

Sistema óptico de medida de batimetrías del CEPYC

J. BUENO, J. ALEIXANDRE, J. TAMARIT (*); L. MORENO, J. M. PRADA, A. HERNÁNDEZ (**)

RESUMEN La obtención de las batimetrías en los ensayos de fondo móvil es una parte importante en los estudios que se realizan en Ingeniería de Costas.

El artículo describe el desarrollo de un nuevo método basado en técnicas de imagen para obtener las batimetrías en ensayos de fondo móvil. El método requiere de un sistema informático, un sistema de captura de imágenes y alguna instrumentación adicional para automatizar ciertos procesos en la operación del equipo.

En la zona experimental de ensayos del CEPYC se ha comprobado la operatividad y viabilidad del sistema que cumple con las especificaciones requeridas y donde ya se han obtenido los primeros resultados satisfactorios.

BATIMETRY MEASUREMENT OPTIC SYSTEM OF CEPYC

ABSTRACT The obtention of batimetries in the Coastal Mobil Bed Model is an important part of the Coastal Engineering studies.

The article describes the development of a new method based on image techniques to obtain batimetries in tests of Coastal Mobil Bed for laboratory modelling. The method requires a computer system, an image capture system, and some additional instrumentation to automatise some processes in the equipment operation.

The system meets the required specifications. The first satisfactory results have been obtained in the experimental test area of CEPYC where both operativity and viability have been demonstrated.

Palabras clave: Batimetrías; Óptica; Fondo móvil; Instrumentación.

1. INTRODUCCIÓN

La obtención de las batimetrías en los ensayos de fondo móvil es una parte importante en los estudios que se realizan en este tipo de ensayos.

Hasta ahora se obtenían colocando hilos según las batimetrías y se realizaban fotografías verticales que después se digitalizaban y procesaban.

El sistema óptico de medida que se describe en este artículo ha permitido obtener las batimetrías que antes eran muy difíciles y laboriosas de realizar (sobre todo en modelos muy grandes) de una forma accesible, no se interfiere en el modelo al no haber contacto físico y se gana en precisión y rapidez, el resultado final es un archivo de medidas que se utiliza como entrada para otros programas de análisis y cálculos de los utilizados en Ingeniería de Costas.

Este equipo ha sido desarrollado gracias al trabajo en equipo de diferentes especialistas del CEPYC, del Sector de Técnicas Físicas y Electrónicas del CETA y del Departamento de Tecnología Electrónica de la E.T.S.I. Telecomunicación, gracias a un convenio de colaboración entre el CEDEX y la Fundación General de la UPM.

2. FUNDAMENTOS DEL MÉTODO

Para obtener la batimetría del fondo de arena de los modelos de fondo móvil, hay que discriminar la línea de orilla (interfase agua-arena) a diferentes niveles de agua obteniendo así las curvas de nivel.

El sistema utiliza una cámara de vídeo conectada a un ordenador que se programa para que capture imágenes cuando la lectura obtenida con la sonda de nivel de agua coincide con la programada cuando el modelo se está llenando o vaciando de agua.

Es de fundamental importancia encontrar las condiciones de iluminación adecuadas para que la imagen obtenida presente el mayor contraste posible entre el agua y la arena. En los ensayos realizados de día se intenta que el agua salga de color oscuro lo más uniforme posible sin reflejos, y la arena de color claro.

Una vez con las imágenes almacenadas, se requiere de un software específico para discriminar la línea de orilla y realizar la corrección geométrica.

La obtención de las curvas de nivel se realiza de forma manual "dibujando" sobre la imagen con un ratón la línea de separación entre agua y arena.

Una vez obtenida la curva sobre la imagen, se generan las coordenadas de sus puntos en unidades de foto (píxeles). Debido a la inclinación de la toma deberán ser corregidas geométricamente para obtener las coordenadas reales de cada curva.

La corrección digital de la geometría de las líneas de orilla se realiza encontrando la función matemática que liga

[*] Sector de Técnicas Físicas y Electrónicas del CETA (CEDEX), Ministerio de Fomento.

[**] Centro de Estudios de Puertos y Costas (CEDEX), Ministerio de Fomento.

las coordenadas de la imagen en píxeles de la pantalla con las coordenadas reales del modelo. Esto se hace con la ayuda de puntos de control o marcas cuya posición es bien conocida en coordenadas de modelo.

La función encontrada para la cota de control se corrige a la cota de la línea de orilla a la que se aplica.

Una vez corregidas todas las líneas de orilla se obtiene un archivo en digital de la batimetría del fondo de arena.

