

**XXIV CONGRESO LATINOAMERICANO DE HIDRÁULICA
PUNTA DEL ESTE, URUGUAY, NOVIEMBRE 2010**

**HORUS: SISTEMA DE VIDEO PARA CUANTIFICAR VARIABLES
AMBIENTALES EN ZONAS COSTERAS. CASO APLICACIÓN
CARTAGENA, COLOMBIA.**

Andrés F. Osorio¹, Cristian A. Ortiz¹, Juan C. Perez¹, Raúl Medina²

¹Grupo de Investigación en Oceanografía e Ingeniería Costera OCEANICOS, Universidad Nacional de Colombia.

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

RESUMEN:

La zona costera reviste de una gran importancia desde el punto de vista social por ser el lugar de residencia e influencia de una gran porción de la población, ambiental por ser el hogar de innumerables especies de fauna y flora, económico por concentrar el transporte marítimo y el turismo, entre otros. Los fenómenos marino-costeros que afectan la dinámica litoral abarcan extensas escalas espacio temporales, por lo que los sistemas de monitoreo tradicionales presentan enormes limitaciones en la recolección de información por su altos costos y limitaciones logísticas asociadas. Para sortear estas dificultades han surgido técnicas usando cámaras de vídeo para obtener información a alta frecuencia por periodos largos de tiempo para escalas espaciales locales. Este trabajo presenta una serie de metodologías aplicadas para el seguimiento de la línea de costa y del uso turístico, con el fin de ofrecer insumos que permitan la mejor gestión de los recursos asociados a la zona costera por parte de las autoridades competentes. Este trabajo se encuentra integrado en el sistema de monitoreo HORUS, desarrollado conjuntamente por la Universidad Nacional de Colombia y la Universidad de Cantabria, presentando algunos desarrollos logrados en esta línea y resultados obtenidos de su aplicación en las playas de Bocagrande en la ciudad de Cartagena.

ABSTRACT:

The coastal areas have a great importance from the social point of view, as the place of residence and the influence of the population, environmental, as the home of species of flora and fauna, economic as the place where shipping and tourism industry is concentrated, among others. The coastal processes affect coastal dynamics include space-time scales, so that traditional monitoring systems have severe limitations in collecting information for its high costs and logistical constraints associated. To circumvent these difficulties, the availability of new data gathering techniques for the study of coastal processes, such as remote sensors, underwater photography, and videography, has increased their usage during the last decade. One of the main applications is in the Coastal Integrated Zone Management (CIZM). This paper presents a series of methodologies for monitoring the coastline and tourist use, in order to improve the inputs for a better management of resources. All this work is integrated into the environmental monitoring system based on video cameras called HORUS, developed jointly by the National University of Colombia and the University of Cantabria, featuring some accomplishments in this line and results of its application on the beaches of Bocagrande in the city of Cartagena

PALABRAS CLAVES:

Sensores remotos, cámaras de vídeo, monitoreo costero, morfodinámica, gestión costera

1. INTRODUCCIÓN

Los sistemas naturales tales como los entornos costeros, cumplen diversas funciones tales como regulación del clima, protección natural población e infraestructura ante eventos extremos, proveedores de recursos, espacios lúdicos, entre muchos otros (Osorio, 2005). Éstos son sometidos a presiones antrópicas y naturales que amenazan con dañar o afectar fuertemente el desempeño de muchos de sus usos, por tanto es de gran importancia conocerlos y gestionarlos adecuadamente. Uno de los principales problemas identificados al momento de desarrollar investigaciones y cuando se pretende realizar adecuadas gestiones sobre los entornos costeros, es la falta de información para llevarlas a cabo (Southgate *et al.*, 2003).

Los procesos marino-costeros se dan en un amplio rango de escalas espaciales y temporales, desde los metros a los cientos de kilómetros y desde los minutos a los siglos respectivamente (De Vriend, 1997; Stive *et al.*, 2002), por lo que la definición de estrategias de monitoreo dista por mucho de ser un problema trivial. Se busca obtener la mejor relación costo-beneficio en cuanto al tipo, cantidad y calidad de información que es susceptible de ser recopilada, mediante la optimización de los parámetros y elementos que definen el esquema de monitoreo. Los sistemas de toma de datos pueden ser muy diversos y varían en costos según sus especificaciones técnicas, tipo de tecnología, niveles de precisión, etc. Se puede nombrar el video digital, fotografía digital, radar, sensores de infrarrojos, entre otros, como alternativas relativamente recientes que han surgido para suplir las necesidades de información en las diversas escalas espaciales y temporales (Aarninkhof, 2003; Lillesand y Kiefer, 1987).

Existen diversas iniciativas mundiales y regionales para aplicar alternativas a la obtención de esta información (Osorio *et al.*, 2007; Kroon *et al.*, 2007; Davidson *et al.*, 2007), entre ellas el uso de sistemas basados en video que permiten la recopilación de información a alta frecuencia en un amplio rango de escalas espaciales y con costos muy bajos comparados con los sistemas tradicionales. Dichos sistemas permiten realizar un seguimiento continuo de diversas variables, tales como: líneas de costa, perfiles de playa, batimetrías y topografías, oleaje, sistemas de corrientes en el mar, vertidos en el mar, número de usuarios en las playas, número de barcos en los puertos, entre otros. La medición de variables a través del tratamiento digital de imágenes involucra diversas disciplinas y debe tener en cuenta que según la naturaleza de la variable a medir se escogerá la aproximación teórica y práctica.

2. SISTEMAS DE VÍDEO EN ZONAS COSTERAS

La adquisición de datos a partir de sensores remotos ha tenido un gran auge en las dos últimas décadas por ser una alternativa cada vez más accesible gracias a la evolución tecnológica, demostrando su utilidad en la medición de innumerables variables de manera directa y muchas otras por inferencia gracias a post-procesos y correlaciones a partir del entendimiento teórico del fenómeno. De cualquier manera, todos ellos parten de características visibles en su campo de medida y cuando esta información puede ser llevada a un sistema coordinado conocido, se pueden realizar análisis de evolución espacio-temporal, lo que en muchos casos da una óptica interesante de la variable. Afortunadamente muchos procesos litorales pueden ser inferidos a partir de marcas o rasgos visibles sobre la superficie del mar, algunos de ellos son: las variaciones del coeficiente de reflexión del agua como indicativo para medir el periodo, la longitud de onda y dirección de oleaje (Walker, 1994); la zona de rompientes es fácilmente identificable por la presencia de turbulencia y espuma, lo que permite estudiar su fluctuación en el tiempo y la dinámica de las barras presentes (Lippmann y Holman, 1991); la espuma que dejan las olas al romper puede actuar como trazador indicando la dirección y magnitud de corrientes circulatorias presentes en la zona de rompientes (Chickadel *et al.*, 2003); dada la relación directa que existe entre la altura de la ola, su peralte y la profundidad del fondo en la zona de rompientes, se puede inferir la presencia de barras sumergidas

(Lippman y Holman, 1989, 1990); la relación entre la celeridad de la onda (olas) y la profundidad del fondo puede ayudar a inferir la batimetría sub-mareal (Holland *et al.*, 2001; Aarninkhof *et al.*, 2005; Yoo, 2007), la interfase entre agua y tierra y su variación debido a las condiciones de marea y oleaje (Osorio, 2005; Aarninkhof, 2003), medición de parámetros del oleaje (Stockdon y Holman, 2000; Aarninkhof y Ruessink., 2001; Lippman y Holman, 1991), mediciones del ascenso/descenso por taludes de playas *swash* (Holland y Holman 1999, 1993a; Holland *et al.* 2001), estudios de erosión y evolución de la línea de costa (Turner *et al.*, 2001; Osorio, 2005), evolución de barras (Lippman y Holman, 1989, 1990), estabilidad de obras de defensa litoral (Holman y Guza, 1984), entre otros.

