

## DIMENSIONAMIENTO DE PIEZAS EN UN SISTEMA DE VISIÓN APLICADO A UNA CELDA DE MANUFACTURA

### Sizing of pieces in a machine vision system applied to a manufacturing cell

#### RESUMEN

En el presente artículo, se describe el desarrollo de la aplicación de un sistema de visión en una celda de manufactura flexible, la cual permitió realizar el dimensionamiento de las piezas fabricadas en ella, con el fin de realizar control de calidad sobre éstas. A lo largo del artículo se explicarán cada uno de los pasos que se siguieron en la implementación de dicha aplicación, comenzando por mencionar algunos conceptos básicos sobre los sistemas de visión artificial, para pasar luego a la descripción del hardware y software utilizado y finalmente un análisis de los resultados obtenidos.

**PALABRAS CLAVES:** *Dimensionamiento de piezas, FMC, Sistemas de Visión, Visión artificial.*

#### ABSTRACT

This paper describes the implementation of a machine vision application in a flexible manufacturing cell. The application allowed to make dimensional measurements in the pieces made in the cell, with the purpose of making quality control. Throughout the paper, each one of the steps followed in the implementation of this application will be explained, beginning to mention some basic concepts of the machine vision systems, to finally pass to the description of the hardware and software used and an analysis of the obtained results.

**KEYWORDS:** *Machine vision, Sizing of pieces, FMC*

#### 1. INTRODUCCIÓN

El uso de la visión artificial se está extendiendo cada día más entre los diferentes sectores industriales, tanto en control de producto como en control de procesos. La utilización de esta tecnología, y los beneficios que su uso conlleva, se centran principalmente en sectores industriales del metal (automoción, aluminio, acero), y de alimentación (especialmente en procesos de envase).

Una de las principales aplicaciones de la visión artificial es en la metrología dimensional, ya que debido a las características especiales de esta tecnología, es adecuada para la obtención y extracción de medidas en 2D y 3D de los objetos en la escena. Posteriormente, estas medidas se pueden usar con fines diversos, como el control de calidad entre otros.

La Celda de Manufactura Flexible de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Tecnológica de Pereira posee actualmente un sistema de visión artificial, el cual permite realizar comparaciones de formas, más no

de dimensiones de las piezas fabricadas en la ella; limitando el alcance del sistema en el momento de verificar exactitud de las dimensiones de dichas piezas.

El presente artículo centra la atención en el desarrollo del software, la implementación y el análisis de los resultados al emplear el sistema de visión integrado a la celda de manufactura; la aplicación tiene la capacidad de medir las piezas fabricadas, compararlas con un patrón, estimar el error en la medición y desechar las piezas que no correspondan a la tolerancia requerida por el diseñador. Se muestra también el cálculo de la incertidumbre en el procedimiento de toma de la medida.

#### 2. ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE VISIÓN Y ESPECIFICACIONES DE LOS PRINCIPALES COMPONENTES FÍSICOS DEL SISTEMA

Un sistema de visión artificial se compone básicamente de los siguientes elementos: fuente de luz, sensor de imagen, tarjeta de adquisición de imágenes, algoritmo de

**CARLOS EDUARDO GIRALDO.**

Ingeniero Mecánico  
Universidad Tecnológica de Pereira  
carlosed@utp.edu.co

**JUAN FELIPE ARROYAVE L.**

Ingeniero Mecánico, M. Sc.  
Profesor Especial  
Universidad Tecnológica de Pereira  
jfa@utp.edu.co

**CARLOS A. MONTILLA M.**

Ingeniero Mecánico, M Sc.  
Profesor Auxiliar  
Universidad Tecnológica de Pereira  
cmontilla@utp.edu.co

[Escribir texto]

Fecha de Recepción: 24 de Enero de 2008

Fecha de Aceptación: 4 de Abril de 2008

análisis de imagen, ordenador de módulo de proceso y por último los sistemas de respuesta en tiempo real.

