

MONITOREO MARINO-COSTERO Y FLUVIAL BASADO EN CÁMARAS DE VÍDEO: EVOLUCIÓN DEL PROYECTO HORUS

Andrés F. Osorio^{1*}, Cristian A. Ortiz¹, Juan C. Pérez¹ y Raúl Medina²

¹Grupo de Investigación en Oceanografía e Ingeniería Costera (OCEANICOS). Escuela de Geociencias y Medio Ambiente. Universidad Nacional de Colombia.

²Grupo de Ingeniería Oceanográfica y de Costas. Universidad de Cantabria (GIOC). afosorioar@unal.edu.co, caortiz1@unal.edu.co, jcperez@unal.edu.co, medinar@unican.es

RESUMEN

Uno de los mayores problemas al momento de estudiar e intervenir sistemas naturales, en particular los entornos costeros y fluviales, es la carencia de información. La importancia de estos sistemas dadas las diversas funciones que cumplen, ha motivado el uso de métodos como la teledetección, el radar, la fotografía aérea y los sistemas basados en video y/o imágenes, para suplir la deficiencia de información e incluso conseguir un volumen de datos más grande y confiable. El presente trabajo pretende dar a conocer los resultados obtenidos dentro del proyecto HORUS (www.horusvideo.com), el cual ha permitido desarrollar una herramienta de investigación y gestión de información basada en cámaras de video; compuesta por un sistema de toma de datos, almacenamiento, pre-procesamiento, procesamiento y publicación de resultados en un sistema web. HORUS ha sido financiado por el “Instituto de Hidráulica Ambiental de Cantabria – IH Cantabria” y la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID), entre otros. Se ha desarrollado en conjunto por diversos investigadores de los grupos de investigación GIOC de la Universidad de Cantabria (España) y OCEANICOS de la Universidad Nacional de Colombia, convirtiéndose en una alternativa novedosa para monitorear la dinámica de ambientes marino-costeros y fluviales, otorgando información valiosa para los gestores.

Palabras clave: Sensores Remotos, Gestión Costera, Cámaras de Vídeo.

ABSTRACT

One of the greatest problems at the time of studying and taking part natural systems, particularly coastal and fluvial systems, is the lack of information. The importance of these systems is given by diverse functions that fulfill, and that has motivated the use of teledetection methods like radar, aerial photography and digital images based systems to replace the information deficiency and to even obtain greater and reliable a volume of data. This paper aims to raise awareness the results obtained within the HORUS project (www.horusvideo.com) which has aided to develop a tool for research and coastal management based in cameras, this consists of a system for data collection, storage, preprocessing, processing and publication of results in a Web system. HORUS was funded by the "IH Cantabria" and AECID (Spanish International Cooperation Agency), among others. It has been developed jointly between the research groups GIOC of the University of Cantabria (Spain) and OCEANICOS of the National University of Colombia. It becomes a novel alternative to monitor coastal processes and the dynamics of use, yielding useful information to understand the processes and support the decisions of managers of these coastal areas.

Keywords: Remote Sensors, Coastal Zone Management, Video Cameras.

INTRODUCCIÓN

Los sistemas naturales cumplen diversas funciones tales como regulación del clima, protección de las poblaciones ante eventos naturales extremos, proveedores de recursos, espacios lúdicos, entre muchos otros. Éstos son sometidos a presiones antrópicas y naturales que amenazan con afectar la funcionalidad de muchos de estos espacios; por tanto, es de gran importancia conocerlos y gestionarlos adecuadamente, tarea que se dificulta por la ausencia de información para investigar estos procesos y sus afectaciones (Davidson *et al.*, 2007; Southgate *et al.*, 2003). Para llenar este vacío de información surgen técnicas de adquisición de datos a partir de metodologías basadas en los sensores remotos, las cuales han tenido un gran auge en las dos últimas décadas gracias a las grandes ventajas ofrecidas a nivel de toma de datos (accesibilidad y resolución espacial fina). En esta línea toman fuerza los sistemas basados en cámaras de video (o fotográficas).

Cuando se hace referencia a las problemáticas ambientales a resolver, el panorama puede ser muy amplio, pero en este trabajo se hará énfasis en temas marino-costeros, fluviales y de laboratorio, aunque el espectro de temas también puede incluir tópicos atmosféricos, geológicos, entre otros. En cuanto a la escala de estudio, consideramos que el ámbito de este trabajo es la escala local, la cual puede variar desde los centímetros hasta los kilómetros, y a nivel temporal desde los segundos hasta los años. Se hace esta aclaración por que existen otros sistemas basados en imágenes que cubren otras escalas, tales como los basados en satélites, los sistemas para microscopia mineral, etc. Entre las variables a medir se pueden mencionar algunas que HORUS puede estimar actualmente, tales como: líneas de costa, perfiles de playa, batimetrías, topografías y número de usuarios en las playas. Sin embargo existen investigaciones en desarrollo para la estimación de velocidades en ríos y parámetros del oleaje a pie de playa.

Este artículo presenta los avances del sistema HORUS (www.horusvideo.com), un sistema para el monitoreo marino-costero y fluvial basado en cámaras de vídeo, como una iniciativa conjunta entre la Universidad Nacional de Colombia y la Universidad de Cantabria, algunos de sus avances, sus aplicaciones y su contexto dentro del estado del arte actual en el tema.