La fiabilidad, precisión y versatilidad de los sistemas de vídeo costeros han sido rigurosamente demostrados y revisados en la literatura científica (e.g. Aarninkhof *et al.*, 2000, 2005; Alexander y Holman, 2004; Chickadel *et al.*, 2003; Holman y Guza, 1984; Stockdon y Holman, 2000; Holland y Holman, 1993a; Holland y Holman, 1993b; Holland y Holman, 1999; Holland *et al.*, 2001; Lippmann y Holman, 1989, 1991; Plant y Holman, 1997).

3. SISTEMA HORUS

HORUS (<http://www.horusvideo.com>) es un sistema capaz de cuantificar de forma continua los cambios en diversas zonas naturales, con el objetivo de ayudar a los científicos a entender los procesos y a los gestores a tomar decisiones. Su desarrollo está a cargo de un grupo multidisciplinario producto del convenio de cooperación celebrado entre del grupo de investigación en Oceanografía e Ingeniería Costera (OCEANICOS: <http://oceanicos.unalmed.edu.co>) de la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, y el Grupo de Ingeniería Oceanográfica y de Costas (GIOC: <http://www.gioc.unican.es/>) de la Universidad de Cantabria de España, con el objetivo de desarrollar una plataforma que permitiera la obtención de información ambiental a una resolución espacial y temporal adecuadas, a partir de cámaras de video durante largos periodos de tiempo.

HORUS se compone de un sistema de toma de datos basado en cámaras de video, un software de procesamiento de la información y un sistema de visualización de resultados vía Web. Todo el esquema de funcionamiento del sistema se presenta en la Figura 1, donde puede apreciarse que el sistema de toma de datos generalmente está conformado por varias cámaras de video digitales y un computador que maneja la captura de la información, la almacena y la transmite vía Internet. El procesamiento se realiza en otro PC que normalmente también cumple con la función de respaldo y normalmente sirve de enlace con el sistema de visualización en web (www.horusvideo.com).

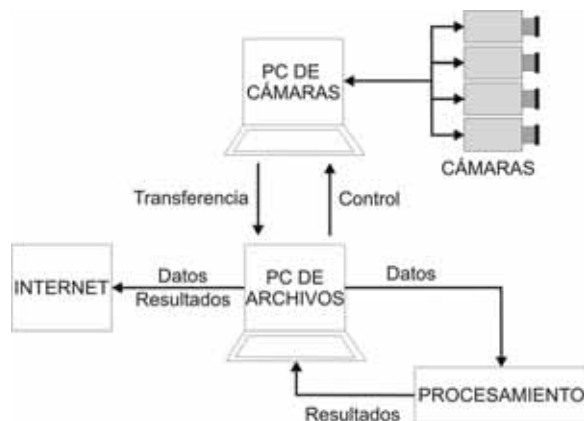


Figura 1. Esquema del hardware del sistema HORUS (izq) y muestra de las cámaras de monitoreo en las playas de Bocagrande – Cartagena (der).

3.1 TIPOS DE DATOS

Teniendo en cuenta que las estaciones HORUS actuales funcionan con cámaras basadas en tecnología Firewire, es posible realizar un control bastante extenso sobre la toma de datos: formato, frecuencia de muestreo, zonas de muestreo, ajustes de blancos, etc. Aprovechando esta ventaja, se presentan los tipos de datos que se toman actualmente.

3.1.1 IMÁGENES

Como lo muestra la Figura 1, las cámaras son manejadas por un ordenador que les envía las ordenes de captura, pre-procesa los datos y los transmite al PC de archivos. El programa que se encarga de realizar todos estos procesos y que opera de manera autónoma (totalmente configurable) se llama HORUS-EYE. Éste permite actualmente tomar los siguientes tipos de imágenes:

- Imágenes instantáneas de cada una de las cámaras de manera sincronizada.
- Imágenes promediadas como resultado del procesamiento de n número de imágenes, tomadas a una frecuencia f durante un tiempo t , las cuales filtran muy bien las variaciones de alta frecuencia y acentúan las partes de la imagen que se mantuvo invariante durante el periodo de tiempo t , las cuales han sido usadas para medir la línea de costa (Aarninkhof, 2003).
- Imágenes de desviación estándar como resultado del procesamiento de n número de imágenes, tomadas a una frecuencia f durante un tiempo t , las cuales realzan fuertemente las variaciones de alta frecuencia como la zona de *swash*.

La Figura 2 muestra un ejemplo de captura de la cámara 2 de la estación HORUS en Cartagena de los tres tipos de imágenes características: instantáneas el cual permite identificar claramente los frentes de olas y los usuarios en la zona, promediadas donde se observa los patrones de disipación en la zona de rotura y la línea de costa, y la imagen de desviación estándar que realza la zona de *swash* y las trayectorias de usuarios durante el periodo de muestreo. Sin embargo, a pesar de que éstos son las tres imágenes tipo del sistema, es posible incorporar cualquier otro operador matemático o estadístico para obtener una imagen resultado. La construcción de estos operadores con miras a resaltar ciertas características de la imagen (o de alguna de sus bandas), es una práctica común en procesos de clasificación supervisada en sensores remotos.



Figura 2. Ejemplo de imágenes capturadas con la cámara 2 de la estación HORUS en Cartagena: Instantánea (izquierda), promediada (centro) y desviación estándar (derecha).

3.1.2 TIMESTACKS

Existe el interés de poder inferir algunos parámetros hidrodinámicos a través de la información viable de ser recopilada por las cámaras de vídeo. Esto plantea la necesidad de muestrear a frecuencias mayores 1 Hz durante un periodo de tiempo por determinar. Teniendo en cuenta que los ciclos de toma de datos típicos en este tipo de estaciones son entre 10 y 30 minutos, se estaría tomando un vídeo por cada cámara cada ciclo de captura. La demanda en capacidad de almacenamiento para este tipo de datos resulta ser muy alta y difícil de satisfacer logísticamente. Es

por esto que se opta por capturar una pequeña subregión de la imagen a frecuencias de muestreo alta, ahorrando así espacio de almacenamiento. La disposición de dichas subregiones dependerá del fenómeno de interés; por ejemplo, para estimar celeridad de onda, los periodos del oleaje y su transformación en el proceso de rotura éste deberá ser paralelo a la dirección del oleaje, mientras que si se busca estimar dirección deberá ser perpendicular, tal y como lo muestra la Figura 3 (Osorio, J.D; 2010).

