

# Modelación Geométrica de un Escáner 3D Mediante la Técnica del Sheet Of Light Usando Matlab

J. Madrigal<sup>1</sup>, I. Ramírez<sup>2</sup>, J. Vargas<sup>3</sup>, F.H.Campo<sup>4</sup>.

Facultad de Ciencias Básicas ITM Institución Universitaria

**Resumen**— El presente trabajo expone un procedimiento para la recuperación de puntos coordenados que conforman objetos geométricos tridimensionales, fundamentado en técnicas de triangulación asistida por computador. En este se exhibe en forma esquemática el método activo de reconstrucción de superficies simulado en computador conocido como Sheet Of Light (SOL). La triangulación se realiza relacionando los elementos geométricos: un punto de referencia, un plano de observación y un plano de profundidad. La reconstrucción del sólido se obtiene calculando los puntos de intersección entre el plano de profundidad y un vector construido entre el punto de referencia y un punto del plano de observación que corresponda a un punto imagen. Se desarrolla la reconstrucción de un objeto geométrico en 3D a partir de una imagen digital simulada en 2D usando Matlab como ambiente portador. El sistema es comparable con los sistemas ópticos de escaneo en 3D al establecer la correspondencia entre el plano de profundidad con el plano de iluminación, el plano de observación con el plano del sensor de la cámara de registro y el punto de referencia con el foco de la lente de la cámara de un sistema óptico. Los resultados que ofrece este ejercicio pueden ser de utilidad en el estudio del control de calidad de las imágenes que proveen los equipos de las industrias manufactureras de digitalizadores de objetos geométricos en 3D.

**Palabras clave**— Geometría computacional, (Geometrical Computation), Hoja de luz (Sheet Of Light), Matlab, Reconstrucción Geométrica, (Geometric Reconstruction), Triangulación (Triangulation), Vision 3D.

## I. NOMENCLATURA

$S_w = [X_w, Y_w, Z_w]$  Sistema coordenado de referencia global.

$M$ : 2- Manifold, continuidad  $C^0$  sin bordes  $\in \mathcal{R}^3$

<sup>1</sup> Profesor de la Facultad de Ciencias Básicas del ITM jairo.madrigal@gmail.com

<sup>2</sup> Profesor de la Facultad de Ciencias Básicas del ITM ilianaramirez@itm.edu.co

<sup>3</sup> Profesor de la Facultad de Ciencias Básicas del ITM javiervargas@itm.edu.co.

<sup>4</sup> Profesor de la Facultad de Ciencias Básicas del ITM fraycampo@itm.edu.co

$f_i$ : Cara  $i$  ésima del sólido geométrico  $M$

$V_{ji}$ : Vértice  $j$  ésimo de la cara  $i$  ésima.

$p_{vl}$ : Punto pivote del plano de iluminación

$n_l$ : Vector normal del plano de iluminación

$A_v$ : Vector de dirección de propagación del plano de iluminación.

$\theta_a$ : Ángulo de apertura del plano de iluminación.

$\pi_l(i) = (n_l = zpl, p_{vl}(i), A_v, \theta_a)$ : Plano de iluminación  $i$  ésimo

$\pi_c$ : Plano de la cámara.

$O_c$ : Origen del plano de la cámara.

$F$ : Punto de observación.

$n_c$ : Vector normal al plano de la cámara.

$G_s$ : Resolución del plano de la cámara reticulado.

$L_{\min}$ : Limite inferior del pivote del plano de iluminación.

$L_{\max}$ : Limite superior del pivote del plano de iluminación.

## II. INTRODUCCIÓN

La realización de medidas en el espacio 3D no es un tema frecuente en la literatura de visión artificial [5].