ANTECEDENTES

Las fotografías aéreas, imágenes de satélite, mediciones con tecnología radar, sistemas de video, entre otras, han mostrado su utilidad en la medición de innumerables variables de manera directa y muchas otras por inferencia, gracias a post-procesamientos y al entendimiento teórico de los fenómenos estudiados. De cualquier manera, todas estas opciones parten de características visibles en su campo de medida y cuando esta información puede ser llevada a un sistema de coordenadas conocido, se pueden realizar análisis de evolución espacio-temporal del fenómeno, lo que en muchos casos da una óptica interesante de cualquier variable. Afortunadamente, muchos procesos pueden

ser inferidos a partir de marcas o rasgos visibles sobre la superficie del mar, el río o la playa, lo que abre la posibilidad de que estos sean medidos a través de sensores como los mencionados (Walker, 1994; Lippmann y Holman, 1991; Holland *et al.*, 1997; Chickadel *et al.*, 2003; Aarninkhof, 2000; 2005).

Los fenómenos y procesos que ocurren en los ambientes marino-costeros y fluviales son de gran complejidad, tanto desde el punto de vista teórico como desde su medición en campo. Una de las principales razones para esto es el amplio rango de escalas espaciales y temporales de dichos fenómenos. Se puede hablar en la escala espacial del orden de los centímetros en la formación de *ripples* hasta los kilómetros en la formación de *mega cups*; y en la escala temporal podemos observar variaciones en la configuración en el perfil transversal de playa a causa de temporales en el orden de los minutos-horas, mientras que cambios en la forma en planta pueden tardar años. Es este panorama, el que da sentido al uso de los sensores remotos (cámaras de video) para buscar un mejor monitoreo costero, con mejor resolución espacial y temporal, por periodos más largos a un costo menor.

Los inicios de la aplicación de sistemas ópticos en zonas costeras se da a mediados de la década de los 80's cuando la Oregon State University (OSU) creó el Coastal Imaging Lab (CIL), en donde se inició la experimentación con fotografías instantáneas para tratar de capturar series de tiempo de *runup* en un área de playa de la ciudad de Oregon (Estados Unidos) (Holman y Bowen, 1984). En dicha zona bajo condiciones de tormenta, las olas alcanzan alturas de hasta 5 m y una zona de *surf* de hasta 1 km., lo que hacía que la medición por métodos tradicionales fuera prácticamente imposible.

Dada la necesidad de automatizar todos los procesos relacionados con la digitalización de las imágenes y video, al igual que todo el post-procesamiento de la información, surgió el sistema Argus con su primera estación en el año de 1992. Ubicada en Yaquina Head, Oregon, ésta se conectaba vía Internet con la OSU permitiendo la toma de imágenes en escala de grises de manera continua en

las horas diurnas (Osorio, 2005). Sin embargo, el desarrollo tecnológico en la capacidad de procesamiento, la inclusión del color y las mejoras en la resolución de captura de imágenes-videos digitales, han permitido un avance importante en el alcance de las aplicaciones desarrolladas para el monitoreo ambiental, permitiendo la evolución de Argus en dos generaciones más, tal y como se describe en detalle en Holman y Stanley (2007). De igual manera, han surgido de forma paralela múltiples iniciativas alrededor del mundo buscando soluciones a necesidades particulares aprovechando este enfoque, como son los casos del proyecto INDIA (Morris *et al.*, 2001) y, el proyecto HORS (Takewaka *et al.*, 2003) para el monitoreo costero a través de globos aerostáticos, entre otros.

Proyecto CoastView

En el año 2002 La Universidad de Cantabria (UNICAN) se vinculó en el proyecto *Coastview* (<http://www.thecoastviewproject.org>), el cual tenía como unos de sus principales objetivos apoyar la labor de los gestores y técnicos mediante la construcción de indicadores que representan los procesos físicos que ocurren en el entorno costero. Para este fin, en el proyecto se utilizaron datos obtenidos a través de los sistemas de captura basados en vídeo (Argus), para construir Indicadores de Estado Costero (CSIs, por sus siglas en inglés), definidos como un grupo reducido de parámetros que permitieron de manera sencilla y cuantitativa describir los estados de la dinámica de los sistemas costeros, al igual que sus tendencias de evolución. Dichos parámetros definían un rango de valores aceptables que representaban un estado deseable del sistema, y se plantaban intervenciones (dragados, rellenos de playas, usos, dispositivos de seguridad, etc) cuando los indicadores se alejaban de dicho rango. Esta iniciativa contó con la participación de doce instituciones de seis países diferentes, estudiando y proponiendo metodologías e indicadores a playas con usos, características y problemáticas variadas. Dentro de este proyecto se realizó la aplicación de indicadores para el manejo de la playa de “El Puntal” en Santander (España), dada su importancia turística, ecológica e incidencia con el canal de navegación del Puerto de Santander. Este trabajo de indicadores con miras a la gestión costera fue realizado por la Universidad de Cantabria, donde se enmarcó la investigación doctoral de Osorio (2005), aquí se desarrollaron los primeros algoritmos y metodologías propias que posteriormente serían retomadas por el sistema HORUS.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El diseño y desarrollo del sistema HORUS se presenta a continuación mediante un recorrido de sus avances y muestra de aplicaciones, terminando con un breve resumen de su aplicación en Colombia.

