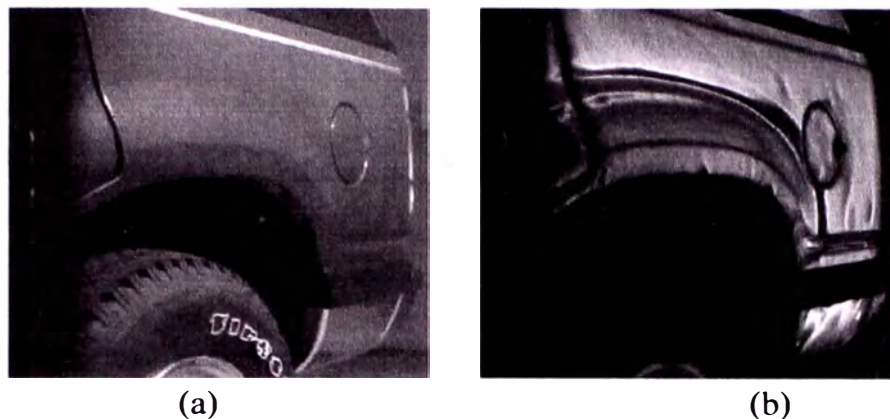


Figura 2.9 Inspección de superficies metálicas
(a) Escena bajo luz natural (b) Escena con sistema D SIGHY

Esta técnica funciona perfectamente en superficies con especificidad elevada. Sin embargo, el sistema es inadecuado para las superficies especulares porque la textura de las microbillas del panel se refleja en la superficie, ocasionando que las imágenes sean difícilmente interpretables.

Dark-Field & Bright-Field

Esta técnica es utilizable en microscopios [18]. Consiste en iluminar la superficie con una fuente direccional con un ángulo rasante. La cámara observa la superficie verticalmente de manera que se elimina completamente la componente luminosa reflexiva. Por tanto, el campo observado es completamente oscuro. Así, toda irregularidad de superficie provoca una reflexión en dirección de la cámara. Las zonas afectadas aparecen luminosas, es decir contrastados en relación a la superficie sana.

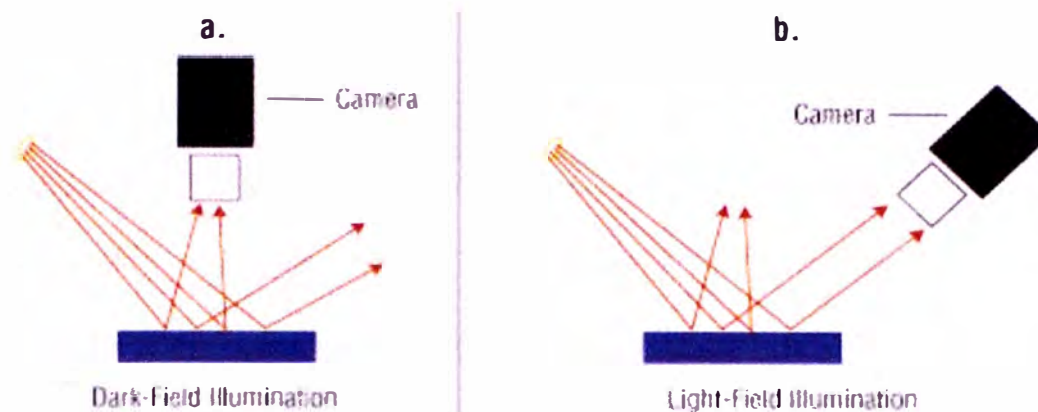


Figura 2.10 Dark-Field y Bright-Field

La técnica de campos luminosos (Bright-Field) tiene el mismo principio, pero una diferente configuración. La cámara se ubica de manera que se observe la reflexión de la luz luminosa en la superficie. El campo observado está completamente iluminado. Así toda irregularidad ocasiona una reflexión de la luz fuera del campo observado por la cámara. Las zonas afectadas por los defectos aparecen oscuras, por tanto opuestas a la zona sana.

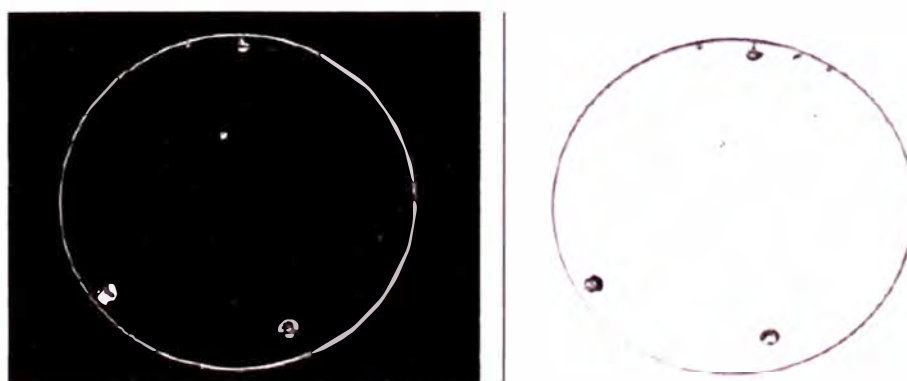


Figura 2.11 Imágenes obtenidas en Dark-Field y Bright-Field respectivamente

Iluminación Posterior

Esta permite delinear el contorno de las piezas, minimiza la visibilidad de gabinetes traslúcidos y permite visualizar perforaciones pasantes. Esta técnica brinda un contraste muy alto y es fácil de implementar. En las imágenes tomadas bajo esta técnica, el fondo aparece uniformemente blanco y el objeto se visualiza mediante su silueta.

Dentro de las técnicas de iluminación posterior se tiene: la difusa y la direccional. En la iluminación posterior difusa los rayos de luz se transmiten en diversos ángulos. En la iluminación posterior direccional, un colimador hace que todos los rayos de luz se propaguen en direcciones paralelas.



Figura 2.12 (a) Iluminación posterior difusa (b) Iluminación posterior direccional



Figura 2.13 Dispositivo Comercial de Iluminación Posterior

Iluminación Frontal Oblicua y Direccional

La dirección de la iluminación, conocida como el ángulo de incidencia, es el ángulo formado por el plano normal a la superficie y el rayo incidente. Cuando los haces de luz forman un ángulo de 20 grados con la superficie, se puede maximizar el contraste en objetos con relieves de manera que los bordes aparezcan brillantes frente al fondo oscuro que forman las superficies planas del objeto. En la iluminación frontal direccional, el ángulo es 30°, lo que reduce un poco el contraste pero incrementa la cantidad de información obtenible de las superficies planas.

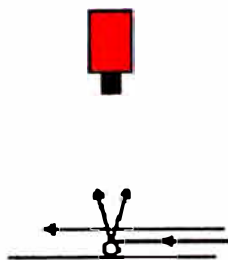


Figura 2.14 Frontal Oblicua

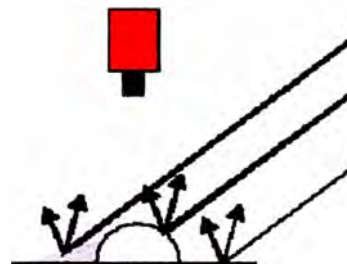


Figura 2.15 Frontal Direccional

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

Los domos producen una iluminación difusa y uniforme. Se utilizan para iluminar superficies reflectivas.



Figura 2.16 Anillo



Figura 2.17 Anillo con difusor

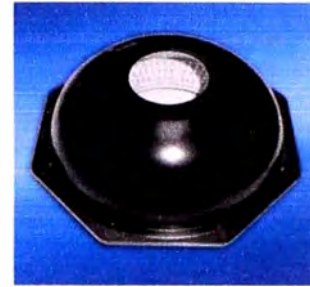


Figura 2.18 Domo

Iluminación Frontal Axial (difusa)

Mediante esta técnica se puede iluminar desde el mismo eje de la cámara con luz uniforme, incluyendo el centro de la imagen. Permite iluminar uniformemente superficies reflectivas, realza detalles grabados y crea contraste entre superficies especulares y difusas / absorbentes [16].



Figura 2.19 Dispositivo de Iluminación Frontal

El dispositivo comercial de la Figura 2.22 envía luz mediante el divisor de haces prácticamente a 90 grados. Provee iluminación uniforme para superficies reflectivas planas. De esta forma, las superficies reflectivas

perpendiculares a la cámara se ven iluminadas, mientras que aquellas que se encuentran a otros ángulos aparecen oscuras [16].

2.5 DEFECTOS

2.5.1. Generalidades

Este término se puede definir como, el incumplimiento de un requisito asociado a un uso previsto o especificado [19]. Dicho de otra manera, el defecto es el incumplimiento de una característica de calidad respecto de un límite especificado, los cuales son determinados por las partes interesadas o involucradas en el proceso. Según Ishikawa, defecto es lo que causa insatisfacción al cliente.

2.5.2 Clasificación de Defectos

Los defectos comunes son: agujeros, rayaduras y variaciones de color en el objeto [20], [21]. Una clasificación que agrupa estos defectos es mostrada en la Figura 2.20.

Así mismo, se podría agregar, los defectos de color, los cuales se caracterizan por una falta de color o por presentar un color poco estable o una coloración heterogénea [22].

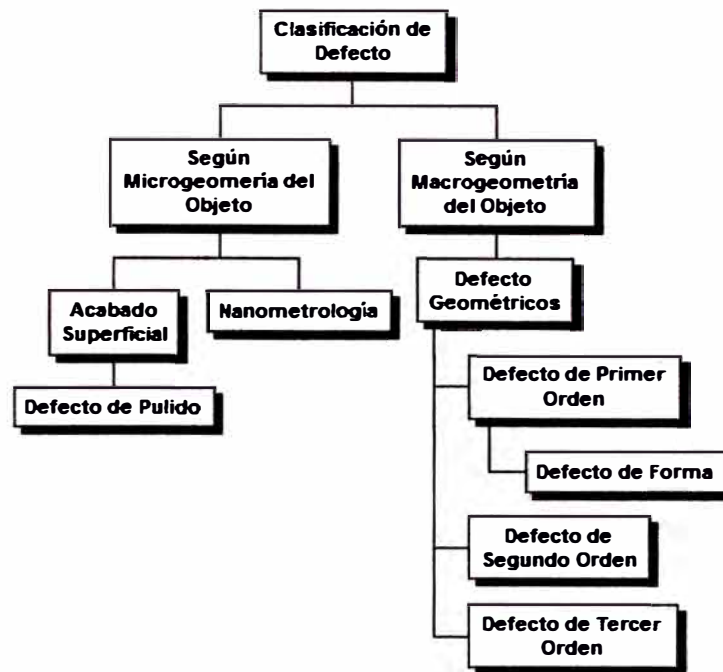


Figura 2.20 Clasificación de Defectos

2.5.2.1 Defectos Geométricos

Estos defectos son porciones de superficie que poseen la misma propiedad reflectiva, sin embargo la geometría de la superficie es modificada con respecto a la superficie sana. A su vez estos defectos geométricos pueden subdividirse en 3 órdenes, las cuales son:

Defecto De Primer Orden: son los defectos de forma. Por ejemplo: desviaciones de rectitud, de circularidad, etc.

Defecto De Segundo Orden: Se caracterizan por una línea ondulada. Se obtiene trazando la línea envolvente superior que pasa por la mayoría de las crestas

Defecto De Tercer Orden: caracterizan la rugosidad de la superficie. Los defectos de tercer orden son defectos no periódicos constituidos por arrancamientos, fracturas, etc. [21].

2.5.2.2. Defectos de Pulido

Estos defectos son unas porciones de superficie afectadas por una rugosidad superior a la superficie sana. Por tanto, la propiedad de reflexión especular no se conserva. Las modificaciones geométricas son despreciables.

CAPÍTULO 3

SISTEMA PROPUESTO PARA LA DETECCION DE DEFECTOS

EN TAPAS DE ENVASES

3.1 PROCESO ACTUAL DE CONTROL DE CALIDAD

De acuerdo a estimaciones en la producción de tapas, el operador realiza la inspección y clasificación de una pieza en 6 segundos. Actualmente, esta inspección visual tiene inconvenientes, puesto que la decisión es subjetiva. Así mismo, los errores debidos a la fatiga o la desconcentración son posibles a presentarse. Luego, asistentes de calidad realizan un control adicional por lotes, para esto, un cierto número de cajas por lote y de productos por cajas es tomado. En caso que estos sean defectuosos, estos deberán ser retirados.

Tabla 3.1 Descripción de Costos del Sistema Actual¹

Descripción	Cantidad
Unidades Producidas diariamente	36 000 tapas
Tiempo Actual de Control	6 s por tapa
Turnos Diarios	3 turnos
Días trabajados semanalmente	7 días
Paros vacacionales por año	15 días
Control de Calidad Final	

¹ Datos estimados por una empresa dedicada a la producción de tapas.

Costos Salariales	
Numero Personas trabajando en Inspección	4
Costos Salariales anuales por trabajador	92 400 nuevos soles
Costos Materiales	
Lotes Devueltos o Retirados al año	16
Costo Unitario de devolución de lote	5 000 nuevos soles

Resumiendo, al término de un año se ocasionan los siguientes costos:

Tabla 3.2 Costos de Producción Anual en la Inspección

Costos Salariales	1 108 800 nuevos soles
Costos Materiales	80 000 nuevos soles
Costo Total	1 188 800 nuevos soles

3.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Según L. Cruchant [23], la calidad no es el máximo rendimiento ni tampoco la demostración de lujo, pero si es la respuesta económica y ajustada ante una necesidad determinada.

Actualmente se enfatiza mucho más en la calidad que antes por diferentes razones. En las sociedades desarrolladas, donde las necesidades cuantitativas son satisfechas, los usuarios o consumidores son mucho más exigentes en la calidad de los productos.

Por otro lado, la falta de calidad cuesta dinero. Los costos ocasionados por el reemplazo de productos defectuosos, por reparaciones y por cualquier otra operación relacionada a estos problemas en el funcionamiento alcanzan a menudo unos porcentajes notables del valor agregado de las empresas. AV

Feigenbaum, en 1951, desarrolla el concepto de fábrica fantasma “usine fantôme” [24]. Bajo este concepto, dentro de cada planta se producen defectos, y por consiguiente solo se ejercen acciones correctivas y se realizan reparaciones. Según él, la fábrica fantasma puede representar una desviación de 40% de la capacidad de producción ideal. La calidad es por tanto un factor esencial de competitividad para cada empresa y para su economía.

Así mismo, recuerde que la introducción de sistemas de visión artificial en las líneas de producción produce otros beneficios intangibles, derivados de la mejor imagen que se ofrecerá a los clientes.

El proceso actual demanda un gasto anual de S/. 1 188 800, pero en caso de emplear el sistema propuesto estos costos se traducirían en ahorros, puesto que no se necesitaría gastar en salarios ni en piezas defectuosas.

Tabla 3.3 Ahorros en Costos de Producción Anual en la Inspección

Ahorros Salariales	1 108 800 nuevos soles
Ahorros Materiales	80 000 nuevos soles
Ahorro Total	1 188 800 nuevos soles

3.3 NECESIDADES INDUSTRIALES

Los objetos a controlar son tapas de envases de cosméticos, cuya superficie es especular. Los defectos a detectar son geométricos, por tanto, la superficie de los defectos también es especular. Estos defectos tienen una dimensión mínima de 0,1 mm.

3.4 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA

El sistema mostrado en la Figura 3.1, está conformado por un panel de luz homogénea, de tipo Back-light, en forma de cuadrado. Para obtener unas franjas luminosas y oscuras alternadas, una rejilla metálica perforada es colocada delante del panel luminoso. Esta rejilla se desplaza verticalmente a una velocidad constante durante la adquisición de imágenes. Una computadora pone en marcha el desplazamiento de la rejilla y administra la adquisición de imágenes.

Por tanto, el sistema está compuesto de un sistema de rotación, de adquisición y de iluminación. Estos sistemas están controlados por un sistema informático. Sin embargo, el presente informe de suficiencia, se enfoca en la concepción de los Sistemas de Rotación, de Adquisición y de Iluminación.

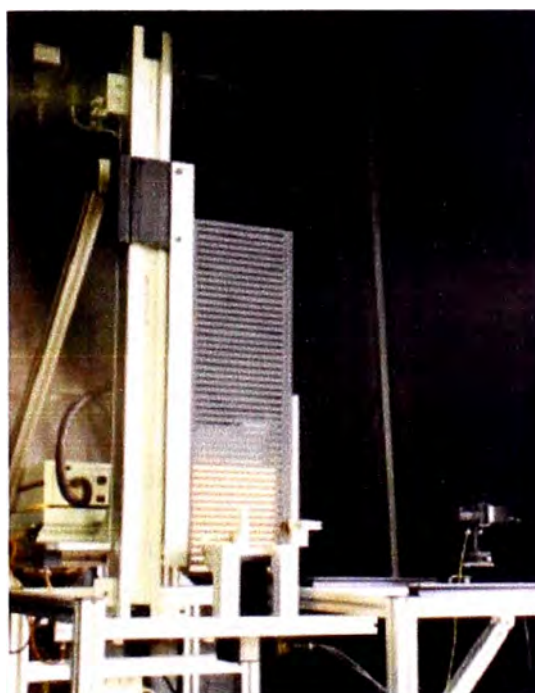


Figura 3.1 Sistema de Visión Artificial

3.4.1 Sistema de Rotación

Permite la rotación de la pieza alrededor de su eje. De esta forma, se realiza una detección de defectos en la pieza completa a través de rotaciones sucesivas (Figura 3.2). El ángulo de rotación varía según el tipo de pieza a controlar. También varía según la parte de la pieza a controlar debido a que las piezas no son simétricas con respecto al eje de rotación. De esta manera, el apoyo puede pivotar un ángulo cualquiera y en forma precisa. La pieza es indexada en el apoyo para que la posición exacta de la pieza sea perfectamente conocida después de cada rotación. La orden de rotación de la pieza es hecha por la parte informática (PC) del Sistema de Visión.

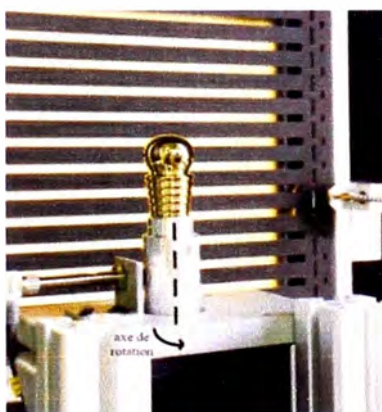


Figura 3.2 Sistema de Rotación

3.4.2 Sistema de Adquisición

Este sistema se encarga de adquirir las imágenes de la pieza a controlar, para esto se requiere una cámara y su respectivo soporte, el cual le permitirá cambiar de posición gracias al mecanismo pan-tilt².

² Grado de libertad Tilt (eje C) y grado de libertad Pan (eje A)

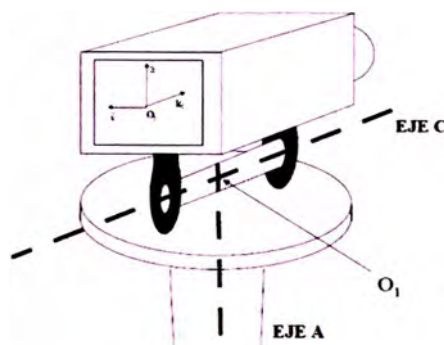


Figura 3.3 Mecanismo Pan-Tilt

3.4.3 Sistema de Iluminación

El sistema de iluminación es posiblemente el más importante dentro de un Sistema de Visión Artificial. En las características de la iluminación son relevantes la posición, la intensidad, el color, los que influyen en la calidad de la imagen. Por consiguiente, una iluminación es adecuada cuando pone en evidencia todo lo que se desea ver en la imagen. En este caso, es de nuestro interés mostrar las imperfecciones del producto. Así mismo, si la iluminación es adecuada, se reduce la complejidad en los tratamientos de imagen. A fin de evitar numerosos intentos empíricos, se propone primero modelar la iluminación.

3.5. CONCEPCIÓN DEL SISTEMA

3.5.1 Relación Geométrica Cámara – Fuente Luminosa

Para establecer las relaciones geométricas, se propone hacer un corte del modelo para trabajar en un plano. Así mismo, se realizan algunas

suposiciones. En general, con las superficies especulares no se ubica la cámara frente del objeto para evitar el reflejo de la cámara sobre la imagen. El plano de trabajo se muestra en la Figura. 3.4.

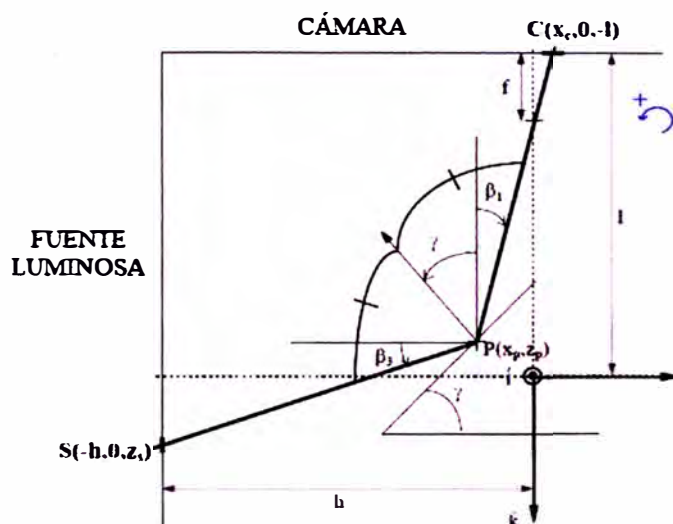


Figura 3.4 Modelo en 2D de los trayectos luminosos

La cámara está ubicada en un plano paralelo al plano OXY, la fuente luminosa al plano OYZ, y el centro óptico de la lentilla pertenece al plano de trabajo.

