# SISTEMAS DE AUSCULTACIÓN EN OBRAS MARÍTIMAS

**Carles Navarro Freixas**

Ingeniero de Caminos Canales y Puertos
Ingeniero Técnico en Topografía

**Xavier Lledó Fernández**

Técnico Especialista en Sistemas Topográficos

al·top TOPOGRAFIA

# ÍNDICE

**1. INTRODUCCIÓN**

**2. TIPOS DE DIQUES**

a) Diques Verticales

b) Diques en Talud

**3. ESTUDIO PREVIO**

**4. MÉTODOS DE DIAGNOSIS**

**5. AUSULTACIÓN TERRESTRE**

**6. INSTRUMENTACIÓN**

a) GPS TRIMBLE R12i

b) Estación Total TRIMBLE SX12

c) Laser Escáner TRIMBLE X7

**7. MÉTODOLOGÍA DE OBSERVACIÓN**

**8. PROCESAMIENTO DE DATOS**

## 1-INTRODUCCIÓN

Las obras de abrigo de un puerto o una zona costanera son estructuras pétreas que protegen las aguas interiores de la energía del oleaje. Su fallo estructural puede comportar daños materiales e incluso pérdidas humanas con lo que se hace imprescindible un control periódico de su estado.

Un control exhaustivo representa conocer los posibles movimientos que se hayan podido producir durante un cierto periodo de tiempo. Los movimientos pueden estar generados por posibles asentamientos, como cimentaciones sobre zonas arcillosas, degradación de los elementos que conforman el dique o por temporales marítimos.

Estos últimos son en término medio los más peligrosos porque sin aparente "aviso previo" puede producir la total destrucción del dique.

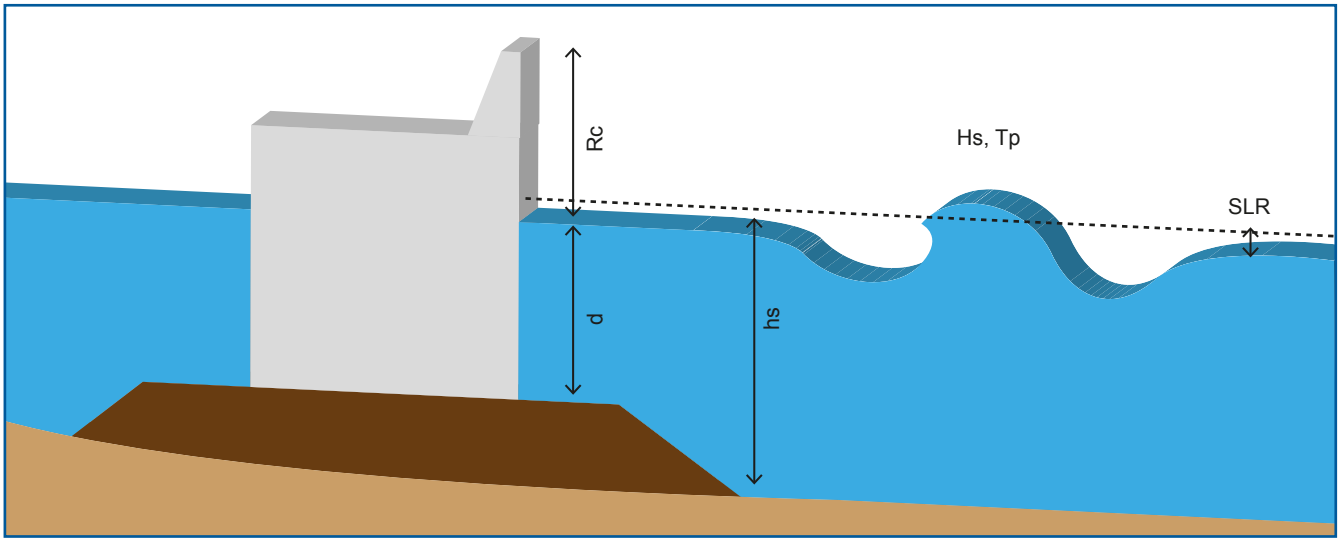
Gracias a la introducción de las nuevas técnicas de auscultación es posible valorar el estado de conservación del dique y de este modo, prever con mayor eficiencia el mantenimiento de la infraestructura.