Generalmente, las técnicas de reconstrucción de sólidos asistida por computador se fundamentan en el tratamiento de un conjunto de puntos geométricos que representen el sólido en el espacio. La técnica expuesta aquí consiste en la triangulación entre los puntos de intersección entre un plano y un vector en el espacio geométrico, con características similares a las presentadas en [1]-[5]. Aunque las técnicas de reconstrucción de puntos son diversas, entre las que se pueden contar: Codificación de la Luz [14], Sistemas de Contorneado de Moire [15], Estéreo Visión [16], Tiempo de Vuelo, entre otros; en [8], [9],[10] aparecen clasificaciones en términos de técnicas de reconstrucción pasivas y activas principalmente. Las técnicas activas aparecen divididas en dos grupos, en uno

intervienen dos o más cámaras estáticas conocido con el nombre de estéreo visión [13], y en otro se usa una cámara que toma imágenes desde posiciones diferentes. En [17] es posible encontrar información de las industrias manufactureras de digitalizadores 3D.

En el presente trabajo expone el desarrollo de un esquema asistido por computador que es funcional para la reconstrucción de un cuerpo geométrico opaco a partir de un arreglo de puntos, condicionado a un esquema de ordenamiento geométrico de la técnica activa conocida como hoja de luz, SOL siglas del inglés Sheet Of Light, o Slit Ray [5], que finalmente son equivalentes.

En principio se proponen dos esquemas, el primero hace las veces de un sistema de iluminación y de captura de imágenes a la manera de una cámara digital para la obtención de una imagen digital simulada, encargado de representar en el plano de observación, las proyecciones de la línea de profundidad hacia el punto de referencia que bien puede hacer las veces de punto focal. El segundo esquema parte de la imagen digital simulada, el punto de observación y las posiciones de los planos de iluminación. El método de triangulación aquí utilizado se fundamenta en el hecho de que es posible conocer las coordenadas de un punto en el espacio, si se conoce la coordenada del punto en el plano del sensor, la dirección del plano de iluminación y un punto de observación de la escena [5]. A partir de estas situaciones se triangula cada uno de los puntos del plano de la foto al proyectar la línea que une el punto de observación con cada punto del plano de la foto intersecándose con el plano de iluminación que generó el conjunto de puntos sobre el plano de la foto. Esta es la forma como se obtiene la representación de las coordenadas del sólido en este documento.

Los resultados obtenidos se han realizado en Matlab como ambiente de programación, y las gráficas se han escalado en coordenadas naturales donde el patrón de medida es la unidad con el objetivo de hacer una visualización proporcionada a la escala

### III. MODELACIÓN DEL ESCÁNER.

El modelo geométrico del escáner está constituido de dos esquemas de desarrollo: uno, el esquema de muestreo, encargado de simular el sistema de barrido del plano de la luz sobre el escenario. El segundo, encargado de hacer la reconstrucción del objeto con base a los parámetros fijados por el esquema de muestreo.

A. *Esquema de muestreo*: Está constituido por un plano de libre desplazamiento sobre un eje normal  $Z_L$  con paso  $\Delta L$  dentro de un rango establecido entre  $[L_{\min}, L_{\max}]$ , definido en un sistema de referencia en  $R^3$  que se llamará sistema global de referencia  $Sw$ . La proyección de este plano

sobre el espacio puede interpretarse como la propagación de un plano de iluminación  $\pi_L(i)$ . La intersección del plano con un objeto definido geoméricamente sobre la misma región del espacio será representado por la línea de corte entre los dos objetos geoméricos planos. La Fig. 1 muestra la línea de corte entre  $\pi_L(i)$  y el objeto  $M$ , formado por elementos triangulares planos. El esquema de muestreo es completado con el registro de la proyección con perspectiva hacia un punto de observación  $Obs$ , de la línea de corte sobre un tercer sistema de referencia que hace las veces del plano de la cámara  $\pi_C$  y que representa la imagen de la línea de corte sobre el plano de la cámara. Finalmente esta imagen es discretizada a modo de tener una representación denominada imagen digital. De este esquema de muestreo es rescatable para efectos de la reconstrucción del objeto, la imagen digital, tanto como las características de los planos de iluminación que generaron el correspondiente conjunto de puntos y la posición y características del plano de la cámara.