El hardware del que se dispone inicialmente se describe a continuación.

**2.1 TARJETA DE ADQUISICIÓN IMÁGENES:** La tarjeta de adquisición empleada es la IMAQ PCI 1408 de National Instruments, las características se muestran en la Tabla 1. [1]

Resolución	1 Mega Pixel
Número de entradas de video	4
Impedancia a la entrada	75 $\Omega$
Niveles de gris	256 (8 bits)
Voltaje	+12V (100mA) -12V (50mA)
Dimensiones	10,668 x 17,463 cm

Tabla 1. Características de la IMAQ PCI 1408

**2.2 CÁMARA:** La cámara empleada para la captura de las imágenes es una CCD MINTRON MS1131C. Algunos atributos de la cámara se listan en la Tabla 2.[1]

Chip Sensor	SHARP
Área del Sensor	4,8mm (H)X3,6mm (V)
Elemento de la imagen	542(H) X 582(V) (CCIR) 542(H) X 492(V) (EIA)
Distancia Focal	16mm
Resolución	420 líneas
Voltaje	DC 12V
Iluminación mínima	0,05Lux de F1.2
Dimensión	50,5mm(W)X50,5mm(H)X115mm(L)

Tabla 2. Características de la cámara MS1131C

### 3. IMPLEMENTACIÓN DE LA APLICACIÓN

#### 3.1 SELECCIÓN DE LA TÉCNICA DE ILUMINACIÓN

Para la adecuada selección de la técnica de iluminación a utilizar, se elaboró el siguiente cuadro comparativo (Tabla 3).

Iluminación	Ventajas	Desventajas
Iluminación Posterior	Fácil de implementar, bajo costo, crea silueta de la pieza, imágenes de muy alto contraste.	Se debe tener espacio detrás del objeto.
Iluminación Frontal	Fácil de implementar, revela algunos detalles superficiales.	Puede crear sombras indeseadas, la iluminación no es uniforme.
Iluminación Lateral	Fácil de implementar, revela algunos detalles superficiales.	Puede crear sombras indeseadas, la iluminación no es uniforme.
Iluminación por Campo	Ilumina defectos superficiales, provee	No ilumina de forma plana, difumina las

Oscuro	imágenes de alto contraste en algunas aplicaciones.	superficies.
Iluminación Coaxial	Elimina sobras, iluminación uniforme en todo el campo de visión.	Difícil de implementar, reflexión intensa en superficies brillantes.
Iluminación Difusa Continua	Elimina sombras, elimina el deslumbramiento.	Debe rodear el objeto, el iluminador es grande, puede ser costosa.

Tabla 3. Comparación de las Técnicas de Iluminación

Como la tarea principal de la aplicación de visión artificial en la celda de manufactura es la de realizar mediciones de dimensiones, se requiere de una imagen de alto contraste y con el contorno bien definido. Como se dispone de una caja de luz apropiada para iluminación posterior; se selecciona ésta como la técnica de iluminación que mejor se ajusta a los requerimientos de la aplicación tanto técnicos como económicos.

#### 3.2 ADECUACIÓN DE LA ESCENA

La distancia óptima de la cámara respecto a la superficie de la mesa (distancia de trabajo) se calculó de acuerdo a la ecuación 1 con las siguientes consideraciones: se tuvo en cuenta que la longitud máxima a medir en la dirección vertical es de 27 mm y se dejó un espacio de 1 mm entre la pieza y el borde de la imagen; se tiene un campo de visión en esta dirección de aproximadamente 29mm. Como la distancia focal del lente y el tamaño del sensor de la cámara son parámetros fijos, la distancia de trabajo más adecuada para el sistema es 128,88 mm aproximadamente

$$\text{distancia de trabajo} = \frac{\text{distancia focal} \times \text{campo de visión}}{\text{tamaño del sensor}} \quad (1)$$

$$= 128,88 \text{ mm}$$

#### 3.3 CALIBRACIÓN DEL SISTEMA

La calibración espacial del sistema de visión, es de vital importancia ya que del éxito de este proceso, depende la confiabilidad de todo el sistema. El principio en el que se basa la calibración, es el de asignarle a algunos píxeles conocidos sus coordenadas en unidades reales y con la información obtenida calcular las coordenadas reales de los demás píxeles. La forma en la que se calculan las demás coordenadas puede ser perspectiva o no lineal.