*Ejecución de las Obras del Dique de Abrigo del Puerto de Blanes*

## 2-TIPOS DE DIQUES

### a) Diques Verticales:

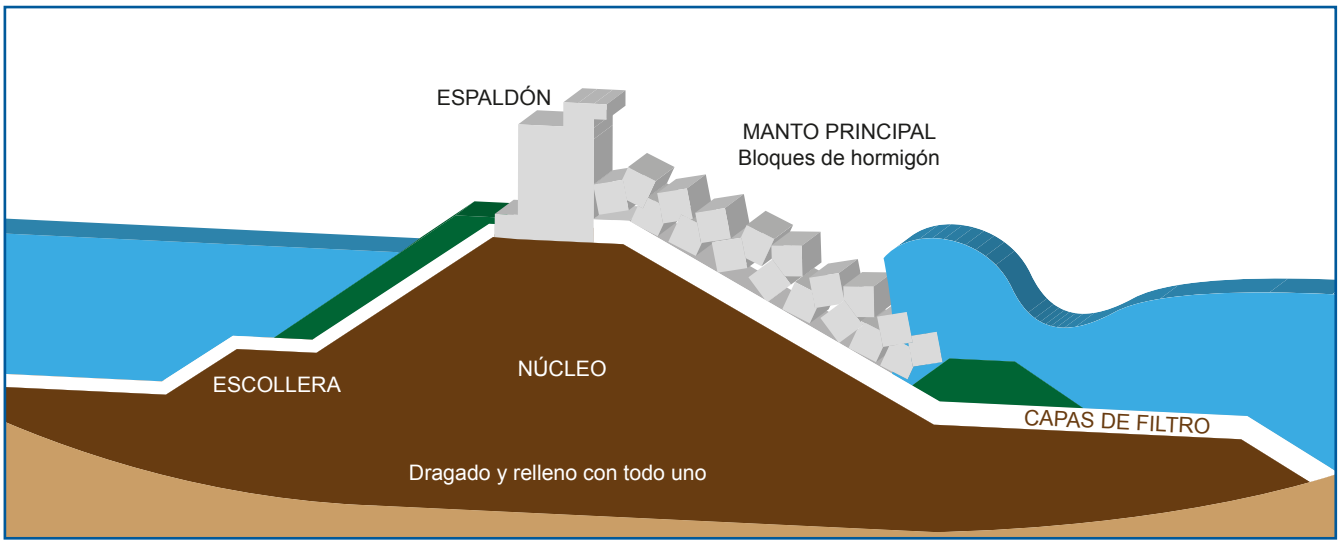
Son diques formados por cajones de hormigón prefabricados transportados por remolcadores y fondeados en su localización definitiva. Una vez fondeados se ejecuta la losa de coronación y el espaldón para evitar el rebase del oleaje.




*Sección de Dique Vertical*

### b) Diques en Talud:

Son obras de protección formadas por un terraplenado donde, en término medio, su núcleo está compuesto por elementos de materiales sueltos y sus capas posteriores por filtros con diámetros cada vez mayores hasta conformar las capas del manto principal. Dicho manto consta de escolleras o bloques de hormigón con geometrías diversas.

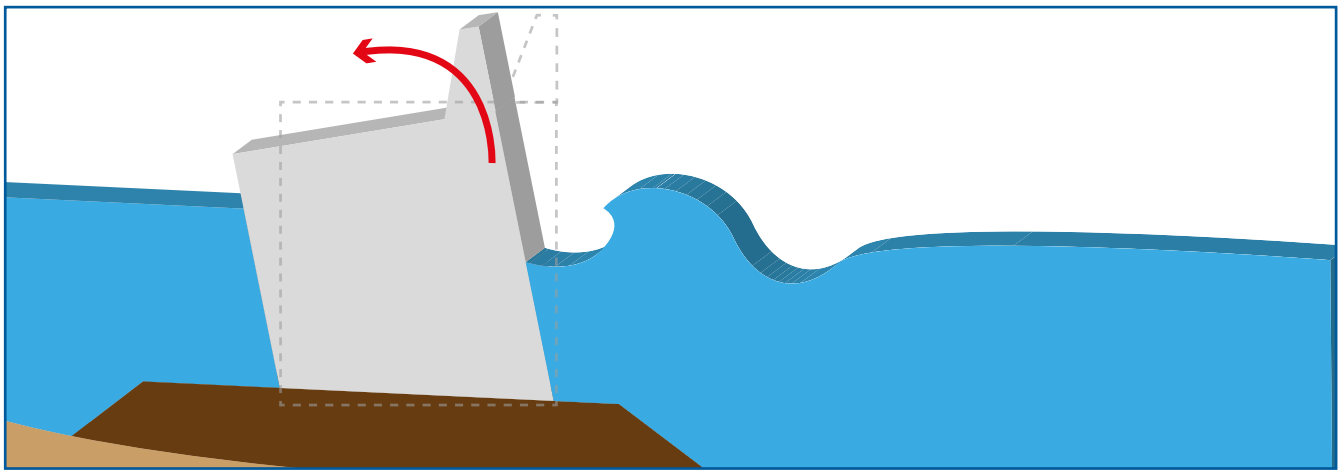



*Sección de Dique en Talud*

## 3-ESTUDIO PREVIO

Todos los diques se dimensionan a partir de la energía de Oleaje que se prevé que impactará sobre su cuerpo principal. La energía en todos los casos, a excepción de temporales extraordinarios y puertos secundarios, no debe exceder de los límites que pueda ocasionar el fallo de la estructura.

