

DIANA – Sistema de gestión y ayuda a la navegación en Puertos Deportivos

Jordi Lluch [1], Antonio Fco. Padilla [1], Julia Pecci[1], Manuel Gordillo[2], José Benítez, Juan Navarro

[1] Aurensis S.A, Av. Alcalde Barnils 72 3ª pl.,
08190 St. Cugat del Vallès, Barcelona - España
<mailto:jlluch@arensis.com>, <mailto:apadilla@arensis.com>, <mailto:jpecci@arensis.com>
www.aurensis.com

[2] Gordillo & Partners
<mailto:info@gordillopartners.com>

Keywords. Navegación, Cartografía, GPS

Abstract. En el ámbito de las embarcaciones de recreo existe una amplia gama de productos de ayuda a la navegación que cubren de forma general el tránsito en aguas abiertas, no obstante la práctica totalidad de ellos presentan graves carencias ante la necesidad de una navegación de precisión, como por ejemplo dentro de las aguas de un puerto o en proximidad a la línea de costa. Ante cambios en las condiciones de navegación, en condiciones ambientales adversas o en zonas desconocidas, los sistemas actuales no contribuyen a reducir los riesgos, que pueden llegar a poner en peligro tanto a la embarcación como a sus tripulantes. El sistema DIANA nace con el objetivo de ofrecer a las autoridades portuarias una herramienta que proporcione al navegante información de alta precisión en su acceso al puerto, actualización en tiempo real de los eventos que supongan riesgos potenciales y utilidades que faciliten la venta de servicios. Esto se consigue combinando un posicionamiento rigurosamente preciso gracias al sistema GPS WAAS / EGNOS, una cartografía de alta resolución actualizada on-line y una conexión en tiempo real a los sistema de información del puerto. DIANA potencia las capacidades de gestión y coordinación de los recursos del puerto, mejorando la calidad de los servicios prestados y abre un canal para la promoción de los servicios turísticos locales generando nuevas oportunidades de negocio al puerto y mayor comodidad a los usuarios. De este modo DIANA se erige como un elemento de diferenciación del puerto.

1. Abreviaturas utilizadas

VHF: Very High Frequency. Banda de frecuencias

GPS: Global Positioning System

2 Jordi Lluch [1], Antonio Fco. Padilla [1], Julia Pecci[1], Manuel Gordillo[2], José Benítez, Juan Navarro

EGNOS: European Geostationary Navigation Overlay Service
ESA: European Space Agency
DGPS: Diferential GPS.
WAAS: Wide Area Augmentation System
SOLAS: Safety of Life at Sea
GPRS: General Packet Radio Service
NMEA: National Marine Electronics Association
RS232: Recommended Standard-232 for connecting serial devices.
USB: Universal Serial Bus
RMSE: Root Mean Square Error.
TDE: Terminal Diana Embarcado
SD: Servidor Diana
SGP: Sistema de Gestión del Puerto
PIP: Portal Internet del Puerto

2. Introducción

Diana es un sistema de gestión y ayuda a la navegación en Puertos Deportivos que se gestó a finales del año 2003 y cuyo desarrollo se ha acometido durante el pasado año 2004. El sistema Diana ha sido posible gracias a la colaboración establecida entre las empresas Aurensis y Gordillo&Partners y a los fondos subvencionados por el CDTI. Así mismo, los participantes desean agradecer al Club Náutico de Denia su inestimable colaboración en la definición y realización de las pruebas de campo.

El presente artículo expone la naturaleza y funciones del sistema, a la vez que resume los razonamientos sobre los que se basó la decisión de acometer este proyecto de innovación tecnológica.

3. Antecedentes

En España existen unas 100.000 embarcaciones de recreo registradas. De ellas aproximadamente 40.000 tienen una eslora suficiente para la práctica habitual de la navegación. Estas embarcaciones fondean en los 270 puertos Deportivos y Clubes Náuticos del litoral español, incluyendo las instalaciones de aguas interiores (ríos y lagos).

A este número de embarcaciones se suman aquéllas de bandera extranjera, principalmente de países del área comunitaria, que navegan permanente o temporalmente en nuestras aguas. Este colectivo es importante, sobre todo en los meses de verano y puede representar hasta un 30% del total de embarcaciones que utilizan los puertos deportivos. Estas embarcaciones de pabellón extranjero son, además, las de mayor eslora y las que más tiempo navegan en promedio.

Las cifras anteriores, si bien importantes, son muy bajas si las comparamos con los países de nuestro entorno, como Francia o Italia, ambos con flotas de recreo más de cuatro veces superiores a la española. Son también mucho más bajas que las correspondientes a los países escandinavos, que son la zona de Europa con mayor densidad de embarcaciones.

Cabe pues pensar que se produzca –o mejor dicho, que continúe– un crecimiento importante en los próximos años de la flota de recreo que navega en las costas españolas. Este aumento será aun más intenso por la influencia que tendrá la celebración en aguas de Valencia de las regatas de las distintas fases de la Copa América de vela en los próximos años.