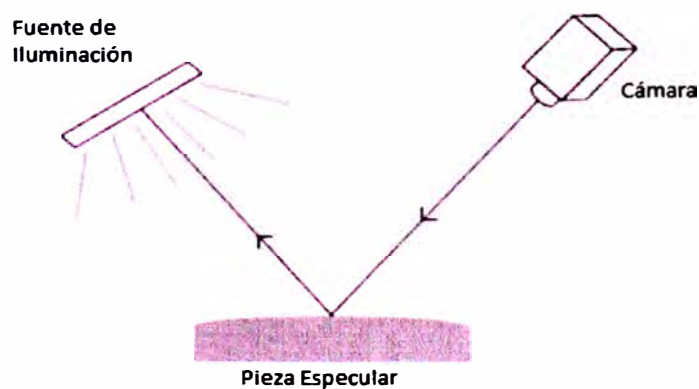


Figura 3.5 Configuración elegida para visualizar e iluminar las piezas

3.5.1.1 Influencia de la forma de la pieza

Para establecer las relaciones entre puntos de la cámara y de la fuente luminosa, hay que tener una descripción de los puntos de la pieza P (x_p , y_p , z_p). De acuerdo a la Figura 3.4, la relación entre la cámara y la pieza está dada por la ecuación (3.1), donde X_c representa la coordenada X del punto C, X_p representa la coordenada X del punto P, Z_p representa la coordenada Z del punto P, f representa la longitud focal, l representa la coordenada Z del punto C. Cabe mencionar que las distancias indicadas en las siguientes relaciones están expresadas en mm. :

$$x_c = \frac{f x_p}{f - l - z_p} \quad (3.1)$$

La relación entre la pieza y la fuente luminosa (source) está dada en cada punto de la pieza por las ecuaciones (3.2) y (3.3), donde Z_s representa la coordenada Z del punto S, h representa la coordenada X del punto S, γ representa el ángulo formado entre la tangente a la superficie en el punto P y el eje de la cámara:

$$z_s = (h + x_p) \frac{f - l - z_p + x_p \tan 2\gamma}{x_p - (f - l - z_p) \tan 2\gamma} + z_p \quad \text{para } \gamma \neq 45^\circ \quad (3.2)$$

$$z_s = \frac{(h + x_p)x_p}{-f + l + z_p} + z_p \quad \text{para } \gamma = 45^\circ \quad (3.3)$$

En resumen, de acuerdo a la Figura 3.4, a cada punto de la pieza (X_p , Z_p), le corresponde un punto C (X_c , Z_c) sobre la cámara y un punto S (X_s , Z_s) sobre la fuente luminosa, también llamada "source". El punto C sobre la cámara corresponde a la imagen del punto P de la pieza y el punto S es el

centro del ángulo sólido de donde proviene la energía luminosa. Así a cada punto C de la cámara corresponde un punto S sobre la fuente luminosa. Ellos están relacionados por las ecuaciones (3.4) y (3.5):

$$z_S = (h + x_P) \frac{f + x_C \tan 2\gamma}{x_C - f \tan 2\gamma} - f \frac{x_P}{x_C} + f - l; \text{ para } \gamma \neq 45^\circ \quad (3.4)$$

$$z_S = \frac{(h + x_P)x_C}{-f} - f \frac{x_P}{x_C} + f - l; \text{ para } \gamma = 45^\circ \quad (3.5)$$

Si la profundidad del campo es bastante grande, el ángulo sólido alrededor de S es demasiado pequeño. Por tanto se visualiza el punto S sobre la cámara en el punto C. La relación entre S y C caracteriza la anamorfosis de la fuente luminosa por la pieza. Es decir, la deformación de la imagen de la fuente luminosa por la forma de la pieza. Para una superficie plana, se obtiene una recta (Figura 3.6 y 3.7). La curva mostrada en la Figura 3.6 es la descripción de la superficie: la relación entre z_P y x_P es lineal. La curva de la Figura 3.7 presenta la relación entre los puntos sobre la fuente luminosa y los puntos sobre la cámara. Por ejemplo: el punto A de abscisa $x_P = 1,5\text{mm}$ sobre la cámara visualiza el punto B de altitud $z_S = 15\text{mm}$ sobre la fuente luminosa.

Para una superficie ligeramente curva, se obtiene una relación diferente (Figuras 3.8 a 3.11) la amplitud sobre z_S es mas importante que para una superficie plana. Para una curvatura de 9.1m^{-1} , el punto A de abscisa $x_P = 1,5\text{mm}$ sobre la cámara visualiza el punto B de altitud $z_S = 39,8\text{mm}$ sobre la fuente luminosa. Para una curvatura de 19.6m^{-1} , este mismo punto sobre la cámara visualiza el punto B" de altitud $z_S = 50,3\text{ mm}$ sobre la fuente luminosa.

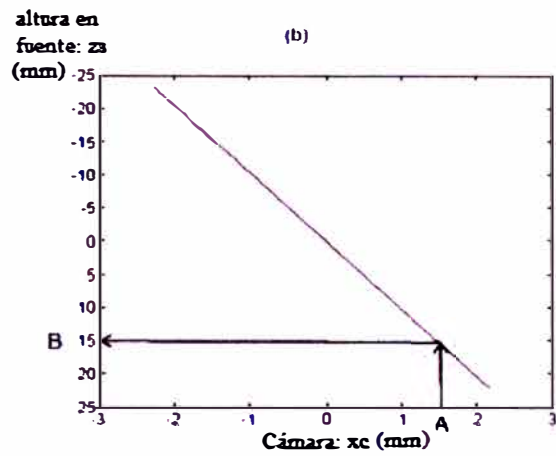
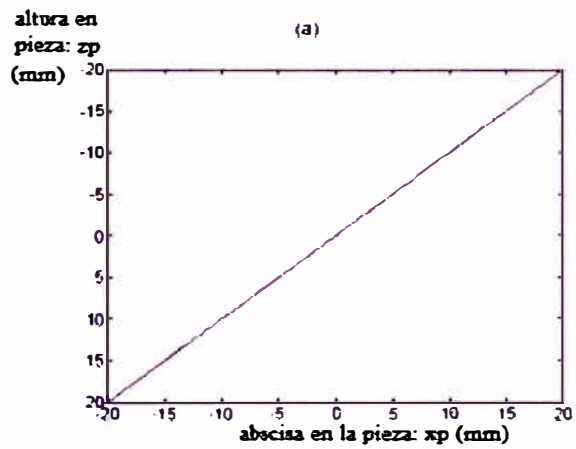


Figura 3.6 Morfología de la Superficie Plana Figura 3.7 Relación Fuente-Cámara

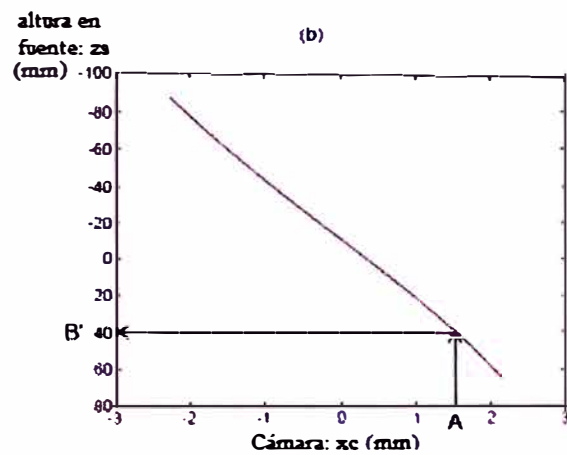
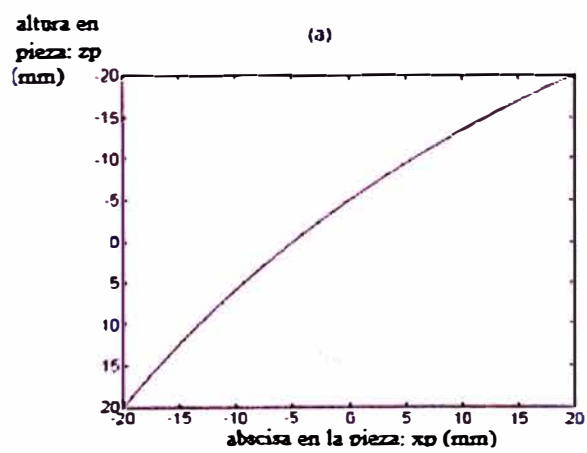


Figura 3.8 Morfología de Superficie de Curvatura $9,1\text{m}^{-1}$

Figura 3.9 Relación Fuente-Cámara

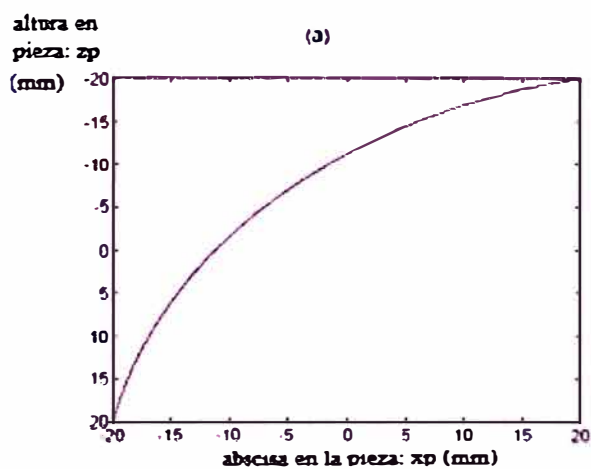


Figura 3.10 Morfología de Superficie de Curvatura $19,6 \text{ m}^{-1}$

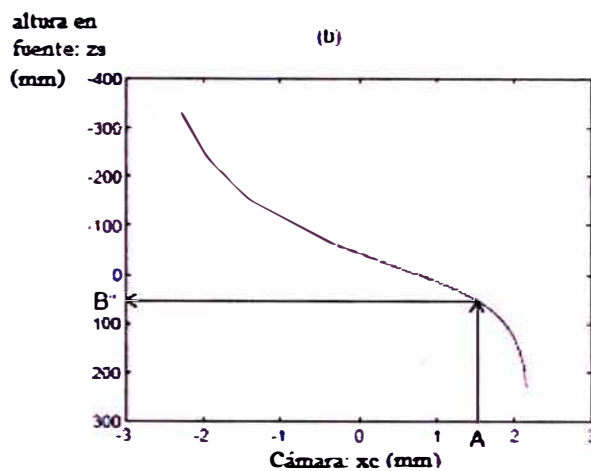


Figura 3.11 Relación Fuente-Cámara

3.5.1.2 Influencia de un Defecto

Debido a la protuberancia creada por el defecto, dos parámetros de la superficie son modificados: su altura y su orientación.

Incidencia de la modificación de la altura de la superficie

Al crearse una pequeña protuberancia en la superficie de la pieza, la altura de la superficie es modificada de un punto M a M' (Figura 3.12)

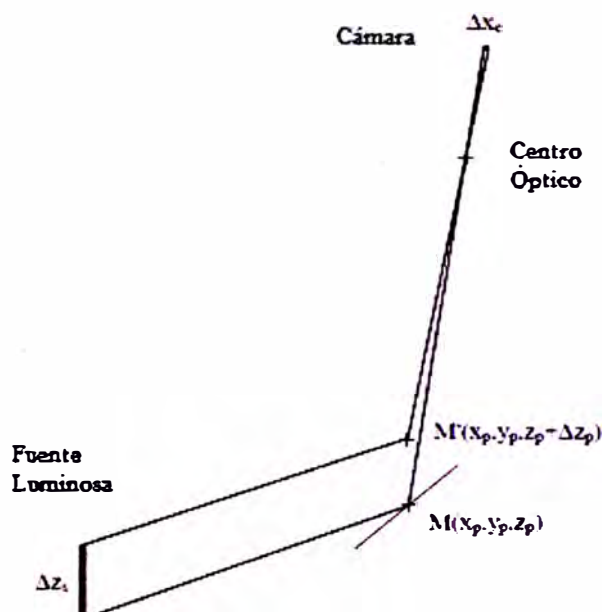


Figura 3.12 Variación de Altura modifica x_c y z_s .

La influencia de esta variación Δz_p en x_c se indica en la ecuación (3.6) y z_s en la ecuación (3.7) y (3.8):

$$\Delta x_c = \left| \frac{f x_p}{(f - l - z_p)^2} \right| \Delta z_p \quad (3.6)$$

$$\Delta z_s = \left| 1 - \frac{x_p (h + x_p) ((\tan 2\gamma)^2 + 1)}{(x_p - (f - l - z_p) \tan 2\gamma)^2} \right| \Delta z_p; \text{ para } \gamma \neq 45^\circ \quad (3.7)$$

$$\Delta z_s = \left| 1 - \frac{x_p (h + x_p)}{(-f + l + z_p)^2} \right| \Delta z_p; \text{ para } \gamma = 45^\circ \quad (3.8)$$

Considerando $f = 80$ mm, $l = 800$ mm, $z_p = 40$ mm, $x_p = 40$ mm, $h = 100$ mm, $\gamma = 40^\circ$, $\Delta x_c = 0,006 \Delta z_p$ y $\Delta z_s = 0,99 \Delta z_p$

En el presente informe se considera que los defectos tienen una altura muy pequeña (inferior a 1mm). Así la variación que sigue x_c es inferior a $6 \mu\text{m}$ ($6 \mu\text{m}$ corresponde generalmente a la mitad del ancho de un pixel). La

variación sobre la fuente luminosa no es muy importante ya que la variación de z_S es inferior a 1mm.

Incidencia de la modificación de la orientación de la superficie

Debido a que el defecto es caracterizado como una protuberancia, este puede modificar localmente la orientación de la superficie (Figura 3.13)

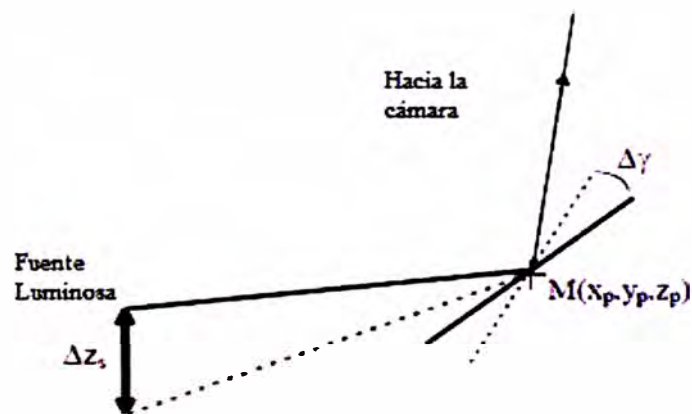


Figura 3.13 Modificación de la Orientación de la Superficie modifica z_S

El cambio de orientación de la superficie tiene una influencia sobre z_S se indica en la ecuación (3.9):

$$\Delta z_S = \left| \frac{(h+x_p)((x_p-(f-l-z_p)\tan 2\gamma)x_p+(f-l-z_p+x_p\tan 2\gamma)(f-l-z_p))}{(x_p-(f-l-z_p)\tan 2\gamma)^2} \right| \frac{2}{(\cos 2\gamma)^2} \Delta\gamma \quad (3.9)$$

Considerando $f= 80$ mm, $l=800$ mm, $z_p= 40$ mm, $x_p= 40$ mm, $h= 100$ mm, $\gamma= 40^\circ$, $\Delta z_S=284 \Delta\gamma$

Una variación de la superficie de 10° provoca una variación del punto de destino sobre la fuente luminosa de 49,6 mm. La variación de la posición del punto de destino sobre la fuente luminosa es por tanto muy importante, aunque la variación de orientación no sea muy importante.

El cambio de altura tiene efectos despreciables con respecto a los cambios de orientación. La descripción del defecto por la orientación sucesiva de la superficie del defecto es por tanto suficiente.

Relación entre los puntos de la cámara y los puntos en la fuente luminosa

Si se considera que los defectos son pequeños con respecto a las piezas, entonces se puede considerar que el defecto está ubicado sobre una superficie localmente plana (Figura 3.14)

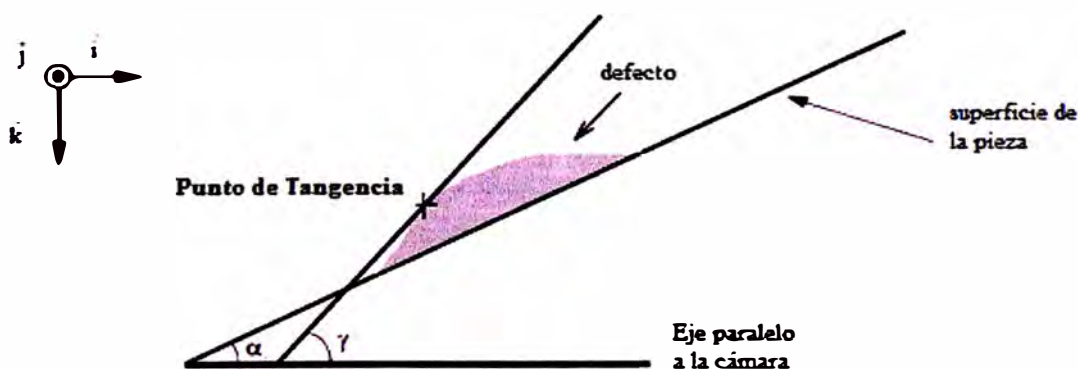


Figura 3.14 Defecto ubicado en una superficie localmente plana

α : ángulo entre la superficie de la pieza y el eje de la cámara.

γ : ángulo entre la tangente a la superficie en el nivel del defecto y el eje de la cámara.

Según la posición considerada sobre la pieza, la ecuación de la superficie está dada por la ecuación (3.10):

$$z_p = -x_p \tan \alpha + A \quad (3.10)$$

El ángulo α caracteriza la orientación de la superficie y A es la altitud en el origen del sistema de referencia.

Entonces la relación entre un punto de la cámara (Ecuación 3.11) y un punto de la pieza (Ecuación 3.12).

$$x_c = \frac{f x_p}{f - l + x_p \tan \alpha - A} \quad (3.11)$$

$$x_p = \frac{x_c (f - l - A)}{f - x_c \tan \alpha} \quad (3.12)$$

Y la relación fuente luminosa-cámara se convierte en las ecuaciones (3.13) y (3.14):

$$z_s = -\frac{f + x_c \tan 2\gamma}{x_c - f \tan 2\gamma} \left(h + \frac{x_c (f - l - A)}{f - x_c \tan \alpha} \right) - f \frac{f (f - l - A)}{f - x_c \tan \alpha} + f - l; \text{ para } \gamma \neq 45^\circ \quad (3.13)$$

$$z_s = -\left(h + \frac{x_c (f - l - A)}{f - x_c \tan \alpha} \right) \frac{x_c}{f} - f \frac{(f - l - A)}{f - x_c \tan \alpha} + f - l; \text{ para } \gamma = 45^\circ \quad (3.14)$$

En estas relaciones α es el ángulo entre la superficie de la pieza y la cámara cuando no existe defecto. Y γ es el ángulo entre la tangente a la superficie y la cámara en el nivel del defecto (Figura 3.14)

Simulación de la relación fuente luminosa – cámara

Los rayos luminosos son desviados por los defectos. Se ha simulado la presencia de un defecto del tipo gaussiano (Figura 3.15) en el origen del sistema de referencia, sobre una pieza plana orientada 45° (Figura 3.16)

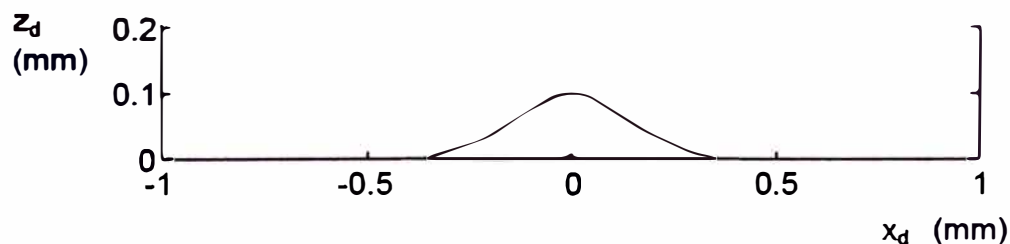


Figura 3.15 Defecto modelado por la ecuación $z_D = 0,1 \exp(-x_D^2/2)$

La relación entre los puntos de la fuente luminosa y los puntos de la cámara se compara con la figura 3.7. La relación es modificada por la presencia de un defecto.

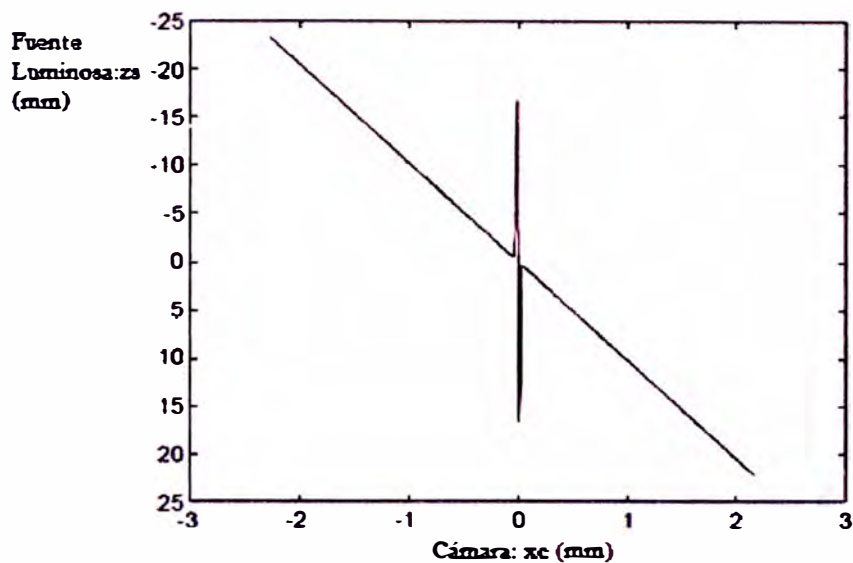


Figura 3.16 Relación entre los puntos de la cámara y los puntos de la fuente de iluminación son modificados por la presencia de un defecto

La Figura 3.17 presenta la misma curva pero agrandada en el defecto. El punto C de la cámara que visualizaba el punto S de la fuente luminosa, ahora muestra el punto S' debido al defecto. Por lo tanto, se puede utilizar esta desviación para dar a conocer los defectos.

