

Técnica Digital para la Medición Óptica de Distancia

Walter Gemin¹, Raúl Rivera¹, Roberto Hidalgo¹, Juana Fernández¹,
Miguel Revuelta¹,

¹ Universidad Nacional de Mar del Plata, Facultad de Ingeniería. Juan B. Justo 4302, Mar del Plata, Argentina, agemin@fi.mdp.edu.ar

Resumen. Se describe un método de medición de distancia basado en el procesamiento de las imágenes digitales provenientes de una cámara fotográfica. Es una versión mejorada de la técnica de estadimetría. El método propuesto efectúa la medición a partir de una dimensión de referencia conocida, que se configura al comienzo de la medición. La imagen a procesar se transfiere a una PC por medio de una interfase USB o tarjeta de memoria. A partir de la identificación del objeto de referencia sobre la imagen, el algoritmo calcula automáticamente la distancia al mismo. Comparado al método tradicional, este presenta las siguientes ventajas: mejor resolución, facilidad de uso, no requiere regla graduada, cualquier objeto de dimensiones conocidas sirve como referencia, permite un registro automático de una secuencia de mediciones y pueden efectuarse mediciones en movimiento.

Keywords: Medición, Distancia, Óptica, Fotografía digital, ActiveX.

1 Introducción

La estadimetría [1] [2], es un método que sirve para medir distancias y diferencias de elevación indirectamente, es rápido pero su precisión no es muy alta. Para realizar medidas por medio de este método se requiere de una estadia (regla vertical graduada en centímetros) y un instrumento óptico (teodolito o nivel), como se muestra en la Fig. 1.

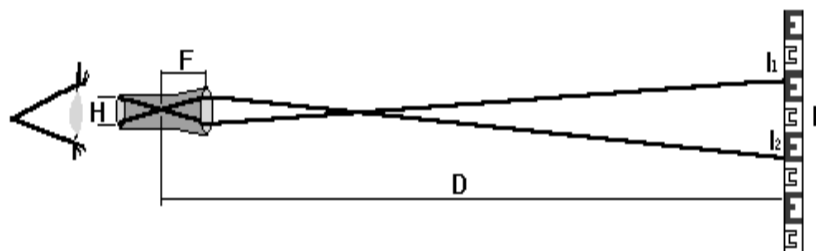


Fig. 1. Sistema de medición estadimétrico.

El método de medición se basa en la relación de proporcionalidad que existe entre la distancia al objeto (D), la longitud de la referencia en la estadía ($L=l_2-l_1$), la distancia focal (F) y la proyección en la retícula del instrumento óptico (H), de acuerdo a la siguiente relación:

$$\frac{F}{H} = \frac{D}{L} \quad (1)$$

De esta forma, para efectuar una medición, el instrumento óptico tiene en su retícula las líneas o hilos estadimétricos y al observar a través de este, se leen los valores de los hilos superior e inferior, se restan y se multiplica por la constante estadimétrica $F/H = 100$, en la mayoría de los instrumentos, obteniendo la distancia horizontal D como:

$$D = (l_2 - l_1) * 100 \quad (2)$$

Por ejemplo, la Fig. 2 muestra una medición.

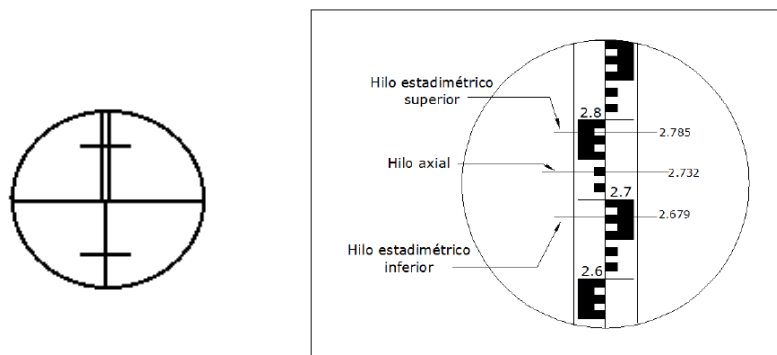


Fig. 2. Medición observada en la retícula.