Este previsible aumento de la flota de recreo, tanto de la permanente como de la transeúnte, va a agravar la situación de saturación que viven la mayoría de los puertos deportivos, particularmente los del Mediterráneo. Se justifica así, tanto desde el punto de vista de mejora de la calidad de servicios ofrecidos, como desde la eficacia de gestión y seguridad, el desarrollo de una herramienta como Diana.

4. Descripción del estado de la Tecnología

En el momento de iniciar el proyecto, en el cuarto trimestre de 2003, se realizó un estudio del estado de la tecnología en el sector de las embarcaciones de recreo. Las conclusiones elaboradas mantienen su vigencia y se exponen a continuación.

En la actualidad, la comunicación entre una embarcación de recreo y un puerto, sea el propio o uno que se visita, se hace casi exclusivamente por radio VHF marino y por voz simplex. Es un sistema válido para uso de seguridad, pero claramente insuficiente para atender la solicitud de servicios entre puerto y usuarios.

Algunos puertos españoles disponen ya de una página Web que incluye una relación de los servicios ofrecidos y, en algún caso aislado, también un plano de las instalaciones. En ningún caso se incorpora una cartografía de precisión útil a efectos de navegación y menos que sea compatible con GPS o EGNOS.

El sistema de localización GPS es de uso generalizado en la flota de recreo. Recientemente, el Ministerio de Fomento ha completado la cobertura de las costas españolas con emisores de señales que habilitan el uso del DPGS o GPS diferencial. Los actuales receptores comerciales son capaces de proporcionar precisiones de ± 1 m. Próximamente será operativo el sistema EGNOS, iniciativa de la ESA, que mejorará la señal GPS al complementarla con los datos emitidos por tres satélites geoestacionarios. Se espera que la precisión sea similar a la que ofrece un sistema DGPS terrestre y asegure además la integridad del sistema.

A bordo de las embarcaciones de recreo (a las que no se exige la normativa SOLAS de seguridad marítima) es frecuente el uso de dispositivos que permitan vi-

sualizar cartas náuticas sobre una pantalla de cristal líquido. Estos dispositivos incorporan un receptor GPS y consiguen posicionar la embarcación sobre la carta náutica. Desgraciadamente y salvo excepciones, la cartografía comercial empleada no permite precisiones superiores a $\pm 50\text{m}$ y no se actualiza con regularidad. . Puede decirse que la limitación en el posicionamiento, si se dispone de DGPS a bordo, está en la carta utilizada.

Respecto a la cobertura GPRS del territorio español, según la información proporcionada por los operadores, la costa española quedará totalmente cubierta hasta unas quince millas mar adentro en los próximos años. El sistema GPRS permite disponer de una velocidad máxima de transmisión de datos de 56Kbits. Esta velocidad es suficiente para poder descargar imágenes estáticas de calidad en, por ejemplo, un ordenador portátil. Estos ordenadores, incorporando el software adecuado, pueden recibir en su puerto serie la señal NMEA de un receptor DGPS o EGNOS, disponiendo entonces de una pantalla de navegación.

El uso de satélites EO –Earth Observation Satellites– permite la elaboración de cartas ráster regularmente actualizadas con resolución de 70 cm/pixel. A partir de ellas es posible elaborar cartas vectoriales de alta precisión. El coste de estas cartas para áreas reducidas es razonable y podrían elaborarse para cada puerto deportivo con periodicidad anual.

5. Objetivos del sistema Diana

El sistema **Diana: Sistema de gestión y ayuda a la navegación en puertos deportivos** tiene como objetivo ofrecer a las autoridades portuarias una herramienta que proporcione al navegante información de alta precisión en su acceso al puerto, actualización en tiempo real de los eventos que supongan riesgos potenciales y utilidades que faciliten la venta de servicios.

6. Breve descripción del sistema

Para proporcionar todo el conjunto de funciones requeridas, el sistema Diana se descompone en una serie de subsistemas:

- El Portal Internet del Puerto (PIP) que puede estar alojado en un servidor del proveedor de servicios de Internet (ISP) del puerto.
- El Servidor Diana (SD) que está ubicado en el propio puerto..
- El Terminal Diana de la Embarcación (TDE) que consiste en un receptor GPS con capacidad WAAS/EGNOS y un PC con conexión wireless vía GPRS

Además el sistema Diana se puede integrar con un Sistema de Gestión del Puerto (SGP) ya existente. Desde el punto de vista del SD, el SGP es el sistema que centrali-

za la información sobre el espacio disponible en el puerto, gestiona las reservas solicitadas, etc. En caso que el gestor del puerto no disponga de un SGP propio, el SD es capaz de asumir aquellas funciones que afecten a su operativa.