3. COMPONENTES FÍSICOS DEL SISTEMA Y PROGRAMA DE MEDIDA

El sistema de medida de batimetrías está compuesto por los siguientes equipos:

- Ordenador.
- Tarjeta convertidor analógico/digital.
- Tarjeta de adquisición video.
- Cámara de video.
- Sistema de iluminación.
- Sensor medida del nivel de agua.

Las placas de conversión analógico/digital y de adquisición de video van instaladas dentro del propio ordenador, y son necesarias la primera para digitalizar la señal eléctrica que proporciona el sensor de medida de nivel de agua y así el sistema reconoce la cota del nivel de agua en el modelo y la segunda para digitalizar la imagen que suministra en forma de señal analógica la cámara de video.

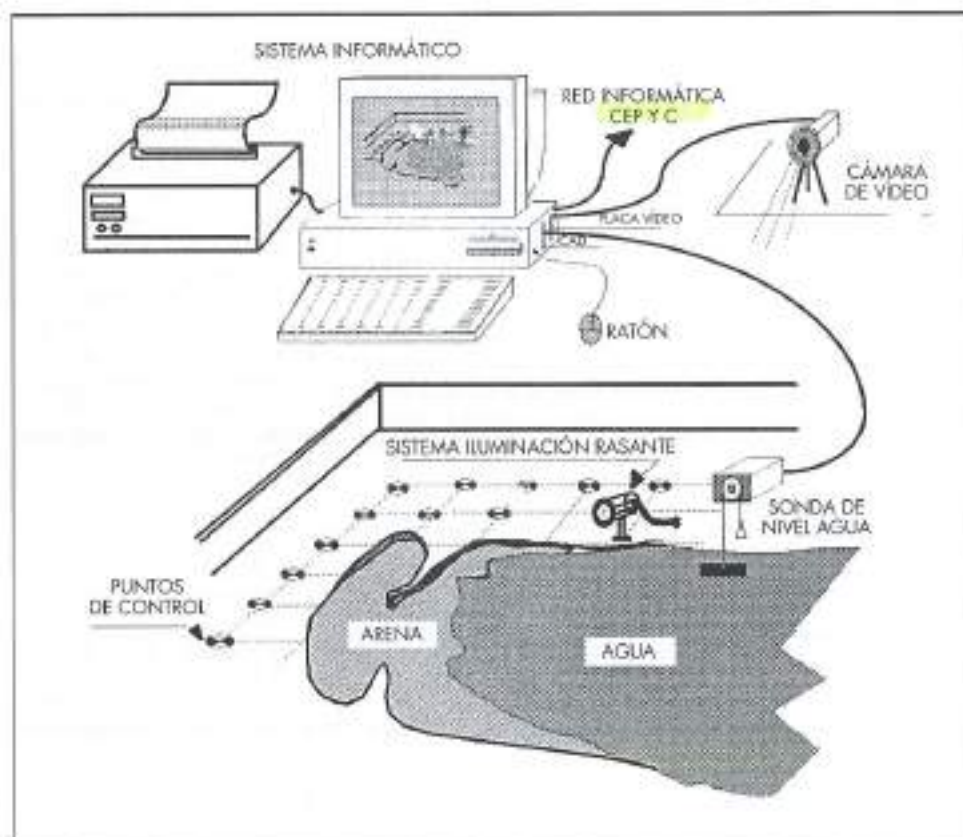
La capacidad de almacenamiento deberá ser relativamente elevada debido al volumen de datos que se manejarán

al ser imágenes digitalizadas, así como tener suficiente cantidad de memoria y velocidad de cálculo para poder realizar operaciones con dichas imágenes.