En la Fig. 1 puede verse el diseño del montaje del sistema de muestreo, desde la perspectiva operativa del proceso de obtención de una imagen discretizada. Para cada línea formada por el plano de iluminación sobre el objeto se forma una línea sobre el plano de la cámara

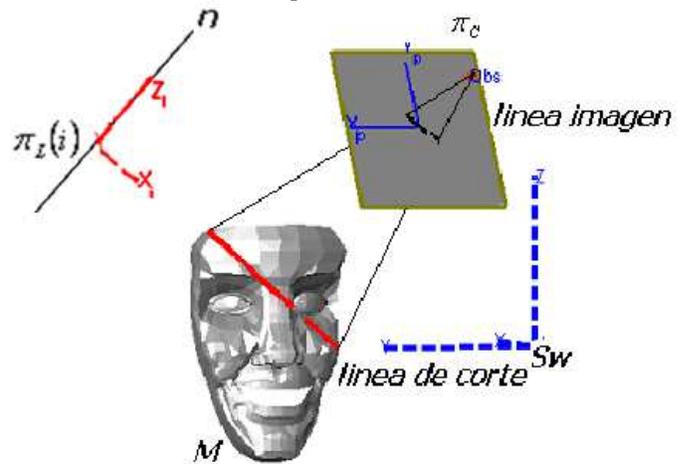


Fig. 1. Configuración del montaje de muestreo

La obtención de los puntos muestreados se realiza mediante una serie de convenciones y cálculos geométricos entre los que se cuenta con un sistema de referencia ( $Sw$ ), un plano de iluminación definido en función de parámetros como un punto de pivote, un vector normal al plano, un ángulo de apertura y un vector de direccionamiento de propagación del plano de iluminación. El objeto geométrico es representado por un cuerpo  $M$  configurado a partir de puntos geométricos que estructuran elementos triangulares que en conjunto conforman el sólido geométrico. El plano de la cámara es definido en función de un punto origen, un vector normal, un vector de orientación, un punto de observación y el tamaño

de la retícula, este último a modo de resolución del plano de la cámara.

La Fig. 2 ilustra el objeto geométrico escaneado, los planos de iluminación espaciados  $\Delta L$  sobre el eje de desplazamiento; el plano de la cámara y la proyección de las líneas de corte sobre este mismo, además del punto de observación, en conjunto ubicados dentro de un sistema de referencia global  $S_w$ .

El objeto del cálculo aquí ilustrado en forma esquemática es conseguir el conjunto de puntos  $D$ , de coordenadas  $i, j$  sobre el plano de la cámara que representen una imagen digital simulada de cada uno de los puntos geométricos  $x, y, z$  que representan las líneas de intersección del plano de iluminación con el objeto  $M$ .