Estructura del sistema HORUS 1.0

A raíz de la experiencia de la Universidad de Cantabria en el *Coastview Project* en 2006, y con base en los resultados de (Osorio, 2005), comenzó a gestarse la idea de crear un sistema de monitoreo entre la UNICAN y la Universidad Nacional de Colombia (UNAL), con el objeto de establecer una plataforma que pudiera distribuirse para fines de investigación y gestión ambiental en los países de habla hispana y en aquellos en vías de desarrollo principalmente, aportando a la conservación de los recursos naturales. El esquema de funcionamiento del sistema HORUS es ilustrado por la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** 1, donde se muestra la captura de datos, su transmisión, procesamiento y posterior publicación en Web.

La primera versión del software de procesamiento contenía en su mayoría algoritmos basados en metodologías y procesos aplicados en el *Coastview Project* que fueron aplicados en los dos sitios pilotos del proyecto: la playa de La Magdalena y de El Sardinero (Santander, España). Los resultados de esta fase inicial aunque prometedores, eran aun insuficientes para otorgar información útil para la gestión, por lo que se abrieron cuatro líneas de desarrollo principalmente: modelos de calibración de cámaras (Perez, 2009); detección de línea de costa y estimación de perfiles de playa (Ortiz, 2009); estimación de usuarios en playa (Osorio, 2009); y estimación de parámetros hidrodinámicos en canales y playas (Osorio,2010).

En el año 2008 la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID) aprobó un proyecto de acción conjunta entre la UNAL y UNICAN, que apuntaba al fortalecimiento del grupo de investigación OCEANICOS (Grupo de investigación en Oceanografía e Ingeniería Costera) de la

UNAL por medio de la transferencia tecnológica y la capacitación de investigadores. Dicho fortalecimiento se articuló a través de la instalación de una estación piloto en la ciudad de Cartagena en Noviembre de 2008 para el monitoreo de las playas turísticas de “Bocagrande” (3 cámaras) y del sector de “El Laguito” (una cámara), buscando obtener información sobre las problemáticas de erosión–sedimentación y del uso turístico. Desde entonces se ha trabajado en crear y mejorar los módulos de procesamiento y postprocesamiento del sistema, para automatizar la publicación de resultados en el portal Web (www.horusvideo.com).

Calibración de Cámaras

Para realizar mediciones de distancias en imágenes fotográficas, se debe compensar los efectos causados por la perspectiva y por la distorsión asociada a los lentes de la cámara y entre la comunidad científica goza de gran aceptación el uso del modelo Pinhole para modelar las cámaras fotográficas y realizar dichas correcciones (Faugeras, 1993; Hartley y Zisserman, 2003; Wolf, 2000). El modelo Pinhole se basa en el principio de colinealidad para describir la relación entre un punto en el espacio (x,y,z) y su respectiva proyección en la imagen (u,v) ; es decir, supone que cada punto en el espacio y su correspondiente proyección en la imagen están sobre una línea recta que pasa por el centro óptico de la imagen. Teniendo en cuenta los efectos de la distorsión radial causada por los lentes, el modelo Pinhole puede escribirse como una función no lineal, F , que depende de los parámetros de la cámara para realizar la transformación de (x,y,z) a (u,v) :

$$(u, v) = F_{(fD_u, fD_v, u_0, v_0, \theta, \sigma, \phi, x_c, y_c, z_c)}(x, y, z)$$

Donde f es la distancia focal de la cámara, D_u y D_v son parámetros de escalamiento, (u_0, v_0) es el centro de la imagen, (θ, σ, ϕ) son ángulos de rotación y (x_c, y_c, z_c) son las coordenadas del centro óptico de la imagen, como se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia. 2.**

Para resolver este modelo se hace uso de varios puntos de control, definidos como puntos identificables en la imagen de los cuales se tienen sus coordenadas en el espacio, y se utilizan métodos de optimización o transformaciones lineales para obtener los parámetros del modelo o

aproximaciones lineales del mismo, respectivamente (Faugeras, 1993; Heikkilä, J. y Silvén, 1997; Osorio *et al.*, 2007; Salvi *et al.*, 2002).

En Pérez (2009), tesis enmarcada en el proyecto HORUS, se hace un estudio detallado del modelo Pinhole y su construcción, los efectos de la distorsión y los métodos presentados en la literatura para calcular los parámetros del modelo. Se incluyen acercamientos a procesos de optimización para la solución de los parámetros del modelo Pinhole mostrando la superioridad del de Levenberg-Marquardt, se estudia la influencia de incluir los efectos de la distorsión radial y los resultados son comparados con campañas topográficas. De igual forma se presentan resultados obtenidos al estimar los parámetros del modelo Pinhole usando el método de Levenberg-Marquardt con datos sintéticos y se comparan estos resultados con otros reportados en la literatura (Tsai, 1987; Weng *et al.*, 1992), mostrando mejoras importantes. En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se presenta el resultado práctico obtenido en una imagen luego de calibrar la cámara con el método propuesto en este trabajo.

Detección de línea de costa

La medición constante de la línea de costa y el monitoreo de los fenómenos hidrodinámicos que la condicionan por largos periodos de tiempo constituyen tareas fundamentales en el campo de la ingeniería costera. El objetivo fundamental de estas actividades es lograr identificar y cuantificar patrones de erosión – acreción, comprender los sistemas de transporte de dicho sedimento, evaluar el impacto de la dinámica costera sobre los diversos usos de playas y tener los elementos necesarios para proponer estructuras u obras de mitigación (en caso de ser necesarias), con el fin de mantener la funcionalidad de la costa.