La distancia D, obtenida en esta medición resulta de la expresión:

$$D = (l_2 - l_1) * 100 = (2,785 - 2,679) * 100 = 0,106 * 100 = 1,06mts \quad (3)$$

2 Método propuesto

Utilizando este principio, se propone cambiar el instrumento óptico por una cámara digital y la regla por cualquier objeto con por lo menos una de sus dimensiones (alto o ancho) conocidas. El ajuste de foco de la cámara se extrae del archivo de imagen, para lo cual el formato estándar "Exif" [3], [4], provee este dato y otra información utilizada en este trabajo. Luego, la medición se efectúa a partir del tamaño en píxeles H que ocupa el objeto de referencia, que multiplicado por una constante que depende de la cámara, obtiene la distancia al objeto en metros. Para explicar este método, se describen brevemente las características de una cámara digital comercial, el

encabezamiento "Exif" de un archivo de imagen y por último el algoritmo de cálculo de la distancia.

2.1 Distancia focal de una cámara digital

La distancia focal [5] [6], es un concepto clave en el que hacer fotográfico ya que cada vez que se ajusta el zoom se varía la misma. Se define distancia focal como la existente entre el plano de la imagen y el plano de la óptica, Fig. 3. Se mide en milímetros y varía en función del tipo de cámara. Así, mientras una réflex de 35 mm posee rangos entre 28 y 85 mm, para las ópticas más comunes, en una compacta digital los valores habituales están comprendidos entre 7 y 32 mm.



Fig. 3 Plano de la óptica, de la imagen y sensor CCD.

El plano de la imagen es la superficie del interior de la cámara donde se concentran los rayos de luz para lograr una imagen enfocada. Se trata del plano donde se encuentra el sensor electrónico (CCD) o bien la película. Haciendo una analogía con la lente simple, el plano de la óptica sería el punto en el que los rayos de luz provenientes del infinito modifican su trayectoria. En una óptica compuesta se calcula un plano interior al conjunto de lentes que cumple esta misma característica. La Fig. 4, representa en forma simplificada, las relaciones entre las dimensiones del objeto, tamaño de la imagen, distancia al objeto y distancia focal, del sistema óptico de una cámara.

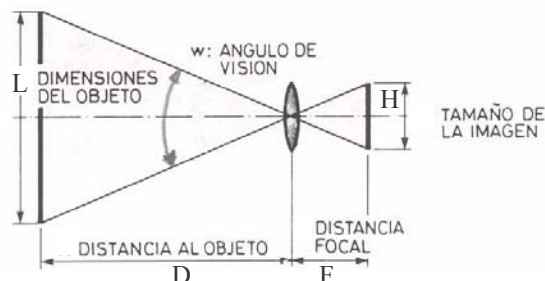


Fig. 4 Sistema óptico de una cámara

La distancia focal se relaciona con el ángulo de visión en una relación inversa. Un valor bajo provoca un ángulo de visión amplio, es decir, zoom bajo para tomas de objetos cercanos. Y a la inversa, un valor alto implica un ángulo de visión reducido, que corresponde a un zoom alto para tomas de objetos lejanos.

3 Especificaciones de una cámara digital

A continuación se describen las especificaciones más importantes de una cámara digital y su relación con las características de rango de medición y resolución del sistema propuesto.

3.1 Resolución

Se expresa en Megapixels e indica el número de millones de píxeles (elementos o puntos que componen la imagen) que el sensor de una cámara digital es capaz de capturar. Por ejemplo, una cámara con un sensor de 1 Megapixel produce fotografías de baja resolución mientras que una de 6 Megapíxeles o más, producen archivos de alta resolución. Es decir, cuanto más grande sea la resolución, se observará mayor detalle del objeto (ocupará más píxeles) y por lo tanto la medición de distancia tendrá mayor exactitud.

Un objeto que ocupa 400 píxeles en el eje vertical de una imagen fotografiada con una cámara de 1 Megapixel (1280 x 800), ocupará 1000 píxeles en una cámara de 6 Megapíxeles (3000 x 2000). Resultando una exactitud de 1/400 píxeles para la imagen de 1 Megapíxeles y 1/1000 píxeles para la de 6 Megapíxeles.

