

**UNIVERSIDAD DE CANTABRIA**

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS  
DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

---

**TESIS DOCTORAL**

Desarrollo de una metodología para el estudio de la  
morfología de playas basado en mapas auto-organizativos de  
imágenes digitales.

---

Presentada por: **OMAR QUETZALCÓATL GUTIÉRREZ GUTIÉRREZ**

Dirigida por: **ERNESTO MAURICIO GONZÁLEZ RODRÍGUEZ**  
**RAÚL MEDINA SANTAMARÍA**

Santander, julio 2011

# Sistemas de adquisición de imágenes en zonas costeras en la playa del Puntal y de Barcelona

---

En este capítulo se presenta un resumen de la evolución de los sistemas para capturar IMDP, de las características generales de las estaciones para capturar las IMDP y particulares de la estación en Santander y Barcelona. Posteriormente se detalla el procesamiento por medio del cual las IMDP oblicuas son transformadas a imágenes planas de la zona observada.

## 2.1. Antecedentes del uso de imágenes digitales en la zona costera

La historia del uso de las imágenes digitales para el estudio de la zona costera se reduce a los últimos 25 años, pero ha tenido un rápido desarrollo, de tal forma que en la actualidad se cuentan con estaciones automatizadas distribuidas por diversas playas y que han permitido realizar una amplia gama de estudios de aplicación ingenieriles y científicas (*Kroon et al.*, 2007; *Jiménez et al.*, 2007; *Medina et al.*, 2007).

*Holman y Bowen* (1984) usaron por primera vez fotografías instantáneas para capturar series temporales de *run up* para estudiar ondas infragravitatorias. El éxito del estudio y los avances obtenidos en los sensores remotos ópticos así como el trabajo desarrollado por el Laboratorio de Imagen Costera (CIL) en la Oregon State University permitió solucionar los principales aspectos técnicos que limitaban el uso de sensores ópticos en la zona costera. Posteriormente, en 1986, se utilizaron imágenes promediadas para estudiar la variabilidad de las barras en Duck, North Carolina (*Lippmann y Holman*, 1990). Estas imágenes, a las que posteriormente se llamo *Timex*, se obtuvieron al promediar 15 minutos de cinta de vídeo, de tal manera que se obtenía una imagen digital diaria de  $512 \times 480$  píxeles de resolución. La colección de imágenes obtenida en Duck desde 1986 a 1993 se le llamo **ARGUS 0**, este estudio es considerado el precursor de los sistemas de vídeo automáticos.

La primera estación **ARGUS** automática se creó en 1992, en Yaquina Head, Oregon. Esta estación se conectaba con Oregon State Univeristy a través de internet, lo que simplificaba la toma de datos y permitía la obtención de datos continuos de lugares de interés científico. La resolución de las imágenes obtenidas por este sistema era de  $640 \times 480$  píxeles. En la siguiente generación, **ARGUS 1**, se incluyeron imágenes de varianza. Estas imágenes son el resultado de calcular la desviación estándar de la intensidad del píxel durante un periodo de 10 minutos. El uso de imágenes *Timex* y de varianza cambiaron considerablemente el concepto que se tenía de barras y del comportamiento morfodinámico de la costa en escalas de largo plazo. Otra de las innovaciones de esta generación fue realizada por *Lippmann y Holman* (1991), que introdujeron el uso de series temporales de píxeles para extraer información sobre el oleaje que afectaba las barras de arena.

La generación posterior, **ARGUS II** fue diseñada en torno a un servidor y con cámaras de color con  $640 \times 480$  píxeles de resolución. Las estaciones de esta generación tenían muchas ventajas con respecto a las de generaciones anteriores, sin embargo, aun estaban limitadas puesto que no permitían la adquisición simultanea de datos, lo que producía irregularidades en la matriz de píxeles; esto produjo, entre otras cosas,

que fuera imposible el análisis del oleaje en la zona de rompiente. En el 2002, se puso en marcha el proyecto Coastview, incluyendo una nueva generación de cámaras, desarrollada por Irv Elshoff de Delf Hydarulics y John Stanley de Oregon State University, con resolución de  $1024 \times 768$  píxeles, conectadas a un servidor con una gran sincronización, por lo que es posible obtener información del oleaje.