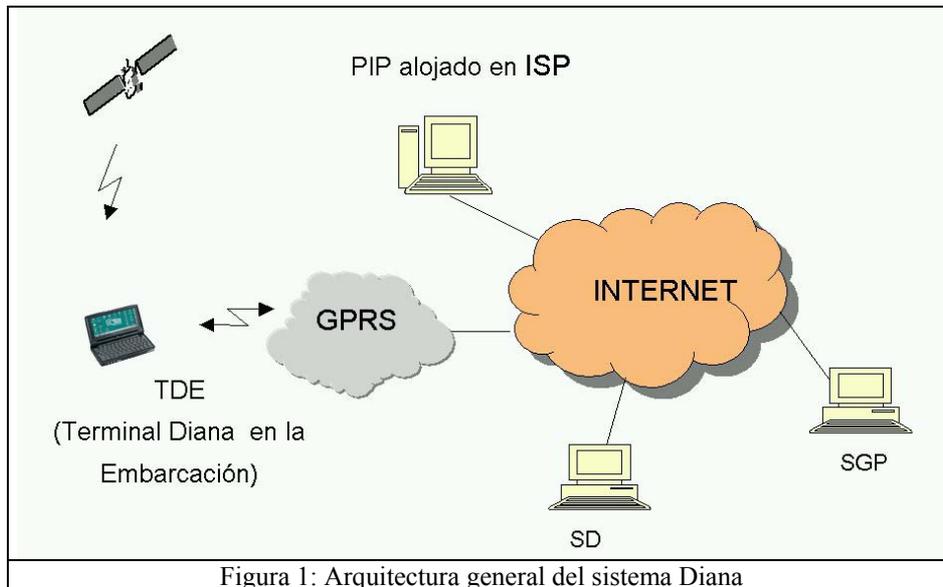


Figura 1: Arquitectura general del sistema Diana

El Terminal Diana de la Embarcación accede, utilizando las Redes de Telefonía móvil GPRS comerciales, al Portal Internet del Puerto donde realiza su petición de ayuda a la navegación y atraque. Desde allí es derivado al Sistema Diana de donde obtiene la cartografía de la zona, precisa y actualizada, así como informaciones descriptivas de servicios del puerto y turísticos. La comunicación es bidireccional, permitiendo llevar a cabo por este medio, los intercambios entre embarcación y puerto.

La cartografía es compatible con el sistema de aumentación EGNOS, de la Agencia Espacial Europea. De esta forma, el patrón de la embarcación usuaria puede superponer en su ordenador la información GPS a la cartografía y al ser ambas información de alta precisión, el conjunto puede ser utilizado para maniobras en el puerto y para la visualización del punto de atraque.

7. Requerimientos técnicos

Los colectivos de usuarios beneficiados por el sistema Diana son:

- Gestores del puerto
- Patrones de embarcación

6 Jordi Lluch [1], Antonio Fco. Padilla [1], Julia Pecci[1], Manuel Gordillo[2], José Benítez, Juan Navarro

Cada uno de ellos debe equiparse con una infraestructura técnica específica para poder acceder al sistema.

Gestor del puerto

El gestor del puerto es el propietario del sistema y provee los equipos necesarios para el correcto funcionamiento de los siguientes subsistemas:

- Servidor Diana (SD)
- Portal Internet del Puerto (PIP)

Servidor Diana

Para poder poner en marcha un SD el puerto debe disponer de:

- 1 Servidor dedicado para el SD. El SD es un sistema que por su concepción no requiere grandes recursos de hardware. A continuación se incluye una configuración óptima para asegurar una alta disponibilidad del sistema:
 - Procesador Xeon a 2,8 Ghz – ampliable a un segundo procesador
 - 1 Gbyte de memoria PC2100 DDR ECC registrada
 - 2 Discos Universal W-Ultra 320 SCSI conectable en caliente de 36,4 Gbytes
 - Fuente de alimentación redundante conectable en caliente
 - Ventilador redundante conectable en caliente
 - Monitor 15” 1024x768
 - UPS CA 220/230/240 V - 2200 VA
- 1 Conexión ADSL con IP fija
- Opcionalmente se puede instalar un firewall sobre un ordenador PC compatible con LINUX.

Para poder proveer de servicios a los diferentes usuarios del sistema, el SD debe instalar los siguientes elementos de software:

- Sistema operativo Windows 2003 Server o Small Business Server
- Servidor HTTP Apache 2
- Base de Datos MySQL
- Centro de Control Diana

Portal Internet del Puerto

El PIP puede estar alojado en un servidor del proveedor de servicios de Internet (ISP) del puerto o residir en las instalaciones del puerto, en cuyo caso puede compartir la infraestructura destinada al SD

Sistema de Gestión del Puerto

Los requerimientos técnicos del SGP quedan fuera del presente documento ya que no forma parte del Sistema Diana.

Patrón de embarcación

El patrón de embarcación accede a los servicios del sistema Diana a través de su Terminal Diana en la Embarcación (TDE). Para disponer de un TDE, el patrón debe equipar su embarcación con:

- Receptor GPS con corrección de señal EGNOS y salida NMEA 0183 vía puerto USB o RS232. El receptor GPS deberá estar configurado para enviar vía puerto de salida la trama de datos NMEA.