En el marco del proyecto HORUS, y con base en los trabajos de Aarninkhof (2003) y Osorio (2005), Ortiz (2009) propone una metodología para la extracción de perfiles intermareales como se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** 4. La detección reiterativa de la línea de costa, su transformación a coordenadas reales (x,y) y la asignación de la elevación mediante el uso

de las condiciones hidrodinámicas, permite la estimación del perfil intermareal en tantos transectos como el usuario lo desee, siendo posible la interpolación de los mismos para la reconstrucción de la batimetría intermareal.

La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** 5 muestra la evolución de la línea de costa de un sector de la playa de Bocagrande en la ciudad de Cartagena, identificando un marcado proceso de sedimentación en la zona durante el periodo de junio – octubre de 2009, evidenciado en el aumento de 15 metros de playa en promedio.

Estimación del uso en la playa

Trabajos como el de Jiménez *et al.* (2007) y Osorio *et al.* (2007) muestran aplicaciones importantes para la gestión de costa como uso turístico, donde se usa la detección y el seguimiento espacio – temporal de usuarios de la playa con miras a optimizar la infraestructura disponible y determinar índices de saturación de espacio. La detección de los usuarios se lleva a cabo con técnicas de detección de objetos propias del procesamiento digital de imágenes, las cuales pueden exigir un alto consumo computacional, además que pueden verse afectadas por la presencia de contrastes en la iluminación o por la presencia de patrones distintos a los usuarios (por ejemplo las marcas dejadas por un vehículo al pasar por la arena). Es por esta razón que se hace necesario determinar si una imagen tiene o no usuarios antes de intentar detectarlos.

Osorio (2009), tesis enmarcada en el proyecto HORUS, presenta una metodología para clasificar imágenes de zonas costeras según la densidad de usuarios (alta, media y baja densidad), basada en la medición de características presentes en el histograma de intensidades de la imagen. Se usan dos técnicas para clasificar de forma automática las imágenes: La descomposición en valores singulares (SVD) y las redes neuronales. Se comparan los resultados obtenidos con las dos técnicas y se analizan las ventajas y desventajas de ambos métodos en el proceso de clasificación de imágenes costeras. La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** 6 muestra la distribución de los usuarios en la playa de Bocagrande mediante un mapa de densidad media para el mes de septiembre de 2009, estimados a partir de postprocesos basado en el trabajo de Osorio (2009) y que

son publicados en el portal web.

Variables hidrodinámicas

En los últimos años, nuevos métodos basados en sistemas de video y procesamiento de imágenes han surgido como alternativa para la obtención remota de información sobre características de flujo en tiempo real y sin contacto *in situ* (Muste *et al.*, 2008), con una resolución espacio-temporal adecuada, sin poner en riesgo la integridad de los equipos y sin interferir con el fenómeno mismo. En este sentido, Osorio (2010) elaboró una metodología dentro del sistema HORUS donde aplica estas técnicas para la estimación de variables hidrodinámicas en laboratorio. Para el análisis de la información obtenida en cada uno de los experimentos realizados, se emplearon dos técnicas de video basadas en procesamiento digital de imágenes: técnica de imágenes de varianza y técnica de segmentación por umbrales y discretización de trayectoria. La **Figura 7** muestra como a través de trazadores visibles para la cámara, se pueden generar imágenes de varianza que resalten la trayectoria de dichos objetos, mientras que la **Figura 8** muestra la identificación y discriminación de las trayectorias, insumo suficiente para la estimación de velocidades superficiales.

Aplicación en Colombia

Dentro del proceso de instalación y puesta en marcha de estación de captura HORUS en las playas de Bocagrande – Cartagena, se ha logrado realizar mejoras importantes a los procesos de diseño, instalación y mantenimiento de los equipos involucrados, encontrando como un fuerte obstáculo las condiciones climáticas locales y el papel del salitre en el deterioro de los equipos. Esta iniciativa vislumbra un importante potencial para el estudio de fenómenos de escala LOCAL y ha significado un importante avance en las relaciones entre la academia y las autoridades para realizar una mejor administración de los espacios costeros. La información recopilada dentro del marco de esta iniciativa se encuentra disponible al público a través del portal web y de las publicaciones científicas relacionadas.

CONCLUSIONES

Las bondades que nos ofrecen estos nuevos sistemas basados en imágenes digitales y las técnicas implementadas y explicadas en este artículo para el pre-procesamiento, procesamiento y post-procesamiento de imágenes digitales, confirman el camino novedoso para obtener información cuantitativa, tal como lo han demostrado rigurosamente otros autores de la comunidad científica internacional. La gran ventaja que se obtiene con estos sistemas es la economía, la versatilidad y la alta resolución temporal y espacial que ofrecen. Dicha información, tratada con rigor y complementando los sistemas tradicionales permite entender los procesos involucrados en las diversas problemáticas ambientales y ayuda a los técnicos y gestores a tomar decisiones.