Antes de comenzar con la calibración se comprobó que la cámara se encontraba lo más perpendicular posible a la mesa; esto con el fin de eliminar al máximo los errores de perspectiva. Cuando el eje de la cámara no está perpendicular al objeto, el tipo de calibración a usar es por perspectiva; pero si a eso se le agrega la distorsión causada por aberraciones del lente de la cámara, la calibración más adecuada es la no lineal [2].

Para efectuar la calibración se elaboró una malla conformada por puntos igualmente espaciados a una distancia conocida. La determinación del diámetro de los puntos y la distancia entre estos se realizó teniendo en cuenta que en la imagen adquirida los puntos debían tener un radio de 6 a 10 píxeles y una distancia entre centros de 18 a 32 píxeles [3]. Luego de varias pruebas se llegó a la malla definitiva, la cual está formada por puntos con 0,7mm de diámetro y a una distancia de 1,3mm. La malla se muestra en la Figura 1.

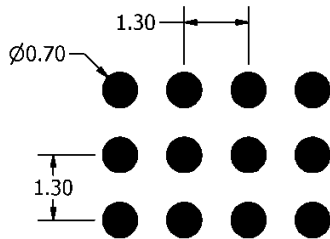


Figura 1. Malla de Calibración

Finalmente se adquiere la imagen definitiva de la malla de calibración que se muestra en la Figura 2.

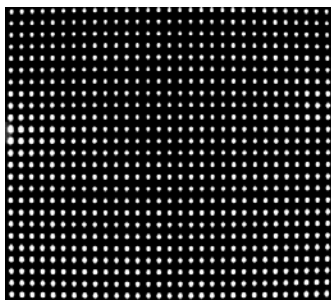


Figura 2. Malla de calibración

Para realizar el proceso de calibración se utilizó el Vision Assistant comenzando por la adquisición de la imagen a calibrar, luego se selecciona el tipo de distorsión, posteriormente se realiza el *thresholding* a la malla de calibración para detectar los puntos y darles su respectiva distancia en unidades reales y finalmente guardar la información de la calibración.

Al finalizar el proceso de calibración se guarda otra imagen de la malla con formato png, la cual almacena toda la información de la calibración con el fin de hacer más fácil la propagación de ésta en toda la aplicación.

#### 4. DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA

El código del programa escrito en lenguaje G en LabVIEW, genera una alta automatización de la aplicación de visión y permite al usuario establecer los parámetros de funcionamiento de la misma.

El objetivo del programa es el de realizar un control dimensional a las piezas producidas en el torno de control numérico de la celda de manufactura flexible.

Este control se hace comparando las dimensiones de la pieza producida con las dimensiones de una pieza patrón. Si la diferencia entre las dimensiones excede las tolerancias establecidas por el usuario la pieza es rechazada, de lo contrario es aceptada.

El programa se divide en dos partes: una que recibe la información sobre las mediciones que se va a realizar, y la otra que ejecuta las mediciones. En la primera parte del programa, se deben establecer las dimensiones de la pieza patrón, lo cual incluye indicar el tipo de medida, el valor nominal y la región donde realizará cada medición.