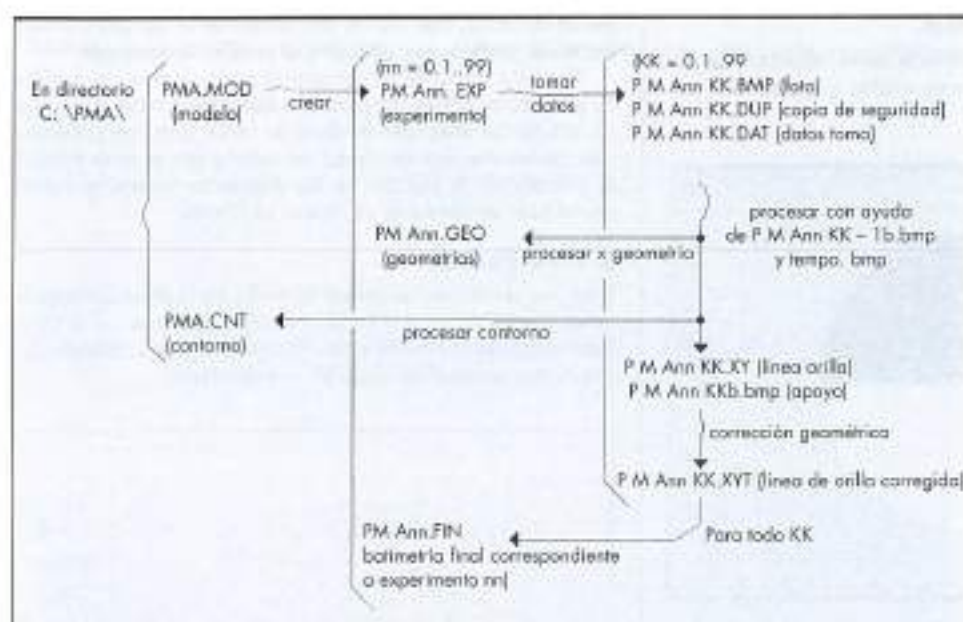
El programa de batimetrías se ha realizado en Visual basic 3.0, y corre bajo el sistema operativo DOS 6.2 y entorno Windows. El programa requiere algún software adicional para su correcto funcionamiento. Además de los drivers de las placas especiales que utiliza se requiere la utilización de un software comercial de tratamiento de imágenes (Adobe photoshop).

El programa se ha estructurado según los siguientes bloques, asociados a las aplicaciones a realizar por el sistema de medida:

1. **Planificación de los experimentos.** Se entiende por experimento la obtención de una batimetría del fondo móvil que haya sido sometida a un tipo de oleaje.
2. **Adquisición de imágenes.** Proceso automático que permite la captura de imágenes en sincronismo con el nivel de agua siguiendo el plan programado en el apartado anterior.
3. **Obtención de las curvas de nivel.** Procesamiento de las imágenes obtenidas por análisis de contraste entre tierra y agua, y obtención de la nube de puntos representativa de la curva de nivel dibujada en píxeles.
4. **Corrección de las coordenadas.** Sobre los puntos que forma la curva de nivel para obtener coordenadas de dichos puntos en unidades de modelo, corrigiendo aberraciones geométricas.
5. **Generación de un archivo XYZ.** Engloba todas las curvas de nivel de la batimetría realizada.



Instrumentación del sistema óptico de medida.



Esquema general de archivos.

Toda la información se estructura de forma que se generen automáticamente una serie de archivos al terminar cada aplicación. En el siguiente esquema se muestra un diagrama de flujo representativo de los archivos generados.

4. PROCEDIMIENTO PARA LA REALIZACIÓN DE UN ENSAYO

Generalmente la ubicación del modelo dentro del Laboratorio de Puertos viene condicionada por la disponibilidad de espacio, escala del modelo, etc., y nos solemos encontrar con un modelo ya construido donde tenemos que realizar la batimetría con este equipo.

Los pasos a seguir se resumen a continuación:

a) Posición de la cámara

Lo primero que hay que hacer es elegir la posición más adecuada de la cámara para obtener todo el campo de ensayo en el visor. Conviene fijarse en que en el campo de ensayo deban entrar el contorno de interés del modelo, los puntos de control y toda la zona sumergida de arena que se quiere estudiar.

b) Condiciones de iluminación

Se tendrán en cuenta los siguientes puntos:

- Eliminación de reflejos en el agua del modelo colocando paneles en los ventanales superiores del Laboratorio y apagando los focos de la nave.
- Colocación de los focos para iluminar la arena con luz rasante, evitando crear sombras.
- Pintar el perfil del modelo con color mate oscuro, así como muros laterales de construcción y demás detalles que puedan dar reflejos fuertes al iluminar la arena.

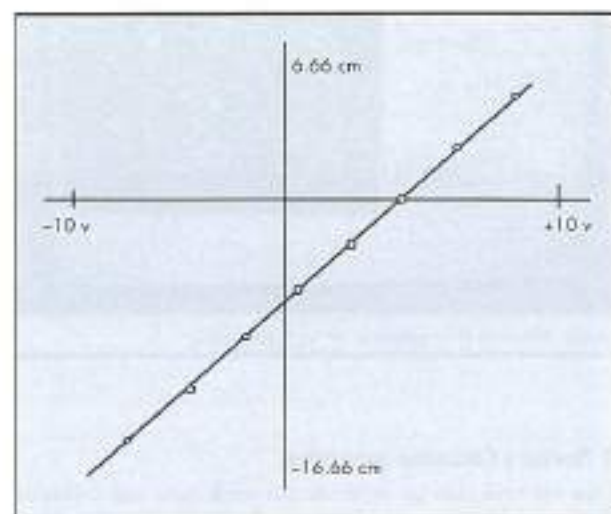
c) Instalación y calibración de la sonda

Se elegirá el sitio más adecuado para la colocación de la sonda en el limnómetro, teniendo en cuenta que si tenemos fácil acceso a ella mejor, ya que facilitará la calibración.