3.2 Zoom

Define el rango de acercamiento que un lente puede hacer para tomar una fotografía. Se expresa como el rango de un lente con la letra "x", que es el resultado de la división entre la mayor y la menor distancia focal de un lente. Por ejemplo un lente de 10x puede tener un rango de 24 a 240mm o de 35 a 350mm.

Existen 2 tipos de zoom, el óptico y el digital. El zoom óptico es el que se logra directamente con el lente. Esto significa que cuanto mayor sea el rango de zoom óptico, mayor será el rango de distancias que se pueden medir. En cambio, el zoom digital es un proceso que realiza la cámara para aumentar la cantidad de píxeles que ocupa la imagen en forma artificial, resultando un efecto de zoom de baja calidad. Este caso no aporta una mejora en la medición de distancia propuesta.

3.3 Estabilizador de imagen

Esta tecnología funciona por medio de detectores de movimiento en la cámara que hacen que el sensor se mueva de manera inversa, en reacción al movimiento detectado cuando se captura la imagen. La reducción de movimiento en las cámaras digitales es

una función que se está haciendo muy popular y tiene una gran utilidad en esta técnica de medición. Esto mejora considerablemente las fotografías tomadas con zoom, ya que mantiene el foco en todo el rango de distancias que permite la cámara.

4 Formato de archivo

El formato Exif es una abreviatura de "Exchangeable Image File Format" que se traduce como "Formato de intercambio de imagen". Creado como un formato de encabezamiento de imagen para cámaras digitales; facilita la inclusión de información en los archivos de imagen, tales como autor, fecha, exposición, perfil de color, uso de flash, tipo de foco u objetivo, etc. Consiste en el uso de etiquetas (tags) definidas para el estándar EXIF que cubren un espectro amplio:

- Fecha y hora. Las cámaras digitales registran la fecha y la hora actual y almacenan esta información en la etiqueta correspondiente.
- Configuraciones de cámara. Este punto incluye información estática como el modelo de cámara, el fabricante, e información que varía con cada imagen como la apertura, velocidad del obturador, distancia focal, medidor de exposición y la velocidad de la película.
- Información sobre localización.
- Descripción e información sobre derechos de autor.

La Tabla 1 muestra algunos de los valores Exif para una fotografía tomada con una cámara digital típica.

Tabla 1. Etiquetas del formato Exif.

Característica	Valor
Manufacturer	CASIO
Model	QV-4000
Date and Time	2003:08:15 16:45:32
Compression	JPEG compression
Exposure Time	1/659 s
MaxApertureValue	2.00
Focal Length	20.1 mm
PixelXDimension	2240
PixelYDimension	1680

De esta información, en este trabajo se utilizan las siguientes etiquetas:

- Date and Time: fecha y hora de captura de la imagen, que permiten mantener un registro con las secuencias de distancias al objeto en función del tiempo.
- Focal Length: es la distancia focal mencionada anteriormente, utilizada en el cálculo de la distancia al objeto.

- Pixel X y Pixel Y Dimension: ancho y alto de la imagen expresada en pixels, utilizada para el ajuste de la escala de distancia.

5 Descripción del método

Con la finalidad de describir el método desarrollado, se utilizará como referencia una cámara digital Nikon Coolpix P100, con las siguientes características:

- Resolución: 10, 5 y 2 Megapixels.
- Zoom: 26x.
- Rango de distancia focal: 4,6 - 120,0 mm.

Como se mencionó, este método está basado en las relaciones que existen en un sistema óptico dado por la Ec. 1, con una constante K de la cámara que se obtiene experimentalmente, a partir de mediciones de distancias conocidas. Luego, adaptando esta expresión a la cámara digital, la distancia D se obtiene mediante la ecuación:

$$D = \frac{F}{H} * L * K. \quad (4)$$

El valor de distancia D está expresado en metros y la constante K depende de la resolución de la imagen que se obtiene mediante los siguientes pasos:

- Medir la dimensión L (en X o en Y), de un objeto tomado como referencia.
- Ubicar el objeto a una distancia D conocida.
- Enfocar el objeto y tomar una imagen del mismo, con la mayor resolución y zoom posible.
- Descargar el archivo de la imagen y extraer de la información Exif que este posee, la distancia focal (Focal Length) y la resolución (Pixel X y Pixel Y Dimension).
- Leer la dimensión H (correspondiente a X o Y del inciso a)) en la imagen del objeto de referencia.
- Efectuar el cálculo de K mediante la ecuación:

$$K = \frac{H * D}{F * L}. \quad (5)$$

Como ejemplo del cálculo de K, los valores que tomaron estas variables utilizando el ancho de la patente de un automóvil como longitud L de referencia y una resolución de imagen de 10 Megapixels (3648 x 2736), resultaron los siguientes:

- L: 0,295 metros ; correspondiente al ancho de una patente de automóvil.
- D: 50,40 metros ; distancia desde el objeto a la cámara.
- F: 120 mm ; valor de distancia focal obtenido de la imagen.
- H: 420 pixels ; tamaño del ancho de la patente sobre la imagen.

El valor de K obtenido es 598 y la Fig. 5, muestra el resultado de esta medición para la resolución utilizada.



Fig. 5 Pantalla de medición de distancias

Con el valor de K calculado, se pueden realizar distintas mediciones de distancias al objeto de referencia. Luego, para otras resoluciones el valor de K varía de acuerdo a la siguiente relación:

$$K = \frac{598 * (\text{Pixel X Dimension})}{3648} \quad (6)$$

Donde, 598 es el valor de K obtenido para la máxima resolución (3648x2736) y Pixel X Dimensión, el ancho en pixel de la imagen. Para la cámara utilizada este valor cambiará con la resolución de acuerdo a la Tabla 2.

Tabla 2. Variación de K en función de la resolución.

Resolución	K
10 M (3648 x 2736)	598
5 M (2592 x 1944)	425
2 M (1600 x 1200)	262

6 Aplicación desarrollada

Esta aplicación fue desarrollada en Visual Basic, con el agregado de un control ActiveX de la empresa *Fath Software*, [7] denominado ImageX. Este control posee una amplia librería de funciones orientadas al procesamiento de imágenes, de las cuales se usaron los metodos "*ReadEXIF*", que extrae el encabezado Exif del archivo de imagen, "*GetEXIFTag*" permite leer cada etiqueta del exif, "*GetSelection*" lee las

coordenadas delimitadas con el mouse , “Crop” extrae la zona marcada previamente y “DrawLine” que permite marcar la dimensión H del objeto de referencia. Los formatos de estos métodos son:

- *Function ReadEXIF (Filename As String) As Long*, lee el encabezado exif desde el archivo de nombre Filename.
- *Function GetEXIFTag (TagName As String)*, donde TagName es el nombre de la etiqueta consultada. En este trabajo se utilizaron:
 - Sub.Width: identifica el ancho en pixels de la imagen
 - Sub.Height: identifica la altura en pixels de la imagen.
 - Sub.Focal: identifica la distancia focal.
- *Function GetSelection (X As Long, Y As Long, W As Long, H As Long) As Long*, donde X, Y son las coordenadas de inicio y W, H son el ancho y alto correspondientes a la zona de la imagen seleccionada, que se aplica en dos instancias del programa. La primera, para delimitar la zona de la imagen que posteriormente pasa a primer plano el área de medición y la segunda, para medir la dimensión H para el cálculo de distancia en la ecuación (4).
- *Function Crop (X As Long, Y As Long, W As Long, H As Long) As Long*, extrae la porción de imagen seleccionada.
- *Function DrawLine (X1 As Long, Y1 As Long, X2 As Long, Y2 As Long, Color As Long) As Long*, dibuja una línea sobre la imagen permitiendo marcar la distancia H de la imagen utilizada en la ecuación (4).

La información obtenida por estos métodos, permite extraer los valores de F y Pixel X Dimension, que intervienen en las ecuaciones (4) y (6), respectivamente.

7 Uso de la aplicación

Esta aplicación ha sido desarrollada para efectuar la medición en forma automática de la distancia a la que se encuentra un objeto de dimensiones conocidas. El principio de funcionamiento es óptico, a través del empleo de una cámara fotográfica digital. En el momento de captura de una foto, debe enfocarse el objeto de referencia, para asegurar el cumplimiento de la ecuación óptica en la que se basa esta medición.

Con la secuencia de fotos obtenidas, se inicia el programa que presenta un cuadro de funciones, como el indicado en la Fig. 6, donde los únicos controles habilitados en este momento son Abrir y Salir agrupados en el conjunto Funciones, y el botón objeto de Referencia (en este caso Ancho patente) que será utilizado como referencia en las mediciones.