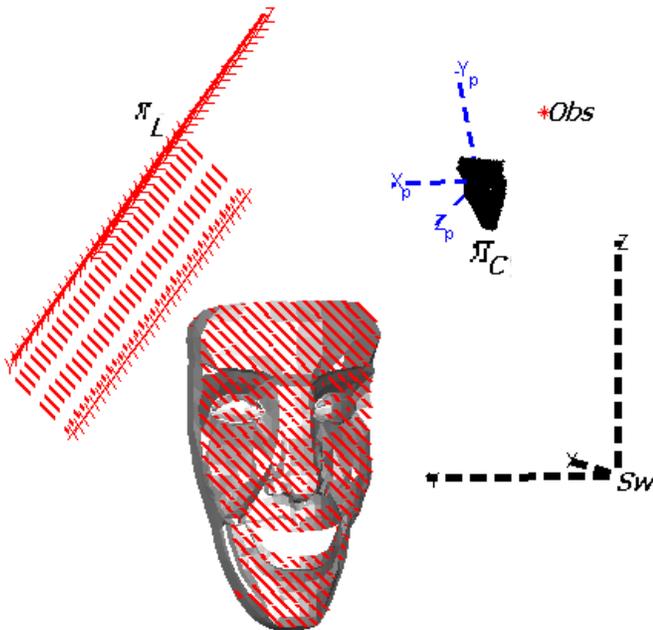


Fig. 2. Panorámica del escenario de escaneado

En el esquema de la Fig. 3 se marca un grupo de procesos entre los objetos geométricos. El proceso empieza desarrollando un algoritmo que calcula los puntos de las líneas de corte del plano de iluminación  $\pi_L(i)$  con la concha  $M$ , de manera que se satisfaga la condición

$$(p_1, p_2) = \pi_L(i) \cap f_i;$$

seguido de un proceso de selección de las líneas que están en el ángulo de visión de la cámara,

$$\{p_1, p_2\} = \{(x, y, z) / (x, y, z) \in (\pi_L \cap M) \cap p(\lambda)\}.$$

Siendo  $p(\lambda)$  un vector que define la línea visual de la cámara. Desde allí es calculada la proyección de los puntos de corte sobre el plano de la cámara

$$q_1 = \text{proj}(p_1, \pi_c, F) \text{ y } q_2 = \text{proj}(p_2, \pi_c, F).$$

La Fig. 4 muestra la imagen del objeto en el plano de la cámara, en coordenadas calculadas desde el sistema  $S_w$ , en ella pueden verse marcados los puntos de intersección de dos planos, uno el plano formado por el elemento triangular de la concha, y el plano de iluminación, además de la línea que une dichos puntos.

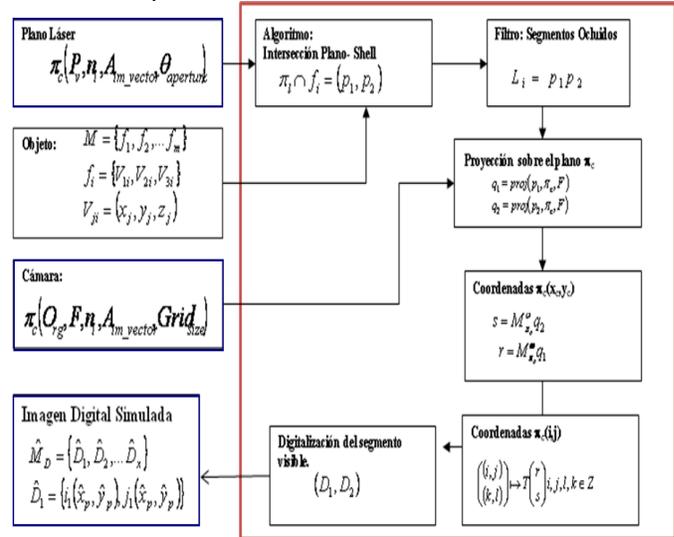


Fig. 3. Diseño esquemático del sistema de muestreo

Estos puntos son referenciados a las coordenadas cartesianas del plano de la cámara mediante una matriz de transformación de cambio de base, a la manera de transformación euclidiana [6], para así obtener coordenadas  $s = M_{\pi_c}^w q_1$  y  $r = M_{\pi_c}^w q_2$  del plano de la foto.