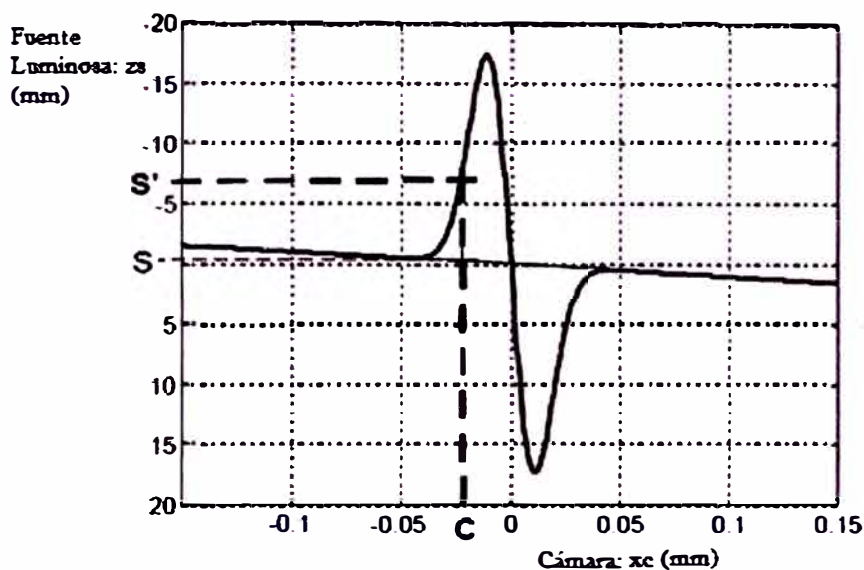


Figura 3.17 En presencia de un defecto, el punto C que visualizaba el punto S, visualiza ahora el punto S'

3.5.2 Principio de Iluminación adaptado a las superficies especulares

El método propuesto se basa en el principio de Dark-Field. Consiste en utilizar una transición de luz, para poner en evidencia los defectos de la superficie. La Figura 3.18 presenta la relación fuente luminosa-cámara mostrada en la Figura 3.16, con diferentes configuraciones de fuentes luminosas. El objetivo es estudiar el comportamiento de diferentes puntos de defecto en función de la posición de la transición luminosa. El lado izquierdo de la Figura 3.18 muestra 4 posiciones diferentes de la fuente luminosa. Por ejemplo, la abscisa x_1 en la cámara aparece diferente de acuerdo a la posición de la transición luminosa: es negro para las posiciones 1, 2 y 3 y blanco para la posición 4. El punto de abscisa x_2 de la cámara aparece blanco en las cuatro configuraciones.

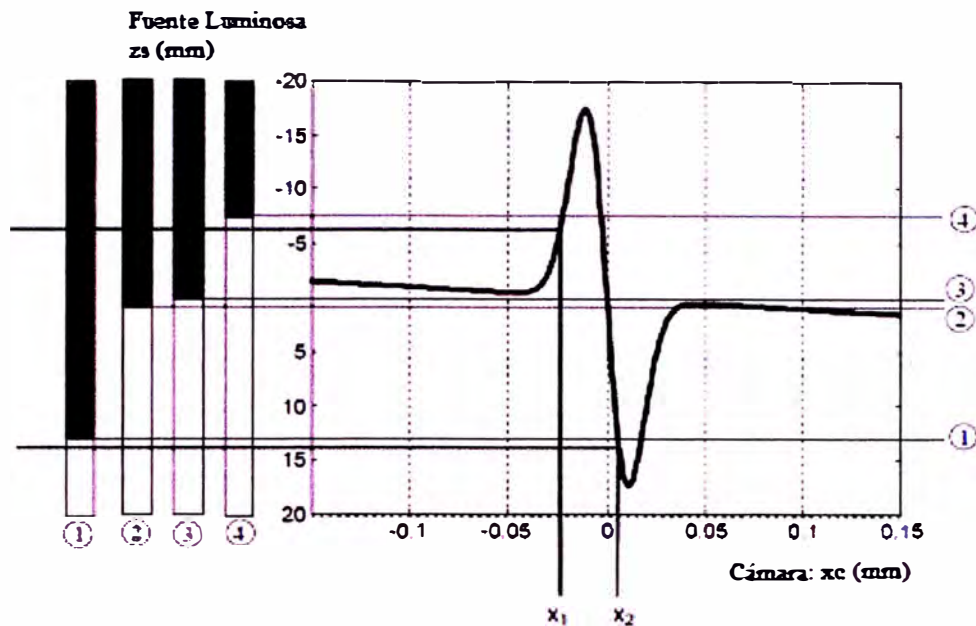


Figura 3.18 Diferentes posiciones de la transición de luz.

Una simulación de este comportamiento así como un experimento con una falla real se realizaron (de la Figura 3.19 a la Figura 3.22). Cada una de estas Figuras corresponde a una de las 4 posiciones de la transición de luz indicadas en la Figura 3.18. En cada figura, la curva de la izquierda corresponde a la simulación y la curva a la derecha corresponde al experimento. La Figura 3.20 muestra un mayor número de puntos detectados que la Figura 3.19. Estos pertenecen todos al mismo lado del defecto. La intensidad de pico de la derecha es la imagen de la fuente de luz, que está más próximo al defecto que lo mostrado en la Figura 3.19. En la Figura 3.21, ningún punto del defecto se detecta porque la imagen de la transición de la luz está exactamente en el centro del defecto. Por último, en la Figura 3.22,

algunos puntos del defecto con una abscisa negativa son detectados: aparecen como puntos negros mientras que los puntos a su alrededor están iluminados.

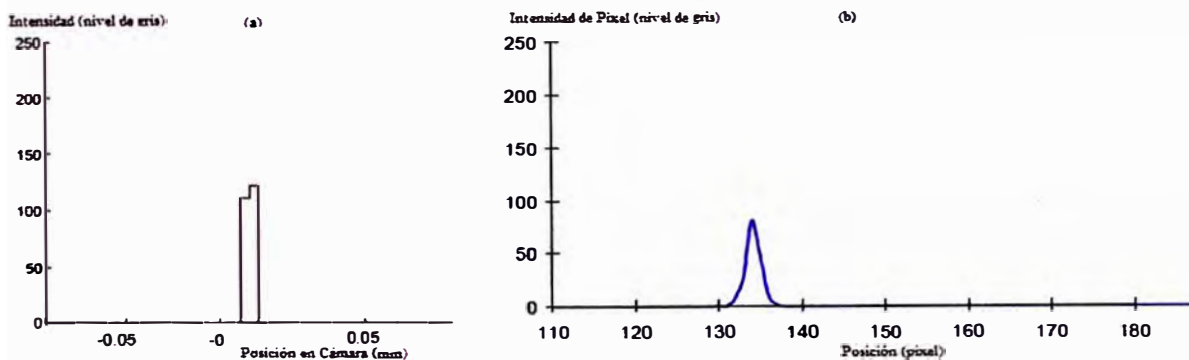


Figura 3.19 (a) Simulación de la posición 1 (b) Experimentación con la posición 1

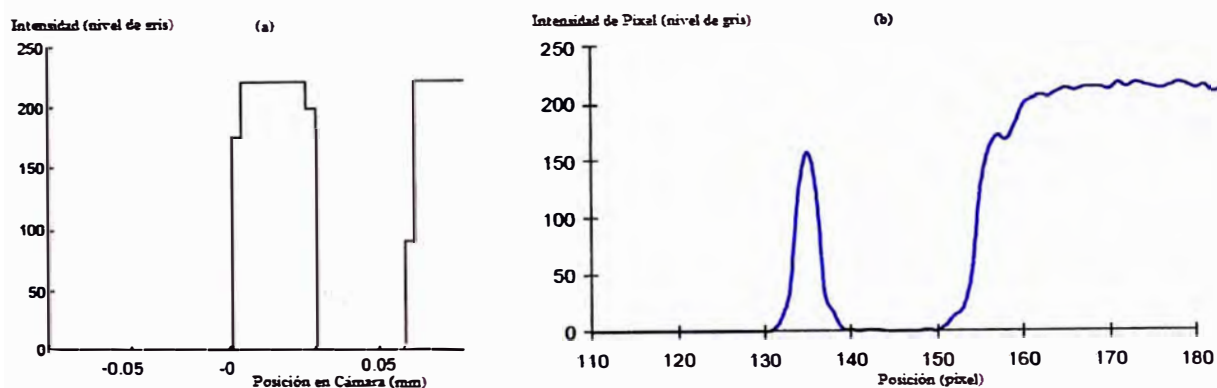


Figura 3.20 (a) Simulación de la posición 2 (b) Experimentación con la posición 2

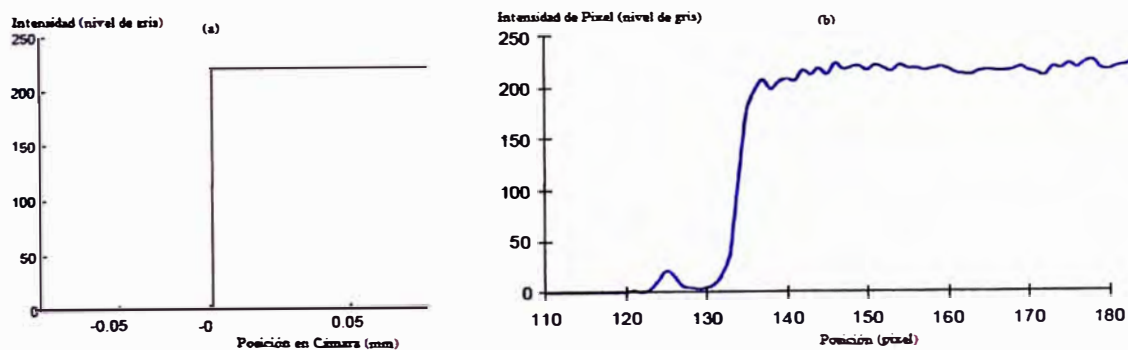


Figura 3.21 (a) Simulación de la posición 3 (b) Experimentación con la posición 3

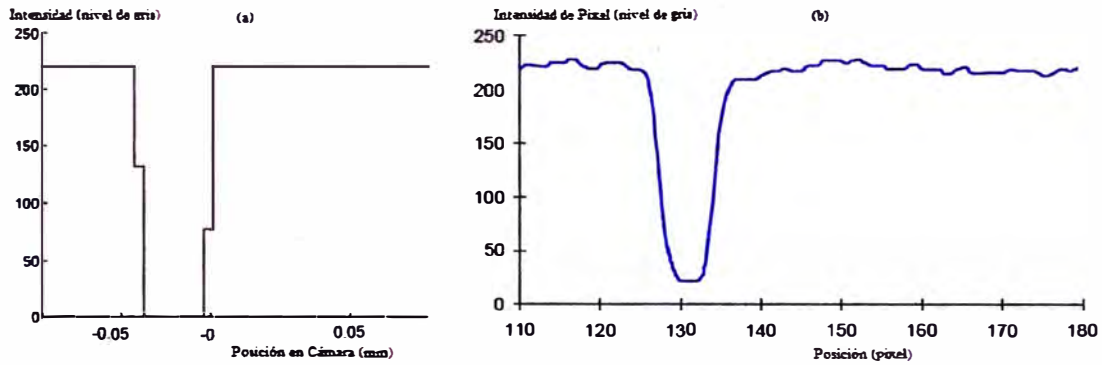


Figura 3.22 (a) Simulación de la posición 4 (b) Experimentación con la posición 4

La transición de luz permite detectar ciertos puntos del defecto haciéndolos aparecer de una intensidad diferente de sus vecinos. La Figura 3.23 muestra la imagen de dos defectos reales, iluminados por una transición de luz situada entre los dos defectos.



Figura 3.23 Dos defectos situados a ambos lados de la transición de luz

3.5.3 Herramienta de Detección

3.5.3.1 Transición de Luz

Se ha visto que con una sola transición de luz, los puntos de un solo lado del defecto son detectados. Ubicando una transición de luz de cada lado del defecto, un mayor número de puntos del defecto será detectado y así se optimiza la detección. La iluminación está compuesta de una franja oscura rodeada de iluminación (Figura 3.24)



Figura 3.24 Transición de luz

Se observa en esta imagen que los puntos en el centro del defecto aparecen negros. Se entiende este fenómeno estudiando la Figura 3.25. En efecto, los puntos de la cámara correspondientes al centro del defecto visualizan unos puntos negros en la fuente luminosa. Se deduce igualmente de esta figura que los bordes del defecto no son tampoco detectados.

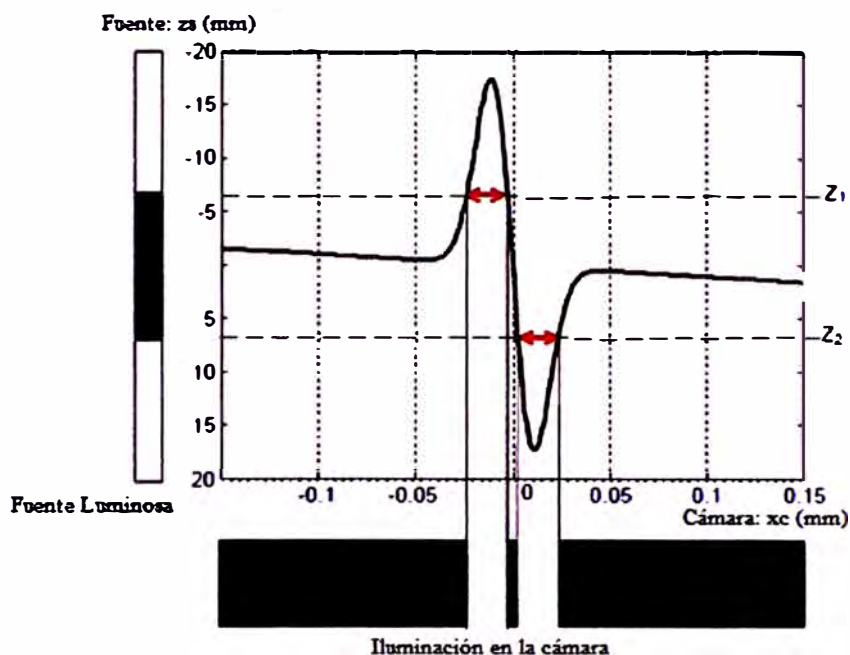


Figura 3.25 Las dos distancia indican las abscisas de los puntos del defecto puestos en evidencia por las 2 transiciones

Como se ha visto la utilización de una franja luminosa rodeada de negro sería posible. Sin embargo, el presente informe se limita al estudio de la franja negra rodeada de luz.

3.5.3.2 Sensibilidad de detección

Se puede pensar que el ancho de la franja situada entre las 2 transiciones así como la posición de la franja tiene una influencia sobre la calidad de detección de un defecto. La relación general entre la fuente luminosa y la cámara esta dada por las ecuación (3.15) y (3.16).

$$z_s = -\frac{f + x_c \tan 2\gamma}{x_c - f \tan 2\gamma} \left(h + \frac{x_c (f - l - A)}{f - x_c \tan \alpha} \right) - f \frac{f (f - l - A)}{f - x_c \tan \alpha} + f - l; \text{ para } \gamma \neq 45^\circ \quad (3.15)$$

$$z_s = - \left(h + \frac{x_c(f-l-A)}{f-x_c \tan \alpha} \right) \frac{x_c}{f} - f \frac{(f-l-A)}{f-x_c \tan \alpha} + f - l; \text{ para } \gamma = 45^\circ \quad (3.16)$$

La franja donde uno detecta los defectos es limitada por 2 transiciones luminosas situadas en z_1 y en z_2 . La luminancia L de la fuente luminosa es definida por: [25]

$$L(z_s) = L_{max} \text{ para } -\infty < z_s < z_1 \text{ y } z_2 < z_s < +\infty$$

$$L(z_s) = 0 \text{ para } z_1 < z_s < z_2$$

La capacidad χ del sistema para detectar el defecto está definida por la cantidad de puntos pertenecientes al defecto que aparecen luminosos en la franja de detección negra (Ecuación 3.17) [15]

$$\chi = \int_{\text{franja}} \frac{L(F(x_c))}{L_{max}} dx_c \quad (3.17)$$

Influencia del ancho de la franja negra

Las imágenes de la Figura 3.26 presentan la imagen de un defecto real ubicado en el centro de la franja de detección para diferentes anchos. Se observa que el defecto es mejor detectado cuando la franja es estrecha.

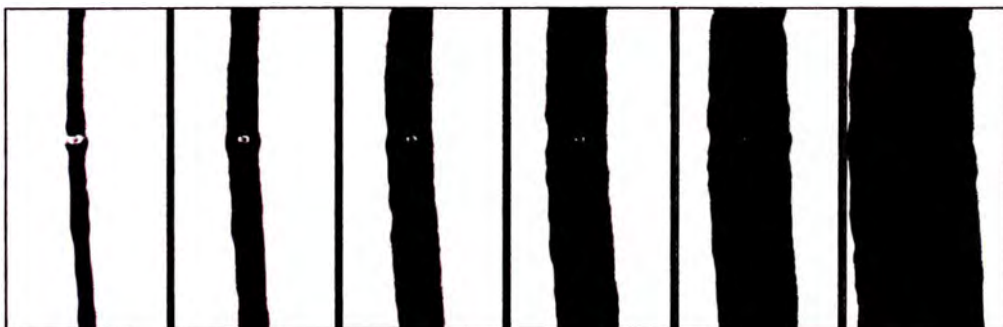


Figura 3.26 Imágenes muestran la influencia del ancho de la franja

La capacidad del sistema para detectar los defectos ha sido calculada numéricamente por el defecto gaussiano de la Figura 3.25 haciendo variar el ancho (z_2-z_1) de la franja (Figura 3.27). Los anchos característicos L_1 y L_2 son presentados en la Figura 3.28

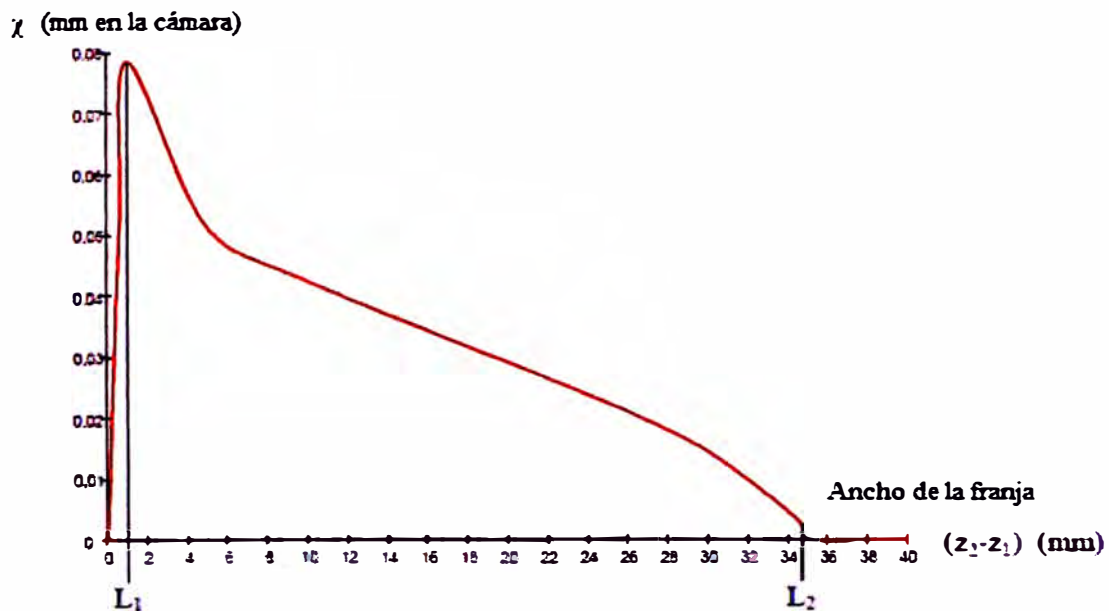


Figura 3.27 Capacidad χ en función del ancho de la franja

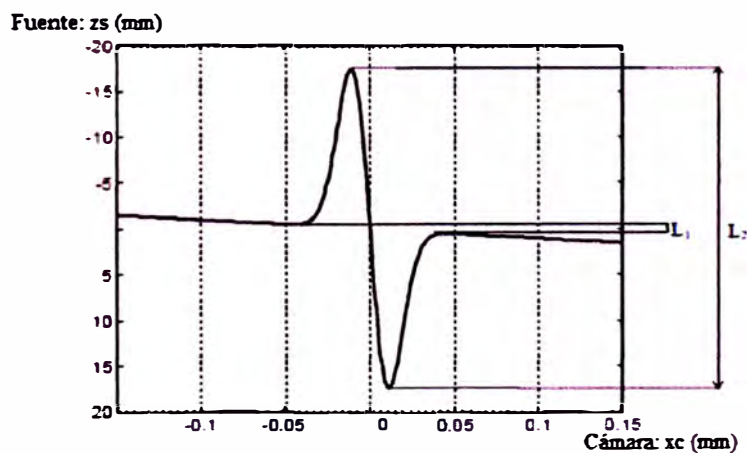


Figura 3.28 Anchos característicos de las franjas

Cuando el ancho de la franja es superior a L_2 , ningún punto del defecto visualiza un punto luminoso de la fuente. Entre L_1 y L_2 , la cantidad de puntos del defecto que visualizan unos puntos luminosos de la fuente aumenta a medida que el ancho de la franja disminuye. Para un ancho de franja igual a L_1 , las 2 transiciones de luz son tangentes al borde del defecto. Para un ancho inferior a L_1 , la cantidad de puntos detectados en la franja disminuye debido a que el ancho de la franja disminuye y se vuelve inferior al tamaño del defecto. Las distancias L_1 y L_2 son por tanto 2 características esenciales en la detección del defecto.

Por tanto, el ancho de la franja tiene una fuerte influencia sobre la calidad de la detección de fallos. El ancho óptimo de la franja depende de las características de los defectos a detectar.

Influencia de la posición del defecto

La Figura 3.29 presenta una primera serie de 3 imágenes con diferentes posiciones de la franja con respecto al defecto. Las tres imágenes siguientes corresponden a un umbral de las 3 imágenes precedentes. Es evidente que la superficie detectada del defecto aumenta cuando el defecto se aproxima a la transición.