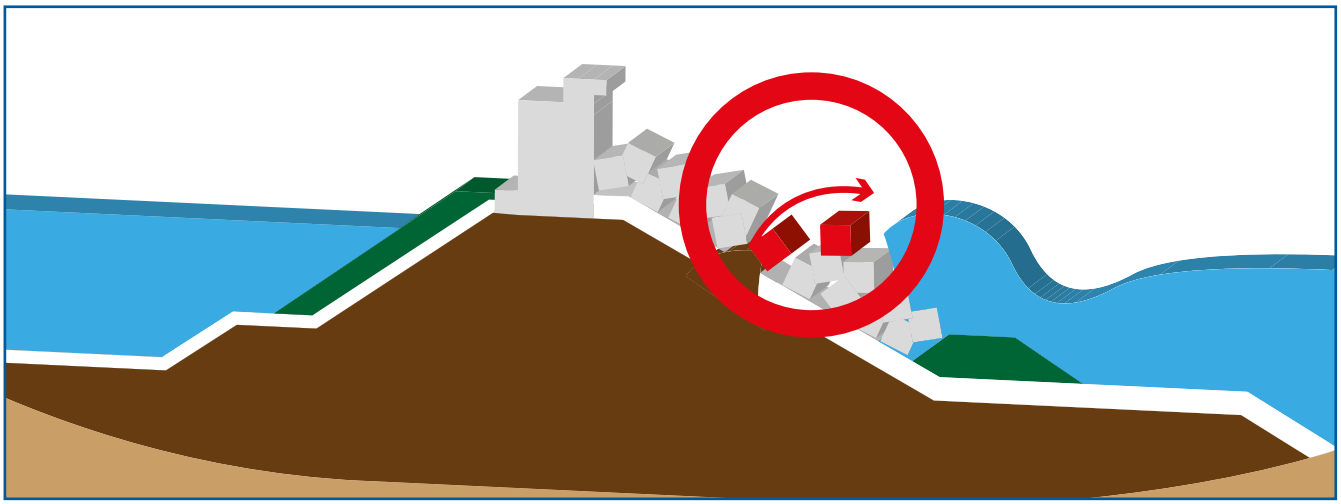
Aun así es posible que se produzcan pequeños movimientos de vuelco en Diques Verticales y ligeros desplazamientos del manto principal en Diques en Talud. La suma de repetidos impactos causa el deterioro que si no se corrige puede debilitar la estructura hasta alcanzar límites de no operatividad.



*Efectos de los empujes hidrodinámicos sobre el Dique Vertical*

En caso de los Diques Verticales, el fallo se origina por efecto de los empujes hidrodinámicos que se producen sobre el cuerpo principal del dique. La energía del oleaje que impacta en el paramento vertical produce deslizamientos, vuelcos o incluso hundimientos de todo el cajón.

La ingeniería marítima nos dice que, en el caso de los Diques en Talud, se produce fallo estructural cuando existe un hueco suficientemente grande en la capa más exterior del manto principal por el cual puede salir un elemento de la segunda capa. Esto provocaría una afección directa a los filtros posteriores, como si de una sangría se tratara, hasta provocar el colapso y la estructura.



*Fallo estructural del Dique en Talud*

Debido a ello es necesario realizar periódicamente un control de los elementos que conforman el dique para establecer el estado en el que se encuentran las obras de abrigo. Todas estas intervenciones se engloban dentro de las actuaciones preventivas para evitar posibles colapsos en las obras marítimas.

## 4-MÉTODOS DE DIAGNOSIS

Existen diferentes métodos que evalúan el estado de conservación del dique. Dichos métodos pasan desde la observación visual hasta los modernos sistemas de control mediante células de presión.

Los nuevos sistemas de auscultación geométricos y gracias al uso de técnicas de escaneo laser terrestre permiten obtener una "fotografía" de gran precisión del estado geométrico del conjunto emergido. El objetivo es adquirir una ingente cantidad de datos geométricos del dique para determinar si han existido movimientos parciales o generales entre dos series de medidas espaciadas un tiempo determinado.

Otros datos complementarios de interés para incorporar al levantamiento terrestre son las batimetrías que aportarían información topográfica de la zona sumergida y vuelos LIDAR para completar parte del levantamiento terrestre.

## 5-AUSCULTACIÓN TERRESTRE

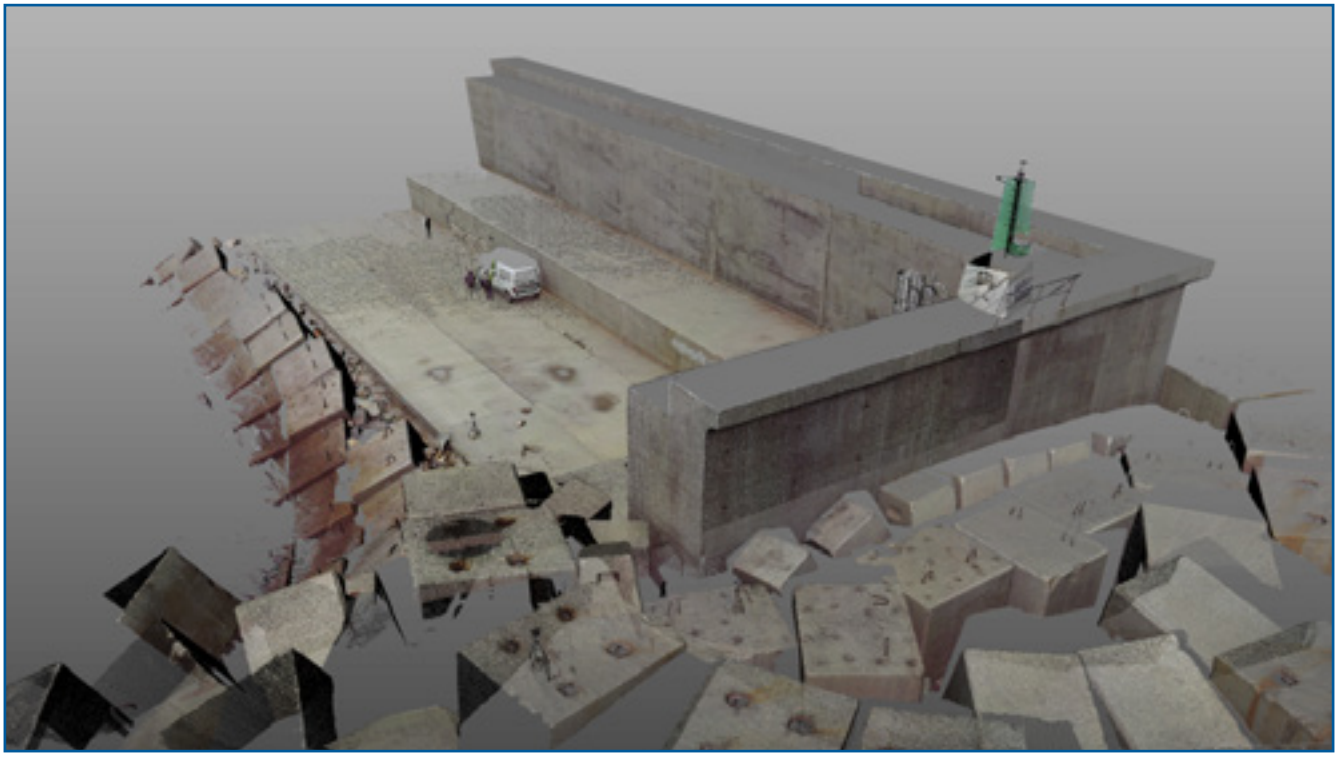
La auscultación terrestre consta de la observación, medida y análisis de la franja emergida de las obras de abrigo.