Como dato necesario se requiere conocer la cota inicial, y el rango de profundidad a tomar en cms. Se ajustará entonces el amplificador interno y la posición de la polea para corresponder los extremos del recorrido con la mayor señal de tensión en voltios posible, sin llegar a saturar el acondicionador, ni sobrepasar el nivel de entrada a la placa CAD (± 10 voltios).

Con ayuda de un programa de aplicación específico se realiza la calibración, basta colocar la sonda en una posición determinada e introducir por teclado el valor correspondiente a dicha posición. Se introducirán una serie de valores correspondientes a las diferentes posiciones de la sonda elegidas de forma que estén espacialmente bien distribuidas en todo el rango de medida del sensor.

Se considerará un buen ajuste si al introducir todos los puntos se obtiene un valor para el coeficiente de regresión cercano a la unidad (0.99999).



Curva de calibración sonda de profundidad.

d) Situación de los puntos de control

En principio con unos diez es suficiente, situándolos de forma que sean fácilmente reconocibles y espacialmente bien distribuidos.



e) Arranque del proceso

Una vez realizadas estas pasos, conviene recoger todos los datos relacionados con el modelo (escala, cota de control,...) y se diseñará un experimento con el número de curvas a tomar y el espaciado entre ellas.

Para ello será necesario:

- Obtener la posición de la cámara (coordenadas x, y, z y ángulo del eje óptico formado con el eje y).
- Obtener un plano del modelo a ensayar, y reconocer sobre el mismo los puntos de control, con sus coordenadas (x, y) referidas a la nave, o al origen de coordenadas elegido, y la cota de control.



Imagen obtenida en la ejecución de un experimento.

f) Proceso y Corrección geométrica

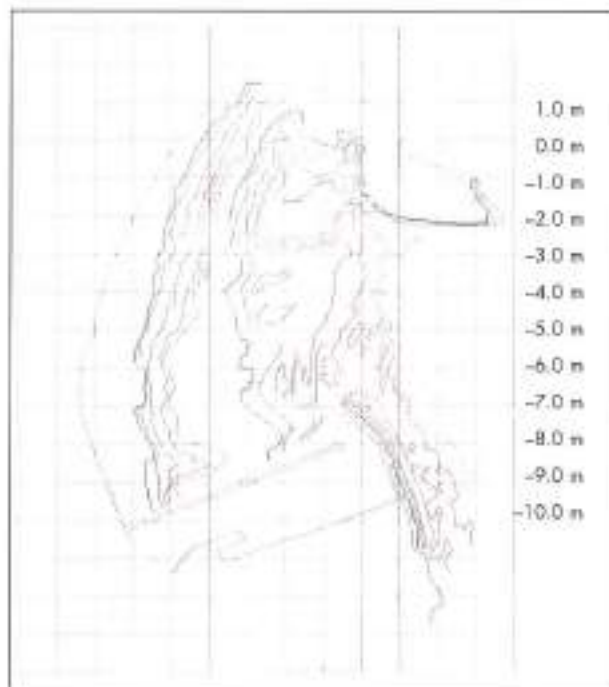
Una vez realizado un experimento tendremos una colección de tomas obtenidas por el sistema de adquisición de imágenes. Se irán procesando cada una de ellas para obtener las

líneas de orilla. Con una de las imágenes se dibujará el contorno del modelo, y se obtendrá el archivo de contorno.

También conviene en un primer paso obtener un archivo de geometría, marcando para ello todos los puntos de control en una de las imágenes de línea de orilla. Una vez realizada una geometría, hay que tener en cuenta que si no se cambió la posición de la cámara en las diferentes tomas, es válida para todas las líneas de orilla que se tomen.

g) Resultados finales

Una vez obtenidas las líneas de orilla corregidas correspondientes a todos los niveles se procederá a obtener el archivo final asociado al experimento. También se puede obtener por impresora el resultado final de la batimetría.