La iniciativa de construir metodologías, procesos y la información necesaria para crear un sistema de monitoreo ambiental a través de cámaras de vídeo desde el ámbito académico, como el sistema HORUS (www.horusvideo.com), genera una alternativa muy interesante ante la necesidad de recopilar información y de establecer mecanismos de fácil implementación. La estación piloto instalada en la ciudad de Cartagena de Indias (Colombia) ha servido como un laboratorio para la depuración de los procesos de captura, procesamiento y publicación de los indicadores hasta ahora implementados, dando pie a nuevas líneas de investigación. Gracias a los desarrollos metodológicos y tecnológicos alcanzados por los grupos de investigación OCEANICOS (de la UNAL) y GIOC (de la UNICAN) en el sistema HORUS se constituye en una iniciativa pionera para países en vías de desarrollo, mostrando su potencial de expansión e impacto científico.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al IH Cantabria por los proyectos financiados que permitieron sentar las primeras bases del sistema HORUS. Además a la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID) por el proyecto “APLICACIÓN DE METODOLOGÍAS Y TÉCNICAS

BASADAS EN SISTEMAS DE VÍDEO PARA EL SEGUIMIENTO DE LOS PROBLEMAS AMBIENTALES COSTEROS: CASO CARTAGENA DE INDIAS, COLOMBIA”, que permitió consolidar el primer sistema HORUS Latinoamérica y realizar nuevos desarrollos.

BIBLIOGRAFÍA

- Aarninkhof, S.G.J. 2003, Nearshore Bathymetry derived from Video Imagery, PhD Thesis, Delft University of Technology, Delft, The Netherlands.
- Aarninkhof, S. G. J., Caljouw, M. y Stive, M. J. F. 2000. Video-Based, quantitative assessment of intertidal beach variability, In: Proc. 27th International Conference of Coastal Engineering, Vol. IV, p. 3291-3304.
- Aarninkhof, S.G.J., Ruessink, B.G. y Roelvink, J.A. 2005, Nearshore subtidal bathymetry from time exposure images, Journal of Geophysical Research, Vol. 110, C06011, doi: 10.1029/2004JC002791.
- Chickadel, C.C., Holman, R.A. y Freilich, M.F. 2003, An optical technique for the measurement of longshore currents, Journal of Geophysical Research, 108 (C11), p. 3364.
- Davidson, M., Van Koningsveld, M., De Kruif, A. y Jimenez, J. 2007, The CoastView project: A Frame of Reference Approach to Coastal Zone Management, Coastal Engineering Special Issue of the CoastView project. Vol 54 (6-7), p. 463-475.
- Faugeras, O. 1993. Three-Dimensional Computer Vision: a Geometric Viewpoint. MIT Press, Cambridge, Massachusetts, USA, p. 663.
- Hartley, R. y Zisserman, A. 2003. Multiple View Geometry in Computer Vision, 2d Edition. Cambridge University Press, New York, NY, USA., 700 p.
- Heikkilä, J. y Silvén, O. 1997. "A Four-step Camera Calibration Procedure with Implicit Image Correction". En Proceedings of the 1997 Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR '97). IEEE Computer Society Washington, DC, USA.
- Holland, K.T., Holman, R.A. y Lippmann, T.C. 1997, Practical Use of Video Imagery in Nearshore Oceanographic Field Studies, IEEE Journal of Oceanic Engineering, Vol.22, No1, p. 81-92.
- Holman, R.A. y Bowen, A.J. 1984, Longshore structure of infragravity wave motions, Journal of Geophysical Research, 89 (C4), p. 6446-6452.

- Holman, R.A. y Stanley, J., 2007, The history, capabilities and future of Argus. Coastal Engineering Special Issue of the CoastView project. Vol 54 (6-7), p. 477-491.
- Jiménez, J.A., Osorio, A., Marino-Tapia, I., Kroon, A., Medina, R., Davidson, M., Archetti, R., Ciavola, P., Aarninkhof, S., 2007. Beach recreation planning using video derived coastal state indicators. Coastal Engineering Special Issue of the CoastView project. Vol 54 (6-7), p. 507 – 521.
- Lippmann, T.C. y Holman, R.A. 1991, Phase speed and angle of breaking waves measured with video techniques, in Coastal Sediments, '91, edited by N. Kraus, ASCE, New York, pp. 542-556.
- Morris, B.D., Davidson, M.A. y Huntley, D.A. 2001, Measurements of the response of a coastal inlet using video monitoring techniques, Marine Geology, 175, p. 251 - 272.
- Muste, M.,I. Fujita y A. Hauet 2008. "Large-scale particle image velocimetry for measurements in riverine environments". Water Resources Research, p. 44.
- Ortiz, C. A. 2009. Metodología para la construcción de indicadores morfodinámicos a través del uso de cámaras de vídeo. Caso de aplicación: Playa de la La Magdalena (Cantabria, España). Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Minas.
- Osorio, A.F. 2005 Desarrollo de técnicas y metodologías basada en sistemas de vídeo para la gestión de la costa. Phd Tesis de la. Universidad de Cantabria - España.
- Osorio, A., Pérez, J., Ortiz, C., y Medina, R. 2007. Técnicas basadas en imágenes de video para cuantificar variables ambientales en zonas costeras. Avances en recursos Hidráulicos, No 16, .p. 51-64.
- Osorio S. 2009. Desarrollo de técnicas y metodologías para la clasificación de imágenes costeras. Tesis de Pregrado. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.
- Osorio Cano, J.D. 2010. Metodologías y técnicas basadas en sistemas de video para la medición de variables hidrodinámicas. Tesis de maestria, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellin.