El programa está diseñado para aceptar tres tipos de medidas:

- **Lineal:** Son todas las medidas de los diámetros en piezas cilíndricas. La región donde se realiza la medición está definida por un rectángulo ubicado como se muestra en la Figura 3(A)..
- **Angular:** Son las mediciones de cualquier ángulo con respecto a la vertical. La región de medida está definida por un rectángulo rotado como se muestra en la Figura 3(B).
- **Radial:** Son las medidas de radios de curvatura. La región de medición está definida por un anillo como se muestra en la Figura 3(C)

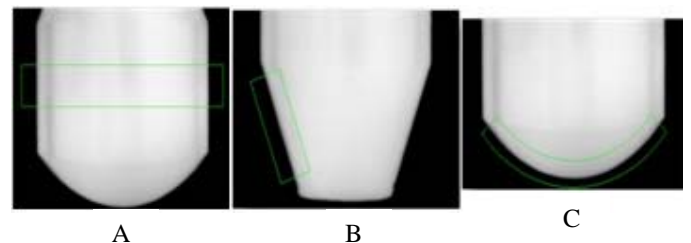


Figura 3. Medición lineal, Angular y Radial

Luego de ingresar cada una de las medidas con las que se van a comparar las demás piezas; lo que incluye tipo de medición, región de medición y valor nominal; se guarda esta información automáticamente en un archivo para su posterior uso. Este archivo además almacena el nombre de la pieza al que pertenece el grupo de mediciones.

La segunda parte del programa recibe como datos de entrada las tolerancias tanto para las mediciones de longitudes como para las de ángulos y arroja como resultados los errores en cada una de las mediciones.

Esta parte del programa posee un componente de reconocimiento de imágenes, el cual luego de adquirir la imagen, la compara con unos patrones preestablecidos

para determinar que pieza es y los lugares donde debe efectuar las mediciones.

Para poder comprender el funcionamiento del programa en forma general, se muestra a continuación su diagrama de flujo (Figura 4).