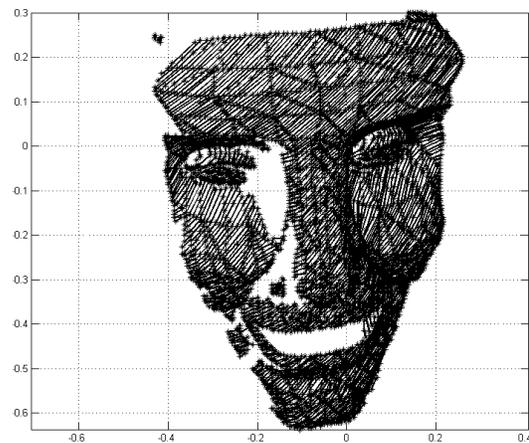


Fig. 4. Representación de elementos del objeto  $M$  capturados en el plano de la cámara

Finalmente a las coordenadas del plano de la foto se someten a un cálculo de transformación de reales  $r, s$  a coordenadas enteras  $i, j$  simulando los pixeles de una imagen digital

$$\begin{pmatrix} (i, j) \\ (k, l) \end{pmatrix} \mapsto T \begin{pmatrix} s \\ r \end{pmatrix} \quad i, j, l, k \in Z$$

La Fig. 5 muestra la representación de la imagen calculada en coordenadas discretas  $i, j$ , correspondientes al pixelado sobre el plano de la cámara

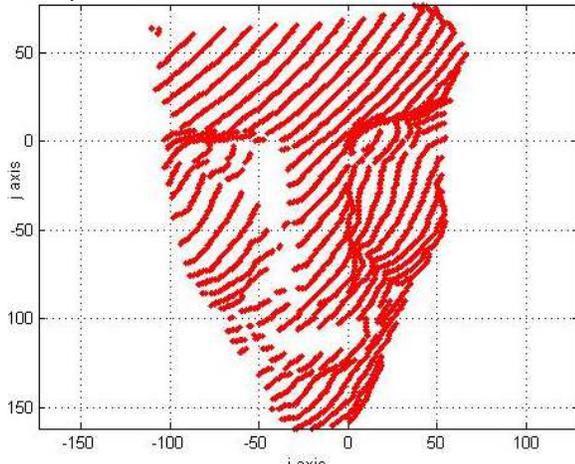


Fig. 5. Imagen pixelada del objeto

B. *Esquema de reconstrucción*: consta de tres objetos geométricos básicos a través de los cuales se triangula la coordenada  $\hat{p}_{ji} = (\hat{x}_j, \hat{y}_j, \hat{z}_j)$  del punto del objeto a reconstruir. Para la obtención del punto son retomados entre del proceso de escaneo el conjunto de puntos que corresponden a la imagen digital simulada,  $\hat{M} = \{\hat{D}_1, \hat{D}_2, \dots, \hat{D}_x\}$ ; los planos de iluminación  $\pi_l(p_{vl}, n_l, A_v, \theta_a)$ , las coordenadas de la cámara y el punto de observación  $\pi_c(O_c, F, n_c, G_s)$ . la Fig. 6 ilustra en forma gráfica estos objetos geométricos.

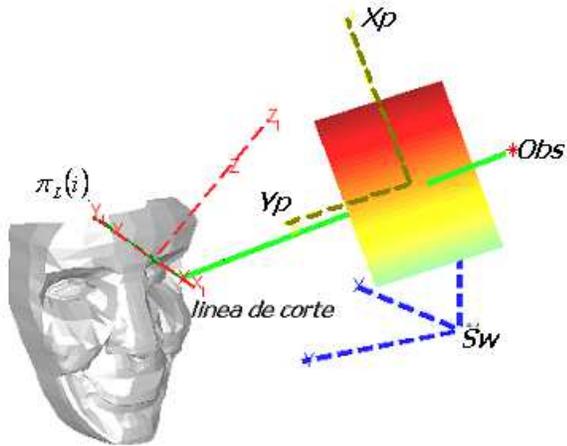


Fig. 6. Representaciones grafica del modelo triangulación y de reconstrucción de los puntos sobre el objeto

La Fig. 7 ilustra en forma esquemática estos objetos geométricos y la secuencia de procesos empleados para la reconstrucción.