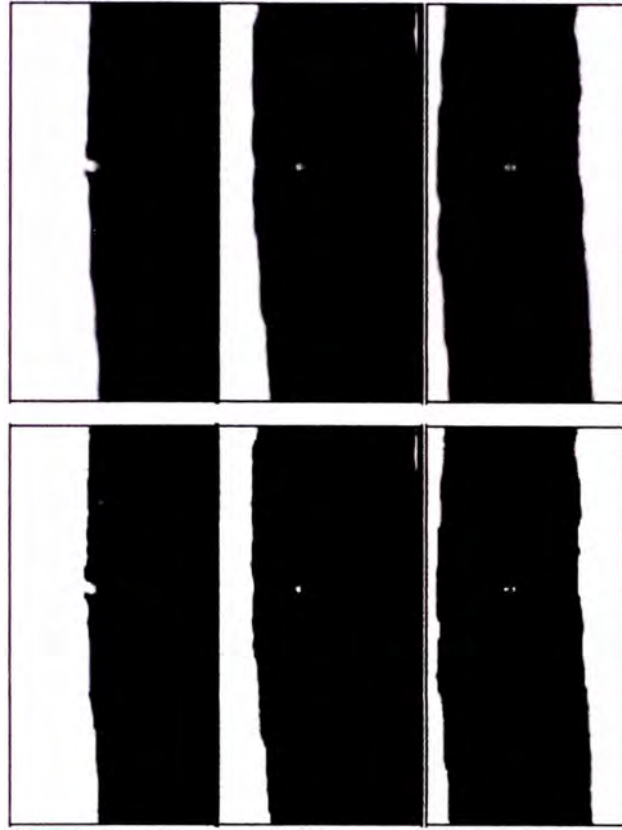


Figura 3.29 Imágenes muestran la influencia de la posición del defecto con respecto a la franja

La capacidad del sistema para detectar los defectos ha sido calculada numéricamente para el defecto gaussiano de la Figura 3.25 haciendo variar la posición de la franja (Figura 3.30)

Las posiciones características z_1 y z_2 son presentadas en la Figura 3.30. La simulación ha sido realizada con un ancho de franja $L=40\text{mm}$.

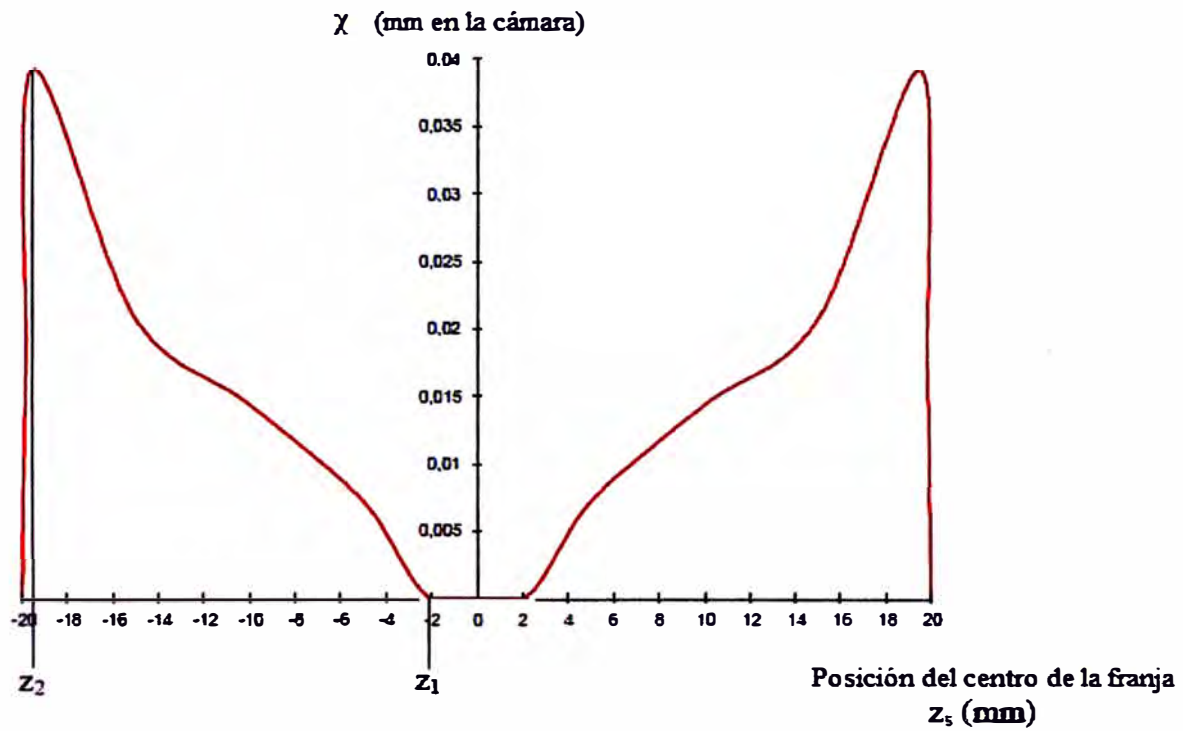


Figura 3.30 Capacidad χ en función de la posición del defecto en la franja

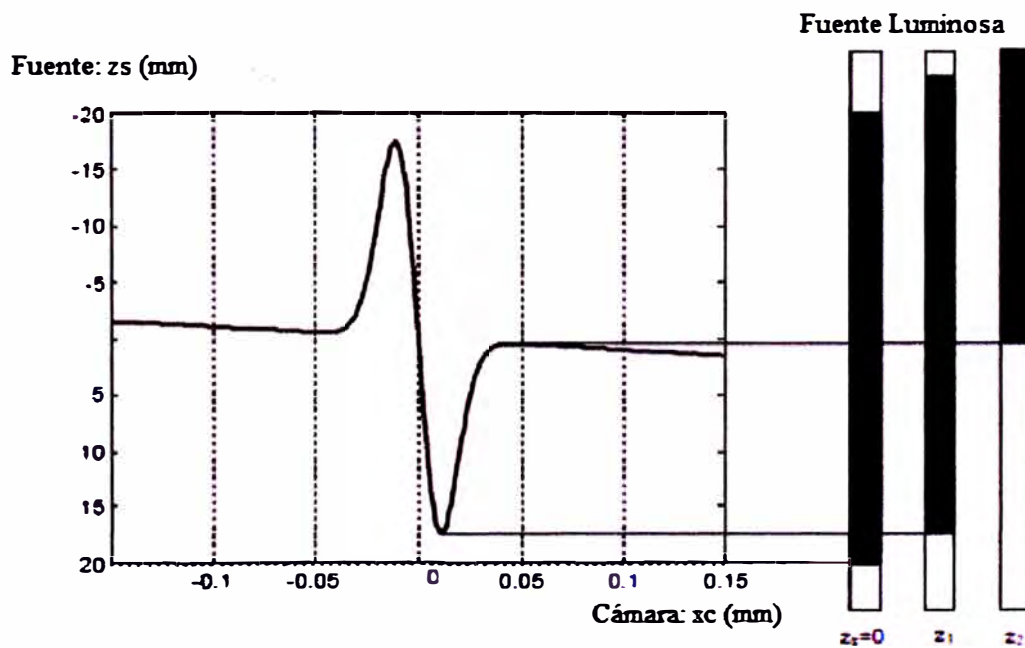


Figura 3.31 Centro de la franja ubicado en $z_s=0$, $z_s=z_1$ y $z_s=z_2$

Cuando el centro de la franja se posiciona en $z_s=0$, ninguno de los puntos del defecto visualiza puntos luminosos sobre la fuente. Así la capacidad del sistema es nula hasta z_1 . Entre z_1 y z_2 un número creciente de puntos del defecto visualizan unos puntos luminosos de la fuente. La mejor detección se logra en z_2 porque el defecto es tangente a la transición de la iluminación. Después, el defecto ya no estará más dentro de la parte oscura de la fuente pero si en la parte luminosa.

Influencia de la intensidad de la fuente

Cuanto mayor sea la luz emitida por el defecto hacia la cámara, mejor es la detección del defecto. La Figura 3.32 presenta imágenes obtenidas con intensidades crecientes de la fuente luminosa. Se observa que el contraste entre el defecto y la zona negra de detección aumenta con la intensidad de la fuente luminosa.

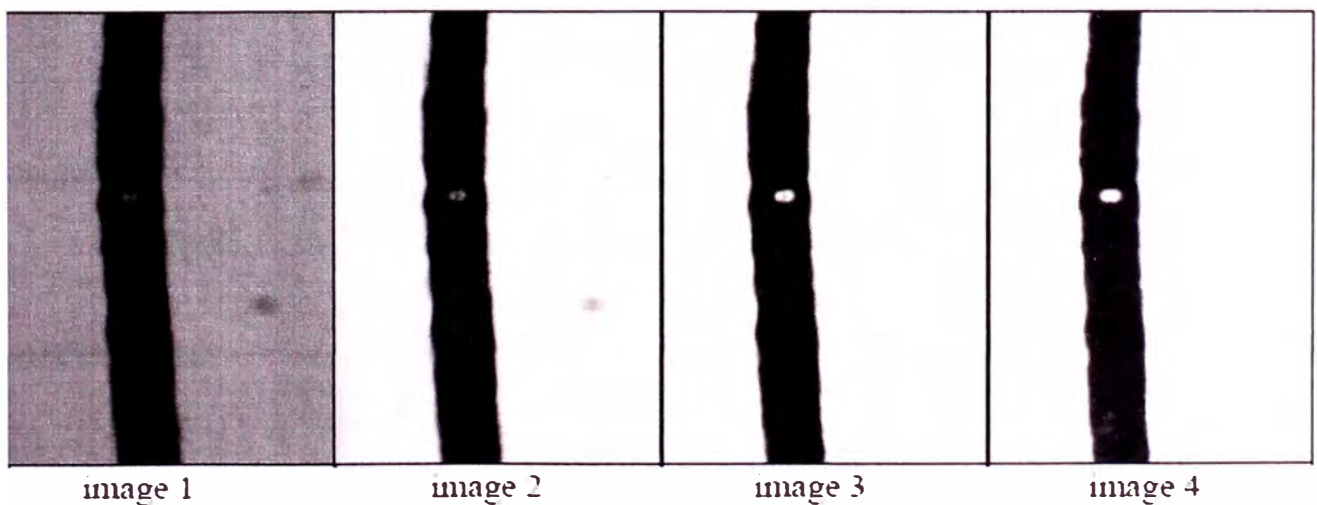


Figura 3.32 Diferentes intensidades luminosas

La Figura 3.33 presenta 3 curvas calculadas a partir de las imágenes precedentes. La intensidad mediana de la ventana de detección es poco sensible a la intensidad de la fuente. Este es un resultado esperado puesto que los puntos de esta zona no visualizan puntos luminosos de la fuente. Sin embargo, para la imagen 4, la intensidad mediana de la zona oscura no es absolutamente cero. La intensidad mediana del defecto aumenta con el incremento de la intensidad de la fuente. La diferencia entre la intensidad mediana del defecto y la intensidad de la zona de detección es máxima en las imágenes 3 y 4. La intensidad de la franja luminosa se incrementa igualmente con el aumento de la intensidad de la fuente luminosa. Ella se vuelve constante cuando la cámara es saturada para las imágenes 3 y 4.

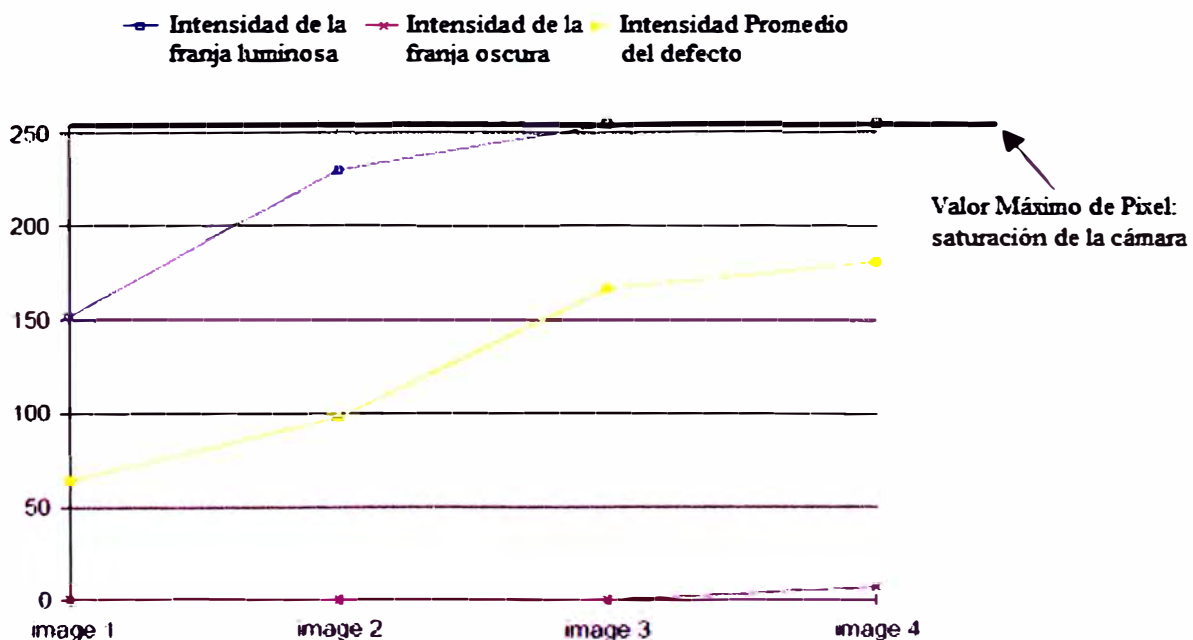


Figura 3.33 Intensidad promedio de las diferentes zonas de la imagen para diversas intensidades de luz.

Utilizar una iluminación adecuada es una buena solución para detectar los defectos. La saturación de la cámara permite incluso compensar las zonas del defecto que aparecen negras cuando la iluminación es débil.

Es evidente que no se puede detectar los defectos en la zona luminosa como muestra la Figura 3.34. La imagen (a) es la Figura 3.23 y la imagen (b) presenta la misma configuración con una mayor intensidad luminosa de la fuente. El defecto en la zona luminosa no es más detectado, en cambio si se detecta los defectos en la zona oscura.



Figura 3.34 Defectos situados a ambos lados de la transición de luz.
 (a) Intensidad luminosa sin saturación de cámara
 (b) Intensidad luminosa con saturación de cámara.

3.5.3.3 Sistema de Detección

El sistema se compone de una franja oscura rodeada de iluminación, como se explicó anteriormente, la detección será mejor cuando el ancho de la franja sea reducido. Desafortunadamente, el área controlada corresponde a la imagen de la franja oscura en la pieza se reduce aún más. Por lo tanto, se debe elegir un tamaño que no sea demasiado pequeño y que permita la detección de defectos. Esta dimensión depende del tamaño y de la forma de los defectos.

Para construir el modelo, se utiliza un defecto de forma gaussiana. La similitud entre las simulaciones y los experimentos muestran que ésta es una buena aproximación. A menudo es difícil conocer la morfología exacta (forma, altura, anchura) de los defectos. Por tanto, es necesario utilizar un método más pragmático para utilizar esta técnica.

Se debe determinar el tamaño de la franja que permita poner en evidencia el defecto más difícil en las peores condiciones. Como se observo, la posición más desfavorable es el centro de la franja y el defecto más difícil es aquel que tiene la menor amplitud de desviación (Figura 3.35).

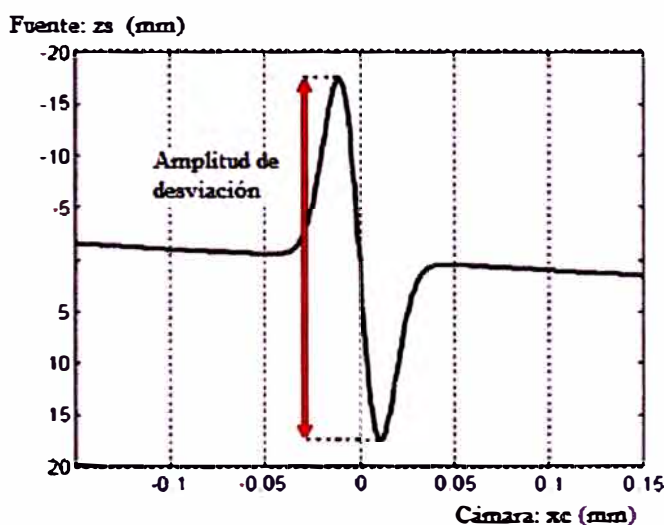


Figura 3.35 Amplitud de la desviación

Debemos elegir algunos defectos representativos y ubicarlos cada uno en el centro de una franja oscura, cuya anchura será variada. Tan pronto como el defecto no se detecte, significa, que el ancho de la franja es mayor que la magnitud de la desviación. Por lo tanto, se debe elegir como ancho de la

franja, aquella que sea la más pequeña para los defectos representados: el ancho de la franja corresponde a la amplitud de la deflexión más baja.

3.5.4 Herramienta de Caracterización de Defectos

Se ha visto que con la iluminación descrita anteriormente puntos diferentes eran detectados de acuerdo a la posición del defecto con respecto a la franja. La modificación de la posición de la franja oscura permite detectar diferentes puntos pertenecientes al defecto. La integración de la información obtenida para diferentes posiciones de la fuente de luz indicará el área ocupada por el defecto en la pieza

Detección de Defectos

La mejor detección de un defecto corresponde a un máximo número de puntos detectados del defecto, y con un mejor contraste posible con respecto al fondo. El contraste puede ser definido por la ecuación (3.18) [25]:

$$C_x = \frac{I_2(x_c)}{I_1(x_c)} \quad (3.18)$$

$I_1(x_c)$ Intensidad del fondo de la imagen

$I_2(x_c)$ Intensidad de un punto del defecto

La detección optimal corresponde a maximizar la función contraste en todo el defecto (ver Ecuación 3.19) [26]:

$$I_c = \int_{\text{defecto}} C(x_c) dx_c \quad (3.19)$$

Definimos por $z_s = F_1(x_c)$ a la relación fuente cámara, cuando la pieza no presenta defectos. $z_s = F_1(x_c)$ es la ordenada del punto de la fuente

que corresponde a la abscisa de x_c en la cámara. A partir de la ecuación (ver Anexo), se obtiene: $I_1(x_c) = KT_i L(F_1(x_c))$

Definimos por $z_s = F_2(x_c)$ a la relación fuente cámara, cuando la pieza presenta defectos. $z_s = F_2(x_c)$ es la ordenada del punto de la fuente que corresponde a la abscisa de x_c en la cámara en presencia de un defecto. En este caso, la intensidad en x_c no depende únicamente de $F_2(x_c)$ a causa del fenómeno de saturación de las franjas luminosas.

De hecho, cuando el defecto se sitúa en una franja luminosa, no es detectable debido a la saturación: los puntos del defecto aparecen brillantes. Se define una función L' que establece la luminancia de los puntos del defecto. Entonces $I_2(x_c)$ se define por: $I_2(x_c) = KT_i L'(F_2(x_c))$

La función Contraste implica una relación con $I_1(x_c)$, que contiene la relación fuente-sensor cuando la pieza no presenta defectos. Una solución es volver a $I_1(x_c)$ invariante en toda la cámara. Esto se logra mediante el uso de una fuente periódica binaria que se mueve en un período a una velocidad constante durante el tiempo adquisición (Figura 3.36).

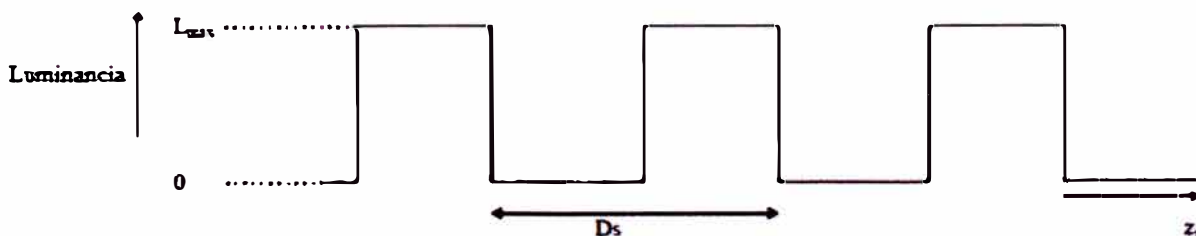


Figura 3.36 Fuente de iluminación binaria periódica

Durante el movimiento, la luminancia del punto correspondiente a x_c va evolucionar, entonces se tiene la ecuación (3.20):

$$I_1(x_c) = K \int_{T_1}^{T_1+T_i} L(F_1(x_c)) dt \quad (3.20)$$

Puesto que la fuente esta en movimiento, integrar con respecto al tiempo en un punto equivale a integrar espacialmente en la fuente. Sea D , el periodo de la fuente, T_i el tiempo de integración y v la velocidad de desplazamiento de la fuente: $z_s = v x t + z_0$ por tanto: $dz_s = v dt$ y $D_s = v x T_i$

Cuando t describe el intervalo $[T_1, T_1+T_i]$, z_s describe el intervalo $[F_1(x_c), F_1(x_c) + D_s]$ (ver Ecuación 3.21)

$$I_1 = \frac{k}{v} \int_{F_1(x_c)}^{F_1(x_c)+D_s} L(z_s) dz_s \quad (3.21)$$

Sea T_B el ancho de la franja iluminada y T_N el ancho de la franja oscura.

Por tanto: $D_s = T_B + T_N$. Entonces para un punto que no pertenece a un defecto,

la intensidad es: $I_1 = \frac{k}{v} T_B L_{max}$

Para determinar la intensidad de un punto perteneciente a un defecto, se define la desviación $d(x_c)$: $d(x_c) = F_2(x_c) - F_1(x_c)$

La Figura 3.37 representa la función desviación de un defecto en forma gaussiana.