El objetivo es detectar posibles movimientos de los elementos del dique que afloran sobre el mar mediante métodos topográficos terrestres.

Como se precisa una gran cantidad de datos para determinar movimientos parciales de algunos de los bloques que constan el dique se incorpora la metodología de medición por escaneo laser.

El escaneo laser permite detectar movimientos parciales de algunos de los bloques o incluso un proceso de consolidación global.

Una vez obtenido el escaneo se puede combinar su información con otros datos como son la geometría del fondo marino, el tipo de terreno, levantamientos fotogramétricos, entre otros.



*Levantamiento 3D del Morro exterior del Dique Este del Puerto de Barcelona*

## 6-INSTRUMENTACIÓN

*GPS TRIMBLE R12i*

*Estación Total TRIMBLE SX12*

*Laser Escaner TRIMBLE X7*

### a) GPS TRIMBLE R12i

Es necesario levantar unos puntos de partida iniciales y finales mediante técnicas en modo postproceso para determinar posibles movimientos globales del conjunto. Estas bases servirán como puntos de referencia a la red de bases que se establecerá sobre el dique.

### b) Estación Total TRIMBLE SX12

Se precisa un instrumento de alta gama como la Estación Total Trimble SX12 para la determinación de la red poligonal de los puntos de apoyo sobre los que partirá el Laser Scanner.

### c) Laser Scaner TRIMBLE X7

El Laser TRIMBLE TX5 es un escáner de altas prestacionesque  incorpora sensores adicionales que facilitan el encaje de la nubes de puntos en sus correspondientes coordenadas, como son compensador de doble eje, altímetro y brújula electrónica. Además dispone de cámara fotográfica integrada en la óptica para capturar imágenes y aplicar texturas a los modelos 3D generados.  El laser escáner es sin duda el dispositivo ideal para digitalizar la realidad métricamente de la manera más rápida posible.

## 7-METODOLOGÍA DE OBSERVACIÓN

En primer lugar se debe establecer una red de bases de referencia para determinar si ha existido un movimiento global del conjunto del dique.

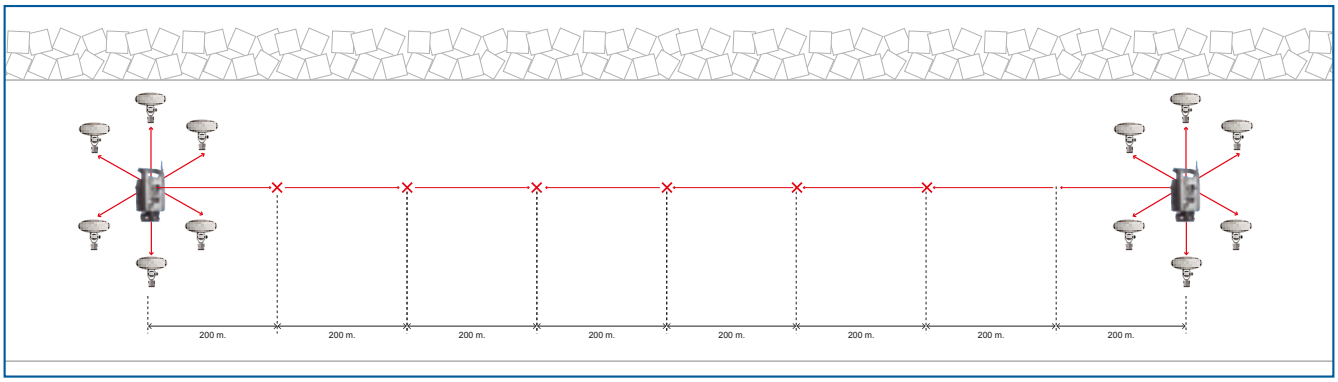
Para asegurar un posicionamiento absoluto las referencias deben levantarse mediante GPS desde una antena de referencia, ubicada en una zona estable, hasta los límites del dique que se quiera controlar.