En la actualidad existen estaciones **ARGUS** por distintas playas del mundo, y otros sistemas de características similares se han desarrollado, *i.e.* **HORUS** (<http://www.horusvideo.com/>).

## 2.2. Estaciones de cámaras digitales

Las estaciones de cámaras digitales se caracterizan por tener un set de cámaras localizadas en un punto elevado, desde el cuál es observada una playa. Las estaciones obtiene tres tipos de imágenes digitales:

1. *Snapshot*: Imágenes instantáneas.
2. *Timex*: Imágenes promedio de la intensidad captada durante 10 minutos de exposición.
3. *Variance*: Imágenes de la desviación estándar de la intensidad captada durante 10 minutos de exposición.

La figura 2.1 muestra un ejemplo de cada una de los tres tipos de imágenes. La toma de imágenes digitales de alta resolución se realiza normalmente a intervalos de una hora. Las imágenes se almacenan localmente en una computadora en las estaciones y posteriormente son enviadas a través de Internet a una estación final donde las imágenes están listas para su procesamiento y estudio.

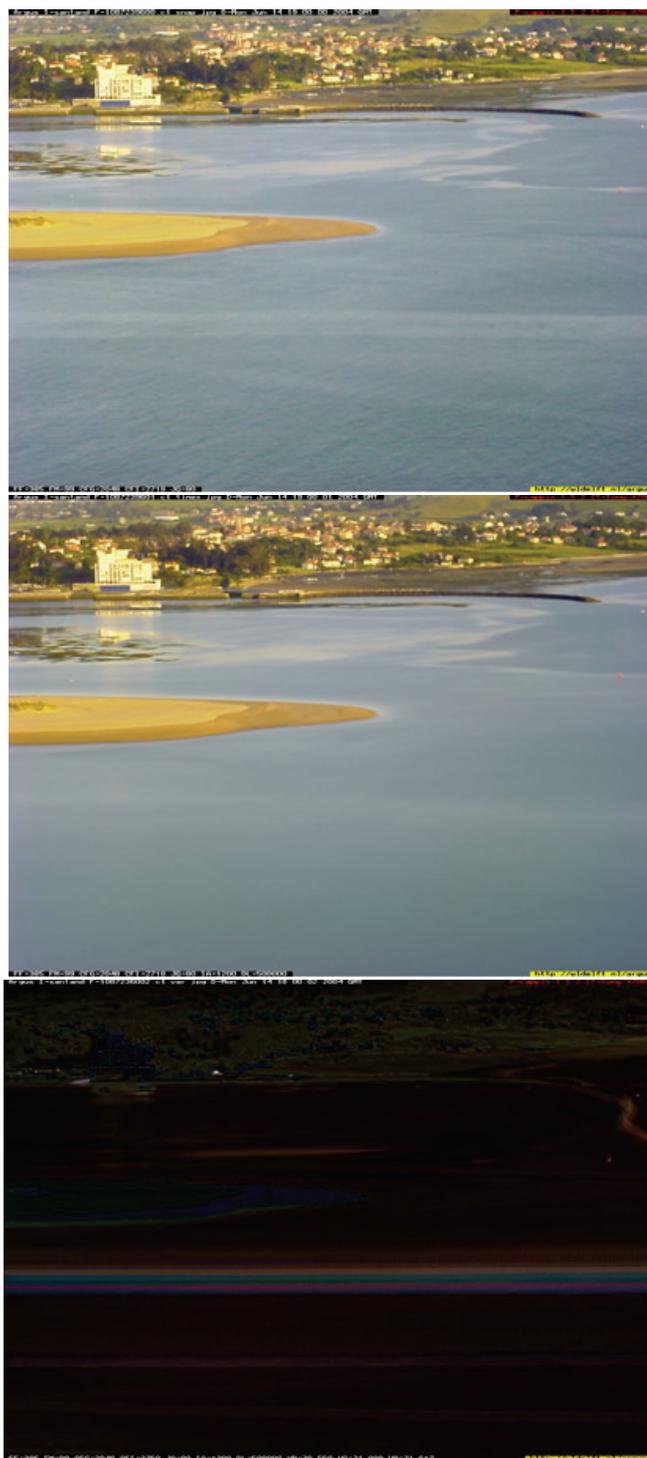


Figura 2.1. Tipos de imágenes ARGUS. En la parte superior se muestra una imagen instantánea o *SnapShot*, al centro una imagen promedio o *Timex* y abajo una imagen de varianza o *variance*.