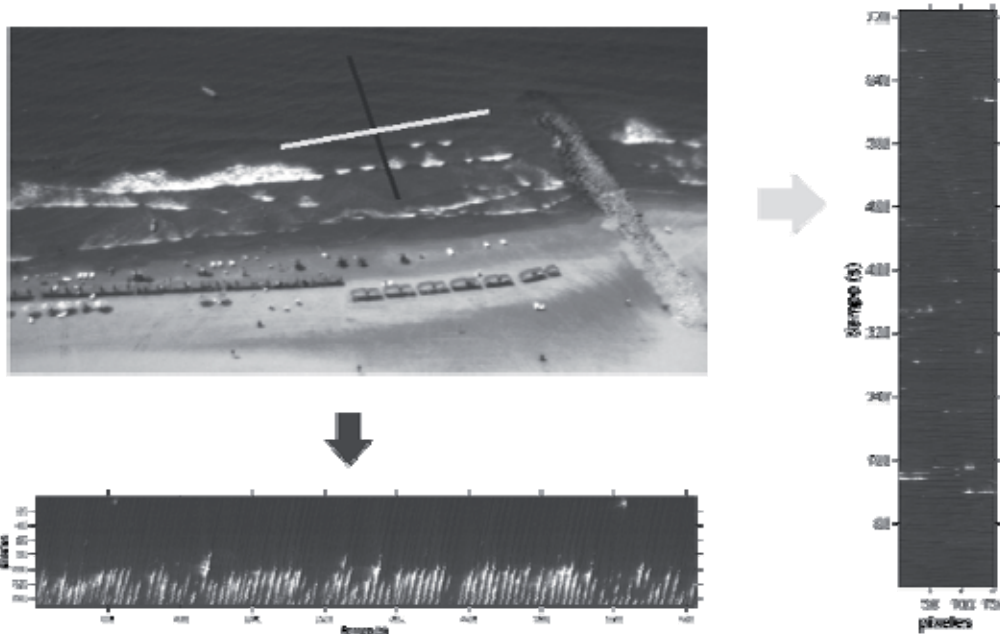


Figura 3. Toma de TimeStacks a través de transectos paralelos (inferior) y perpendiculares (derecha) a la dirección del oleaje incidente.

4. RECTIFICACIÓN Y FUSIÓN DE IMÁGENES

En el caso de los sistemas de monitoreo ambiental basados en imágenes digitales como HORUS (Osorio *et al*, 2007; Ortiz, 2009), la idea es tomar fotos de una zona con períodos entre imágenes que van desde minutos hasta horas, por lo que la fotografía aérea y la fotografía satelital deben descartarse como posibles soluciones para dichos sistemas, dado que la primera resulta ser costosa a tan altas frecuencias y la segunda no permite obtener períodos tan cortos entre una imagen y otra. Para solucionar este problema, se usan cámaras fijas ubicadas en lugares elevados de modo que permitan abarcar la mayor extensión de área, obteniendo imágenes oblicuas con la frecuencia deseada. La Figura 4 (derecha) muestra un ejemplo de una imagen oblicua en la estación HORUS Cartagena.

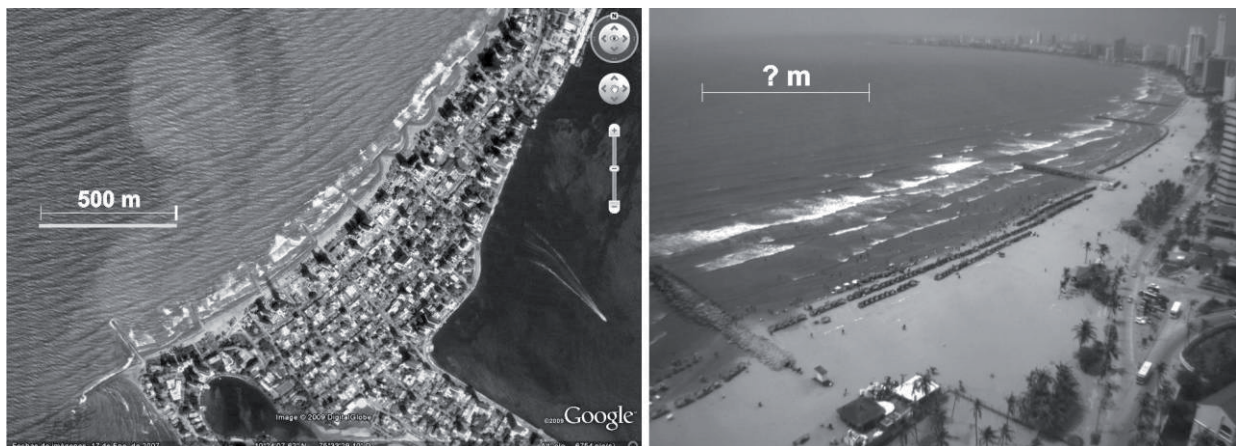


Figura 4. Imágenes de la costa de Cartagena con resolución constante (izquierda) y resolución

variable (derecha).

Las imágenes satelitales y las fotografías áreas ortorectificadas presentan la gran ventaja de establecer una resolución (m/píxel) constante en toda su extensión, permitiendo medir distancias sobre las mismas de manera directa (Figura 4, izquierda). En este de sistemas de cámaras sujetas a estructuras (ver Figura 1, derecha) la zona de estudio se encuentra de forma oblicua al eje focal de las cámaras por lo que no se puede obtener una resolución constante y no es posible establecer *a priori* una relación entre píxeles en la imagen y distancia en el espacio real. Buscando equiparar esta ventaja de tener resolución constante en una imagen *oblicua*, se ha recurrido generalmente a usar un modelo de la cámara que relacione los puntos en un sistema coordenado en el espacio (x,y,z) con su respectiva proyección en el plano de la imagen (u,v) . Entre los modelos usados, el que más se destaca es el modelo Pinhole (Ver Faugeras, 1993; Hartley y Zizzerman, 2003; Heikilla y Silvén, 1997; Holland *et al*, 1997; Osorio *et al*, 2007; y Ortiz, 2009; entre otros) el cual necesita de puntos de control (GCP, por sus siglas en inglés) para ser calibrado, los cuales son puntos identificables en la imagen de los cuales se conocen sus coordenadas reales.