En primer lugar se hace la transformación de coordenadas discretas, coordenadas píxel  $i, j$ , a coordenadas reales cartesianas en el plano de la foto  $x_p, y_p$   $[[i, j]] \mapsto T(\hat{r})$ ; luego se realiza la transformación de las coordenadas cámara a coordenadas del sistema de referencia ubicado en el origen de Sw mediante una transformación euclidiana de

cambio de base,  $\hat{q}_i = M_w^{\pi_c} \hat{r}$ . Con estas coordenadas espaciales se trazan las líneas visuales desde el punto de observación,  $p(\lambda) = F + \lambda(q_i - F)$ [18]; que al interceptarse con el plano de iluminación correspondiente, generan la reconstrucción de uno de los puntos  $\hat{P}_{ji} = (\hat{x}_j, \hat{y}_j, \hat{z}_j)$  del objeto.

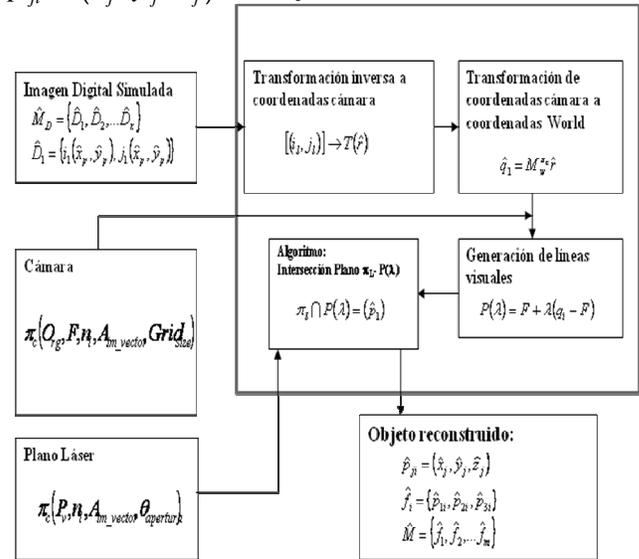


Fig. 7. Esquema de reconstrucción

La triangulación es realizada por la proyección al infinito del vector entre el punto de observación con el punto de interés en el plano de la cámara, y su intersección con el plano  $\pi_L(i)$  de iluminación que ha generado ese conjunto de puntos. El punto reproducido será entonces el punto de corte entre la línea proyectada y el plano de iluminación. La Fig. 6 ilustra esta situación geométrica.

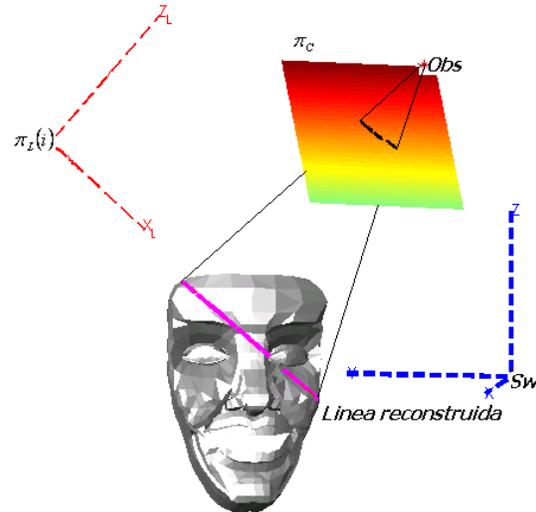


Fig. 8. Escenario del objeto reconstruido

Posteriormente el conjunto de datos es sometido a procesos de enmallado con los cuales se pueden conseguir diferentes formatos para el enmallado, ellos pueden ser a partir del conjunto de puntos  $\hat{f}_i = \{\hat{p}_{1i}, \hat{p}_{2i}, \hat{p}_{3i}\}$  o bien como conjunto de polígonos planos formados entre los puntos

$\widehat{M} = \{\widehat{f}_1, \widehat{f}_2, \dots, \widehat{f}_n\}$ . La Fig 9 muestra el objeto reconstruido a partir de rectas entre los puntos



Fig. 9. Objeto reconstruido

#### IV. APLICACIONES

Este procedimiento puede ayudar a marcar los parámetros de calidad de las imágenes obtenidas y reproducidas por los sistemas digitalizadores de imágenes.