### 2.2.1. Estación de Santander

Como parte del Proyecto Europeo Coastview (<http://www.thecoastviewproject.org/>) se instaló una estación tipo ARGUS en la Bahía de Santander para observar la playa del Puntal. La estación estuvo en operación desde finales del 2002 a agosto del 2006. Durante este periodo se obtuvieron aproximadamente 49,000 IMDP, las que han sido utilizadas en diversos estudios, *e.g.* estabilidad de playas (*Kroon et al.*, 2007), capacidad recreativa (*Jiménez et al.*, 2007), manejo de canales de navegación (*Medina et al.*, 2007) y ondas de arena (*Medellin et al.*, 2008, 2009)

La estación captura imágenes digitales la playa del Puntal desde la parte más alta de un edificio en la ciudad de Santander a 90 m por encima del nivel medio del mar y aproximadamente a 1 km de la costa (fig 2.2). Desde esta posición, es posible observar un área de playa de aproximadamente 2 km de largo y 150 m de ancho. En la figura 2.3 se muestra el área cubierta por cada una de las cámaras.



Figura 2.2. Localización de las cámaras en la ciudad de Santander. A la izquierda se muestra un detalle de la batería de cámaras utilizada para observar la playa del Puntal.

La colección de imágenes está formada por un conjunto de aproximadamente 49,000 imágenes oblicuas obtenidas por cada una de las 4 cámaras digitales. Estas imágenes tienen una resolución de  $1024 \times 768$  píxeles en la banda del espectro visi-

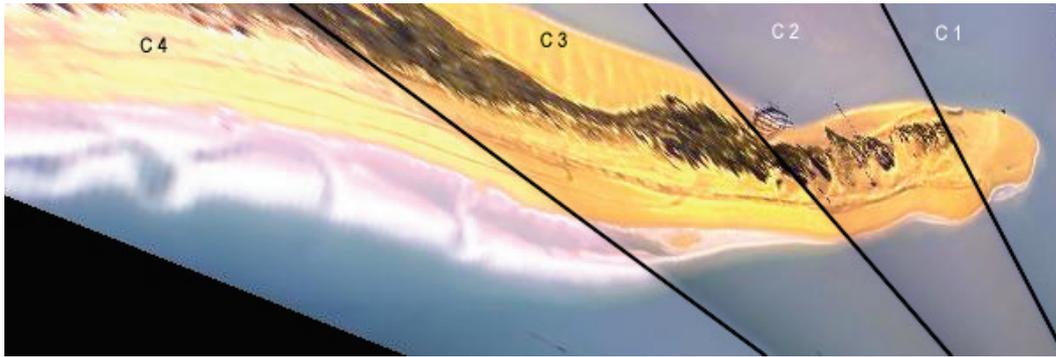


Figura 2.3. Vista de la playa del Puntal, obtenida mediante las 4 cámaras ARGUS instaladas en Santander. Las secciones captadas por cada cámara aparecen indicadas como: C1, C2, C3 y C4.

ble (RGB). Para la posterior rectificación de las imágenes se determinaron una serie de puntos de control georeferenciados. Esta colección de imágenes es utilizada como base en los experimentos de clasificación y para el diseño de una metodología en los capítulos siguientes. La resolución de las imágenes varía en función de la distancia a la posición de la estación, sin embargo es menor a los 8 m tanto en la dirección *long-shore* y *cross-shore* (figura 2.4)