En cada uno de los extremos es aconsejable implantar un total de 6 referencias que servirán como apoyo a la **Intersección inversa* para resolver el cierre de la poligonal. Las bases se levantarán en modo postproceso con una lectura mínima de 30 minutos y una desviación típica inferior a 1 cm.

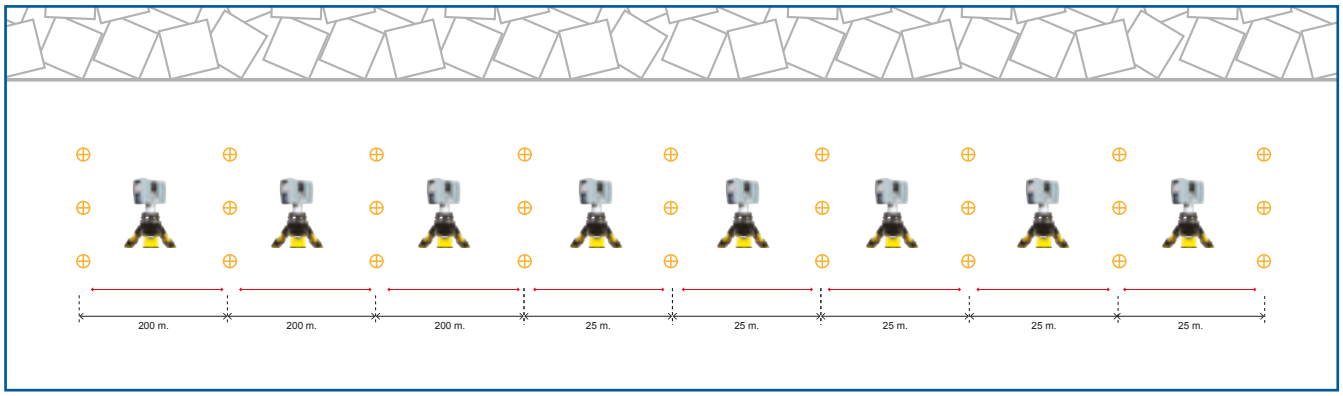
Una vez calculadas las referencias se partirá con la Estación Total desde una intersección inversa de la poligonal para luego realizar el itinerario de los puntos intermedios con tramos aproximados de 200m hasta alcanzar su otro extremo cerrando, de este modo, con la otra intersección inversa. Las desviaciones del cierre deben ser inferiores a 1.5cm √Km.

Una vez realizada la poligonal principal se establecerán un conjunto de puntos radiados distribuidos en grupos de tres en un mismo perfil que servirán de orientación para el Laser Escáner. Cada grupo debe tener un espaciamiento de 25 metros y se usará para obtener los puntos de apoyo para el escaneo.

Con las bases referenciadas se iniciará el levantamiento mediante escaneo laser posicionando el instrumento entre los puntos de apoyo.




*Red de Bases Principal*




*Puntos de apoyo del Escaneo Láser*

**Intersección Inversa: Método topográfico que consiste, mediante el uso de la Estación Total, en tomar lecturas angulares y de distancia de un conjunto de puntos conocidos situados alrededor de la base de observación para determinar la posición y la orientación del instrumento.*

## 8-PROCESAMIENTO DE DATOS

El objetivo principal del procesamiento es obtener nubes de puntos depuradas y referenciadas para analizarlas e inspeccionarlas con el fin de cuantificar y documentar los posibles cambios producidos en la estructura durante el periodo comprendido entre las dos campañas de Auscultación del Dique.

Para realizar el encaje y la referenciación de los múltiples escaneos en sus correspondientes coordenadas se utiliza la aplicación Trimble SCENE. Gracias a esta aplicación se mejora la nube de puntos aplicando filtros basados en la intensidad de medida registrada y en la dispersión del punto. También es posible aplicar color a los puntos utilizando las imágenes registradas automáticamente por el escáner Trimble X7.

Así mismo, Trimble SCENE permite detectar de forma automática objetivos de referencia, como dianas o esferas situadas sobre puntos conocidos, capturados durante la lectura del entorno y de este modo poder asignar las coordenadas obtenidas de los puntos radiados desde la poligonal. Cada escaneo, que será tratado de modo independiente, se situará en sus coordenadas correspondientes utilizando un promedio de cuatro objetivos, siendo dos el mínimo para realizar el encaje.