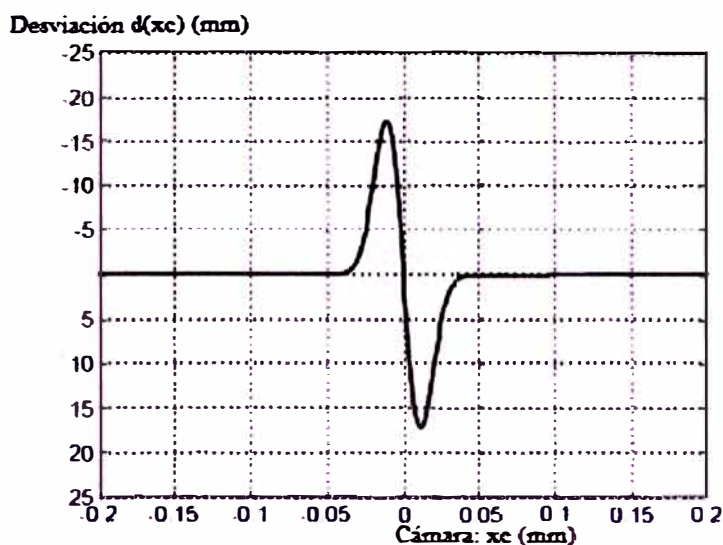


Figura 3.37 Función Desviación para un defecto de forma gaussiana

De manera similar a $I_1(x_c)$, se obtiene $I_2(x_c)$ para un punto perteneciente al defecto. (ver Ecuación 3.22)

$$I_2(x_c) = \frac{k}{v} \int_{F_2(x_c)}^{F_2(x_c)+D_S} L'(z_S) dz_S = \frac{k}{v} \int_{F_1(x_c)+d(x_c)}^{F_1(x_c)+d(x_c)+D_S} L'(z_S) dz_S \quad (3.22)$$

Formulamos la función L' , la saturación de las franjas luminosas implica que los puntos del defecto localizados en estas zonas sean iluminadas de todas maneras. Se tiene entonces:

$$\text{Si } L(z_S) = L_{\max} \text{ entonces } L'(z_S + d(x_c)) = L_{\max}$$

Si los puntos del defecto están localizados en una franja oscura, la saturación no tiene ninguna consecuencia

$$\text{Si } L(z_S) = 0 \text{ entonces } L'(z_S + d(x_c)) = L(z_S + d(x_c))$$

Realicemos un cambio de variable, haciendo $u = z_S + d(x_c)$ entonces:

$$L'(u) = L(u) \text{ si } L(u - d(x_c)) = 0$$

$$L'(u) = L_{\max} \text{ si } L(u - d(x_C)) = L_{\max}$$

Así, L' se puede expresar bajo la forma:

$$L'(u) = L(u - d(x_C)) + L(u) \frac{L_{\max} - L(u - d(x_C))}{L_{\max}}$$

Y a partir de la ecuación (3.22), se tiene:

$$I_2(x_C) = \frac{k}{v} \int_{F_1(x_C)+d(x_C)}^{F_1(x_C)+d(x_C)+D_S} L(z_S - d(x_C)) + L(z_S) \frac{L_{\max} - L(z_S - d(x_C))}{L_{\max}} dz_S$$

Separando las integrales se tiene:

$$\int_{F_1(x_C)+d(x_C)}^{F_1(x_C)+d(x_C)+D_S} L(z_S - d(x_C)) dz_S = T_B L_{\max}$$

$$\int_{F_1(x_C)+d(x_C)}^{F_1(x_C)+d(x_C)+D_S} L(z_S) dz_S = T_B L_{\max}$$

$$\int_{F_1(x_C)+d(x_C)}^{F_1(x_C)+d(x_C)+D_S} L(z_S) \frac{L(z_S - d(x_C))}{L_{\max}} dz_S$$

Cuando $nD_S < d(x_C) < nD_S + \min(T_B, T_N)$ (Figura 3.40)

$$\int_{F_1(x_C)+d(x_C)}^{F_1(x_C)+d(x_C)+D_S} L(z_S) \frac{L(z_S - d(x_C))}{L_{\max}} dz_S = L_{\max} (T_B - d(x_C) + nD_S)$$

Cuando $nD_S + \min(T_B, T_N) < d(x_C) < nD_S + \max(T_B, T_N)$ (Figura 3.41)

$$\int_{F_1(x_C)+d(x_C)}^{F_1(x_C)+d(x_C)+D_S} L(z_S) \frac{L(z_S - d(x_C))}{L_{\max}} dz_S = L_{\max} (T_B - \min(T_B, T_N))$$

Cuando $nD_S + \max(T_B, T_N) < d(x_C) < (n+1)D_S$ (Figura 3.42)

$$\int_{F_1(x_C)+d(x_C)}^{F_1(x_C)+d(x_C)+D_S} L(z_S) \frac{L(z_S - d(x_C))}{L_{max}} dz_S = L_{max} (T_B + d(x_C) - (n+1)D_S)$$

con un n entero tal que $0 < d(x_C) - nD_S < D_S$

Se obtiene de esta manera la intensidad para cada punto del defecto en función de la desviación $d(x_C)$

Cuando $nD_S < d(x_C) < nD_S + \min(T_B, T_N)$

$$I_2(x_C) = \frac{k}{v} L_{max} (T_B + d(x_C) - nD_S)$$

Cuando $nD_S + \min(T_B, T_N) < d(x_C) < nD_S + \max(T_B, T_N)$

$$I_2(x_C) = \frac{k}{v} L_{max} (T_B + \min(T_B, T_N))$$

Cuando $nD_S + \max(T_B, T_N) < d(x_C) < (n+1)D_S$

$$I_2(x_C) = \frac{k}{v} L_{max} (T_B - d(x_C) + (n+1)D_S)$$

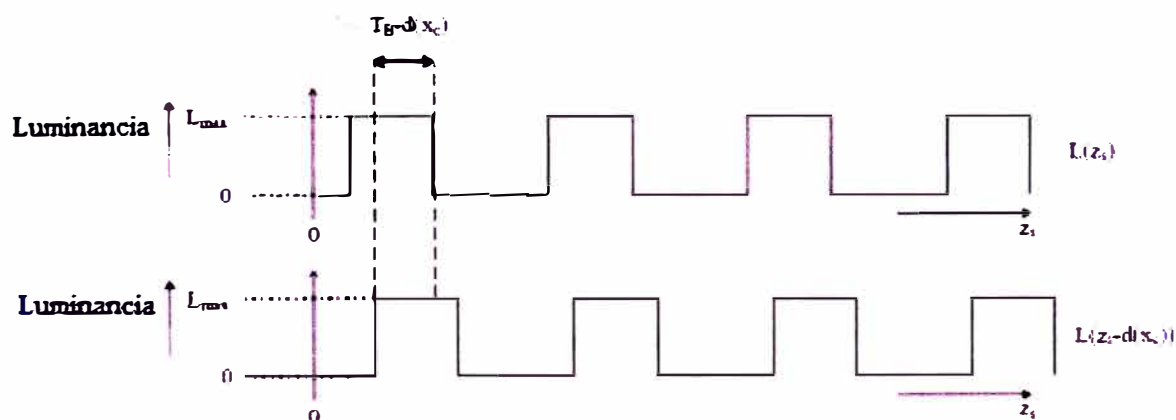


Figura 3.38 Comportamiento de $L(z_S)$ y $L(z_S - d(x_C))$
Para $nD_S < d(x_C) < nD_S + \min(T_B, T_N)$

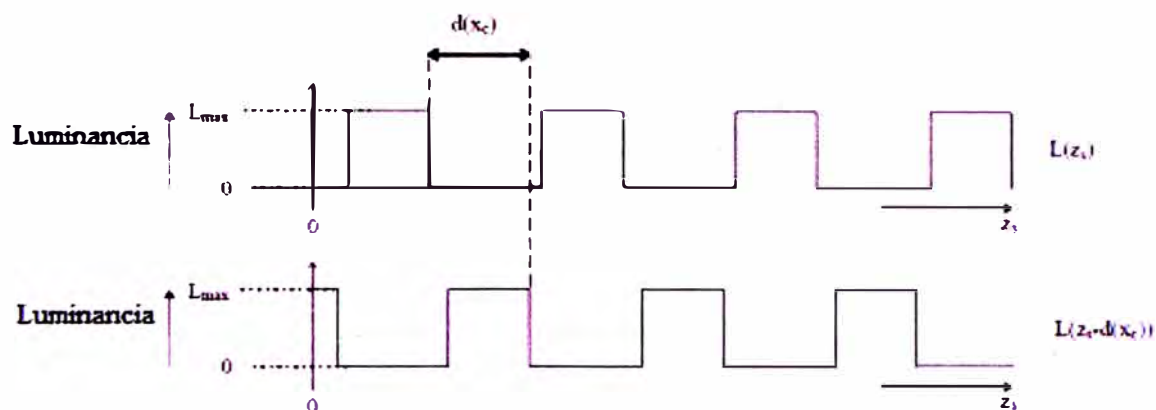


Figura 3.39 Comportamiento de $L(z_s)$ y $L(z_s - d(x_c))$ para $nD_s + \min(T_B, T_N) < d(x_c) < nD_s + \max(T_B, T_N)$

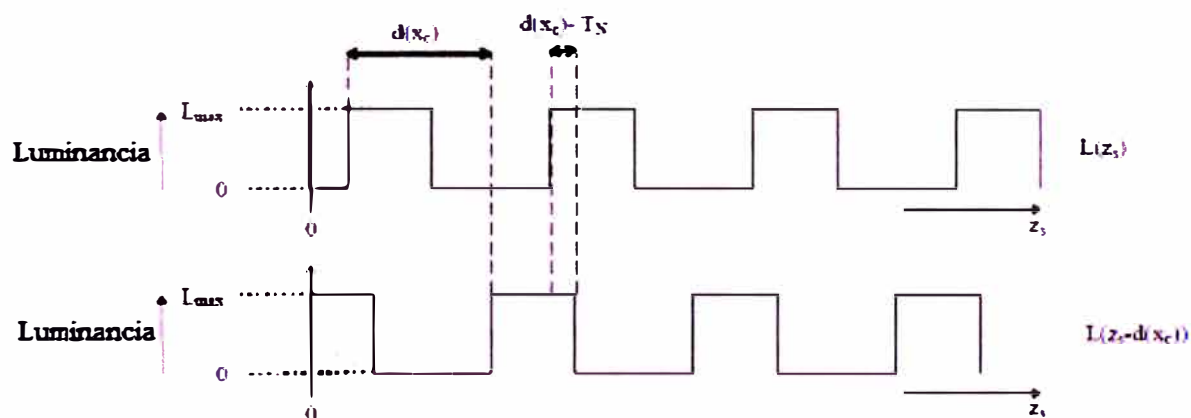


Figura 3.40 Comportamiento de $L(z_s)$ y $L(z_s - d(x_c))$ para $nD_s + \max(T_B, T_N) < d(x_c) < (n+1)D_s$

La función contraste obtenida esta representada en la Figura 3.41. Esta curva es interesante ya que ella esta en función de la desviación de cada punto del defecto y no corresponde a la característica de un defecto en particular.

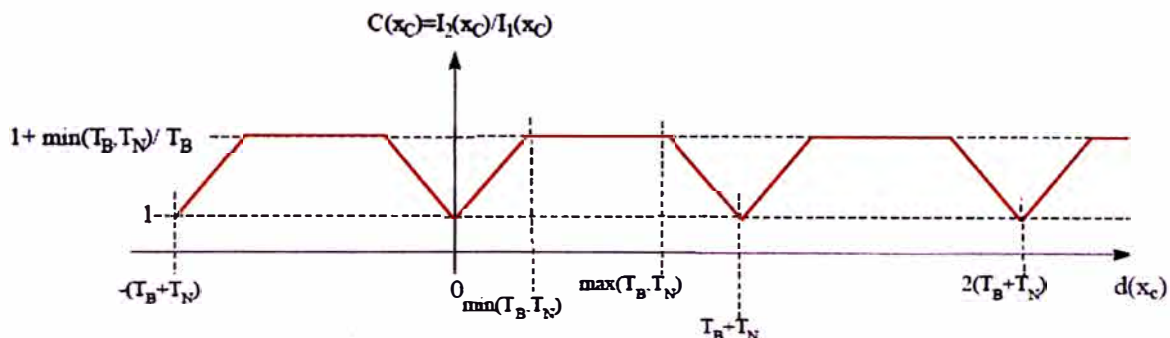


Figura 3.41 Contraste en función de la desviación

Optimización de la detección

Determinemos el ancho óptimo de las franjas oscuras y luminosas.

Para lo cual, es necesario maximizar la función [26]:

$$I_C = \int_{\text{defecto}} C(d(x_C)) dx_C$$

Donde: C es la función contraste

La optimización de 3 parámetros permitirá maximizar la integral

- Tener la parte superior del contraste en la amplitud máxima
- Variar $d(x_C)$ en el intervalo donde el contraste es máximo
- Disminuir el intervalo en el eje x donde el contraste no es máximo

Para el primer caso, es necesario maximizar la función $(1 + \frac{\min(T_B, T_N)}{T_B})$. Esto se realiza cuando $T_B < T_N$. Entonces la contraste máxima es $C=2$

Para el segundo caso, lo ideal es que $d(x_C)$ varíe únicamente cuando el contraste es máximo, es decir, cuando: $T_B + nD_S < d(x_C) < T_N + nD_S$

Se observa en la Figura 3.42 que $d(x_C)$ varía entre 0 y la desviación máxima D_{\max} . En la Figura 3.41 se observa que luego el contraste disminuye

$d(x_C) = \max(T_B, T_N) = T_N$. Entonces para que no haya punto de defecto tal que $d(x_C) > T_N$, es necesario que: $T_N = D_{\max}$

Para el ultimo parámetro, es necesario minimizar la función $\min(T_B, T_N)$. Por tanto, se debe minimizar T_B

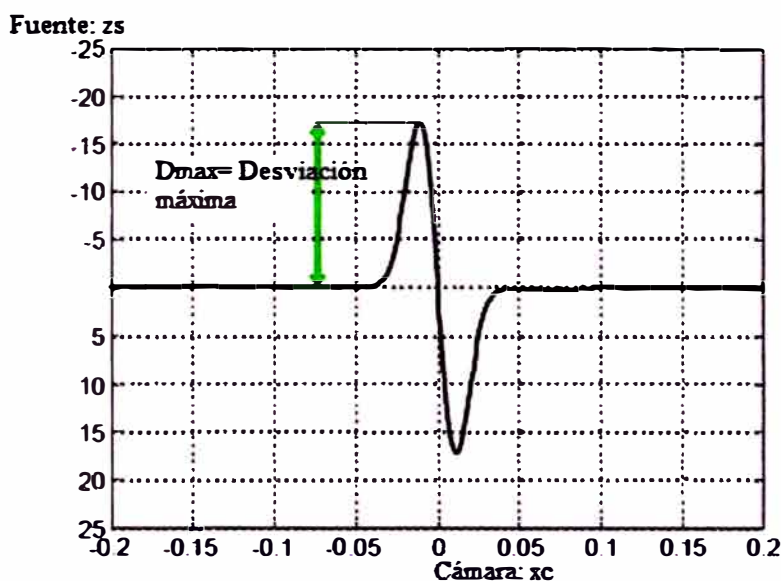


Figura 3.42 Desviación máxima asociada a un defecto

En conclusión, todos los puntos del defecto tendrán un contraste igual a 2, tomando a T_B y T_N tales que: $T_N = |D_{\max}(x_C)|$ y $T_B \rightarrow 0$

Esto significa que el ancho de la franja oscura debe ser igual a la desviación máxima característica del defecto y que el ancho de la franja luminosa debe ser la más fina posible. Una franja luminosa infinitamente fina que barre la zona a controlar es por tanto ideal.

Así mismo, un número infinito de adquisiciones sería ideal, pero en la práctica es imposible, por este motivo a continuación se estudia la consecuencia de un número finito de adquisiciones.

3.5.4.1 Influencia del número de adquisiciones

Realizando una secuencia de N imágenes, otras limitaciones se presentan. El desplazamiento de la fuente entre cada adquisición es igual a $\frac{D_S}{N}$. Si este desplazamiento es demasiado grande, ciertos puntos del defecto no serán tomados en cuenta y no serán detectados: la detección de un punto no depende sólo de su desviación (x_C), sino también de su posición como se muestra en la Figura 3.43. Por ejemplo, los puntos de abscisa x_A y x_B de la cámara visualizan un punto que corresponde a un defecto. Sin defecto, el correspondiente a x_A y x_B en la fuente sería A y B respectivamente. Debido a la desviación ocasionada por el defecto, el correspondiente sería A' y B' respectivamente. La desviación entre A y A' es idéntica a la desviación entre B y B', sin embargo el punto de abscisa x_A no detectará nunca el defecto mientras x_B lo detecta.

Para estar seguro de detectar un punto del defecto, es necesario respetar lo siguiente:

Para $nD_S < d(x_C) < nD_S + \min(T_B, T_N)$

$$\frac{D_S}{N} < d(x_C) - nD_S$$

Para $nD_S + \min(T_B, T_N) < d(x_C) < nD_S + \max(T_B, T_N)$

$$\frac{D_S}{N} < \min(T_B, T_N)$$

Para $nD_S + \max(T_B, T_N) < d(x_C) < (n+1)D_S$

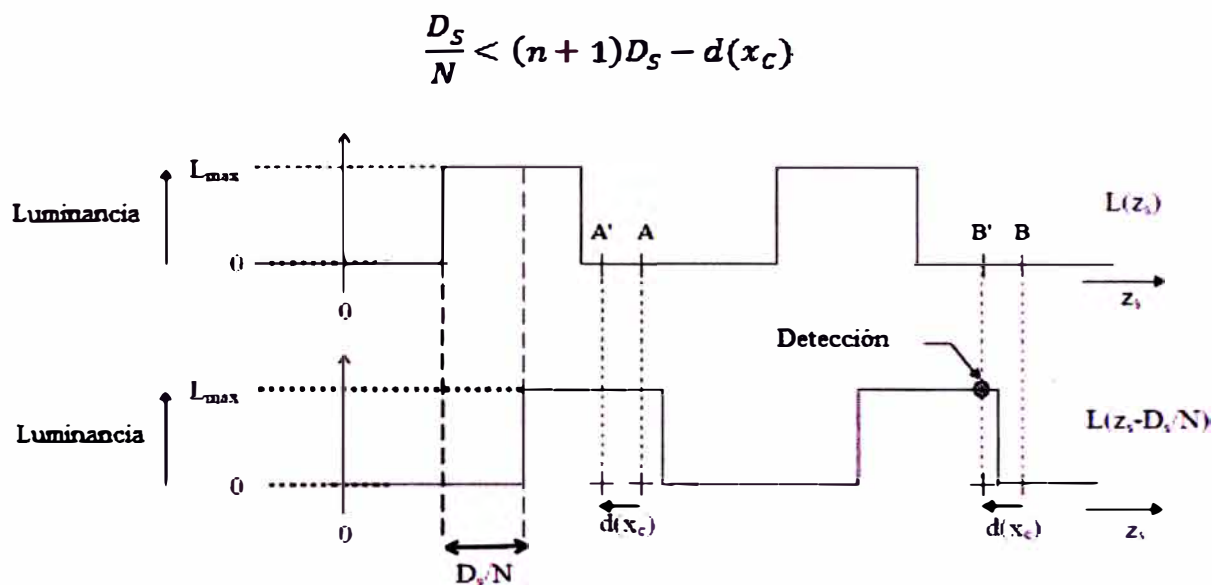


Figura 3.43 Desplazamiento de la Fuente

Se ha visto anteriormente que para optimizar la detección, es necesario que $T_B < T_N$ y $T_N = D_{\max}$.

Se ha visto igualmente que cuando T_B disminuye, la detección mejora, pero la ecuación indica que el número de adquisiciones aumenta. Por tanto es necesario encontrar un compromiso entre la calidad de detección y el número de adquisiciones.

Partiendo de la hipótesis que el número de adquisiciones es fijo, se puede deducir el ancho de T_B mínimo que permite detectar todos los puntos tales que $d(x_C) > T_B$.

$$T_B = \frac{D_S}{N} = \frac{T_N}{N-1} = \frac{D_{\max}}{N-1}$$

La ecuación nos da la condición en $d(x_C)$ para que los puntos tales como $0 < |d(x_C)| < T_B$ sean detectados.

$$|d(x_c)| > \frac{D_s}{N} \text{ por tanto } |d(x_c)| > T_B$$

Esta contradicción significa que no existe ningún punto detectado cuando $|d(x_c)| < T_B$

La posible detección de un punto del defecto depende de su posición.

En resumen, un defecto es caracterizado por su desviación máxima D_{\max} . El ancho óptimo de las franjas para tener un contraste máximo para un máximo número de puntos del defecto es:

$$T_N = D_{\max} \text{ y } T_B = \frac{D_{\max}}{N - 1}$$

En estas condiciones:

- El contraste de un punto tal que $|d(x_c)| < T_B$ es $C = 1 + \frac{|d(x_c)|}{T_N}$ cuando es detectado, sino el contraste $C=0$
- El contraste de los puntos tales que $|d(x_c)| > T_B$ es $C=2$

3.5.5 Parámetros Adoptados en la Adquisición e Iluminación

La elección del ancho de las franjas está en función de las características de los defectos. La característica más importante es D_{\max} , que puede ser determinada experimentalmente si no se conoce la morfología exacta del defecto. A partir del D_{\max} más pequeño (defectos a detectar) y del número deseado de adquisiciones, se deduce el ancho de T_B y T_N .

Ejemplo: si todos los D_{\max} son mayores a 10 mm y el número de adquisiciones es fijado en 5, el ancho óptimo de la franja negra y luminosa será de 10 mm y 2,5 mm, respectivamente.

Se puede notar que el desplazamiento de la franja entre cada adquisición es siempre igual al ancho de la franja blanca. El tamaño de las

bandas puede ser más pequeño si el número de adquisiciones es alto. Problemas de implementación pueden por lo tanto ocurrir en este nivel ya que la precisión del desplazamiento es muy importante. Esta herramienta de detección tiene la ventaja de revelar el defecto de una manera constante, independientemente de la posición del defecto.

Parámetros Adoptados en la Iluminación

El panel luminoso mide 200mm x 200mm. La superficie de la fuente es lo suficientemente grande y la distancia entre la fuente y la pieza es lo mas pequeña posible, de este modo se podrá iluminar una porción importante de la pieza. Así, el control de una pieza se hace en 8 rotaciones como máximo. Además, la distancia entre la fuente de luz y la pieza es mínima, para obtener una imagen nítida de franjas.