Figura 2: Conexión de la antena y montaje en embarcación

- Ordenador portátil:
 - Requerimientos mínimos: Pentium III 800MHz, 256Mb de memoria RAM, 100Mb libres en el disco duro.
 - Sistema operativo: Windows 2000 o superior.
 - Conexión a Internet: se propone una tarjeta PCMCIA con GPRS. (En su defecto, un teléfono móvil con capacidad de transmisión de datos GPRS y conexión inalámbrica con el ordenador portátil vía Bluetooth o IR).
 - Navegador de Internet (IE6, Mozilla Firefox, Opera,...)



Figura 3: ordenador portátil embarcado y tarjeta de conexión GPRS

8. Servicios para el gestor del puerto

El sistema Diana proporciona al gestor del puerto una serie de herramientas que le permiten aumentar la calidad de los servicios prestados y mejorar la gestión de sus instalaciones. El gestor del puerto accede a estos servicios a través del interfaz que le proporciona el SD.

Gestión de solicitudes.

Todas las solicitudes recibidas a través del PIP son transferidas al SD y desde el SD se pueden transferir a un SGP existente – bien sea a través de interfaces automáticas o de forma manual. El operador del puerto puede así asignar plazas a los visitantes que lo soliciten y autorizarles para que puedan hacer uso de los servicios del Servidor Diana de su puerto.

Cabe notar que el SD permite autorizar o denegar solicitudes realizadas con antelación, reduciendo la probabilidad de creación de picos de entradas.

Edición de la información de tráfico

El gestor del puerto dispone de un interfaz gráfico con una cartografía detallada del puerto desde la cual puede mantener actualizada la información referente al tráfico en aguas del puerto. Puede informar de nuevos obstáculos a la navegación, modificar o eliminar existentes, etc.

El gestor del puerto puede disponer de plantillas que reflejen situaciones “típicas” de afectación del tráfico – como entradas o salidas de ferry – y trabajar sobre ellas añadiéndole otros elementos.

Publicación de información.

El gestor del puerto dispone de herramientas para publicar en el SD la información de navegación que será utilizada por los diferentes TDE’s conectados al SD del puerto. El gestor del puerto puede decidir en cada momento:

- El fondo cartográfico del puerto a utilizar por los usuarios del TDE
- La información de tráfico válida en ese momento
- La relación de servicios propios o locales accesibles por los usuarios del sistema Diana – ya sea desde el PIP o desde el TDE.

Cualquier cambio efectuado en esta información se refleja en tiempo real en los diferentes TDE’s conectados en ese momento al SD.

Monitorización del tráfico

Los diferentes TDE’s conectados al SD reportan su posición de forma periódica. El gestor del puerto puede monitorizar la localización aproximada de las embarcaciones que están circulando utilizando un TDE y las plazas a las cuales se dirigen para amarrear.

Actualización de ocupación

Gracias a la monitorización de tráfico, el gestor del puerto conoce en todo momento cuantos usuarios de TDE están navegando por sus aguas y es avisado sobre la llegada a puerto de nuevas embarcaciones con TDE. Los gestores del puerto pueden así planificar el envío del personal necesario para las tareas de amarre y conexión a los servicios del puerto de las embarcaciones que arriban a puerto – agua potable, red eléctrica, comunicaciones, etc.

9. Servicios para el patrón de embarcación

Con un equipo TDE correctamente instalado el patrón de la embarcación está en disposición de acceder a los servicios de un SD instalado en cualquiera de los puertos que visite. Algunos de los servicios de un SD son accesibles también a través de un link desde el PIP. Los servicios que el SD publica para su uso por parte de los patrones de embarcaciones son:

Servicio de información sobre el puerto

El sistema proporciona un mapa de la zona portuaria que indica la ubicación de los distintos servicios dentro del puerto y su zona próxima. Estos servicios pueden ser tanto de tipo náutico como de hoteles, restaurantes y otros servicios turísticos. El sistema permite incorporar facilidades para la reserva de plazas hoteleras, alquileres, etc. Directamente a los prestadores de servicios del puerto.

Este servicio se encuentra disponible al usuario desde el propio TDE una vez su embarcación se encuentra en el puerto o desde un link en el PIP.

Servicio de solicitud de atraque

Este servicio se ofrece desde una página ubicada en el PIP. Desde ella se pueden solicitar los siguientes servicios:

- Solicitud de visita con el objeto de repostar combustible o utilizar algún servicio del puerto (p. ej. restaurante).
- Solicitud de atraque si hay plazas libres. Si hay plazas libres el sistema (SD) indica y ofrece el formulario de petición de atraque, que dispone de espacio para que se indiquen los datos necesarios correspondientes a la embarcación.

La solicitud de atraque o visita, autoriza a la descarga del software asociado al TDE (si el usuario no dispone del mismo previamente instalado en su terminal). Además durante la visita al servicio de ayuda el atraque el SD del puerto asigna a la solicitud un identificador. Este identificador permite al patrón consultar en cualquier momento cual es el estado de su solicitud.