- Pérez, J.C. 2009. M.I Tesis. Optimización no Lineal y Calibración de Cámaras Fotográficas. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.
- Salvi, J., Armangué, X. y Batlle, J. 2002. "A comparative review of camera calibrating methods with accuracy evaluation". En *The Journal of Pattern Recognition*, No 35, p. 1617-1635.
- Southgate, H.N., Wijnberg K.M., Larson M., Capobianco M., y Jansen H. 2003, Analysis and modelling of field data on coastal morphological evolution over yearly and decadal time scales, Part II: non-linear techniques. *J. of Coastal Research* 19 (4): p. 776-789.
- Takewaka, S., Misaki, S. y Nakamura, T. 2003, Dye diffusion experiment in a longshore current field, *Coastal Engineering Journal*, Vol. 45, No. 3, p. 471-487
- Tsai, R. 1987. "A versatile Camera Calibration Technique for High-Accuracy 3D Machine Vision Metrology Using Off-the-Shelf TV Cameras and Lenses". En *IEEE Journal of Robotics and Automation*, Vol. RA-3, No. 4, p. 323-344.
- Walker, R.E. 1994, *Marine light field statistics* John Wiley and Sons, Inc., New York, p. 675.,
- Weng, J., Cohen, P. y Herniou, M. 1992. "Camera calibration with distortion models and accuracy evaluation". En *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol 14, No 10, p. 965-980.
- Wolf, P. y Dewitt, B. (2000). *Elements of Photogrammetry with Applications in GIS*, 3d Edition. McGraw-Hill, Boston, Massachusetts, p. 608.

LEYENDA DE LAS FIGURAS

Figura 1. Configuración de hardware del sistema HORUS.

Figura 2. Esquema del modelo Pinhole

Figura 3. Ejemplo del proceso de rectificación de una imagen mediante la solución del modelo Pinhole.

Figura 4. Playa de Bocagrande, Cartagena. Esquema de funcionamiento del PSDMHORUS (Ortiz, 2009).

Figura 5. Evolución de línea de costa en la playa de Bocagrande entre el periodo junio-octubre de 2009.

Figura 6. Mapa de densidad de usuarios para el mes de Septiembre de 2009 en la playa de Bocagrande (Cartagena) estimado con el modulo de usuarios del sistema HORUS.

Figura 7. a) Imagen de varianza y (b) marcación manual para determinar trayectorias sobre la superficie del flujo. Prueba realizada en el laboratorio de hidráulica de la Universidad Nacional de Bogotá (Osorio, 2010).

Figura 8. Coordenadas (u,v) de todos los objetos detectados y (b) Trayectorias discretizadas por elemento (Osorio, 2010).

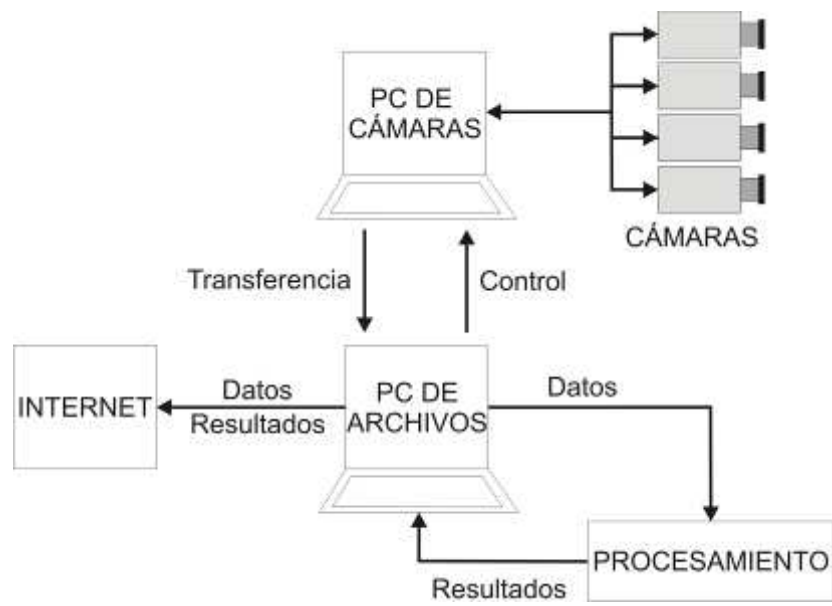


Figura 1.

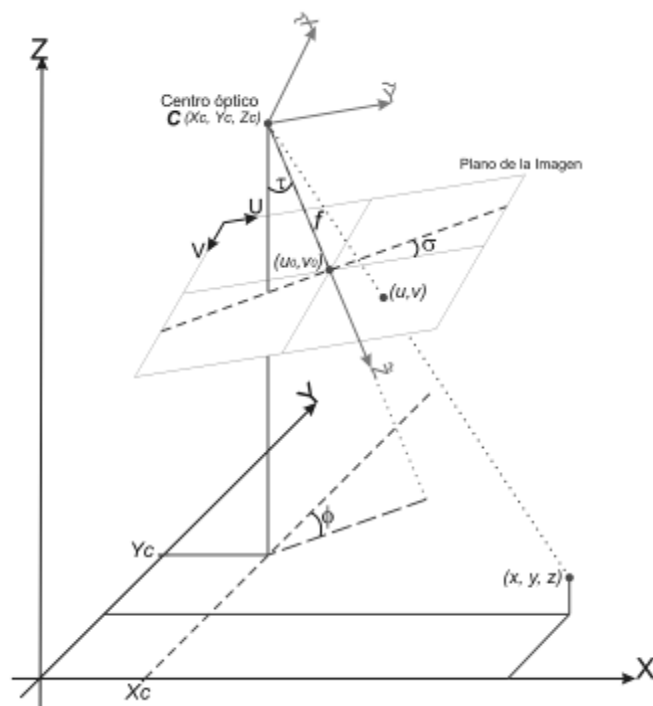


Figura 2.