Una rejilla de metal formada por franjas negras y ranuras se coloca delante del panel luminoso y de esta manera se obtienen las franjas claras y oscuras. Las exigencias tecnológicas y de tiempo han llevado a la utilización de franjas opacas de 12mm de largo y de ranuras de 5 mm de ancho. La velocidad de la rejilla se elige de manera que ella se mueva un período durante las adquisiciones.

Estructura Mecánica (ver Planos)

Panel Luminoso (ver Apéndice C)

Dimensiones : 200 x 200 mm

Rejilla en franjas dispuesto en un avance lineal (ver Planos)

Ancho de Franjas Luminosas : 5 mm

Ancho de Franjas Oscuras : 12 mm
 Desplazamiento de Rejilla : 1,55 mm entre cada adquisición
 Imágenes Capturadas : 11 imágenes por porción de pieza

Módulo de Comando de Avance Lineal (mencionado sólo como referencia)

Parámetros Adoptados en la Adquisición

Puesto que la posición de la cámara cambia dependiendo del tipo de pieza a controlar. La cámara es posicionado para tener: aumento máximo de la pieza a controlar (mejorando la precisión de las mediciones) y una imagen de la fuente luminosa en la pieza, la mas grande posible para aumentar la zona de control. El sistema de desplazamiento y rotación de la cámara diseñado es el siguiente: la cámara se coloca sobre un soporte que permite una traslación vertical y un pivoteo alrededor del eje vertical. Este apoyo se coloca sobre rieles que permiten una traslación horizontal. La cámara posee un objetivo de 80 mm. El número de adquisiciones se fijó en 11 por cada porción de piezas.

Cámara Numérica Monocroma 8 bits (ver Apéndice D)

Resolución : 1300 x 320 píxeles

Velocidad de Adquisición : 25 imágenes/segundo

Carta de Adquisición Numérica Monocroma 8bits (ver Apéndice F)

Computadora

Procesador Intel Pentium III 700 MHz

Memoria 256MB SDRAM

Esquema del Procesamiento del Objeto

A manera de resumen, en la Figura 3.44 se indica las etapas que se deben realizar para obtener inspeccionar un objeto.

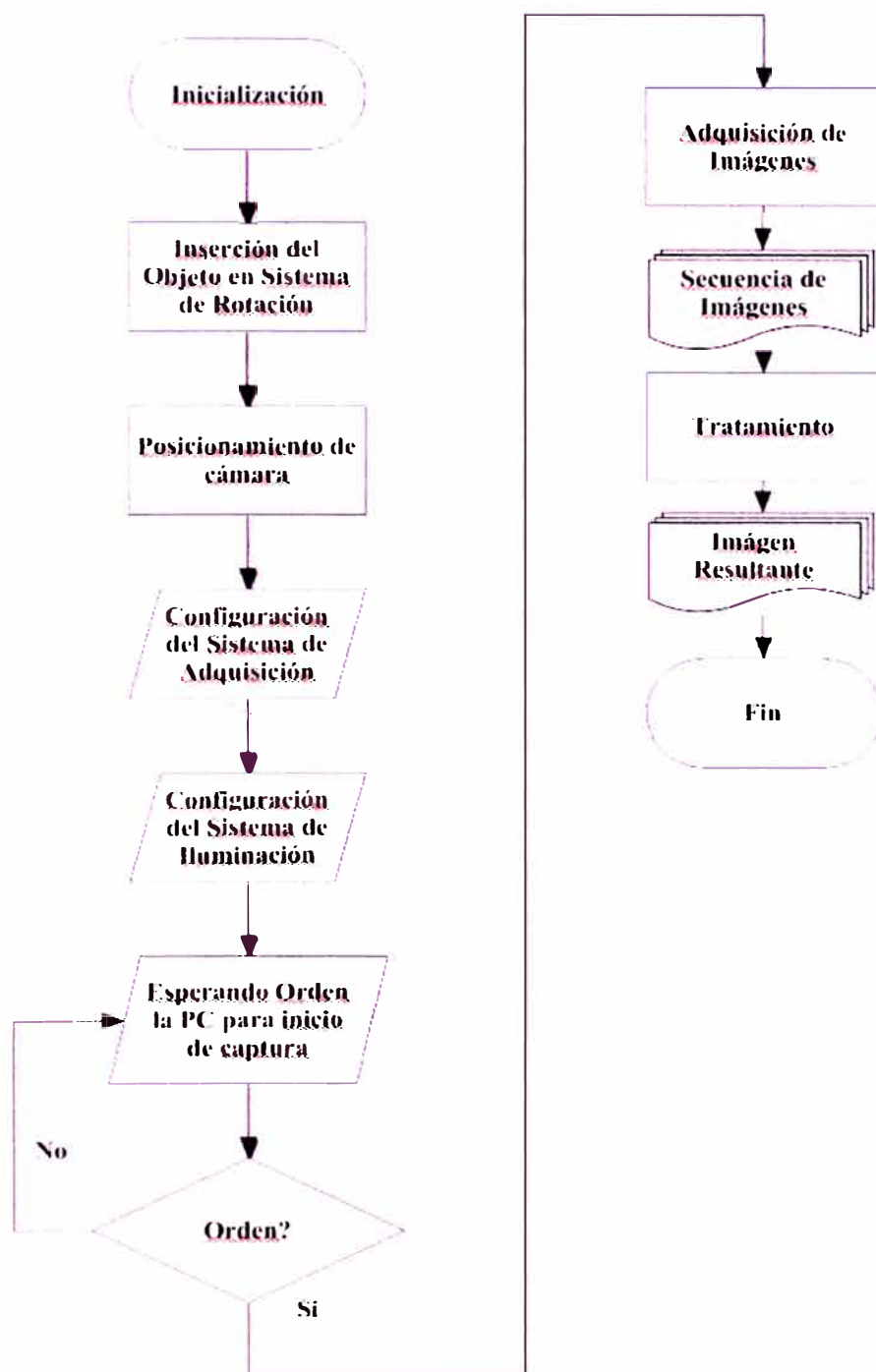


Figura 3.44 Esquema del Procesamiento del Objeto

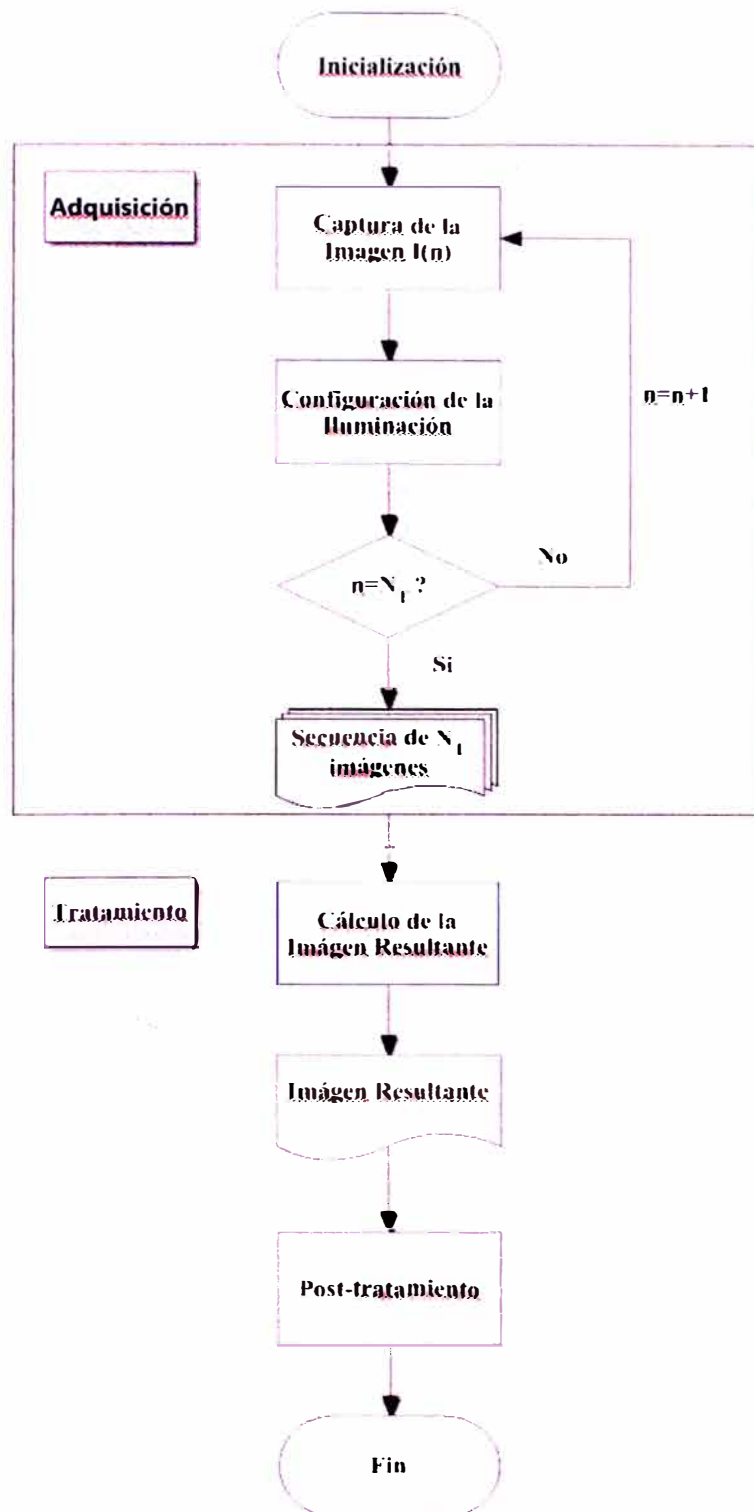


Figura 3.45 Algoritmo de la Secuencia de Imágenes

3.6 RESULTADOS

A fin de mostrar los resultados, primero se muestra el objeto a inspeccionar (ver Figura 3.45). La Figura 3.46 presenta una secuencia de imágenes durante el desplazamiento de la iluminación, esta secuencia de imágenes es el resultado del algoritmo representado en la Figura 3.44

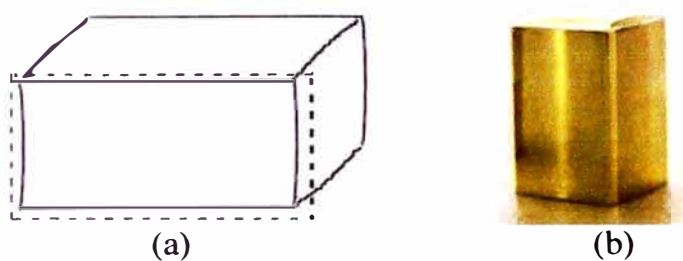


Figura 3.46 (a) Parte del objeto visualizado (b) Objeto a inspeccionar



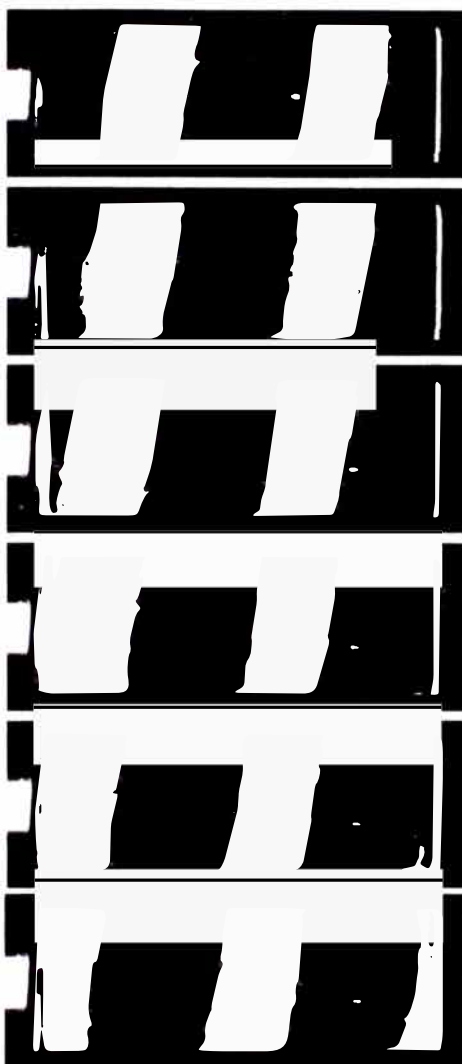


Figura 3.47 Secuencia de Imágenes con movimiento de iluminación

Diferentes puntos de los defectos son detectados según la posición de la iluminación: la suma algebraica de todas las imágenes de la secuencia permite obtener una imagen donde aparezcan todos estos puntos. Obsérvese en esta secuencia que diferentes zonas de la imagen aparecen siempre luminosas. El área brillante al lado izquierdo de la pieza es el apoyo. Una operación de enmascaramiento se realiza para eliminar todo puntos que no pertenecen a la pieza. La banda luminosa a la derecha de la pieza corresponde

a su borde. Se comporta como un defecto y aparece brillante en todas las imágenes. Las zonas correspondientes a los bordes son también eliminadas. Un umbral se lleva a cabo en cada imagen antes de hacer la suma únicamente en el área de enmascarada (Figura 3.46).



Figura 3.48 Imagen Resultante

El número de adquisiciones afecta a la calidad de la imagen. Las imágenes a continuación muestran esta influencia. De la Figura 3.49 a la Figura 3.52, se muestran los resultados para 30, 15, 7 y 3 adquisiciones. Como el número de adquisiciones aumenta, el fondo se vuelve más uniforme. Cuando el número de adquisiciones disminuye, el nivel de gris de una parte del fondo aumenta. Por consiguiente, es preferible aumentar el número de adquisiciones para aumentar el contraste y reducir el riesgo de error a la discriminación entre los defectos y el fondo.

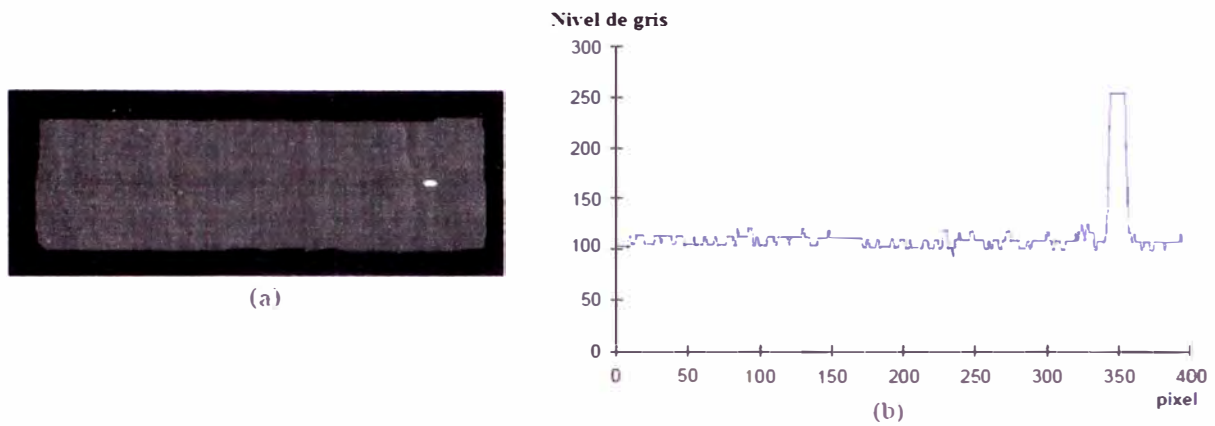


Figura 3.49 (a) Resultante 30 imágenes (b) Escala Grises de Imagen Resultante

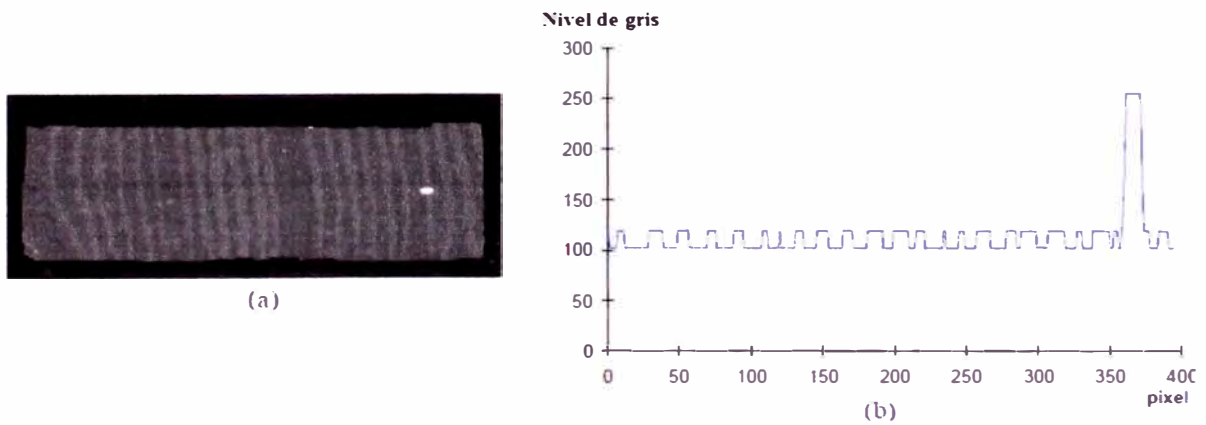


Figura 3.50 (a) Resultante de 15 imágenes (b) Escala Grises de Imagen Resultante

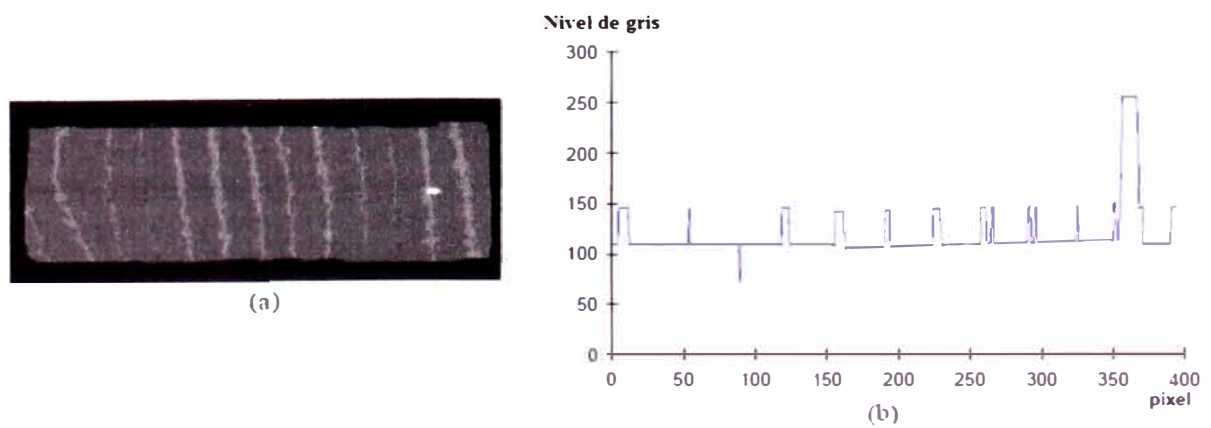


Figura 3.51 (a) Resultante de 7 imágenes (b) Escala Grises de Imagen Resultante

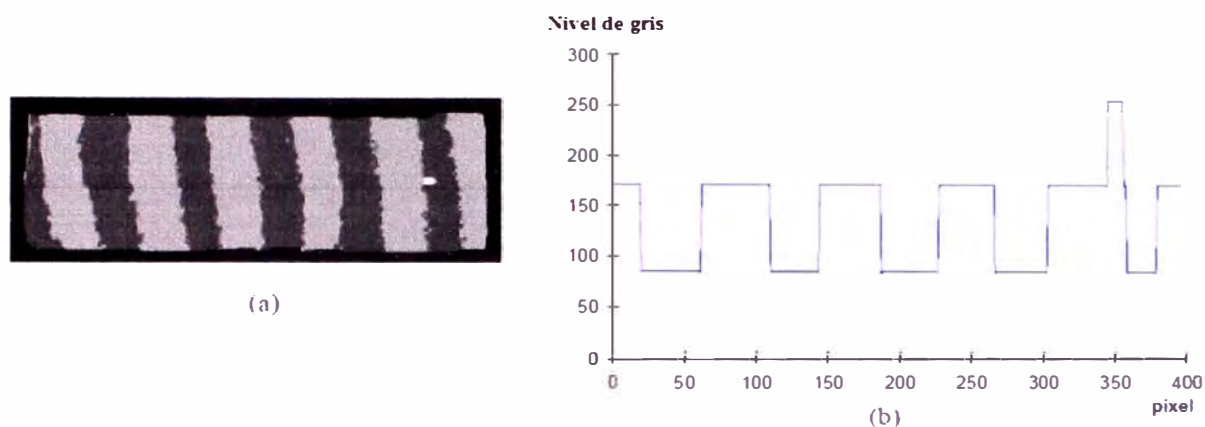


Figura 3.52 (a) Resultante de 3 imágenes (b) Escala Grises de Imagen Resultante

3.6.1 Tiempo necesario para el control

El Industrial produce 1500 tapas/h, es decir 1 tapa se produce cada 2,4s, y el tiempo actual empleado por los operarios para detectar los defectos es 6s/tapa.

Tabla 3.4 Detalle del tiempo necesario

Acción	Duración
Adquisición de la secuencia	1 s
Captura de imágenes	1 s
Tratamiento	1,3 s
Cálculo de Imagen Resultante	0,3 s
Otras tareas	1 s

De acuerdo a la Tabla 3.4, el tiempo requerido es 2,3s por cada tapa, la duración de captura de imágenes es 1s, de acuerdo a las características técnicas de la cámara. Además, se debe notar que el tratamiento se realiza con un Procesador Intel Pentium III a 700 MHz. En caso que se utilice un procesador de última tecnología (mayor a 2Ghz), el tiempo de tratamiento puede ser dividido por un factor 2.

CAPÍTULO 4

COSTOS

En el presente capítulo se realiza un análisis de los costos que implicaría la realización del sistema expuesto. Puesto que actualmente un ingeniero tiene que tener los conocimientos básicos de gestión o administración, que le permitan realizar una adecuada distribución y programación de los recursos que intervienen en un proyecto o proceso, con la finalidad de minimizar los costos.

Para esto se identifican los recursos que intervienen en el proyecto; de esta manera se tendrá una idea del costo total anual para este proyecto. Los costos están clasificados en Costos Directos de Operación e Indirectos.