Los parámetros del modelo Pinhole pueden clasificarse en dos grupos:

- Parámetros intrínsecos: son los parámetros asociados a la configuración de la cámara, de modo que no se ven afectados por cambios en la posición de la misma. Son f , distancia focal, (u_0, v_0) punto principal de la imagen, D_u y D_v , factores de escala en las direcciones u y v respectivamente (dirección horizontal y vertical del plano de la imagen, medidas desde el extremo superior izquierdo de la misma). Algunos autores, como Heikilla y Silvén (1997), Holland *et al.* (1997), Zhang (1998) y Zhang (2000) proponen calcular dichos parámetros en laboratorio, dejando la calibración del otro grupo de parámetros para el campo. En este grupo también se incluyen los parámetros de distorsión causada por los lentes.
- Parámetros extrínsecos: Son los parámetros asociados con la posición y orientación de la cámara con respecto a un sistema de coordenadas en el espacio. Estos parámetros son (x_c, y_c, z_c) las coordenadas del centro óptico de la imagen, además de τ , σ y φ que son ángulos de rotación, correspondientes al *tilt*, *roll* y *azimuth* de la cámara tal y como se muestra en la Figura 5.

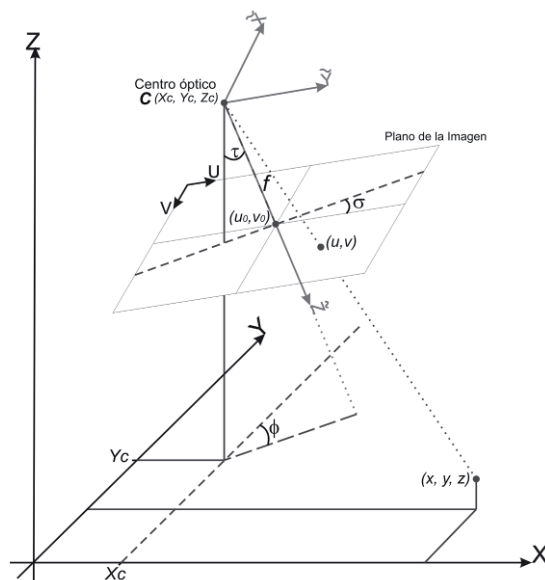


Figura 5. Esquema del modelo Pinhole y el significado de algunos de sus parámetros.

El modelo Pinhole, en términos de los 9 parámetros mencionados puede escribirse como:

$$\begin{bmatrix} uw \\ vw \\ w \end{bmatrix} = KR \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -x_c \\ 0 & 1 & 0 & -y_c \\ 0 & 0 & 1 & -z_c \\ & & & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix} \quad [1]$$

Donde la matriz de parámetros internos K y la matriz de rotación R están dadas por:

$$K = \begin{bmatrix} fD_u & 0 & u_0 \\ 0 & -fD_v & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} \quad [2]$$

Las expresiones para los parámetros r_{11}, \dots, r_{33} de la matriz de rotación R se pueden encontrar en Salvi *et al.* (2002), Pérez, (2009), entre otros. El tratamiento matemático para la solución de estos modelos es un tema amplio de investigación y puede ser visto en detalle en Osorio *et al.* (2007), Heikkilä y Silvén (1997) Faugeras (1991), Hartley y Zizzerman (2003), Salvi *et al.* (2002), Pérez, (2009), entre otros.

Aplicando esta solución matemática a cada una de las imágenes capturadas por las estaciones, podemos llevar a un sistema coordenado conocido cada una de las características visibles de la imagen, pudiendo así cuantificarla y seguirla en el tiempo como se muestra en la Figura 6

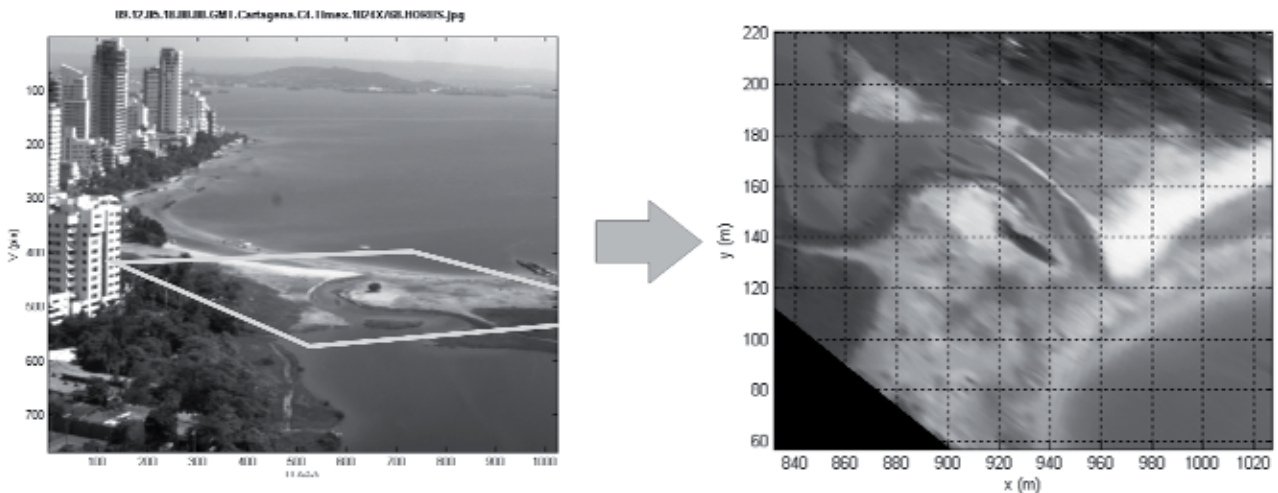


Figura 6. Resultado del proceso de rectificación para una imagen de la estación HORUS Cartagena. A la izquierda la imagen original y la zona seleccionada, a la derecha la zona rectificada.

Para cubrir el área de interés generalmente es necesario hacer uso de más de una cámara, por lo que es necesario fusionar las imágenes de todas las cámaras, proceso para el cual se usa una transformación entre imágenes conocida como transformación afín (Hartley y Zizzerman, 2003). El resultado de fusionar las 3 cámaras de la estación de captura HORUS-Cartagena se presenta en la Figura 7 (superior), mientras que el proceso combinado de fusión-rectificación se ilustra en la Figura 7 (inferior) de la misma zona. Actualmente estos procesos se ejecutan de manera automática al recibir las imágenes de cualquiera de las estaciones,