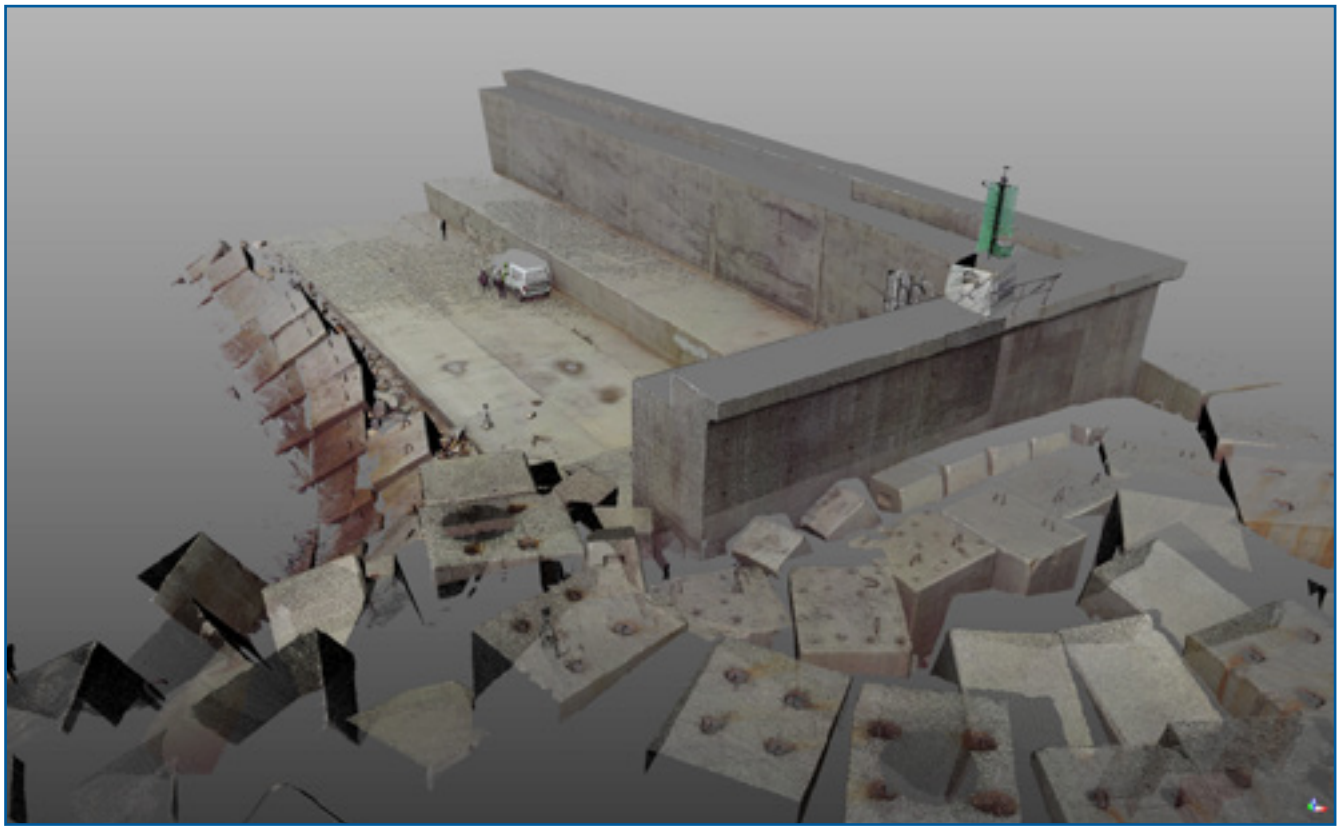


*Imagen nube de puntos original*

Una vez obtenida la nube de puntos depurada se procede a su análisis e inspección mediante la potente aplicación de oficina **Trimble RealWorks** diseñada especialmente para el tratamiento de datos resultantes del laser escáner.

Mediante la herramienta de inspección 3D se comparará las diferentes campañas de Auscultación para averiguar posibles desplazamientos. Esta herramienta genera mapas 3D de color con leyenda donde se podrá apreciar los movimientos en función de los cambios de color. La leyenda ayudará a cuantificar dichos desplazamientos con la ventaja de analizar grandes superficies de manera rápida y precisa.