Salida por impresora de una batimetría

5. CONSIDERACIONES EN TORNO A LA CORRECCIÓN GEOMÉTRICA

La corrección digital de la geometría de una imagen se realiza estableciendo una función matemática que liga las coordenadas de la imagen en pixels de la pantalla con las coordenadas reales del modelo. Este tipo de transformación puede expresarse en su forma más general como:

$$x_n = f(x_f, y_f)$$

$$y_n = g(x_f, y_f)$$

donde: (x_n, y_n) coordenadas del modelo referidas a la nave.
 (x_f, y_f) coordenadas en pixels de la pantalla.

a) Corrección cartográfica de imágenes en teledetección espacial

En teledetección espacial, se utilizan transformaciones que rigen las siguientes expresiones:

$$x_n = \sum_{j=0}^m \sum_{k=0}^{m-j} a_{jk} x_f^j y_f^k$$

$$y_n = \sum_{j=0}^m \sum_{k=0}^{m-j} b_{jk} x_f^j y_f^k$$

En ellas están expresadas alteraciones generadas en la imagen provocadas por un cambio de escala, traslación, cambio de origen, una inclinación, perspectiva, rotación de ejes. Estas alteraciones serán suficientes para corregir imágenes pequeñas, siempre que no se presenten contrastes altimétricos importantes.

En muchas ocasiones con una transformación afín regida por un polinomio de primer grado es suficiente

$$\begin{aligned} x_n &= a_0 + a_1 x_f + a_2 y_f \\ y_n &= b_0 + b_1 x_f + b_2 y_f \end{aligned}$$

En caso de requerir una modificación más rigurosa, se pueden acudir a funciones polinómicas de segundo o tercer grado, en donde se abordan alteraciones geométricas no lineales.

Definidos una serie de puntos de control previamente seleccionados, se calculan los coeficientes de las funciones de transformación aplicando un ajuste por mínimos cuadrados, con operaciones idénticas a las requeridas en una regresión múltiple convencional.

La bondad del grado de ajuste conseguido se mide por la importancia de los residuales, esto es, la diferencia entre el valor estimado y el real para cada uno de los puntos de control. El indicador más utilizado para valorar la calidad de la corrección geométrica es el error cuadrático medio (RMS), que para cada punto de control será

$$RMS(i) = \{ [x_e(i) - x_r(i)]^2 + [y_e(i) - y_r(i)]^2 \}^{0.5}$$

El promedio de los RMS para todos los puntos de control facilita una evaluación de la calidad general del ajuste.

b) Geometría proyectiva

La ecuación más general que rige un tipo de transformación geométrica proyectiva viene dada por:

$$\begin{aligned} x_n &= (a_1 + a_2 x_f + a_3 y_f) / (c_1 + c_2 x_f + c_3 y_f) \\ y_n &= (b_1 + b_2 x_f + b_3 y_f) / (c_1 + c_2 x_f + c_3 y_f) \end{aligned}$$

Este tipo de transformación es el que se da en nuestro caso al obtener una imagen con la cámara de vídeo en la nave.

Con las coordenadas de los puntos de control en la nave (x_n, y_n) y sus correspondientes en la foto (x_f, y_f) y con un número suficiente de puntos de control se pueden encontrar los coeficientes óptimos de estas funciones no lineales por el método de ajuste por mínimos cuadrados, en general, será un proceso iterativo que se parará cuando en iteraciones sucesivas el valor calculado para la función a minimizar no cambie en más de una cantidad aceptable.

La función así obtenida sirve para corregir las imágenes obtenidas en el plano o a la cota donde están situados los puntos de control.

Para que la función de transformación geométrica realizada con los puntos de control nos sirva para realizar la corrección de imágenes obtenidas a otras cotas, no nos sirve obtener los coeficientes de la función general, sino que conviene ir más allá y definir el ángulo óptico que relaciona los dos planos de imágenes, el de la cámara y el de la nave, tal como se ha realizado en este trabajo.

c) Corrección geométrica utilizada

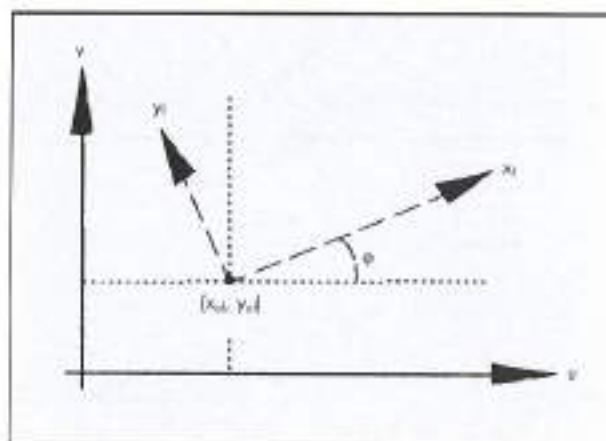
Las coordenadas de las líneas de orilla y puntos de control en el sistema de referencia elegido de la nave y las corres-

pondientes en la imagen obtenida en la foto se relacionan de acuerdo a las siguientes ecuaciones:

TRANSFORMACIONES GEOMÉTRICAS DE COORDENADAS

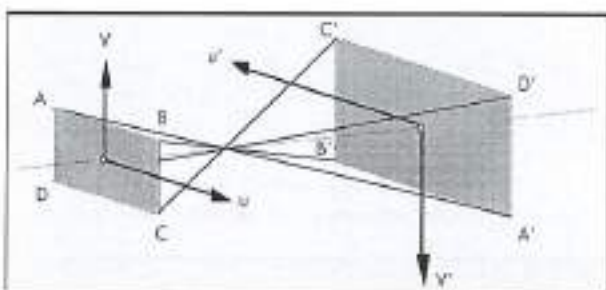
1) Transformaciones para hacer coincidir ejes foto con u,v:

$$\begin{aligned} u &= (x_f - x_0f) * \cos \theta + (y_0f - y_f) * \sin \theta \\ v &= (y_0f - y_f) * \cos \theta - (x_f - x_0f) * \sin \theta \end{aligned}$$

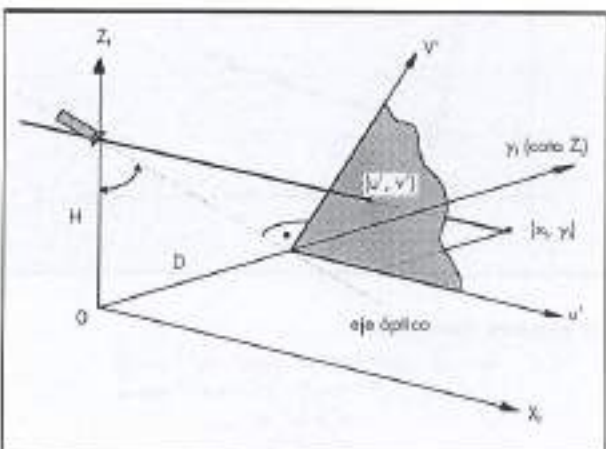


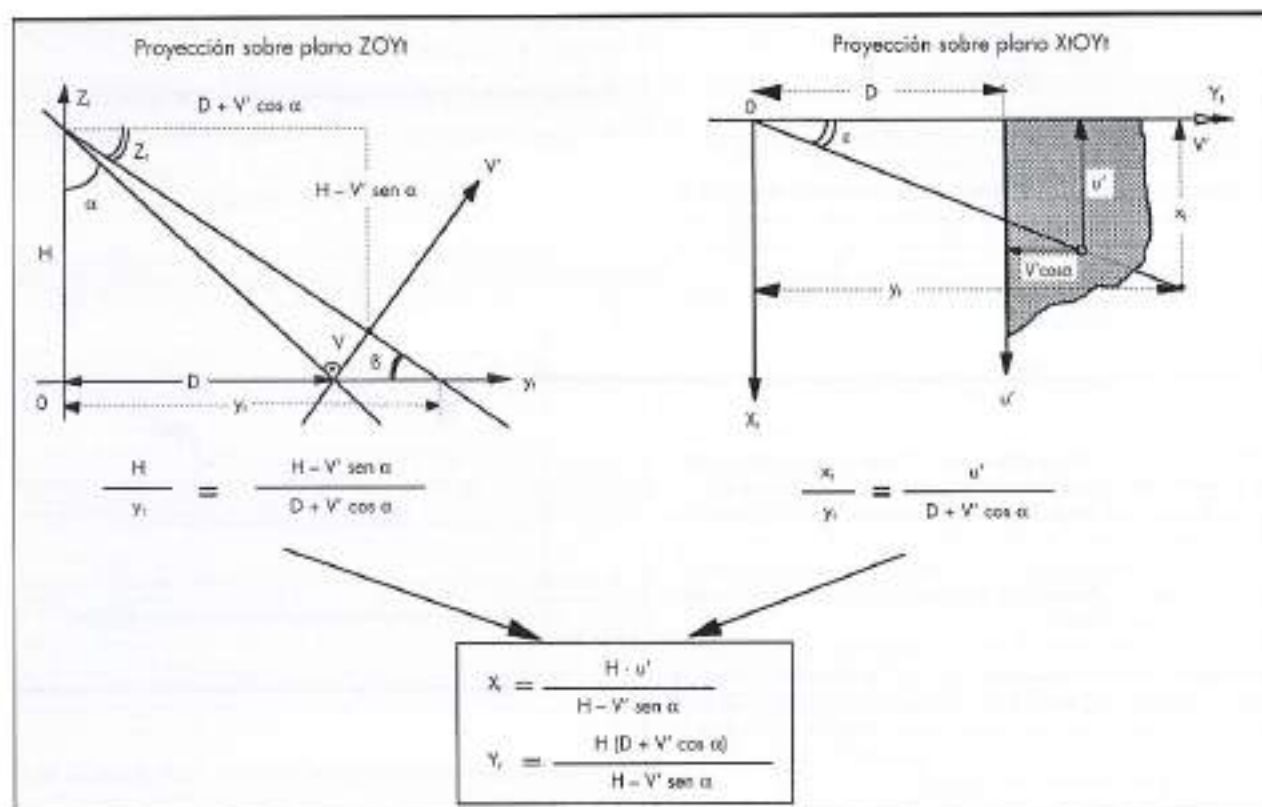
2) Ampliación del cuadro en un factor k para llevar la imagen al suelo:

$$\begin{aligned} u' &= k * u \\ v' &= k * v \end{aligned}$$



3) Eje intermedio de coordenadas x_t, y_t





Se obtiene:

$$\text{Tang } \alpha = D/H$$

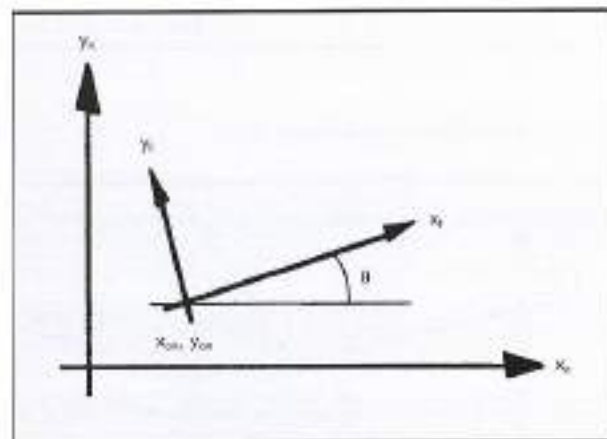
$$y_i = H^2 (v' \cos \alpha + D) / (H^2 - v'^2 \cos^2 \alpha + D^2)$$

$$x_i = u' (H^2 + y_i^2 D) / (H^2 + D^2)$$

4) Relacionar estos ejes con el sistema de referencia de la nave:

$$x_n = x_i \cos \theta + y_i \sin \theta + x_{on}$$

$$y_n = x_i \sin \theta + y_i \cos \theta + y_{on}$$



En resumen obtenemos:

$$u = (x_f' - x_{of}) \cos f_i + (y_{of}' - y_f') \sin f_i$$

$$v = (y_{of}' - y_f') \cos f_i - (x_f' - x_{of}) \sin f_i$$

$$u' = k \cdot u$$

$$v' = k \cdot v$$

$$\text{Tang } \alpha = D/H$$

$$y_i = H^2 (v' \cos \alpha + D) / (H^2 - v'^2 \cos^2 \alpha + D^2)$$

$$x_i = u' (H^2 + y_i^2 D) / (H^2 + D^2)$$

$$x_n = x_i \cos \theta + y_i \sin \theta + x_{on}$$

$$y_n = x_i \sin \theta + y_i \cos \theta + y_{on}$$

Los parámetros calculados son:

x_{of}, y_{of} : Coordenadas del centro de la foto en pixels

f_i : Tilt lateral cámara.

k : Constante de zoom.

H : Altura de la cámara respecto a plano control (cms).

D : Distancia vertical cámara a centro óptico (cms).

θ : Ángulo eje óptico con eje Y (referencia nave).

x_{on}, y_{on} : Coordenadas de la cámara referidos al sistema de referencia elegido en la nave (cms).

Partiendo de los valores iniciales suministrados por el usuario para x_{on}, y_{on}, θ y H , se calculan en una primera fase una estimación de los otros.

Posteriormente se entra en un proceso iterativo de ajuste para encontrar los valores óptimos de los coeficientes para los puntos de control situados a una determinada cota (Z_c).