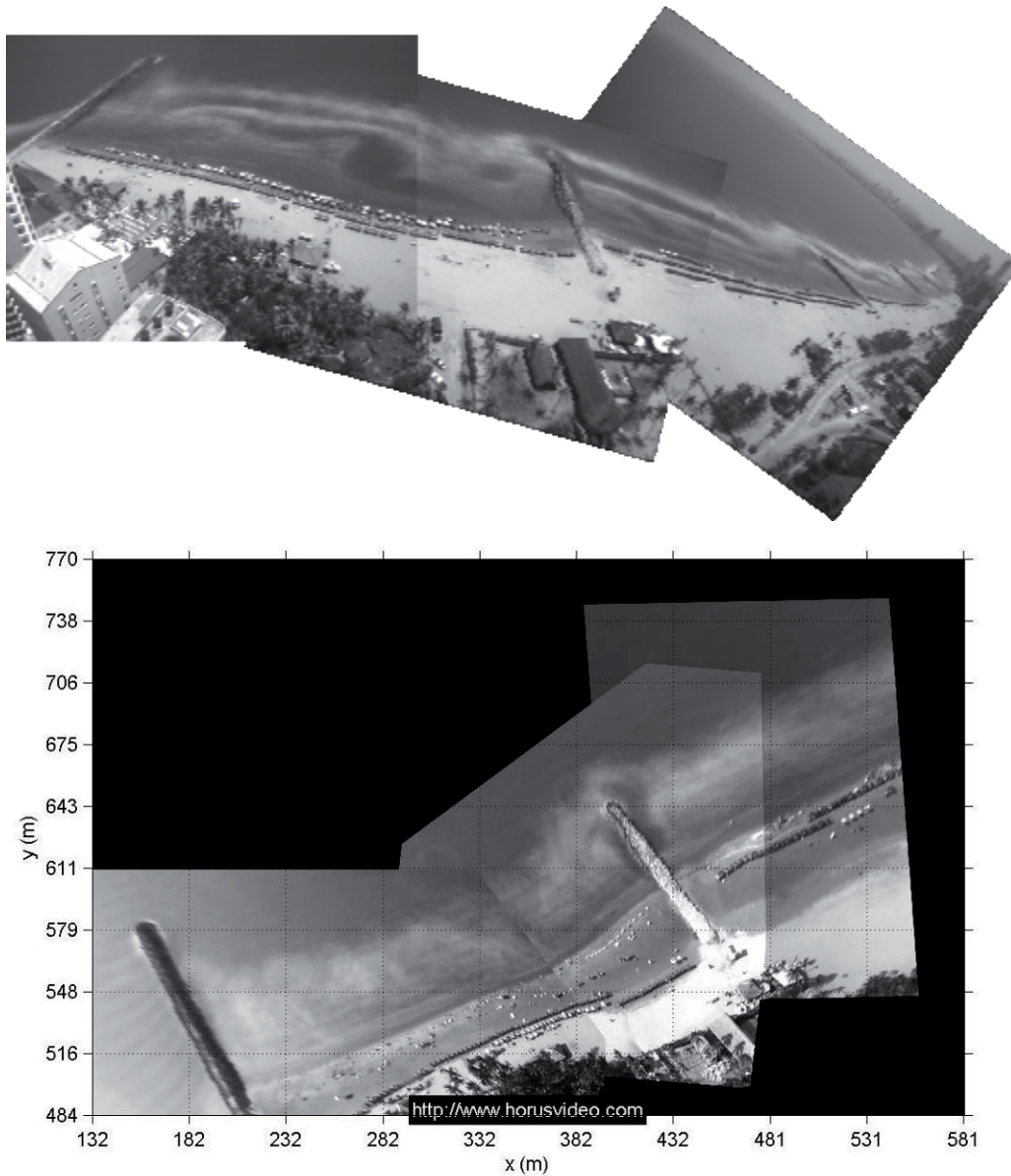


Figura 7. Imagen fusionada (superior) e imagen fusionada-rectificada (inferior) de tres cámaras de la estación HORUS en Cartagena.

5. SEGUIMIENTO ESPACIO-TEMPORAL DE USUARIOS

En el campo de la detección de usuarios usando sistemas de video algunos autores, como Osorio, 2005, emplean técnicas basadas en kernels para detectar usuarios. Estas técnicas tienen el inconveniente de depender de la resolución de las imágenes y el tamaño de los objetos en la imagen. En el caso de las playas de Bocagrande en Cartagena, la resolución alcanzada con el sistema HORUS es alta como lo muestra la Figura 8. Además de los usuarios, se encuentran objetos de mayor tamaño como carpas y sombrillas por lo que una estrategia basada en kernels no resulta ser la más apropiada. Las playas de Bocagrande son playas con una gran afluencia de turistas (usuarios) nacionales y extranjeros, lo que hace de vital importancia estudiar la evolución de la intensidad de uso e identificar las zonas de mayor impacto. Dentro del proyecto HORUS, se han iniciado estudios para clasificar las imágenes según la cantidad de usuarios presentes (Osorio, 2009) haciendo uso de histogramas de las imágenes, redes neuronales y descomposición en valores singulares. Actualmente se adelantan trabajos para segmentar los usuarios y los objetos en las imágenes a partir de marcaciones manuales de usuarios como elemento de calibración.

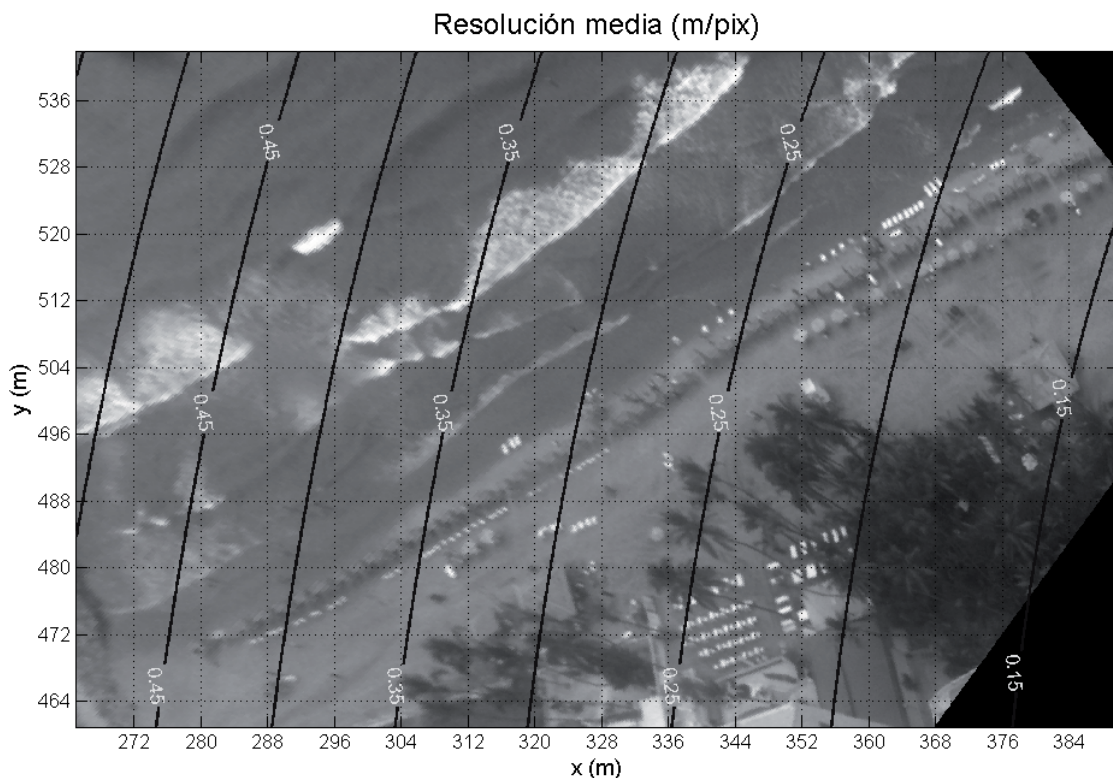


Figura 8. Resolución media de la cámara 1 de la estación Cartagena, obtenida con el sistema HORUS.