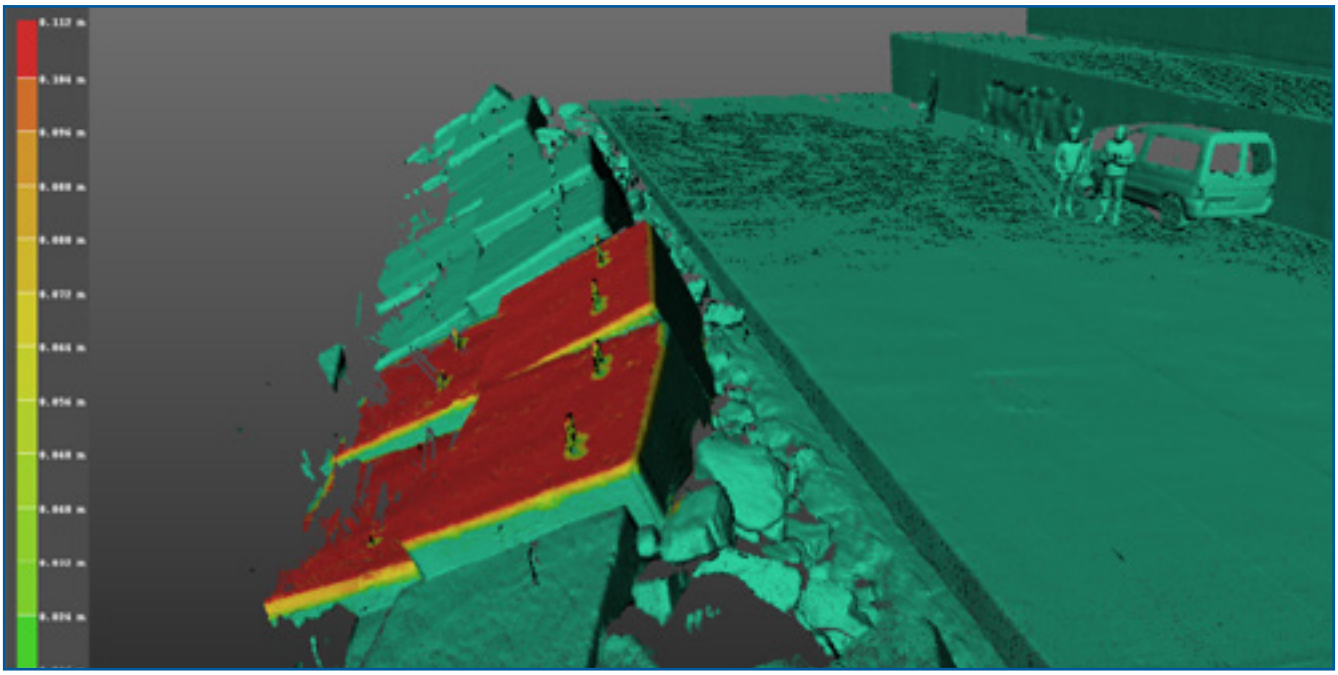


*Imagen mapa de inspección 3D*

Una vez determinadas las zonas donde se aprecian movimientos se procederá a utilizar la herramienta de inspección de superficies gemelas. Esta herramienta permite analizar más detalladamente las variaciones de los elementos que conforman el dique. Se utilizaran para ello  planos de comparación para generar perfiles transversales, longitudinales, planos de planta y mapas de curvas isométricas.  De este modo se podrá detectar y cuantificar los movimientos del dique.

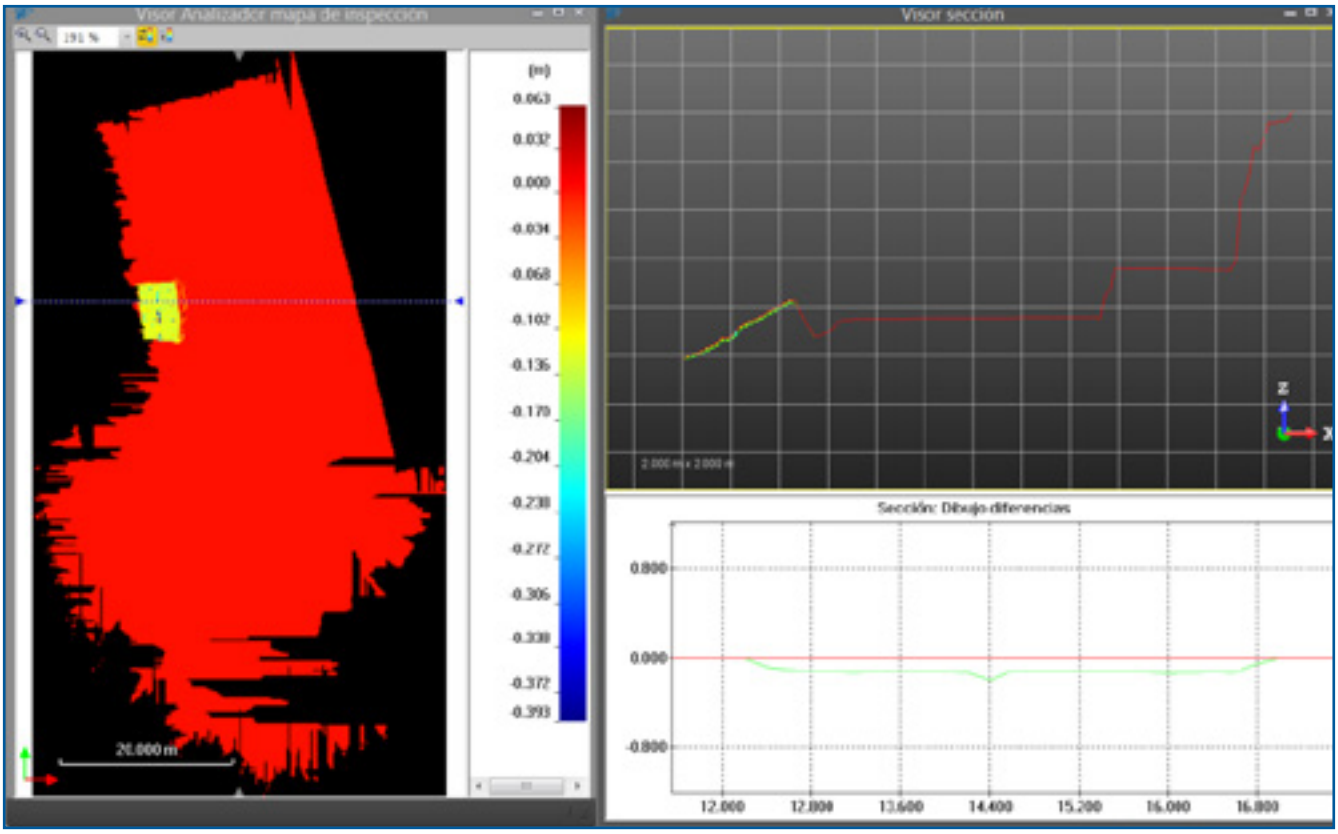



*Imagen mapa de inspección de superficies gemelas*

Adicionalmente se podrá tratar de manera individualizada los elementos singulares que constituyen el Dique como por ejemplo los bloques de hormigón o escolleras del manto principal. Para determinar estos movimientos el software posee una herramienta de modelización 3D con la que se ajustaran modelos básicos como el cubo sobre la parte total o parcial escaneada de un bloque. Una vez obtenidos los modelos 3D del "antes y después" del bloque, se procederá a la acotación de las diferencias calculando las direcciones de los desplazamientos.