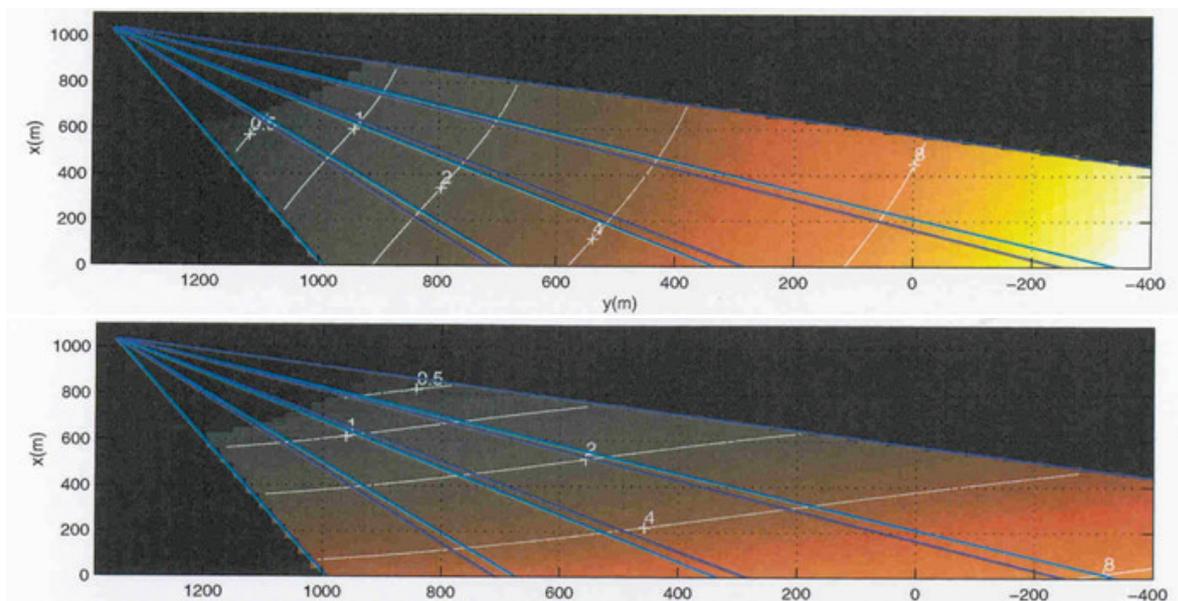


Figura 2.4. Distribución espacial de la resolución de las imágenes *long-shore* (arriba) y *cross-shore* (abajo).

### 2.2.2. Estación de Barcelona

La playa de la Barceloneta es monitoreada desde octubre de 2001 por medio de una estación ARGUS II colocada en la parte más alta del edificio de Mapfre (142 *mts*) como parte de la estación de monitoreo costero de Barcelona (*Coastal Monitoring Station of Barcelona*). El sistema esta formado por 5 cámaras de vídeo y captura imágenes digitales cada hora (Ojeda, 2008). El sistema esta formado por cinco cámaras de color que capturan IMDP de la Barceloneta así como de otras 4 playas y el puerto olímpico. La resolución de las IMDP es mejor de 1.5 *m* en la dirección perpendicular a la costa y de 19 *mts* en la longitudinal (Ojeda, 2008). Las imágenes se encuentran disponibles en el sitio web de la estación litoral Barcelona (<http://elb.cmima.csic.es>). La figura 2.5 muestra una IMDP rectificada donde se observa el conjunto de playas, el puerto y se encuentra indicada la playa de la Barceloneta.



Figura 2.5. Vista en planta del conjunto de IMDP unidas y rectificadas de las playas de Barcelona. Se indica la localización de la playa de la Barceloneta.

## 2.3. Procesamiento de imágenes

Cada píxel de la imagen digital tiene asociado una posición  $(u, v)$  que está directamente relacionada con las coordenadas reales  $(x, y, z)$  en la zona de estudio. Si se colocan correctamente un conjunto de cámaras, las imágenes obtenidas se pueden combinar para obtener una vista panorámica de la zona. Las imágenes oblicuas tienen que ser rectificadas y mezcladas digitalmente para generar una vista en planta no dis-

torsionada de la zona de estudio.

En la figura 2.6 se ilustra el modelo matemático planteado entre las coordenadas en la zona de estudios  $(x, y, z)$  y la posición de los píxeles en la imagen  $(u, v)$ . El modelo resuelve un número de incógnitas, tales como coordenadas de la cámara, ángulos de rotación, posición en el centro de la imagen, distancia focal y factores de escala  $(\phi, \tau, x_c, y_c, u, v, \lambda_u, \lambda_v, f)$ . *Abdel-Aziz y Karara (1971)* plantearon un sistema de ecuaciones lineales que relacionan por medio de algunos parámetros la imagen con las coordenadas tridimensionales, una aplicación de esto fue presentado por *Holland et al. (1997)*. Pero para resolver este sistema se debe tomar puntos claramente visibles en la imagen y relacionarlos con las coordenadas reales. Estos puntos son conocidos como puntos de control o *Ground Control Point (GCP)*.