Haciendo uso de marcaciones manuales y en un futuro de detecciones automáticas, se pueden generar mapas de densidad y graficas cantidad de usuarios-objetos en la playa, los cuales permiten identificar los sitios de mayor ocupación y los días de mayor afluencia respectivamente. Usando imágenes de las cámaras 1, 2 y 3 de la estación de Cartagena, se realizaron marcaciones manuales de 3 imágenes por cámara/día durante los meses de Julio a Diciembre de 2009 y éstas se usaron para generar mapas de densidad mensuales y semanales de las playas, al igual que gráficos de evolución de la cantidad de usuarios como los que se muestran en la Figura 9 y Figura 10. Dichas marcaciones también son un insumo importante para la calibración y validación de los algoritmos que actualmente se están desarrollando para la detección automática de usuarios.

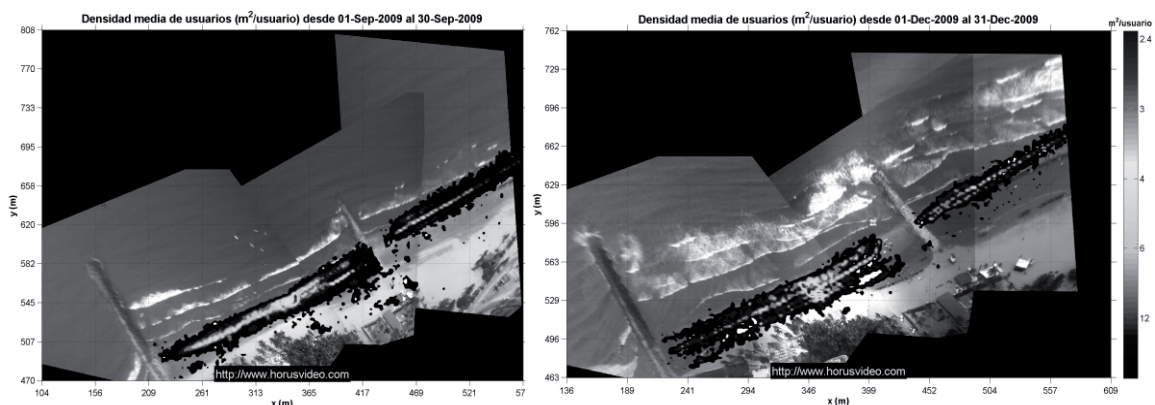


Figura 9. Densidad media de usuarios para los meses de Septiembre y Diciembre de 2009 en las playas de Bocagrande Cartagena.

En las imágenes de densidad de usuarios de la Figura 9, la escala de colores va de valores mayores de densidad de usuarios en a valores menores de densidad, la densidad se mide en $m^2/usuario$ de modo que indica con valores bajos que el área que ocupa un usuario es baja, indicando gran

concentración de usuarios en una zona. En la Figura 9 puede identificarse una zona con valor de intensidad por debajo de $2.5 \text{ m}^2/\text{usuario}$ que corresponde a una zona cercana al acceso de los usuarios y a un puesto de salvavidas, esto evidencia una preferencia de los usuarios para ubicarse en dicha zona de la playa, con lo que sería posible planificar los servicios prestados allí. También es posible evidenciar que en el mes de Diciembre la zona de playa utilizada por los usuarios aumenta considerablemente, así como la zona con densidad menor a $2.5 \text{ m}^2/\text{usuario}$, indicando una mayor aglomeración de usuarios.

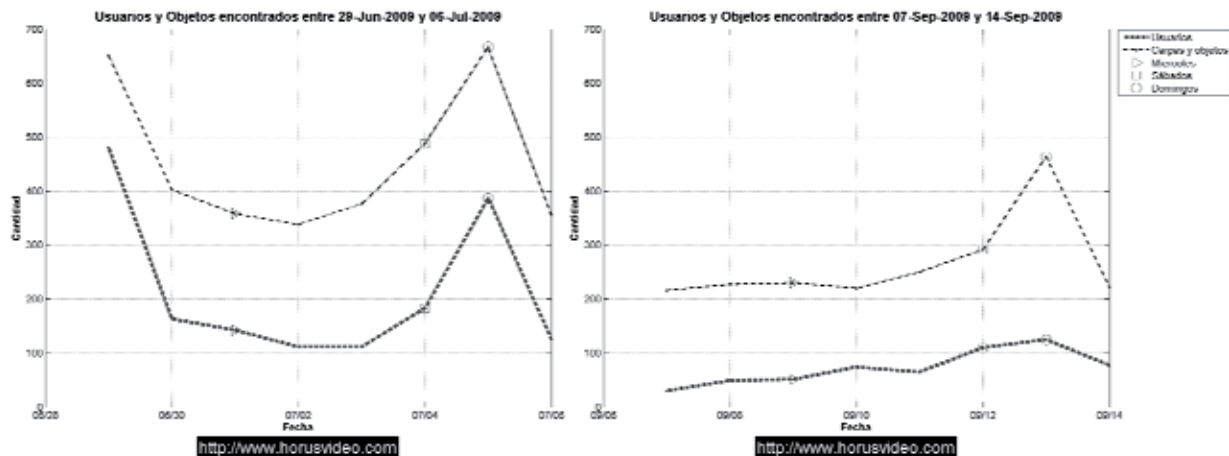


Figura 10. Evolución del número de Usuarios y Objetos encontrados en las playas de Bocagrande durante las semanas de 29 Junio y 6 de Julio (izquierda) y 7-14 de Sep (derecha).

En la Figura 10 se muestra la evolución de la cantidad de usuarios, donde se puede apreciar el aumento de la cantidad de usuarios y objetos para los días sábados y domingos, lo que corresponde a los resultados esperados, también se observa una mayor presencia de objetos que de usuarios marcados, esto se debe a que muchos de los usuarios se encuentran debajo de las carpas y sombrillas, de modo que no es posible identificarlos. Esto abre la posibilidad de buscar correlaciones entre el número de carpas y el número de usuarios debajo de ellas por medio de campañas de campo. Por otro lado, al comparar una semana de la temporada vacacional de junio-julio, se puede ver que la afluencia de usuarios aumente considerablemente respecto a una semana de Septiembre, mientras que el mayor número de usuarios el día lunes 29 de Junio de 2009 se puede explicar teniendo presente que dicho día fue un día festivo en Colombia.

6. DETECCIÓN DE LÍNEA DE COSTA

La determinación de la interfaz agua-tierra en todo instante de tiempo puede interpretarse entonces como un problema de detección de bordes desde el campo del tratamiento digital de imágenes. Según investigadores como Hernández (2000); Guru *et al.*, (2004); Singer y Bilgram (2004), la detección de bordes se basa en la identificación de discontinuidades locales en los niveles de intensidad o en la amplitud de la señal, que generalmente corresponden a los bordes de un objeto. Dichas discontinuidades no están definidas con el significado matemático conocido, sino como los cambios súbitos de bajos a altos niveles de intensidad o viceversa. Este problema se puede abordar desde varios enfoques, tales como la localización de discontinuidades en los valores de intensidad en la imagen, cambios en el color, cambio en las propiedades de textura y modelos híbridos.