Servicio de consulta de solicitudes

El servicio se ofrece cada vez que se demanda la página correspondiente en el PIP. La página del servicio está alojada en el SD.

Desde ella se puede consultar el estado de una solicitud de atraque o visita realizada con anterioridad– introduciendo el identificador de solicitud que se obtuvo. Los posibles estados de una solicitud son:

- Aceptada. El gestor del puerto acepta la solicitud y asigna una plaza a la embarcación. Esta reserva de plaza tiene una caducidad en el tiempo
- Denegada. El gestor del puerto deniega la solicitud.
- Pendiente. El gestor del puerto aún no ha aceptado o denegado la solicitud
- Caducada. El periodo de validez de la solicitud ha expirado – el patrón de la embarcación ha agotado su tiempo de permanencia en el puerto y su plaza le ha sido retirada.

Servicio de ayuda a la navegación

Este servicio se activa cuando el navegante se aproxima al puerto para el cual ha solicitado un atraque o visita. El TDE establece una conexión con el SD del puerto y le transmite su identificador de solicitud. Se pueden dar en este punto diferentes casuísticas:

- El gestor del puerto ha denegado la solicitud de atraque. En ese caso el patrón es informado de que no dispone de plaza para el atraque o la visita.
- El gestor del puerto aún no ha autorizado la solicitud. En ese caso el patrón es informado que contacte con el gestor del puerto para tramitar la misma.
- La solicitud ha expirado. En ese caso el patrón es informado que contacte con el gestor del puerto para tramitar una nueva solicitud.
- El gestor del puerto ha autorizado la solicitud y esta sigue vigente. En este caso el SGP ha asignado a la embarcación una plaza de atraque o de visita y se puede acceder al servicio de ayuda navegación en aguas del puerto.

El servicio de ayuda a la navegación permite al patrón visualizar en la pantalla de su TDE una cartografía de precisión de la zona del puerto sobre la cual se superpone la posición reportada por su receptor GPS.

Gracias la conexión GPRS, el TDE puede obtener del SD:

- Cartografía de referencia del puerto. En caso de visitar el puerto por primera vez o en caso que la versión disponible en el SD fuera más reciente que la que el TDE tuviera almacenada en su disco duro. El TDE descarga de forma automática la cartografía desde el SD.
- Relación de los eventos de interés para la navegación que se estén produciendo en ese momento en aguas del puerto – entrada de un ferry, draga. Esta información se refleja de forma automática en el TDE a medida que el operador del puerto actualiza la información de estado del tráfico en el SD.

Toda esta información se plasma en un interfaz, de uso intuitivo, que condensa toda la información disponible para dar al usuario una visión rápida del estado de la navegación en el puerto.



Figura 4: Interfaz del TDE

10. Cartografía

Uno de los pilares fundamentales del sistema Diana es la cartografía de referencia precisa y actualizada.

La cartografía de referencia no es actualizable por el operador del puerto y se debería revisar anualmente o semestralmente. Se realiza a partir de imágenes de satélite u ortofotos, con una resolución inferior a 1m y georeferenciadas con un error inferior a 1,5m – idealmente. El sistema de coordenadas de la cartografía resultante es compatible con las que usa el sistema GPS/EGNOS. Muestra únicamente los detalles necesarios para la navegación y atraque y está optimizada en cuanto ocupación de memoria a fin de facilitar su descarga. Los datos batimétricos se toman de Cartas Náuticas oficiales o en su defecto de los datos suministrados por el propio Puerto.

La cartografía utilizada por el sistema Diana se produce siguiendo un procedimiento que consta de los siguientes pasos:

- Georeferenciación
- Digitalización
- Integración
- Diseño
- Rasterización
- Compresión
- Distribución

Las siguientes figuras muestran diferentes puntos intermedios de la información hasta conseguir la cartografía final deseada.

12 Jordi Lluch [1], Antonio Fco. Padilla [1], Julia Pecci[1], Manuel Gordillo[2], José Benítez, Juan Navarro



Figura 5: Imagen satélite con anotaciones del área a tratar

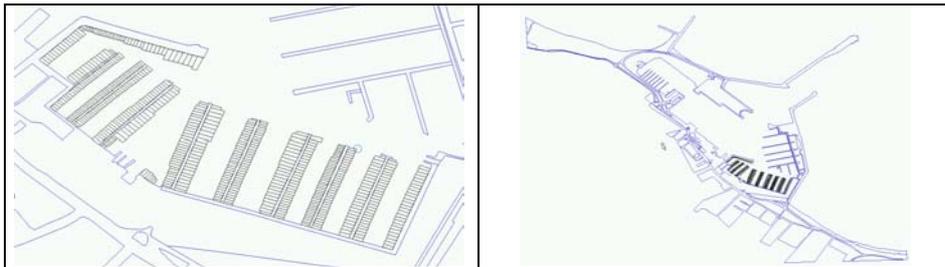


Figura 6: Plano de amarres proporcionado por el puerto e integración en el puerto