#### V. AGRADECIMIENTOS:

Los autores reconocen las contribuciones del Dr Oscar Ruiz, director del laboratorio CAM/CAD/CAE de la universidad EAFIT. A los ingenieros Luis Fernando Duque, Sebastián Peñaa, Eliana Vahos, Leidy Y. Suarez por sus aportes al desarrollo de este ejercicio.

#### VI. REFERENCIAS.

##### *Artículos de revista:*

- [1] J.-A. Beraldin, F. Blais, M. Rioux, L. Cournoyer, D. Laurin, and S.G. MacLean, "Eye-safe digital 3D sensing for space applications," *Opt. Eng.* 39(1), (2000), pp. 196-211
- [2] D. Fofi, J. Salvi, E.M. Mouaddib. "Uncalibrated Vision Based on Structured Light".
- [3] L. Gonzo, M. Gottardi, A. Simoni, and J.-A. Beraldin, "A novel optical bi-cell integrated readout circuitry," *Proceedings of the 1999 IEEE International Symposium on Circuit and Systems*, Orlando, FL. May 30-June 2, (1999).
- [4] L. Gonzo, A. Simoni, M. Gottardi, D. Stoppa, "Smart Sensors for 3D Digitization", *Proceedings IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference (IMTC)*. Budapest, Hungary, (2001).

##### *Artículos presentados en conferencias publicados:*

- [5] Preciado Diaz, Victor M. "Método para la reconstrucción 3D Basada en la Utilización de Luz Estructurada". *Actas del XIII congreso Internacional de Ingeniería Grafica*. Badajoz, Universidad de Extremadura. Junio 2001.

- [6] B. Boufama, R. Mohr, F. Veillon, "Euclidean constraints for uncalibrated reconstruction", *Proc. of the 4<sup>th</sup> Int. Conf. on Computer Vision*, Berlin (Germany), pp. 466-470, 1993.

##### *Cybergrafia*

- [7] Cubicscope.  
<http://hilbert.elcom.nitech.ac.jp/CubicscopeHP/principle/triangulation.html#depth>
- [8] Vision Systems  
[http://www.cm.cf.ac.uk/Dave/Vision\\_lecture/node1.html](http://www.cm.cf.ac.uk/Dave/Vision_lecture/node1.html)
- [9] Adquisición de Datos 3D.  
<http://www.vision.irl.cri.nz/research/3d/overview/acquisition.html>
- [10] Adquisición de la Imagen  
[http://www.cm.cf.ac.uk/Dave/Vision\\_lecture/node9.html#SECTION00132100000000000000](http://www.cm.cf.ac.uk/Dave/Vision_lecture/node9.html#SECTION00132100000000000000)
- [13] Estéreo Visión activa.  
[http://www.cm.cf.ac.uk/Dave/Vision\\_lecture/node11.html#figsimple\\_stereo](http://www.cm.cf.ac.uk/Dave/Vision_lecture/node11.html#figsimple_stereo)
- [14] Proyectin Bundle of Rays,  
<http://www.prip.tuwien.ac.at/Research/3DVision/struct.html>
- [15] Moire Fringe Counting System.  
<http://www.faraday.gla.ac.uk/moire.htm>
- [16] Stereo Vision.  
<http://www.prip.tuwien.ac.at/Research/3DVision/nvp.html>
- [17] Industrias Manufactureras de Digitalizadores 3D.  
[http://www.vit.iit.nrc.ca/Pages\\_Html/English/Links.html](http://www.vit.iit.nrc.ca/Pages_Html/English/Links.html)

##### *Libros:*

- [18] M.E Mortenson. "Mathematics for Computer Graphics". Industrial press, Inc. Second Edition, 1999.