Por la naturaleza misma de los algoritmos de detección de bordes, ellos pueden detectar la línea de costa u otra discontinuidad, dependiendo de las características ópticas de la banda a la cual se le esté aplicando cada una de las rutinas. Es por esto que se hace necesario buscar un refinamiento a este procedimiento buscando eliminar al máximo todos aquellos “falsos bordes” que no son la interfase

agua-tierra y que por tanto, nos entran ruido a los resultados. En este orden de ideas, Osorio (2005) propuso un modelo que combinara seis algoritmos de detección de bordes junto a un refinamiento de los resultados basados en criterios físicos y estadísticos llamado *Physical and Statistical Detection Model* (PSDM). Posteriormente, Ortiz (2009) expandió esta metodología implementando dos criterios de depuración de resultados y dos métodos adicionales para la detección de bordes.

En el caso de las playas de Bocagrande en Cartagena, el transporte litoral de sedimentos se encuentra fuertemente condicionado por la serie de espolones construidos en la zona con miras a proteger el ancho de playa existente. La Figura 11 muestra el esquema de control de la evolución de línea de costa a través de medir distancias según una línea de referencia fija.

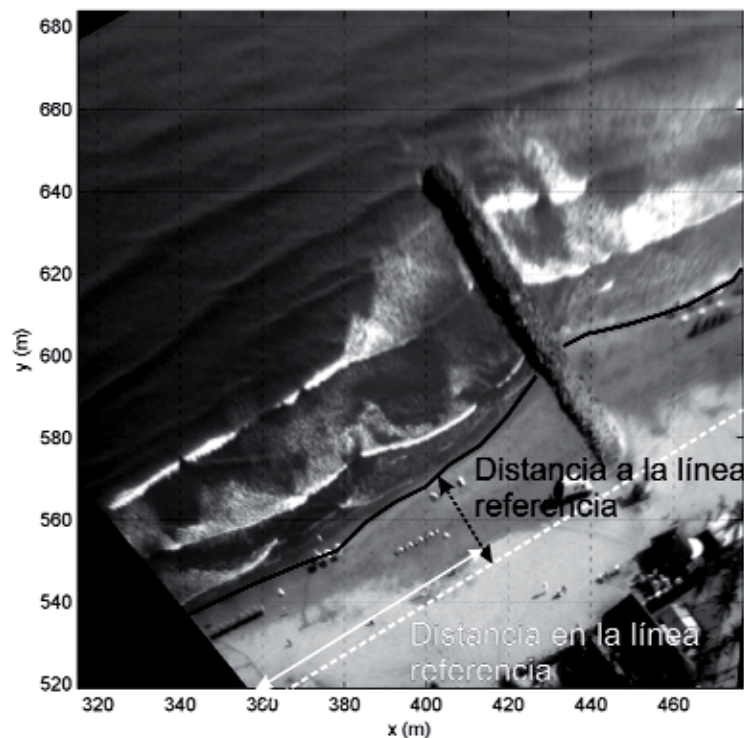


Figura 11. Línea de referencia para el seguimiento de la línea de costa en las playas de Bocagrande.

La Figura 12 muestra en el eje horizontal la distancia de cada punto de la línea de costa con respecto a la línea base y cómo ésta varía en el tiempo (eje vertical). Se observa un incremento generalizado en todo el eje horizontal por lo que se evidencia un proceso de acreción en la zona en el periodo comprendido entre Junio – Octubre de 2009. También se observa que el mayor proceso de sedimentación se localiza en el extremo izquierdo, correspondiente a un espolón que ejerce un control al transporte de sedimentos y provoca una acumulación concentrada.

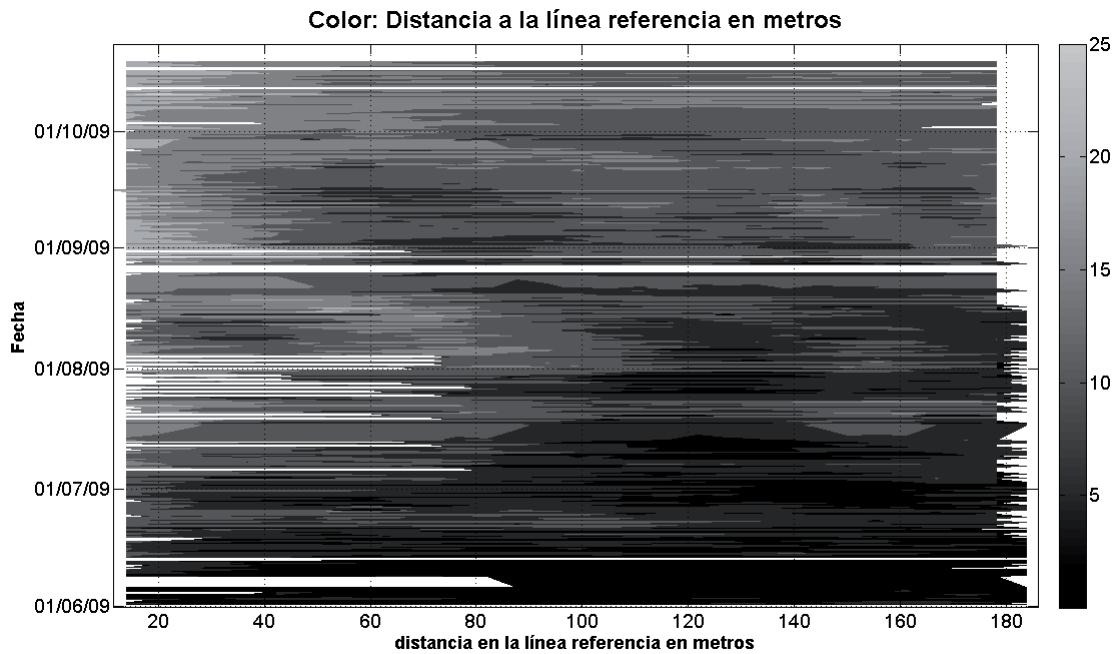


Figura 12. Variación de las distancias de la línea de costa a una referencia en el tiempo.

La Figura 13 muestra los casos de la línea de costa para un mismo nivel de marea en Junio y Octubre de 2009, evidenciando el proceso de acreción anteriormente expresado. Esta figura representa los casos extremos representados en la Figura 12.



Figura 13. Comparación de la línea de costa para un mismo nivel del marea entre Junio 1 y Octubre 9 de 2009 en la cámara 2 de la estación HORUS Cartagena.

7. CONCLUSIONES

Vemos como los sistemas basados en cámaras de vídeo pueden ser una herramienta útil para el seguimiento morfodinámico, hidrodinámico y su uso, lo que provee información valiosa a las autoridades para la adecuada gestión de las playas y preservación de los usos que ésta cumple.