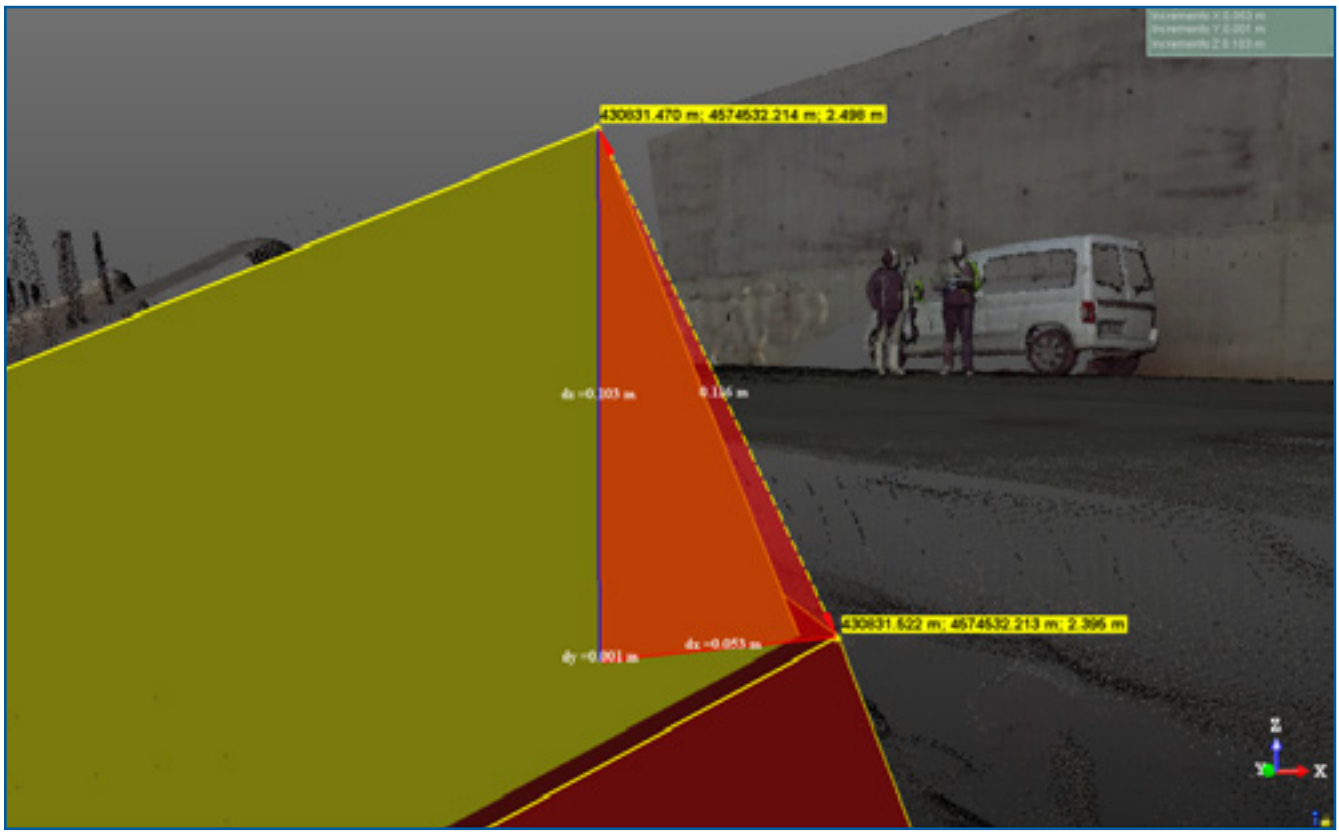



*Imagen comparación de modelos 3D*

Por último se exportan los resultados obtenidos a formatos compatibles para que se pueda estudiar detalladamente cada una de las partes del Dique generando informes generales de perfiles de comparación, acotaciones, mallas 3D, nubes de puntos, ortofotos, videos, ficheros CAD y ASCII, entre otros con el fin de determinar con la mayor precisión posible el estado real de la Obra Marítima.

2021/11

**Madrid** Avda. Juan Caramuel 1, Local 2B
Parque Científico Leganés Tecnológico
28919 Leganés (Madrid) ▪ (+34) 91 640 78 31

**Barcelona** Bofarull 14
08027 Barcelona ▪ (+34) 93 340 05 73

www.al-top.com ▪ al-top@al-top.com ▪ 902 88 00 11

**Islas Baleares** 605 684 781
**Valencia Murcia** 605 684 781
**País Vasco Cantabria Navarra La Rioja** 616 012 096

al·top TOPOGRAFIA