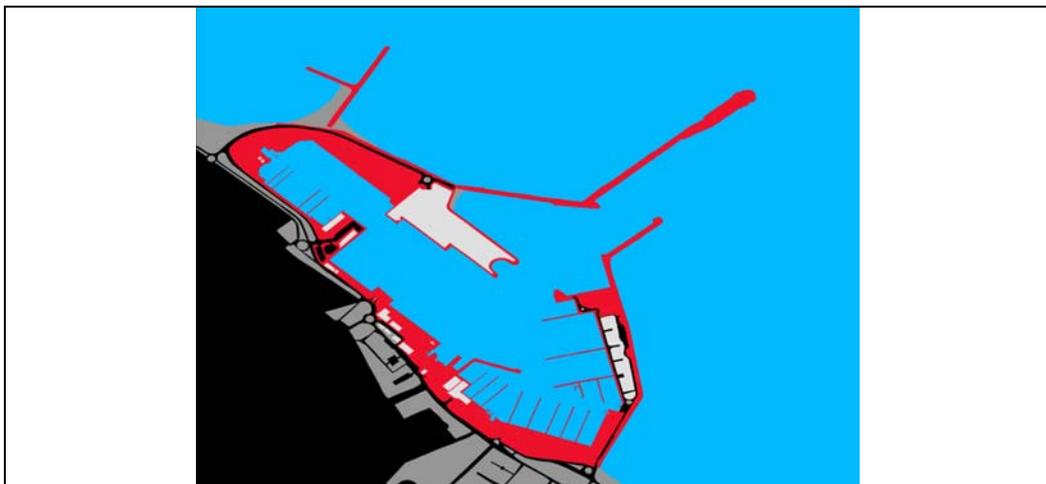


Figura 7: Cartografía resultante

11. Cálculo del error

Uno de los objetivos fundamentales del sistema Diana es proporcionar navegación de precisión en entornos portuarios, por ello como fase previa al proyecto de desarrollo se realizó un estudio específico del error de cada uno de los elementos implicados en el posicionamiento para validar la adecuación de la solución propuesta. Se incluye a continuación una descripción del mismo.

Las principales fuentes de error identificada en el sistema Diana son:

- Error de posicionamiento
- Retraso de demora temporal
- Errores de cartografía

Error de posicionamiento

El sistema GPS con corrección de señal EGNOS nos permite afirmar que en un 95% del tiempo obtendremos una posición dentro de un círculo de 1m de diámetro respecto a la situación exacta. El 5% restante estaremos dentro de un círculo de 2m de diámetro¹.

Debemos observar que la posición que obtenemos del sistema GPS es la posición puntual de la antena. Ya que la embarcación es un objeto de mayores dimensiones, el usuario debe ser advertido que la posición que se refleja en TDE es la posición de la antena y toda la información de navegación que se proporciona se da en relación a ella.

Retraso de demora temporal

La embarcación de recreo es un objeto en movimiento, el TDE refleja en cada momento la última posición proporcionada por el GPS, es por lo tanto necesario cuantificar en un determinado momento cual es la máxima diferencia existente entre la posición representada y la real. Este error presenta dos componentes

Error derivado del retardo en el procesamiento de la señal GPS

Desde el momento que la antena devuelve la señal hasta que se muestra por pantalla la posición de la embarcación habrá variado su posición.

¹ Fuentes : En la página número 8 de la siguiente presentación <http://esamultimedia.esa.int/docs/egnos/estb/Publications/ESTB%20receivers/EGNOS%20Status%20-%20Receivers%20%20workshop%20June%202003.pdf> se encuentra una gráfica muy ilustrativa. También son interesantes a este respecto el artículo del 28 de septiembre de 2004 http://www.esa.int/export/esaNA/SEMCJEADFZD_egnos_0.html y el artículo sobre el puerto de Hamburgo que se encuentra en el boletín ESTB del abril del 2003 http://esamultimedia.esa.int/docs/egnos/newsletters/ESTBNews_7.pdf.

Error derivado del periodo de refresco de la posición GPS

Por defecto, el sistema GPS devuelve una posición cada segundo. Esto implica que durante en el siguiente segundo la posición reflejada en la pantalla estará haciendo referencia a la última lectura y que la embarcación puede haberse desplazado.

El retraso de demora temporal máximo calculado combinando ambas fuentes – teniendo en cuenta la normativa en cuanto a velocidades máximas permitidas para una embarcación de recreo dentro de un puerto – es de 1.8m en la dirección de traslación de la embarcación.

Errores de cartografía y representación.

Se han descrito los errores que pueden detectarse al dar a la embarcación unas coordenadas mediante GPS. Es necesario hacer también referencia a los errores que se pueden cometer al situar coordenadas GPS sobre la cartografía utilizada; dicho de otro modo, se analizará el error que podría llevar implícita la cartografía que se utiliza en el SD.

Elementos reconocibles sobre las imágenes de satélite utilizadas

Las imágenes de satélite que se utilizarán tienen una resolución espacial entre 1-0,7 m. Todos los elementos cuya superficie en proyección vertical sea inferior a 1 m^2 - en el peor de los casos - no podrán ser reconocidos y por tanto no podrán ser digitalizados ni utilizados como puntos de control de referencia en el proceso de corrección geométrica de la imagen.