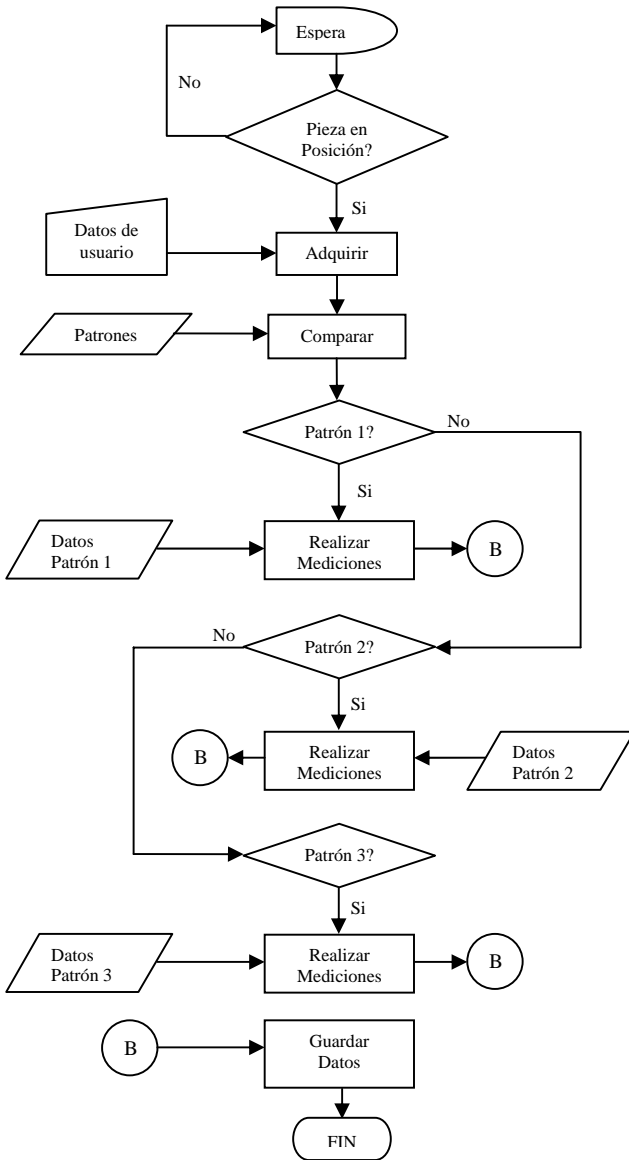


Figura 4. Diagrama de Flujo Programa

**5. CALCULO DE LA INCERTIDUMBRE TIPO B**

En un sistema de visión artificial, los elementos que más influyen en la exactitud del mismo son la cámara y el lente, ya que del tamaño del sensor de la cámara y del aumento generado por el lente depende en gran parte el error en cada una de las mediciones realizadas.

Para el cálculo de la incertidumbre en las medidas ocasionadas por la cámara y el lente se tomó como base el procedimiento recomendado por Edmund Optics Inc [4].

En primera instancia se define el aumento primario (Primary Magnification) que corresponde al aumento de los lentes así:

$$PMAG = \frac{Tamaño.del.sensor}{Campo.de.visión} = \frac{4,8mm}{39mm} = 0,1230769 \quad (2)$$

Luego se calcula la resolución de la cámara en pares de líneas por milímetro, es decir, los pares de líneas que puede diferenciar la cámara en un milímetro.

$$Cam.Re\ s = TVL * \frac{4/3}{2 * Tamaño.del.sensor} = 58,333\ lp/mm \quad (3)$$

En la ecuación anterior se usa una relación de aspecto del sensor de 4:3.

La resolución de la cámara también se puede expresar como la distancia mínima que deben tener dos líneas adyacentes para ser diferenciadas con éxito. Esta resolución se calcula como sigue:

$$Cam.Re\ s = \frac{1000}{Cam.Re\ s(lp/mm)} = 17,14285714\ \mu m \quad (4)$$

La resolución del sistema (cámara+lente) se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$Re.solución.del.sistema = \frac{Cam.Re\ s(\mu m)}{PMAG} = 139,2857143\ \mu m \quad (5)$$

La incertidumbre tipo B por resolución se calcula mediante la siguiente expresión:

$$U_{B_r} = \frac{Re.solución}{P\sqrt{3}} = 40,20832232\ \mu m \quad (6)$$

Donde P es una constante que toma el valor de “2” para instrumentos digitales.

Como el campo de visión es tan grande, se disminuye la capacidad del sistema de diferenciar dos líneas cercanas.

Para imágenes de alto contraste, al momento de estimar la exactitud en las mediciones se debe asumir un error inherente al proceso de medición. Este error se encuentra entre 1 y 3 pixeles.

$$Exactitud(\mu m) = \frac{Error * Campo.de.visión * 1000}{\# de pixeles en la imagen} \quad (7)$$

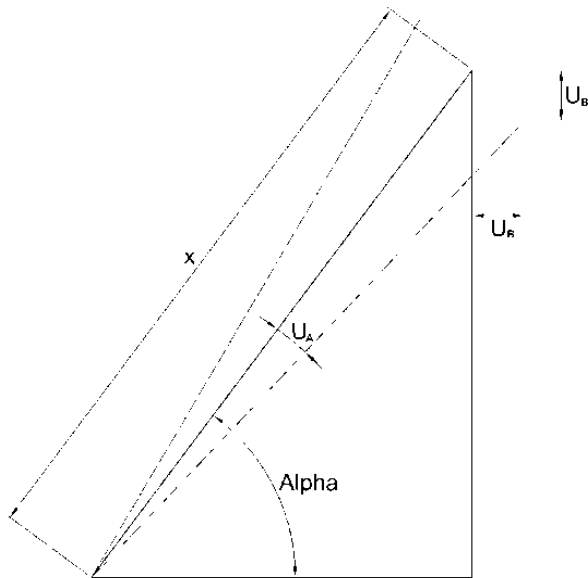
$$Exactitud(\mu m) = 180,55555 \mu m$$

La incertidumbre tipo B por exactitud está dada por la siguiente fórmula:

$$U_{B_r} = \frac{Exactitud}{\sqrt{3}} = 104,2437954 \mu m \quad (8)$$

Para las mediciones angulares, se calculó la incertidumbre basada en la calculada anteriormente de la siguiente manera:

**Figura 5. Incertidumbre angular**



En la Figura 5 se observa la variación de una medida angular en función de la variación en la posición de uno de los lados que forman el ángulo.