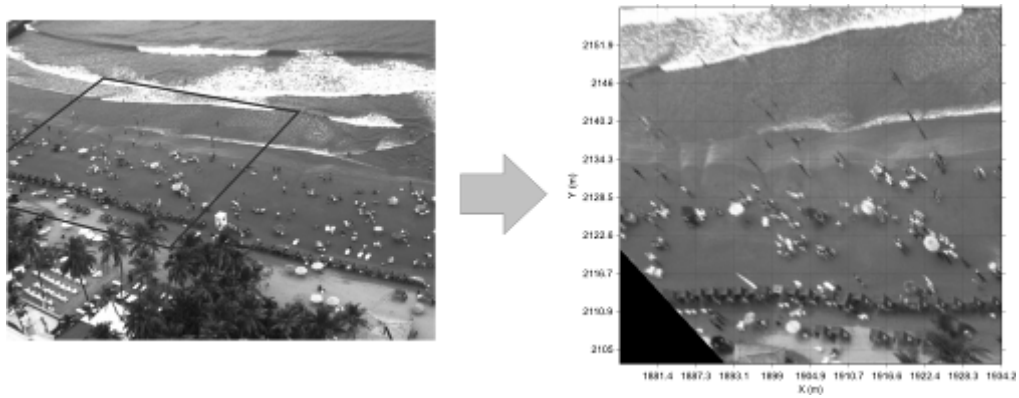


Figura 3.

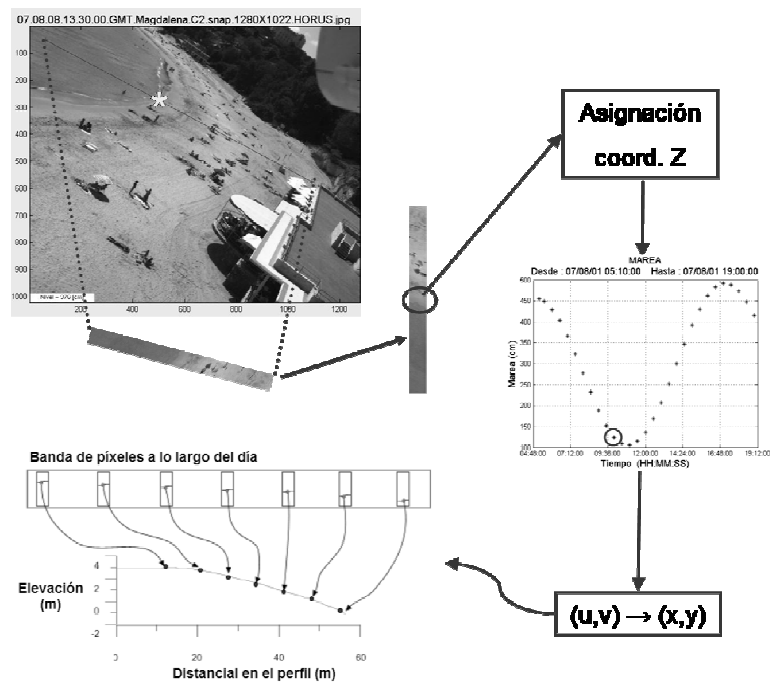


Figura 4.

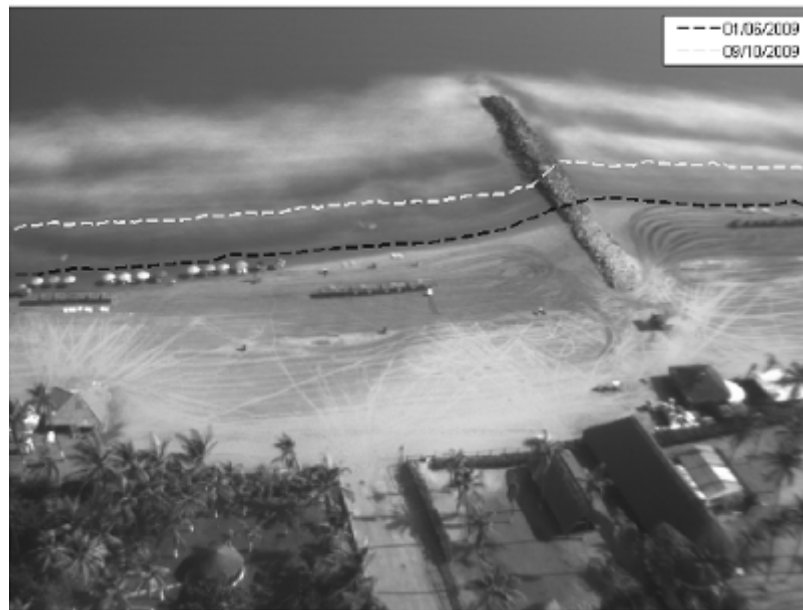


Figura 5.