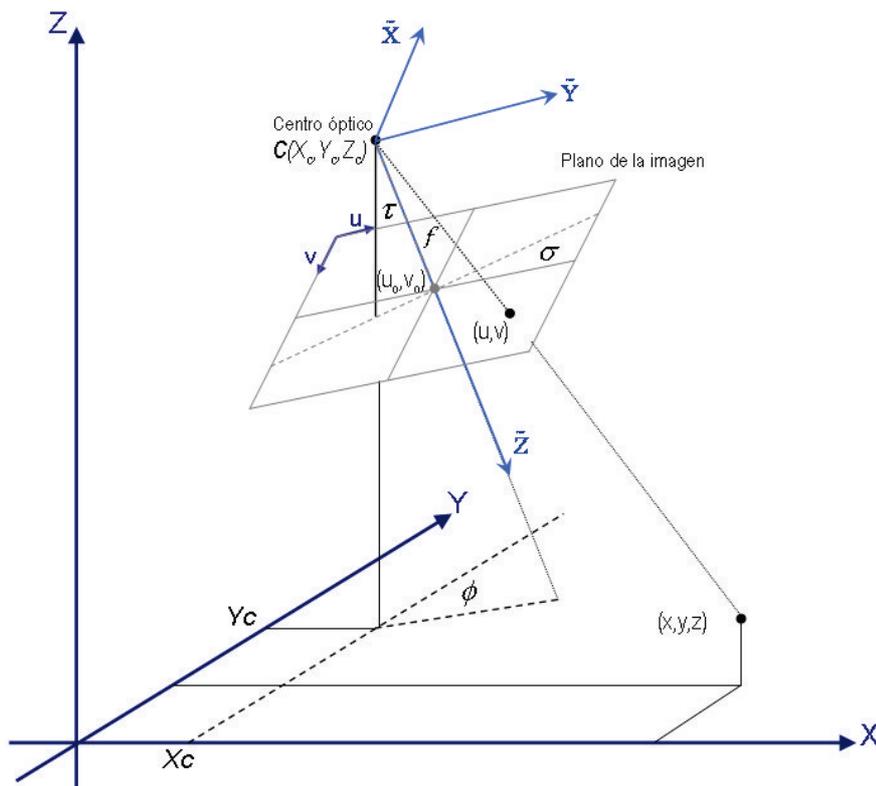


Figura 2.6. Relación co-lineal entre las coordenadas de la cámara  $(x_c, y_c, z_c)$ , la imagen  $(u, v)$ , y la zona de estudio  $(x, y, z)$ . Además los ángulos de rotación  $(\phi, \tau, \sigma)$  usados en la definición de la orientación.

### 2.3 Procesamiento de imágenes

---

Una vez determinados los GCP's y todos los parámetros del sistema de ecuaciones, se procede a la rectificación de las imágenes. Esto permite cuantificar las características visibles en el campo de visión de las cámaras. La resolución del sistema co-lineal permite obtener una solución geométrica de la imagen (*image geometry*). Estas soluciones geométricas se determinan cada cierto número de imágenes almacenadas, de esta manera se pueden corregir los posibles movimientos de las cámaras debido a agentes externos *i.e.*, como el viento. En la actualidad sistemas como **ARGUS** están incorporando técnicas capaces de obtener las geometrías de manera automática (*Stockdon y Holman, 2000*), por medio GCP claramente visibles (boyas sobre la playa) e identificables.

Una vez resuelto el problema de la rectificación de la distorsión panorámica de las imágenes. Esto proporciona una de las características más interesantes del sistema: la posibilidad de convertir imágenes panorámicas en imágenes en planta sin ningún tipo de distorsión sobre las que se puede medir el valor una amplia gama de parámetros (Figura 2.7).



Figura 2.7. Ejemplo de imagen rectificada. En la parte superior se muestra una de las IMDP del Puntal correspondiente al 7 de julio del 2006. En la parte inferior se muestra el resultado de la rectificación de la IMDP.