La incertidumbre angular no solo depende de  $U_B$ , sino que también depende del valor del ángulo  $\alpha$  y de la distancia  $x$ . La incertidumbre angular tipo B se calcula como sigue:

$$\sin U_{\alpha} = \frac{U_B(\cot(\alpha)+1) * \sin(180-\alpha)}{x} \quad (9)$$

**6. CÁLCULO DE LA INCERTIDUMBRE TIPO A**

Para el cálculo de la incertidumbre tipo A se analizaron los datos obtenidos luego de realizar mediciones consecutivas a una misma pieza. También tomaron datos a diferentes tipos de piezas y finalmente se seleccionaron para el análisis los datos más críticos, es decir, los que presentaban la mayor variación. En la Tabla 4 se muestran estos datos con su respectivo error tomando como valor real 19,09mm que corresponde al diámetro de la pieza de la Figura 3(A).

Valor Medido	Error
19,17	0,08
19,38	0,29
19,16	0,07
19,17	0,08
19,31	0,22
19,17	0,08
19,16	0,07
19,31	0,22
19,31	0,22
19,16	0,07

Tabla 4. Mediciones realizadas

En primera instancia, se calcula la media de los datos empleando la ecuación 10:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = 19,2305187mm \quad (10)$$

La desviación estándar del grupo de datos es:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 0,086208188 \quad (11)$$

Finalmente, la incertidumbre tipo A del proceso de medición está dada por la siguiente ecuación:

$$U_A = t \frac{S}{\sqrt{n}} = 0,061665338mm \quad (12)$$

El valor de  $t$  se estima basándose en el hecho de que la distribución de datos usada es la de t-student; la cual, para una confiabilidad del 95% y un número de datos de 10, arroja un valor de  $t=2,262$

La incertidumbre declarada del proceso de medición se define como sigue:

$$U_{D_p} = K * U_C \quad (13)$$

Donde:

$K$  se denomina coeficiente de cobertura, el cual para una confiabilidad del 95% es de 1,96. [5].

$U_C$  calcula como sigue:

$$U_C = \sqrt{\sum U_A^2 + \sum U_B^2} = 0,127616973mm \quad (14)$$

La incertidumbre declarada queda así:

$$U_D = 1,96(0,127616973mm) = 0,250129267mm$$

**7. RESULTADOS**

Se realizaron mediciones a dos piezas diferentes, las cuales incluyen diámetros, ángulos y radios.

Para la pieza de la figura 3A se tiene:

N=9 Numero de mediciones.

$$V_{CV} = VI \pm U_D \quad (15)$$

V<sub>CV</sub> = Valor Convencionalmente Verdadero

$VI=19,23mm$  *Media del valor indicado*

$U_D$ =Incertidumbre declarada

Valor patrón 19,09mm

Rango de control: [18,9154, 19,4269].

Todos los valores obtenidos de  $VI$  quedaron dentro del rango de control.[6]

Las mediciones lineales realizadas con el sistema de visión artificial tienen una incertidumbre declarada del proceso de  $\pm 0,250129267mm$  con una confiabilidad del 95%.

Las mediciones angulares tendrán una incertidumbre mínima de 0,217 grados midiendo un ángulo de 1 grado en una distancia de 30 mm; y una máxima de 1,81 grados midiendo un ángulo de 45 grados en una distancia de 5 mm.