4.1 COSTOS DIRECTOS

Durante la inspección de tapas se debe considerar los siguientes costos

Tabla 4.1 Análisis del Costo Anual Directo de Operación

1.0 Mano de Obra Directa			
Descripción	Cant.	Sub Total US\$	Total US\$
Inspector	1	3000	36 000
Asistente de Control Calidad	1	1500	18 000
Operador	3	2700	32 400
Total Mano de Obra Directa US\$			86 400
2.0 Equipos Directos			
Descripción	Cantidad		Total US\$
Parte Mecánica	1		500

Iluminación	1	700
Cámara	1	1 500
Objetivo	1	350
Computadora	1	800
Interfase	1	400
Total Mano de Obra Directa US\$		4 350
Costo Directo de Operaciones US\$		90 750

4.2 COSTOS INDIRECTOS

Estos guardan una relación con el trabajo de inspección que se están ejecutando, tales como: apoyo logístico, coordinación, supervisión. (Ver Tabla 4.2)

Tabla 4.2 Análisis del Costo Anual Indirecto de Operación

1.0 Mano de Obra Indirecta				
Descripción		Cant.	Sub Total US\$	Total US\$
Gerente		1	6000	72 000
Administrador		1	3600	43 200
Ing. Control de Calidad		1	3600	43 200
Ing. Seguridad		1	3000	36 000
Ing. Supervisor de Mto.		1	3000	36 000
Secretaria		1	2100	25 200
Total Mano de Obra Indirecta US\$				255 600
2.0 Gastos Generales				
Descripción	Unid.	Cant.	Sub Total US\$	Total US\$
Útiles de Oficina	glb	1	30	360
Comunicación	glb	9	180	2 160
Alimentación	glb	9	270	3 240
Movilización de Personal	glb	9	180	2 160
Seguro del Personal	glb	9	180	2 160
Mantenimiento de Local	glb	1	400	4 800
Accesorios de Seguridad	glb	1	300	3 600
Total Gastos Generales US\$				18 480
Costo Indirecto US\$				274 080
Costo Total US\$				364 830
Costo Total S/.				948 558

CONCLUSIONES

- 1. La técnica de Control de Calidad con Visión Artificial permite una inspección objetiva y rápida del 100% de la producción, ya que el tiempo empleado por los operarios para detectar los defectos es 6 segundos/tapa, en cambio este sistema permite realizar la misma tarea en sólo 2.3 segundos.**
- 2. El objetivo de detectar los defectos en superficies especulares es alcanzado, ya que la presencia de puntos iluminados en la zona negra indica la presencia de defectos**
- 3. Empleando este Sistema se ahorra un 20% de los costos de Producción Anual en la Inspección.**

RECOMENDACIONES

- 1.** Las franjas luminosas son generadas por una fuente de iluminación, y delante de esta se desplaza una rejilla metálica. La utilización de franjas electrónicas permitiría ampliar las posibilidades del sistema. Por ejemplo, la modificación del ancho de las franjas sería más fácil. Además, la forma de las franjas podría ser modificada entre cada adquisición.
- 2.** Este sistema es independiente de la cadena de producción, así que en caso, se requiera controlar piezas directamente en la cadena de producción, se necesitará adaptar la iluminación y los tratamientos de acuerdo a las nuevas exigencias.
- 3.** Con la finalidad de evitar trabajar con un tratamiento complejo de imágenes, se aconseja concebir una iluminación adecuada que permita adquirir buenas imágenes.

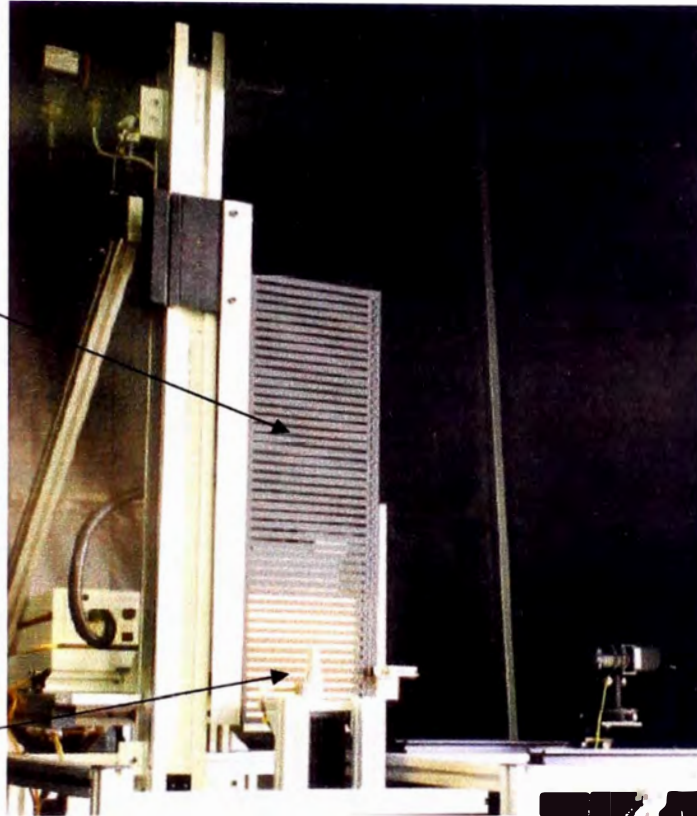
BIBLIOGRAFIA

- [1] LOPEZ A.
“Adquisición y Procesamiento de Imágenes con FPGA”, Tesis – Universidad de la Salle Bajío
- [2] TROY C.T (1995)
“Machine Vision industry posts record year in 1994, Photonics Spectra, p 65
- [3] VisionIndustrielle.Org (2003)
“Automated Imaging Association”
- [4] WINCHELL W. (1996)
“Inspection and Measurement in Manufacturing”, Society of Manufacturing Engineers
- [5] NEWMAN T.S, JAIN A.K., (1995)
“A Survey of Automated Visual Inspection, Computer Vision and Image Understanding”, V° 61, pp 231-262
- [6] KING K., JUST J., OSHEROFF G., SPIDALIERE P., NGOC T. (1985)
“Robotic Technology: An assessment and forecast, Robotics and Flexible Manufacturing Technologies”, Noyes, Park Ridge, NJ
- [7] CHIN R.T. (1992)
“Automated visual inspection algorithms”. En Computer Vision: Theory and Industrial Applications, ed. Torras, pp 377-404
- [8] PARTHASARATHY S., WOLF D., HU E., HACKWOOD S., BENI G. (1987)
“A color vision system for film thickness determination”, Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation, Raleigh, NC, pp 515-519
- [9] MATROX (1997)
“User Guide”, Manual N° 10513-MN-0500, pp 135-158
- [10] BARRIE G. (1969)
“Sampling Inspection and Quality Control”, Methuen and Company, Ltd., London
- [11] SMITH B. (1993)
“Making war on defects: Six-sigma design”, IEEE Spectrum 30 (9), pp 43-47

- [12] MARTINEZ E. (2006)
“Visión Artificial Aplicada a la Industria Textil”, pp 9
- [13] es.wikipedia.org/wiki/Imagen_especular
- [14] SOUAMI F., SCHMITT F (1995)
“Estimation de la réflectance d'une surface connaissant sa géométrie et sa couleur”,
Traitement du signal, vol. 12, No 2, pp. 145-157
- [15] NAYAR S.K., IKEUCHI K., KANADE T. (1991)
“Surface reflection: physical and geometrical perspectives IEEE transactions on
pattern analysis and machine intelligence”, vol. 13, No 7, pp. 611-634
- [16] CATEDRA: VISION ARTIFICIAL (2005)
“Iluminación para las aplicaciones de Visión Artificial”, Universidad Nacional de
Quilmes
- [17] KOMOROWSKI J. (1991)
“Enhanced visual technique for rapid inspection of aircraft structures”, vol 49
- [18] SANKARAN V. (1999)
“Inspection in Semiconductor Manufacturing”, vol 10, pp 242-262:Wiley&Sons
- [19] NORMA ISO 9000
“Sistema de Gestión de la Calidad – Fundamentos y Vocabulario”
- [20] CATEDRA: MUÑOZ R. (2011)
“Introducción a la Metrología”, Laboratorio de Metrología y Metrotecnica.
- [21] www.monografias.com/trabajos71/caracteristicas-acabado-superficial/caracteristicas-acabado-superficial2.shtml
- [22] www.virtual.unal.edu.co/cursos/agronomia/2001819/lecciones/cap06/cap06_15.html
- [23] CRUCHANT L. (1993)
“La qualité & Que sais-je?“, Presses universitaires de France
- [24] FEIGENBAUM A.V. (1983)
“Total Quality Control”, McGraw-Hill, 3ra Edicion.^
- [25] PEREZ J.P (1991)
“Optique Géométrique, ondulatoire et polarization”, Masson, 3ra Edicion.
- [26] SAULUT J.P (1999)
“Influence de la calibration lumineuse d'une camera sur la mesure dimensionnelle
par vision artificielle”, Mémoire d'Ingénieur.

PLANOS

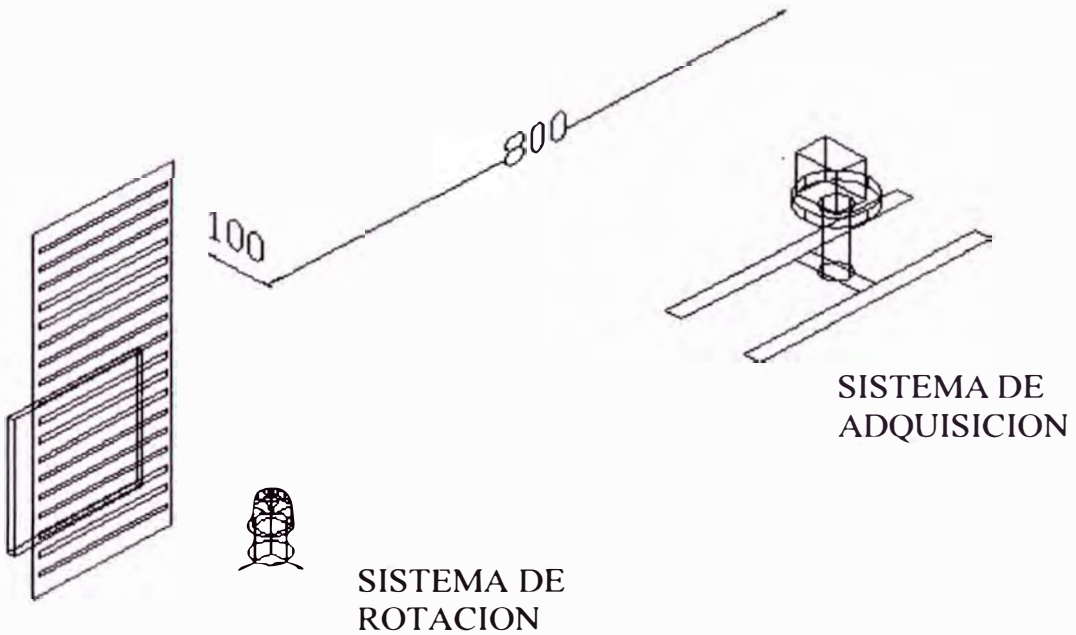
SISTEMA DE ILUMINACION



SISTEMA DE ROTACION

SISTEMA DE ADQUISICION

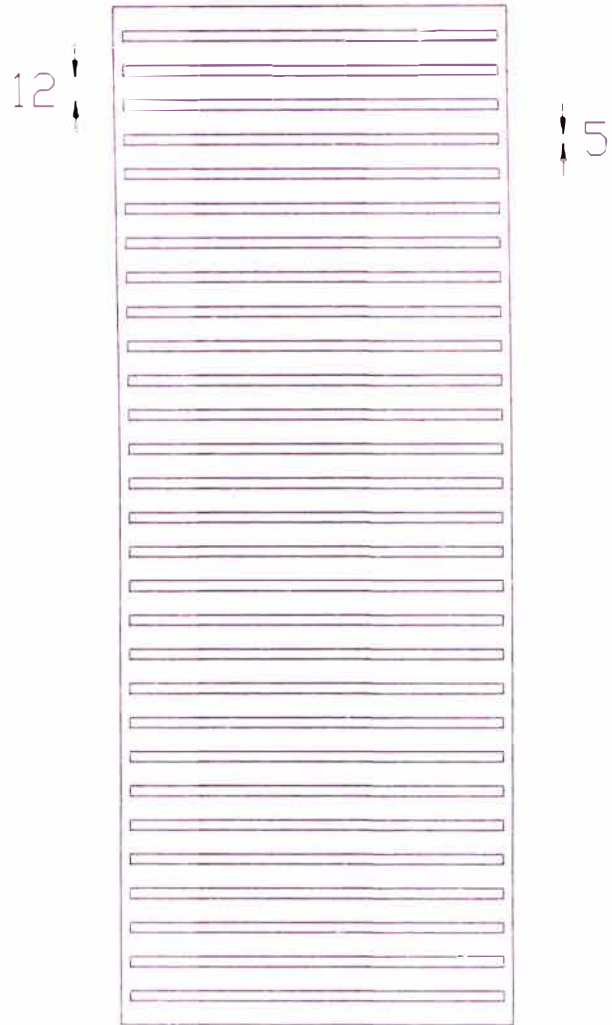
SISTEMA DE ILUMINACION



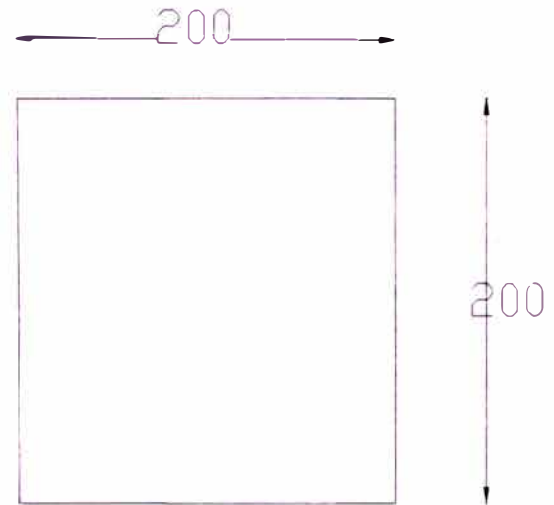
ESQUEMA GENERAL
DEL SISTEMA
PROPUESTO

cotas en mm

PLANO A



REJILLA

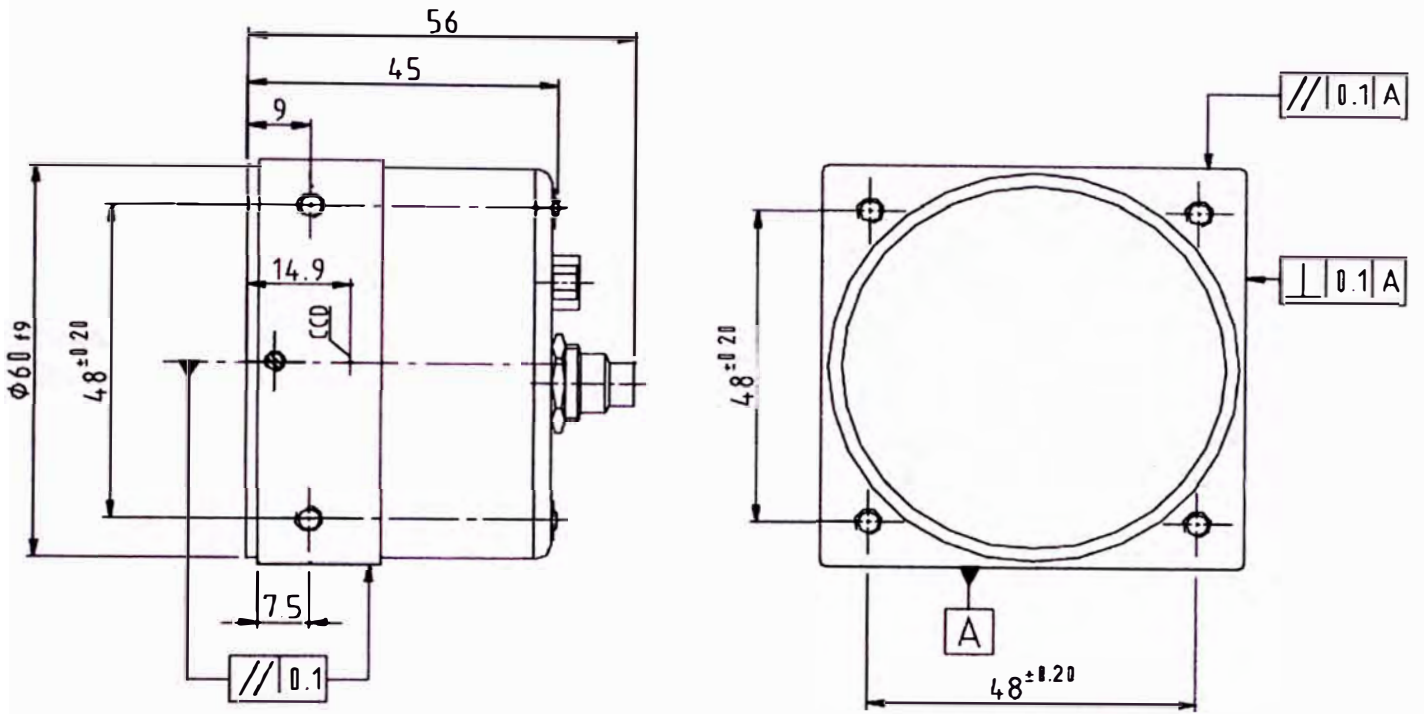


PANEL
LUMINOSO

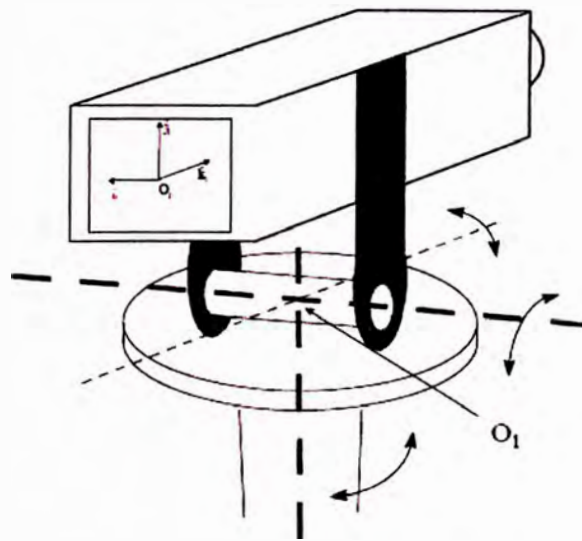
COMPONENTES
SISTEMA
ILUMINACION

cotas en mm

PLANO B



CAMARA



GRADOS LIBERTAD
DE CAMARA

COMPONENTES
SISTEMA
ADQUISICION

cotas en mm

PLANO C

APÉNDICE

APÉNDICE A: GENERALIDADES

Perspectiva del Humano

La luz visible es un fenómeno físico por el cual se estimula nuestra respuesta visual. Se trata de una forma de energía que se propaga en forma de ondas electromagnéticas. La luz se puede representar como una distribución espectral de energía $L(\lambda)$, donde λ representa la longitud de onda. La región visible del espectro electromagnético desde los 350 nm. hasta los 780 nm. [12].

El observador humano usa un amplio rango de señales, obtenidas a partir del color, perspectiva, el sombreado, y una vasta librería de experiencias individuales. Por consiguiente, la toma de decisiones depende de la capacidad humana.

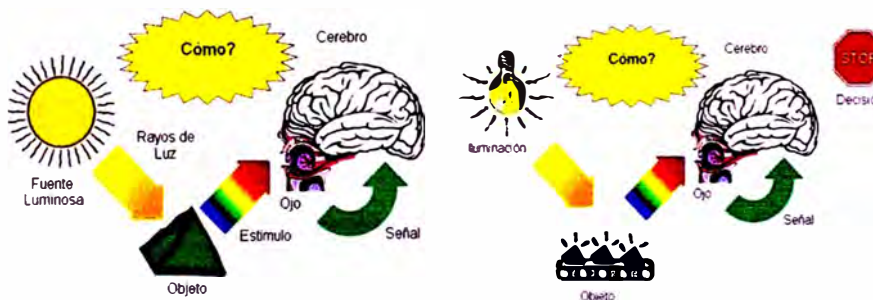


Figura A.1 Visión Humana

Perspectiva de la Visión Artificial

En cambio, un sistema de visión artificial, no tiene una experiencia de base de la cual pueda tomar decisiones. Para ello, todo debe estar específicamente definido con el fin de facilitar la tarea al sistema de visión



Figura A.2 Visión Artificial

Como se menciona, la luz visible es parte del espectro electromagnético, y el color está en función a la longitud de onda. La luz blanca consiste de la combinación de todos los colores. Así, un observador (o una cámara) percibe el color del objeto, si se refleja la luz de longitudes de onda alrededor de dicho color y absorbe el resto de longitudes de onda.