La rectificación de las imágenes oblicuas para la obtención de imágenes en planta sobre las que se puedan realizar mediciones requiere un profundo conocimiento de la fotogrametría del sistema cámara-imagen, así como conocimiento exacto y preciso de los parámetros de posición asociados a la cámara (azimut, elevación, FOV y rotación).

Otro elemento de gran interés dentro del sistema de cámaras consiste en la posibilidad de utilizar baterías de cámaras orientadas sobre áreas adyacentes, de modo que, una vez geo-referenciado correctamente, se pueda combinar un conjunto de imágenes simultáneas para obtener una panorámica más amplia que abarque una superficie mayor, de modo que, en lugar de tener una pequeña sección de costa, se puede estudiar tramos costeros de varios kilómetros (Figura 2.8).

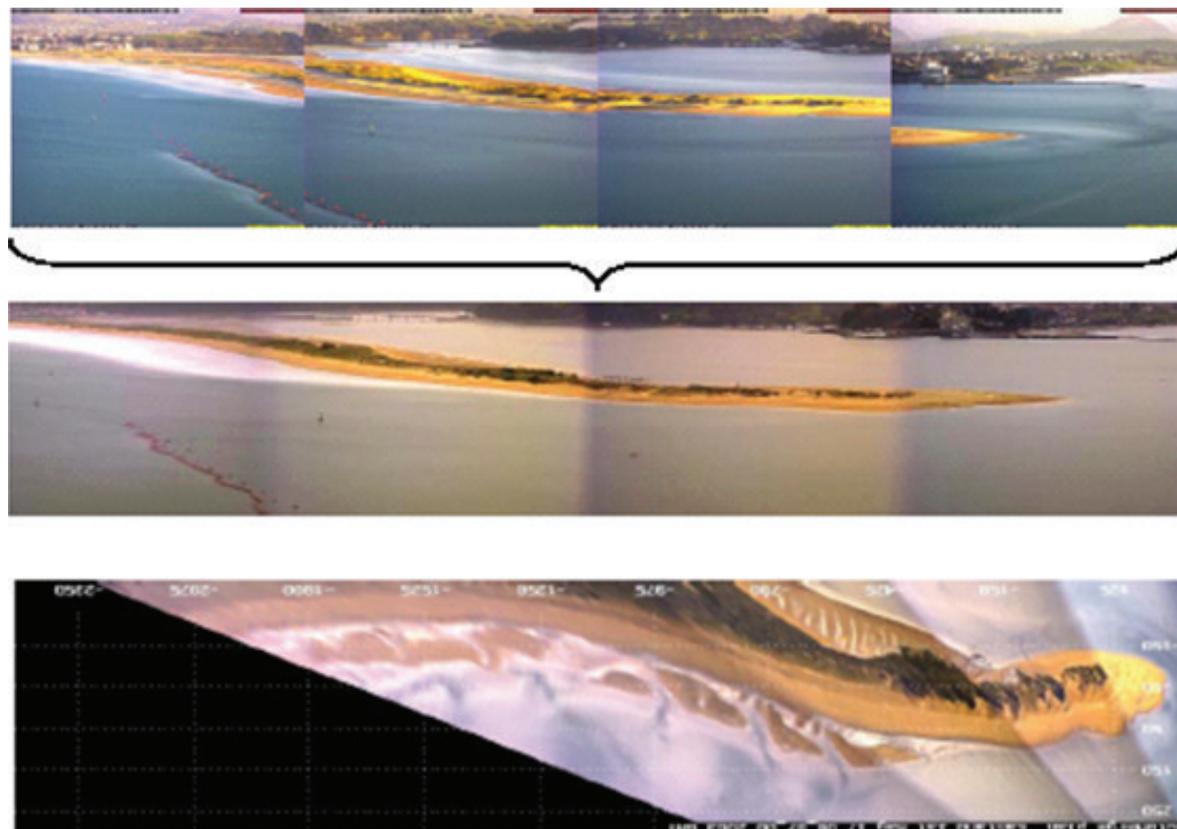


Figura 2.8. Ejemplo del resultado obtenido a partir de la combinación de las imágenes de cuatro cámaras en la Playa del Puntal, Santander. En la imagen superior, las cuatro imágenes sin combinar. En la imagen intermedia, panorámica con imágenes combinadas. Finalmente, en la imagen inferior, la vista en planta rectificada.