HORUS actualmente se encuentra en fase de desarrollo y Cartagena de Indias ha sido la estación piloto para la experimentación, adecuación y depuración de las técnicas computacionales, así como en el establecimiento de canales de comunicación y cooperación entre la academia (UNAL – UNICAN) y las autoridades locales, tales como la alcaldía, la oficina de planeación de Cartagena, la

capitanía de puerto, el Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas de la Armada Nacional, entre otros.

8. AGRADECIMIENTOS

El proyecto en el que se enmarca este trabajo ha sido cofinanciado por la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID):

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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. and Ruessink, B.G. (2001), Video observations of wave breaking and the implications for wave decay modelling, In: Proc. Coastal Dynamics '01. New York ASCE, pp. 979-988.

Aarninkhof, S.G.J.(2003), Nearshore Bathymetry derived from Video Imagery, PhD Thesis, Delft University of Technology, Delft, The Netherlands.

Aarninkhof, S.G.J., Ruessink, B.G. and Roelvink, J.A. (2005), Nearshore subtidal bathymetry from time exposure images, Journal of Geophysical Research, Vol. 110, C06011, doi: 10.1029/2004JC002791.

Alexander, P.S. and Holman, R.A. (2004), Quantitative analysis of nearshore morphological variability based on video imaging, Marine Geology, 208 (1), pp. 101-111.

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., 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.

De Vriend, H.J., (1997), Prediction of aggregated-scale coastal evolution, In: Proc. Of Coastal Dynamics '97, Plymouth (UK), pp. 644-653.

Faugeras, O. (1993).Three-Dimensional Computer Vision: a Geometric Viewpoint. MIT Press, Cambridge, Massachusetts, USA, 663 p.

Guru ,D.S., Shekar, B.H., Nagabhushan, P. (2004), A simple and robust line detection algorithm based on small eigenvalue analysis, Pattern Recognition Letters 25, pp. 1–13.

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.

Hernández, J. F. (2000), Extracción de contornos rectos, Universidad Politécnica de Madrid.

Holland, K.T. and Holman, R.A. (1993a), A stereometric technique for mapping foreshore topography, in EOS Transactions, American Geophysical Union, pp. 338.

Holland, K.T. and Holman, R.A. (1993b), The statistical distribution of swash maxima on natural beaches, Journal of Geophysical Research, 98 (C6), pp. 10,271-10,278.

- Holland, K.T., Holman, R.A., Lippmann, T.C.** (1997). Practical Use of Video Imagery in Nearshore Oceanographic Field Studies. En *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, Vol.22, No 1, p. 81-92.
- Holland, K.T. and Holman, R.A.** (1999), Wavenumber-frequency structure of infragravity swash motions, *J. Geophys. Res.*, 104 (C6), pp. 13479-13488.
- Holland, K.T., Puleo, J.A., and Kooney, T.N.** (2001), Quantification of swash flows using video-based particle image velocimetry, *Coastal Engineering*, 44, 65-77.
- Holland, K.T., Puleo, J.A., and Kooney, T.N.** (2001), Quantification of swash flows using video-based particle image velocimetry, *Coastal Engineering*, 44, 65-77.
- Holman, R.A. and Guza, R.T.** (1984), Measuring run-up on a natural beach, *Coastal Engineering*, 8, pp. 129-140.
- Kroon, A., Aarninkhof, S.G.J., Armaroli, C., González, M, Medri, S., Osorio, A., Aagaard, T., Holman, R.A., Spanhoff, R.** (2007). Application of remote sensing video systems for coastline management problems ". *Coastal Engineering Special Issue of the CoastView project*. Vol 54 (6-7), p. 493 – 505.
- Lillesand, T.M, Kiefer, R.W.** (1987), *Remote Sensing and image interpretation*, By Jhon Wiley & Sons, Inc.
- Lippmann, T.C. and Holman, R.A.** (1989), Quantification of sand bar morphology: a video technique based on wave dissipation. *Journal of Geophysical Research* 94 (C1), pp. 995-1011.
- Lippmann, T.C. and Holman, R.A.** (1990), The spatial and temporal variability of sand bar morphology, *Journal of Geophysical Research*, 95 (C7), pp. 11,575-11,590.
- Lippmann, T.C. and 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.
- 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 Magdalena (Cantabria, España). M.I. Tesis, Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.
- Osorio, A.F.** (2005) Desarrollo de técnicas y metodologías basada en sistemas de vídeo para la gestión de la costa. Phd Tesis. Universidad de Cantabria - España.
- Osorio, A.F., Pérez, J.C., Ortiz, C.A., y Medina, R.** (2007). Técnicas basadas en imágenes de video para cuantificar variables ambientales en zonas costeras. *Avances en recursos Hidráulicos*, No 16, pp 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.
- Ortiz, J.D.** (2010). Metodologías y Técnicas Basadas En Sistemas De Video Para La Medición De Variables Hidrodinámicas. M.I. Tesis, Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.
- Pérez, J.C.** (2009). Tesis, Optimización No Lineal y Calibración de Cámaras Fotográficas. M.Sc, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.
- Plant, N.G. and Holman, R.A.** (1997), Intertidal beach profile estimation using video images. *Marines Geology* 140 (1-2), pp. 1-24.
- 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, pp 1617-1635.

- Singer, H.M., Bilgram, J.H.** (2004), Extracting contours of crystals, *Journal of Crystal Growth* 261, pp. 122–134.
- Southgate, H.N., Wijnberg K.M., Larson M., Capobianco M., and 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): 776-789.
- Stive, M.J.F, Aarninkhof, S.G.J., Hamm, L., Hanson, H., Larson, M., Wijnberg, K.W., Nicholls, R.J and Capobianco, M.** (2002), Variability of shore and shoreline evolution. *Coastal Engineering*, 47(2), pp. 211-236.
- Stockdon, H.F. y Holman, R.A.** (2000), Estimation of wave phase speed and nearshore bathymetry from video imagery, *Journal of Geophysical Research*, 105 (C9), p. 22, 015-22,033.
- Turner, I., Leyden, V., Symonds, G., Mcgrath, J., Jackson, A., Jancar, T., Aarninkhof, S.G.J. and Elshoff, I.E.** (2001), Comparison of observed and predicted coastline changes at the gold coast artificial (surfing) reef. , Sydney, Australia, in *Proc. Int. Conf. On coastal engineering*, edited by B.E. Edge, Sydney.
- Yoo, J.** (2007). Nonlinear bathymetry inversion based on wave property estimation from nearshore video imagery. PhD Tesis, School of Civil and Environmental Engineering, Georgia Institute of Technology.
- Walker, R.E.** (1994), *Marine light field statistics*, 675 pp., John Wiley and Sons, Inc., New York.
- Zhang, Z.** (1998). A Flexible New Technique for Camera Calibration, Technical Report MSR-TR-98-71, Microsoft Research, Dec. Se puede conseguir en línea en: <http://research.microsoft.com/~zhang/calib/>
- Zhang, Z.** (2000). A Flexible New Technique for Camera Calibration". En *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 22, No. 11, pp 1330-1334.