Figura A.3 Percepción del Color

Ángulo Sólido

El ángulo sólido es el ángulo espacial que abarca un objeto visto desde un punto dado, que se corresponde con la zona del espacio limitada por una superficie cónica. Para calcular el ángulo sólido bajo el cual se ve un objeto desde un punto, se proyecta el objeto sobre una esfera de radio d conocido, centrada en el punto de vista.

$$\Omega = \frac{A \cos \theta}{d^2}$$

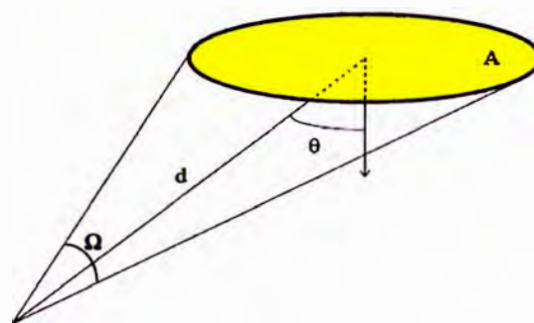


Figura A.4 Determinación del ángulo sólido Ω

Luminancia

La luminancia caracteriza el flujo luminoso emitido por unidad de superficie proyectada y por unidad de ángulo sólido.

$$L = \frac{\Phi}{\Omega S \cos \theta}$$

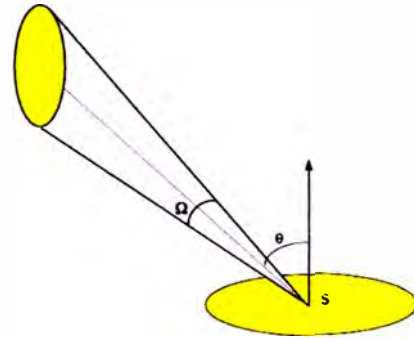


Figura A.5 Luminancia de la Superficie S

Intensidad Luminosa

La intensidad luminosa I de una fuente es el flujo luminoso que ella emite por unidad de ángulo solido.

$$L = \frac{\Phi}{\Omega}$$

Intensidad de un Pixel

La intensidad de un pixel depende de su iluminación, así mismo de la ganancia a y del offset b de la cámara, del tiempo de integración T_i y del factor de transmisión del objetivo τ [25] :

$$I = b + \frac{a T_i \tau \frac{\pi}{4} \left(\frac{d}{\lambda}\right)^2 \iint_{\text{superficie pixel}} L_S(\theta r, \phi r - \pi) dS_C}{\iint_{\text{superficie pixel}} dS_C}$$

Considerando que los pixeles son infinitamente pequeños, y que el offset de la cámara es cero, y definiendo la constante k :

$$k = a \tau \frac{\pi}{4} \left(\frac{d}{\lambda}\right)^2$$

Así la intensidad en un punto de la cámara es: $I = k T_i L_S(\theta r, \phi r - \pi)$

Donde θr y ϕr son representados en la Figura A.6

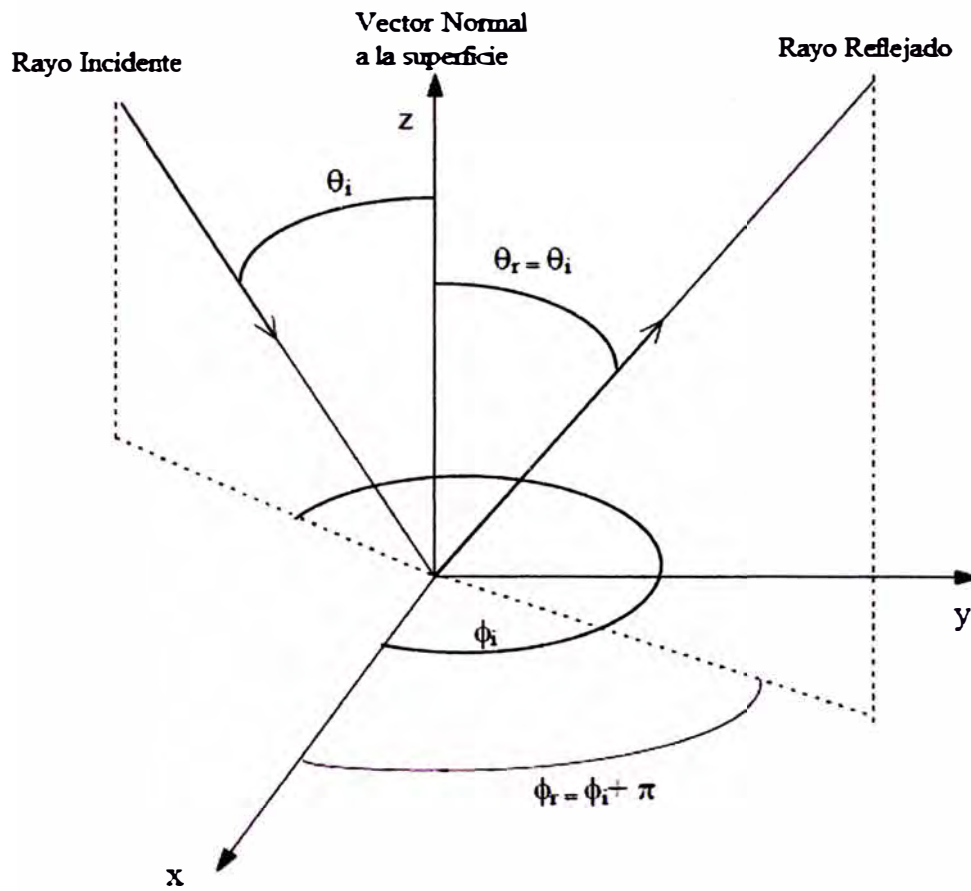


Figura A.6 Reflexión Perfectamente Especular

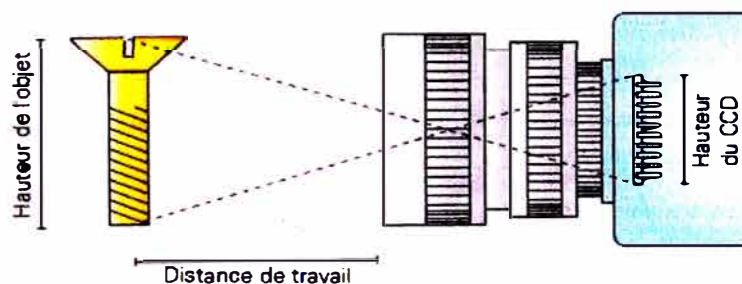
APÉNDICE B: NOTA DE APLICACION: SELECCION DE CAMARA

1ère étape : calculer la distance focale

La distance focale est le paramètre principal d'un objectif. Pour représenter un objet en entier sur la puce CCD, on calcule la distance focale de la hauteur et de la largeur de l'objet. La plus petite valeur est alors la distance focale de notre objectif :

$$\text{Distance focale de la largeur} = \frac{\text{Distance de travail} * \text{Largeur du CCD}}{\text{Largeur de l'objet} + \text{Largeur du CCD}}$$

$$\text{Distance focale de la hauteur} = \frac{\text{Distance de travail} * \text{Hauteur du CCD}}{\text{Hauteur de l'objet} + \text{Hauteur du CCD}}$$



Format CCD	Hauteur CCD [mm]	Largeur CCD [mm]
1/4"	2,4	3,2
1/3"	3,6	4,8
1/2"	4,8	6,4
2/3"	6,6	8,8
1"	9,6	12,8

Exemples pris dans différents domaines d'application



Lecture de codes-barres :

- Largeur de l'objet = 30 mm
- Distance de travail = 300 mm
- Format du CCD = 1/4" (largeur du CCD = 3,2 mm)

$$\text{Distance focale de la largeur} = \frac{300 \cdot 3,2}{30 + 3,2} = 28,9 \text{ mm}$$



Tri de fruits :

- Hauteur de l'objet = 200 mm
- Distance de travail = 1000 mm
- Format du CCD = 1/3" (hauteur du CCD = 3,6 mm)

$$\text{Distance focale de la hauteur} = \frac{1000 \cdot 3,6}{200 + 3,6} = 17,7 \text{ mm}$$



Inspection des yeux :

- Largeur de l'objet = 50 mm
- Distance de travail = 350 mm
- Format du CCD = 1/2" (largeur du CCD = 6,4 mm)

$$\text{Distance focale de la largeur} = \frac{350 \cdot 6,4}{50 + 6,4} = 39,7 \text{ mm}$$



Lecture de plaques minéralogiques :

- Largeur de l'objet = 600 mm
- Distance de travail = 10000 mm
- Format du CCD = 1/4" (largeur du CCD = 3,2 mm)

$$\text{Distance focale de la largeur} = \frac{10000 \cdot 3,2}{600 + 3,2} = 53 \text{ mm}$$

2ème étape : choisir un objectif

Pour régler la distance focale des exemples ci-dessus, on aurait besoin d'un zoom. Cependant, ces objectifs présentent des inconvénients considérables (poids, dimension, prix, etc...). C'est pourquoi on a normalement recours aux objectifs à distances focales fixes.

Pour pouvoir profiter au mieux de la qualité des caméras de The Imaging Source, nous recommandons l'utilisation des objectifs de la série MegaPixel de Pentax et Computar (voir le tableau ci-contre).

Référence	Format	Dist. focale [mm]
H0514-MP	1/2"	5
M0814-MP	2/3"	8
H1214-M(KP)	1/2"	12
C1614-M(KP)	2/3"	16
C2514-M(KP)	2/3"	25
C3516-M(KP)	2/3"	35
C5028-M(KP)	2/3"	50

Pour représenter l'objet en entier sur la puce CCD, on choisit un objectif dont la distance focale est plus petite que celle calculée. Pour les exemples ci-dessus nous prenons donc :

- Lecture de codes-barres : C2514-M(KP)
- Tri de fruits : C1614-M(KP)
- Inspection des yeux : C3516-M(KP)
- Lecture de plaques minéralogiques : C5028-M(KP)

Attention : Le format de l'objectif doit être égal ou supérieur au format de la puce CCD (voir [Erreurs typiques \(de raisonnement\)](#)).

3ème étape :

mesures à appliquer dans le cas de très petites distances de travail

Dans le cas de petits objets, en particulier, la distance de travail est souvent plus petite que la distance minimale de mise au point (MOD = Minimal Object Distance) de l'objectif sélectionné. Dans ce cas-là, on réduit la distance minimale de mise au point en mettant des bagues allonges entre l'objectif et la caméra. Nous l'étudierons plus en détails dans la 4ème étape ([Montage](#)). L'exemple suivant démontre le choix d'une bague allongée :



Inspection d'un grain de beauté :

- Largeur de l'objet = 5 mm
- Distance de travail = 30 mm
- Format du CCD = 1/4" (largeur du CCD = 3,2 mm)

Dans ce cas, la distance focale est de 14,7 mm et pour cela on utilise la bague allongée H1214-M(KP). La distance minimale de mise au point (MOD) de 0,25 m dépasse cependant considérablement la distance de travail exigée de 3 cm. Le tableau ci-dessous nous indique que nous avons besoin d'une bague allongée de 5mm.

Référence	Format	Dist. focale [mm]	MOD [m]
H0514-MP	1/2"	5	0,1
M0814-MP	2/3"	8	0,1
H1214-M(KP)	1/2"	12	0,25
C1614-M(KP)	2/3"	16	0,25
C2514-M(KP)	2/3"	25	0,25
C3516-M(KP)	2/3"	35	0,35
C5028-M(KP)	2/3"	50	0,90

Dist. focale:	12 mm	16 mm	25 mm	50 mm	75 mm
0,5	12 .. 31 cm	22 .. 54 cm	41 .. 129 cm		
1,0	8 .. 15 cm	17 .. 28 cm	32 .. 66 cm		
1,5	6 .. 10 cm	14 .. 20 cm	27 .. 45 cm	75 .. 175 cm	
5,0	2 .. 3 cm	7 .. 8 cm	14 .. 16 cm	43 .. 59 cm	69 .. 125 cm
10,0			9 .. 10 cm	29 .. 34 cm	50 .. 69 cm
15,0				23 .. 25 cm	41 .. 50 cm
20,0					35 .. 41 cm
25,0					30 .. 35 cm

APÉNDICE C: DATA SHEET: BACKLIGHT LIGHTING

A Vision Ahead



Super Long Life Ultra Bright white led Backlight 200x200



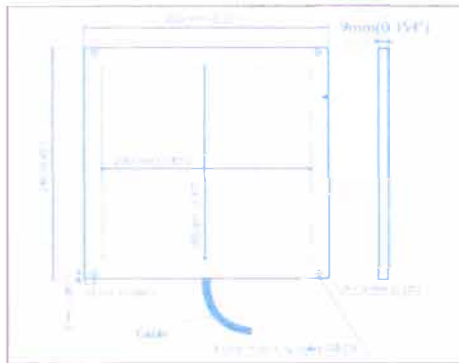
The PHLOX™ SLLUB Backlights offers the *best life cycle, the best chromaticity stability and the best luminance* on the market, *all in an ultra compact and IP-65 body*. PHLOX is the only manufacturer to provide uniformity and luminance data on the quality control seal positioned at the back of every backlight.

Our products excel at diverse applications:

- Dimensional control
- Shaping control
- Presence / Absence control
- Quality control with transparency
- Picture digitalization
- Particle measurement

For a variety of different industries:

- Glassmaking
- Automotive
- Agribusiness
- Pharmaceutical / Cosmetics
- Electronics
- Aeronautics



All PHLOX products come with a 24 months warranty and a luminance and uniformity certificate

Worldwide patent issued

Decomposition Key:

Manufacturer	Source color	Light Output Area / Length	Injection process	Input voltage
PHLOX	LEDW	BL 200x200	SLLUB	Q 1R 23V
Source type	Product type	Frame type	Number of light sources	Area per circuit

Part Distinguishing: PHLOX LEDW BL 200X200 SLLUB-Q 1R 23V

Illumination

Luminance Minimum	40 000 cd/m ² (up to 200 000 in strobe mode)
Uniformity Minimum	95% (+/- 10%)
Source Type	White LED
Expected Life	100 000 hours
Colour Temperature	5000°K (±1000)
Light Angular Distribution	10° 1/2 angle

Electrical

Input Voltage	24 VDC (option: strobe mode)
Input Current	2 A (up to 16 A in strobe mode)
Cable length	2 M - Ø 2.6 mm (6.56 ft - Ø 0.10")
Connector	None
Cable pinout	
CE Conformity	Yes

Outer unit

L x W x H	240x234x9mm (9.45x9.21x0.354")
Housing Material	Black Anodized Aluminium
Weight	900g (31.74oz)
Mounting	4 bore holes (D8 for the first 3.5 mm of height, D4 for the other 5 mm)

Environmental

Max. Operating Humidity	95% non-condensing
Operating Temperature	50°C (122°F) max
Storage Temperature	60°C (140°F) max
Accessories	Power supply: 110 V and 220 V Product key: OMRON-LED-PS-108x100x40-24V a Strobe is Control Module Product key: GARDASOFT-LED-LC-PP900-21V

HEATSINK ADVISED

ROHS

01-05-2008

APÉNDICE D: DATA SHEET: CAMARA A101p BASLER

1.2 Performance Specifications

Specification	BASLER A101p / A101cp
Sensor Type	1300 (H) x 1030 (V) pixels 2/3 inch HAD interline transfer progressive scan CCD
Pixel Size	6.7 µm (H) x 6.7 µm (V)
Lens Adapter	C-mount or F-mount
Spectral Response	A101p: 400 - 1000 nm, peak at 510 nm. See Figure 1-1. A101cp: see Figure 1-2.
Anti-Blooming	1:100 or better
Dark Signal Non-uniformity	± 1 gray value
Photo Response Non-uniformity	± 12%
Pixel Clock	18 MHz (9 MHz when horizontal binning or full binning is used)
Max. Frame Rates	11.75 frames/sec. in normal operation 22 frames/sec. with vertical or full binning up to 157 frames/sec. with partial scan
Video Output	8 bit, RS-644
Synchronization	External via ExSync signal
Exposure Time Control Modes	Level-controlled, programmable, or free-run
Gain and Offset	Programmable via RS-232
Power Requirements	24 V DC (± 15%), max. 5 W
Max. Cable Lengths	RS-232: 15 m RS-644: 20 m
Conformity	CE, FCC
Housing Size (without lens adapter)	45 mm x 62 mm x 62 mm (L x W x H)
Weight	with C-mount adapter: ~ 320 g with F-mount adapter: ~ 380 g

Table 1-1: A101 Performance Specifications

APÉNDICE E: DATA SHEET: OBJETIVO

SPEC. INFO	C7528—M KP SPEC.	37500-S001-00KP-B13
		JUL 1. ' 01

1. Model	C7528-M
2. Application	For Machine Vision 2/3 Format CCD Camera
3. Specification	
3-1. Physical (As per the attached drawing)	
(1) Dimensions	ϕ 34 mm \times 59.6 mm
(2) Weight	125 g
(3) Mount	C-Mount (1 – 32 UN – 2A)
(4) Filter Screw Size	ϕ 30.5 mm , P = 0.5 mm
3-2. Optical	
(1) Focal Length	75 mm \pm 5%
(2) Max. Aperture Ratio	1: 2.8
(3) Iris Range	F / 2.8 to F / 32
(4) Angle of View	Diagonal 8.60° Horizontal 6.90° Vertical 5.18°
(5) Picture format	8.8 mm \times 6.6 mm
(6) Focusing Range	Inf. To 0.7m
(7) Back Focal Length	30.94 mm
(8) Flange Back Length	17.526 mm \pm 0.05 mm
3-3. Mechanical	
(1) Focusing Mechanism	Straight Helicoid Rotation Angle 280° Rotation Torque 0.2 N·cm to 7 N·cm Focus Ring can be fixed at any positions by 3 fixing screws $\text{\textcircled{A}}$ (Refer to external view)
(2) Iris Mechanism	Non-click Rotation Angle 83° Rotation Torque 0.5 N·cm to 7 N·cm Iris Ring can be fixed at any positions by 3 fixing screws $\text{\textcircled{B}}$ (Refer to external view)

SPEC. INFO	C7528—M KP SPEC.	37500-S001-00KP-B23
		JUL 1, '04

3-4. Vibration & Shock Test Standard**(1) Vibration Conditions**

Wave	Sine Wave
Acceleration	1.96m/s² to 59.78 m/s²
Cycle Range	10 Hz to 55 Hz
Cycle Period	3 Minutes
Duration of Vibration	120 Minutes Respectively in Three Dimensional Directions

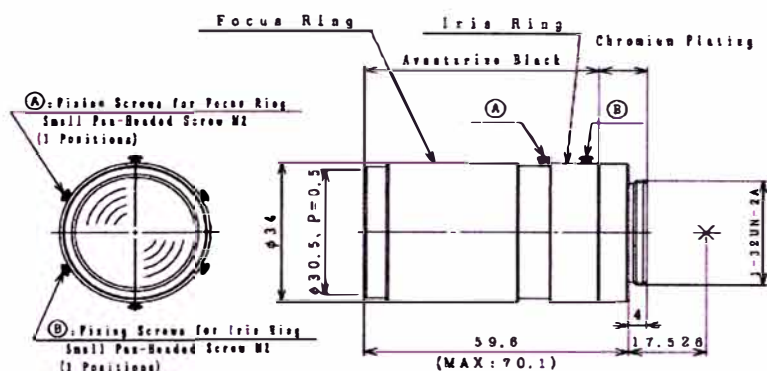
(2) Shock Conditions

Tester	Shock Testing Machine by Dropping
Impact Force	588 m/s²
Duration of Shock	3.5 ms
Directions & Number of Times	1 Time Respectively in Three Dimensional Directions

3-5. Environmental Temperature Range **-20°C to +50°C**

4. Accessories

(1) Front Lens Cap	1 piece
(2) Rear Lens Cap	1 piece
(3) Thumbscrew M2 for Focus Ring	1 piece (For Optional Usage)
(4) Thumbscrew M2 for Iris Ring	1 piece (For Optional Usage)
(5) Packing Box	1 piece



MADE IN JAPAN	PENTAX	TV LENS	75 mm	1:2.8				
0.7	0.8	0.9	1	1.5	2	4	∞	m

◆	⊕	◆	32	11	8	6.0	4	2.8	C7528-M	◆
---	---	---	----	----	---	-----	---	-----	---------	---

UNIT: mm

SPEC. INFO	37500-3001-00XP-B33
	JUL. 01, '04
PENTAX Corporation Security System Division	

APÉNDICE F: DATA SHEET: TARJETA DE ADQUISICIÓN NUMÉRICA

1.2 IC-PCI SPECIFICATIONS

This section gives the operating specifications for the IC-PCI.

Table 1–1. IC-PCI Models

Model	image memory
IC-PCI-2.0-xx-xx	2MB
IC-PCI-4.0-xx-xx	4MB

1.2.1 Memory

- Image Memory – 4MB or 2MB linear memory
- Supports AM trigger modes
- Acquires 8-bit, 16-bit and 24-bit image data at clock rates up to 40 MHz
- Acquires and stores 24-bit data, or 32-bits with most significant byte zeroed.

1.2.2 Host Access

- PCI Bus interfaces to video memory, control registers, and AM
- Image memory – occupies 2MB or 4MB of memory address space
- Registers – mapped into three different I/O spaces by the PCI host:
 - PCI Configuration registers occupy configuration space
 - PCI Interface Control registers occupy 16 DWORDs (64 bytes)
 - IC-PCI Control registers occupy 32 bytes

- AM – occupies 8KB of memory address space
- Image data – 32-bit access only
- Control registers and AM – 16-bit word access only

1.2.3 Acquisition

- Frequency – Up to 40 MHz read access to FIFO on AM
(8-bit=40MB/sec, 16-bit=80MB/sec 24-bit=120MB/sec)
- Supports AM trigger modes
- Supports all AM family acquisition modules:
AM-DIG: 8-bit, 16-bit, 24-bit digital cameras.
AM-CLR: Color RGB,NTSC,PAL,S-Video cameras, 24-bit true color and 8-bit monochrome.
AM-VS: monochrome cameras up to 25 MHz, 8-bit monochrome.
AM-FA: monochrome cameras, 8-bit images; the AM-FA can acquire up to 50 MHz, but IC-PCI reads the FIFO on AM-FA at 40 MHz.
AM-MTD: multi-tap digital cameras up to 20MHz per tap.
AM-STD-COMP: Color NTSC,PAL,S-Video cameras and VCRs, 24-bit true color, 16-bit YCrCb, 8-bit monochrome.
AM-STD-RGB: RS-170 and CCIR RGB color cameras, 24-bit true color and 8-bit monochrome.

1.2.4 Parallel I/O Port

All inputs and outputs are high-level single-ended TTL

- Data Input – 8-bit TTL; registered by strobe or direct read
- Data Output – 8-bit TTL; F244 buffers, source 5 mA, sink 64 mA
- Interrupt input – selectable rising or falling edge
- Strobe Input – for latching input data; selectable rising or falling edge
- Strobe Output – for latching output data
- Supply +5 Volts at 500 mA with resetting fuse

1.2.5 Environmental

The IC-PCI complies with the PCI short card mechanical spec, allowing installation in any slot of a PCI-bus based machine.

- Board Size – PCI short card: 6.88 by 4.205 inches
- Operating Temperature – 10-60 degrees Celsius.
- Relative Humidity – 0-90% non-condensing
- Power Requirements – typical
0.50 Amperes at +5 Volts (does not include AM)