Errores debido a la precisión cartográfica de la imagen de satélite.

Las imágenes, tal y como son capturadas por el satélite, no se pueden utilizar directamente como base cartográfica de referencia, ya que presentan una serie de deformaciones o distorsiones que lo impiden. Las principales causas de distorsión en una imagen se deben a los siguientes aspectos:

- Variaciones en la órbita del satélite
- Distorsiones provocadas por la rotación terrestre
- Distorsiones provocadas por el sensor
- Topografía del terreno
- Ángulo de observación y posición del sol

De forma habitual, los propios centros encargados de la recepción de las imágenes en Tierra, procesan automáticamente las imágenes reduciendo anomalías. Para aumentar la exactitud cartográfica de estas imágenes se realiza la **ortorrectificación** de las imágenes.

La información de partida necesaria para generar ortoimágenes digitales es la siguiente:

- la imagen de satélite original en soporte digital
- Referencia X-Y (horizontal): cartografía mínimo 1:10.000 o mayor (1:5.000)
- Referencia Z (vertical): Modelo Digital de Elevaciones (MDE) de mínimo 10 de malla
- Parámetros de orientación del sensor (interna y externa): incluidos en los metadatos de la imagen original (orientación externa) y en el software utilizado (orientación interna).

En resumen, podemos afirmar, que las imágenes son recibidas en las oficinas de Aurensis procedentes de la estación de pre-procesado en Tierra con un error aproximado de localización **14 m RMSE** en x-y y un técnico especializado reduce este error de localización a **1.5-2,5 m máximo de RMSE** x-y respecto al dato GPS medido en campo. Este es el error esperado en el posicionamiento de unas coordenadas correspondientes a un punto fijo (reconocible en la imagen) sobre la imagen de satélite que se utiliza de base cartográfica. Estas medidas podrían equivaler a una cartografía entre 1:5.000 y 1:10.000.

Errores debidos al cambio de proyección geográfica

Como se ha afirmado anteriormente, las imágenes de satélite deben ser referidas a un sistema de proyección de referencia, que en este caso será el mismo que los datos GPS (WGS, 84). La cartografía de referencia que se utilizará (referencia x-y-z) suele estar proyectada sobre UTM, elipsoide Internacional 1909, datum Europeo 1950). Habrá que reproyectar la imagen para adecuarla a la referencia del SD: proyección geográfica WGS84.

Por tanto, el cambio de proyección más usual será desde UTM a WGS 84. Este cambio puede introducir cierto error, ya que las ecuaciones de transformación de una proyección a otra no son exactas, sino aproximadas y su error se puede acotar. Sin embargo, para **áreas tan reducidas** como las que se van a manejar (ámbito portuario) **los errores de localización debido al cambio de proyección son despreciables.**

Error en la digitalización

Se pueden producir errores en la localización de elementos en el momento de la digitalización. Es un aspecto relacionado con la capacidad de percepción del ojo humano y con la exactitud de la cartografía de referencia. Estos errores son acumulados a los que presenta la propia cartografía, aunque en ciertas ocasiones pueden compensarse y disminuir el error del dato final. Existen varias fuentes de error más que se refieren a la interpretación de los elementos, pero no van a ser detallados en este apartado.

Según lo anteriormente expuesto, la cartografía utilizada será equivalente a 1:5.000 / 1/10.000. La digitalización de la infraestructuras y elementos necesarios se realiza a escala de visualización 1:2.500 o 1:3.000. Por lo tanto el error teórico que se puede

cometer al situar un punto o una línea sobre esa cartografía está entre (+-) 0.7 y (+-)1 m como valores máximos.

Resumen final de errores

Para finalizar, se puede afirmar que la cartografía que se producirá para el SD siguiendo los procedimientos descritos, asegura un **RMSE entre 1,8 y 2,9 m máximos** respecto al dato real medido en campo, contemplando siempre la acumulación de errores en el peor de los casos. Este RMSE es siempre calculado para un nivel de confianza de 90%.

12. Conclusiones

Tras llevar a cabo el desarrollo del sistema informático y su validación en campo, se consideran alcanzados los objetivos inicialmente planteados ya que se ha construido un sistema que responde a las necesidades de los dos colectivos usuarios del mismo:

- Gestores del puerto. Disponen de un sistema que les permite mejorar los servicios actualmente prestados, generar nuevos canales de comercialización de servicios propios y ajenos y mejorar la utilización de sus propios recursos
- Patrones de embarcaciones de recreo. Disponen de una herramienta precisa de ayuda a la navegación

Es importante destacar que el sistema Diana se diferencia de forma clara del resto de medios de navegación existentes y a los que la náutica de recreo puede tener acceso:

- Sistema on-line. Las informaciones se obtienen bajo demanda por el usuario y están actualizadas, tanto en los aspectos cartográficos como en la identificación de servicios.
- Precisión. Las cartas náuticas utilizadas en la navegación de recreo no suelen tener una escala suficiente para poder ser útiles en las maniobras de puerto o vías fluviales. El sistema propuesto une cartas de alta precisión (<3 m) con el sistema EGNOS (± 1 m), constituyendo pues una ayuda en la navegación de muy alta precisión.
- Interactivo. El patrón de la embarcación esta en contacto on-line en el centro de control (puerto, costa, actividad portuaria). Esto abre sin número de posibilidades que además podrán desarrollarse de forma progresiva, ya que el sistema es escalable.
- Bajo coste. El Sistema Diana es de bajo coste para todos los usuarios implicados
 - Patrones de Embarcaciones. El TDE se construye sobre equipamientos de mercado de amplia difusión y que se encuentran presentes en la mayor parte de embarcaciones. Utiliza para sus comunicaciones la infraestructura usa servicios existentes de telefonía móvil GPRS. El aplicativo y la cartografía no son de ad-

quisición por parte del patrón de la embarcación si no que es el gestor del puerto el que lo ofrece como parte de un servicio – de acuerdo a su política comercial.

- Gestor del puerto. El SD se puede soportar sobre servidores de gama baja-media y permitir su acceso mediante líneas de comunicaciones standard – ADSL -. La producción y mantenimiento de la cartografía tiene un coste reducido. La operación del sistema es soportable mediante pequeñas cuotas de servicio adicionales para los usuarios que quieran acceder a este sistema.

De nuevo es importante constatar que el sistema Diana no solo supone un sistema innovador desde un punto de vista técnico sino que modifica de forma radical la concepción actual de las herramientas de ayuda a la navegación de recreo. Actualmente el peso inversor en aplicaciones de navegación corre a cargo del patrón de la embarcación que debe costear:

- Equipamientos hardware – GPS y equipo PC
- Licencias de software de ayuda a la navegación
- Licencias de uso de cartografía náutica
- Mantenimiento de licencias de software y datos

Por razones de economía de escala, el mercado de cartografía náutica para embarcaciones de recreo no es capaz a fecha de hoy de proveer de información precisa para la navegación y por tanto el sistema adquirido presenta grandes limitaciones cuando se lleva a entornos donde la precisión es crítica.

Diana invierte este planteamiento ya que pasan a ser las autoridades portuarias las que mantienen y publican información de precisión – y aplicaciones que permiten su uso – para que los navegantes las utilicen. El puerto puede acometer estas tareas ya que:

- La información a mantener se limita a su área de influencia
- El sistema garantiza que la información sólo podrá ser usada por los clientes del puerto que estén autorizados a ello.
- El uso de este sistema proporciona al puerto una contraprestación económica
 - Ingresos por un servicio de valor añadido o un factor de diferenciación
 - Publicidad de los servicios ofrecidos
 - Mejora en el uso de recursos disponibles

En conclusión, el navegante ya no tiene la carga de adquirir y mantener un sistema de navegación si no que con unos equipamientos hardware presentes en casi cualquier embarcación de recreo puede acceder a un servicio de valor añadido.

13. Acerca de Aurensis

AURENSIS es una empresa especializada en el desarrollo de sistemas de información aplicados a la gestión del territorio, teledetección y producción de cartografía topográfica. Tiene unas ventas de 10 millones de euros (2002), con 140 empleados. AURENSIS tiene oficinas en España (Madrid y Barcelona), México, República Do-

18 Jordi Lluch [1], Antonio Fco. Padilla [1], Julia Pecci[1], Manuel Gordillo[2], José Benítez, Juan Navarro

minicana, Chile y Argentina. AURENSIS tiene también oficinas comerciales en Marruecos y China.

AURENSIS es uno de los mayores desarrolladores e integradores de Sistemas de Información Geográfica (SIG) en Europa. AURENSIS también es “business partner” de los principales proveedores de GIS del mercado (Intergraph, ESRI, Smallworld, Autodesk, Bentley).

Las líneas de actividad de AURENSIS son:

- Tecnologías de la Información
- Ingeniería de Datos
- Análisis del Territorio y Teledetección
- Cartografía Digital

AURENSIS está colaborando con organismos públicos y empresas privadas que desarrollan actividades relacionadas con el territorio:

- Redes de servicios
- Flotas de vehículos
- Centros sanitarios
- Redes de carreteras y autopistas
- Áreas portuarias y aeroportuarias
- Entidades Financieras y grandes corporaciones
- Organismos públicos
- Agricultura y Medio Ambiente

14. Acerca de Gordillo&Partners

Gordillo&Partners S.L. es una compañía especializada en la gestión tecnológica y el desarrollo de aplicaciones y contenidos para Telecomunicación y Sistemas móviles. Está ubicada en Madrid.

Sus principales áreas de actividad han sido:

- Redes Wi-Fi
- Control de Movilidad en Transporte terrestre
- Localización y Gestión de tráfico marítimo
- Sistemas y métricas para la gestión de la tecnología en la empresa
- Aplicación y contenidos para telefonía Móvil