Abrir: abre un cuadro de diálogo que permite seleccionar las fotos con que se va a trabajar. En el caso de haber seleccionado más de una foto, se habilitarán también los botones Anterior y Siguiente en el conjunto Funciones, que permite seleccionar sobre cuál de las fotos se trabajará. Este menú tiene el aspecto de la Fig. 6.



Fig. 6 Menú de Funciones

El proceso de medición puede realizarse directamente sobre la foto como se muestra o seleccionar un área de la misma sobre la cuál se efectúa un zoom, lo que permite trabajar con mayor exactitud.

La medición de distancia sobre cada imagen, se efectúa mediante los controles del cuadro Herramientas que se muestra en la Fig. 7 y posee los siguientes controles y acciones que se describen.



Fig. 7 Menú de Herramientas

Ampliar: muestra la porción de la imagen seleccionada con la opción *Marcar* en el máximo zoom posible y habilita el botón *Medir*.

Medir: ya sea que se trabaje sobre la imagen original o sobre la versión ampliada el proceso de medición es el mismo. Se posiciona el mouse en el inicio del *objeto de referencia* y manteniendo apretado el botón izquierdo se dibuja una línea hasta el final del mismo. Al finalizar el proceso en la ventana titulada *Distancia en metros*, se mostrará la distancia, expresada en metros, a la cual se encuentra dicho objeto. Al mismo tiempo se habilita el control *Archivo*, o el control *Guardar*, dependiendo si es la primera vez que se va a almacenar la información.

Guardar: presionando este control la medición efectuada será guardada en formato compatible con Excel (*.csv) o texto puro (*.txt). La información contiene el Nombre de la foto, la fecha (día y hora) en que fue tomada y la distancia medida. Cada vez que se graben los datos de una nueva foto, éstos se almacenan en una nueva línea.

8 Conclusiones

El método descrito en este trabajo demuestra que, mediante el empleo de una cámara digital de fácil disponibilidad y el desarrollo de un software sencillo, es posible diseñar un sistema de medición por estadimetría de excelentes prestaciones, el cual presenta las siguientes ventajas con respecto a la versión tradicional:

- a) No es necesario equipamiento específico, por lo tanto es más económico.
- b) Permite hacer registro de mediciones en un archivo.
- c) Su manejo es más sencillo e intuitivo.
- d) Cualquier objeto sirve como referencia.
- e) Permite obtener mediciones con la cámara o el objeto en movimiento ya que el estabilizador de imagen soluciona este inconveniente.

La resolución y rango de medición depende de las prestaciones de la cámara (zoom, resolución en Megapixels, y estabilizador de imagen), con una mejora permanente en especificaciones y costo, con el transcurso del tiempo.

Utilizando la cámara mencionada y tomando como referencia el ancho de una patente que es de aproximadamente 30 cm y una proyección sobre la imagen que ocupe por lo menos 100 pixels a máximo zoom ($F=120$ mm); en el presente trabajo se obtuvo un rango máximo de medición de hasta 200 metros, con una exactitud de 1/100 pixels, lo cual corresponde a un error absoluto de 2 metros, equivalente al 1%.

Referencias

1. Francisco Domínguez García – Tejero: Topografía general. Ediciones Mundi – Prensa. 12^o Edición (1993)
2. Dante Alcántara García: Topografía. Editorial McGraw – Hill. 1^o Edición (1990).
3. Standard of Japan Electronics and Information Technology Industries Association, JEITA CP-3451: Exchangeable image file format for digital still cameras: Exif Version 2.2, <http://www.jeita.or.jp/english/standard/html/I4.htm>, 2002.
4. J. Tesic, "Metadata practices for consumer photos," IEEE Multimedia, vol. 12, no. 3, pp. 86-92, Jul.-Sep. 2005.
5. María Sagrario Millán, Jaume Escofet y Elisabet Pérez: Optica Geométrica. Ariel Ciencia. 1^a Edición (2004)
6. S. Bell: Lens evaluation for electronic photography. SPIE. vol. 1448, pp.59 -68 1991
7. Fath Software, <http://www.fathsoft.com/>