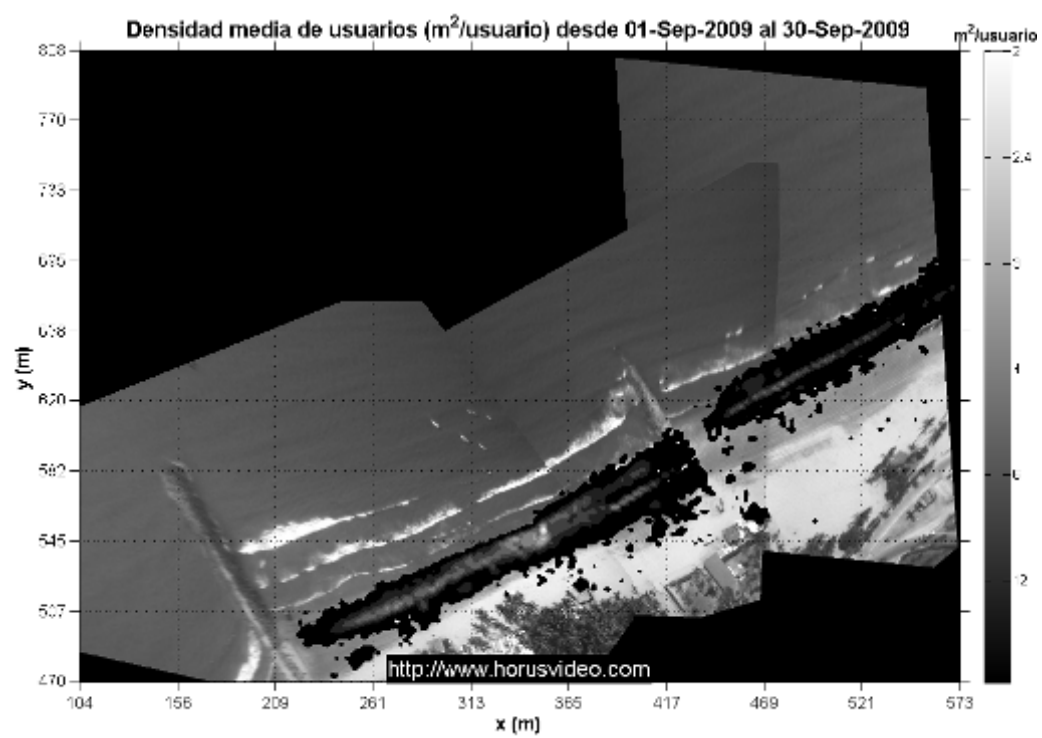


Figura 6

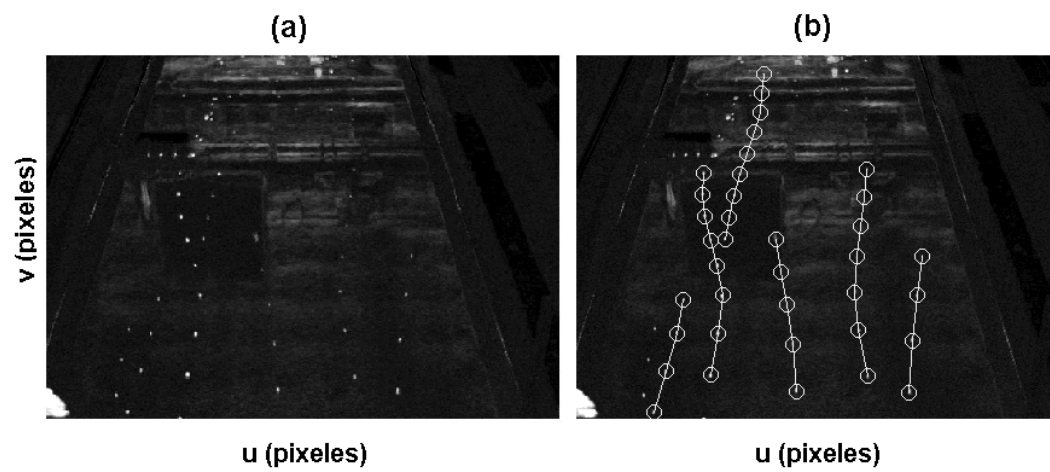


Figura 7.

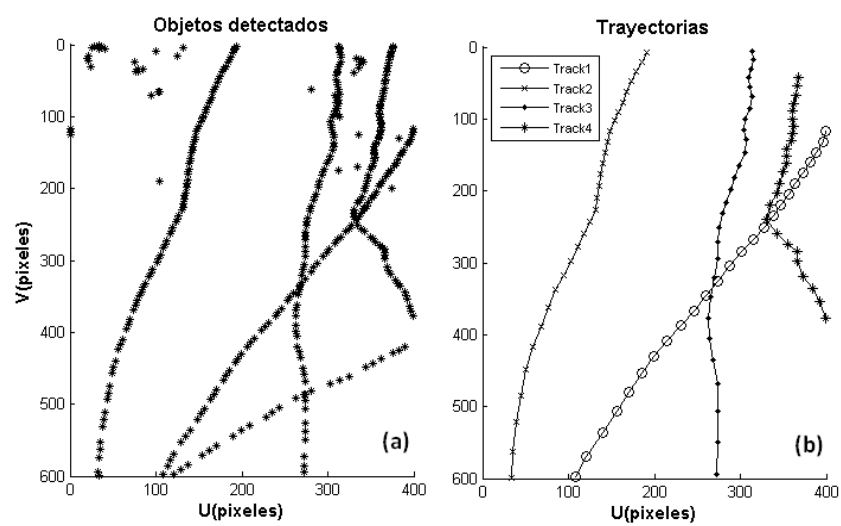


Figura 8.