Para corregir la imagen asociada a otra cota de control se utiliza la misma transformación, teniendo en cuenta que el eje óptico corta al nuevo plano paralelo al de control a otra cota (Z_i) en otro punto, teniendo que modificar solo los valores de H y D ,

$$H_{real} = H + (Z_c - Z_i)$$

$$D_{real} = D + (Z_c - Z_i) \cdot \tan \alpha$$

6. CONCLUSIONES

Actualmente, el sistema se ha utilizado con modelos de fondo móvil, y se ha verificado su utilidad en este tipo de ensayos, los resultados obtenidos con el nuevo método son totalmente satisfactorios. Conviene estudiar su aplicación en otros tipos de ensayos y modelos, estudios de diques, erosión de las hélices de buques atracados, etc., para ver la viabilidad del sistema en estos y a diferentes escalas. En cualquier caso contamos con un sistema abierto para futuras amplia-

ciones, mejoras y aplicaciones que puedan surgir en el futuro.

7. AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer a Carlos González, Enrique Iborra y Tomás Rodríguez del Departamento de Tecnología Electrónica de la RTSI Telecomunicación por su brillante labor en el desarrollo científico y experimental del actual sistema óptico de medida de batimetrías de fondo móvil.



La dotación de los premios sobrepasa los dos millones de pesetas

URALITA entregó los premios Obra Civil 1997 a los alumnos de las Escuelas de Caminos de España

El Grupo URALITA entregó el pasado día 20 de junio los premios de la tercera edición de los PREMIOS URALITA OBRA CIVIL que patrocina la empresa URALITA OBRA CIVIL y que organiza con la colaboración del

Colegio de Ingenieros de Caminos y de las Escuelas Técnicas Superiores de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de toda España.

En esta tercera edición ha sido galardonado con el Premio Nacional, dotado con 600.000 pesetas, el equipo formado por D^a Irene Virginia Alzugaray Verdura, D. Juan Pablo Díaz Batanero, D^a Natalia Pérez Vallecillos, D. Javier Quirós Fernández y D. José Vara Plazas de la Escuela de Granada por su trabajo:

Proyecto de reutilización de aguas residuales domésticas

El Jurado Nacional estuvo compuesto por D. José Liria Montañes, Presidente; D. Fernando García Bertrán, Secretario y los vocales D. José María Martín Mendiluce, D. José Rubio Bosch y D. Eugenio Ruíz-Gálvez Priego.

El Premio Especial dotado con 300.000 pesetas que concede URALITA al trabajo que mejor represente aplicaciones de sus productos y el carácter innovador de dichas aplicaciones, ha correspondido al trabajo realizado por D. Jordi Quintana Rodríguez de la Escuela de Barcelona, bajo el título **Urbanización Verde**.

Este Concurso, instituido en 1994 por URALITA PRODUCTOS Y SERVICIOS, tiene su principal fin en la promoción de un mayor acercamiento entre el mundo empresarial y la Universidad, con el afán de estimular a los alumnos de las diversas Escuelas a desarrollar las enseñanzas que se les imparten y a profundizar e investigar en las materias.

Los premios URALITA OBRA CIVIL convocan cada año a estudiantes de las Escuelas de Caminos, Canales y Puertos de toda España, optando los trabajos a un Primer Premio y dos Accésit por Escuela, dotados con 100.000 y 50.000 pesetas, respectivamente.

De entre los Primeros Premios por Escuela un jurado nacional (compuesto por un representante del Colegio de Ingenieros de Caminos, dos Ingenieros de Caminos de reconocido prestigio y dos Ingenieros de Caminos de URALITA) designa el ganador del Premio Nacional. Al Premio Especial, cuyo jurado está compuesto por el equipo técnico de URALITA, tienen acceso tanto los primeros premios como los Accésit.

El acto de la entrega de premios, que estuvo presidido por Eugenio Ruíz-Gálvez, Consejero Delegado del Grupo URALITA, se desarrolló en el Hotel Ritz de Madrid. La apertura oficial del acto corrió a cargo de José Antonio Torroja Cabanillas, Presidente del Colegio de Ingenieros de Caminos.

PREMIOS **URALITA** OBRA-CIVIL'97

CONDUCCIONES
Y TRATAMIENTOS
DE AGUAS



TELÉFONO DE INFORMACIÓN: 91-445 10 00 URALITA OBRA CIVIL

COLABORAN

Las Escuelas Técnicas Superiores
de Ingenieros de Caminos,
Canales y Puertos convocantes.

PATROCINA

El Colegio de Ingenieros de
Caminos, Canales y Puertos

URALITA
OBRA CIVIL