La aplicación también está en condición de decidir si la pieza cumple o no con los requerimientos necesarios. Estos requerimientos son establecidos por el usuario mediante una tolerancia máxima permisible entre la medida arrojada por el programa y el valor de referencia. Esta tolerancia debe estar dentro de los límites establecidos por la incertidumbre; es decir debe estar dentro del intervalo  $[-U_D, U_D]$ .

## 8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las técnicas de visión artificial, como demuestra su aplicación en otros sectores industriales, son particularmente apropiadas para la realización de trabajos visuales altamente repetitivos que sean fatigosos o difíciles de realizar para un operario especialmente cuando este trabajo es ineficiente o costoso en términos económicos y temporales.

- La posibilidad de realizar mediciones a las piezas elaboradas en la celda, le adiciona un componente de control de calidad a ésta, aumentando su versatilidad y desempeño ya que el sistema de visión anterior sólo estaba habilitado para reconocer formas.
- El tipo de iluminación utilizada en el sistema de visión es un factor determinante en el buen funcionamiento de éste, ya que de una buena selección de la técnica de iluminación depende la confiabilidad de los resultados obtenidos del sistema.
- El uso adecuado del software le agrega un alto grado de automatización a la aplicación, facilita la calibración y es indispensable para el tratamiento adecuado de las imágenes.
- La selección del hardware adecuado para cada tipo de aplicación es uno de los aspectos más importantes cuando se diseña un sistema de visión artificial; la precisión y exactitud requerida está directamente ligada a características del hardware como son la

resolución, tolerancia, nivel de ruido, estabilidad entre otras.

- De una buena calibración espacial de las imágenes adquiridas depende la confiabilidad de las mediciones tomadas en ellas.
- Para la aplicación desarrollada, el mayor aporte en la incertidumbre global lo hizo la incertidumbre tipo B por exactitud, indicando que el campo de visión no es el adecuado para la cámara utilizada.
- Se recomienda realizar un análisis más profundo de la iluminación en lo referente al tipo de fuente luminosa, la cual puede ser por medio de leds no convencionales; y a la forma en la que los rayos llegan al sensor.
- Para eliminar definitivamente los errores de perspectiva, se sugiere la adquisición de lentes telecéntricos, los cuales sólo dejan pasar los haces de luz que son paralelos al eje de la cámara.
- Con el fin de aumentar la exactitud el sistema sin disminuir el campo de visión, es necesaria una cámara con un sensor más grande que el actual (se recomienda un sensor de 1/2" o mayor).

## 9. BIBLIOGRAFÍA

- [1] TRUJILLO, Gabriel. Adaptación de un sistema de reconocimiento de imágenes brinell y vickers. *Scientia et Technica* Año X, No 26, Diciembre 2004. UTP. ISSN 0122-1701.
- [2] NATIONAL INSTRUMENTS. NI-IMAQ User Manual. Austin, Texas: NI, 2003.
- [3] NATIONAL INSTRUMENTS. IMAQ Vision for LabVIEW User Manual. Austin, Texas: NI, 2003. 131 p.
- [4] Edmund Optics. Technical Support [en línea]. New Jersey (USA). 2007. [Citado en 12 de Julio de 2007]. <<http://www.edmundoptics.com/techSupport/DisplayArticle.cfm?articleid=301>>
- [5] RONCONI, Adrián E. Cátedra de Instrumentos y Mediciones [en línea]. Argentina: Universidad Nacional de Quilmes, Ingeniería en Automatización y Control Industrial, 2006. [Citado en 5 de Noviembre de 2007]. <[http://iaci.unq.edu.ar/Materias/ins\\_med/archivos/Instym ed\\_t1.pdf](http://iaci.unq.edu.ar/Materias/ins_med/archivos/Instym ed_t1.pdf)>.
- [6] GIRALDO, Carlos E. Dimensionamiento de piezas usando el sistema de visión de la celda de manufactura flexible en la facultad de ingeniería mecánica. Pereira: 2007. 87 p.