



**UNIVERSIDAD  
REY JUAN CARLOS**

**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA INFORMÁTICA**

**INGENIERÍA TÉCNICA EN INFORMÁTICA DE SISTEMAS**

**Curso Académico 2010/2011**

**Proyecto de Fin de Carrera**

**Visualización de datos multidimensionales y  
multivariantes en entornos tridimensionales, aplicados a la  
ingeniería civil**

**Autor: Aaron Sújar Garrido  
Tutores: Susana Mata, Laura Raya**



## Índice

1. Introducción.....	5
1.1. Descripción del problema .....	5
1.2. Metodología .....	6
1.3. Objetivos .....	7
2. Estado del Arte .....	9
2.1. Gráficos .....	9
2.1.1. Gráficos y diagramas.....	11
2.1.2. Herramientas CAD .....	12
2.1.3. Simuladores, realidad virtual.....	15
2.1.4. Películas de animación .....	16
2.1.5. Videojuegos .....	17
2.1.6. Sistema de Información Geográfica .....	18
2.2. Visualización de datos.....	19
2.3. Representación de datos 3D .....	21
2.3.1. Superficies paramétricas .....	21
2.3.2. Superficies implícitas.....	22
2.3.3. Superficies poligonales .....	22
2.3.4. GiD .....	23
2.4. Inclínómetros.....	24
2.5. Percepción .....	28
2.6. Interfaz gráfica de usuario.....	31
3. Descripción informática .....	32
3.1. Visualizador .....	32
3.1.1. Open inventor y Coin3D.....	32

3.1.2.	Modelo digital del terreno. ....	33
3.1.3.	Pre Proceso .....	35
3.1.4.	Formato de ficheros EXCEL .....	36
3.1.5.	Inclinómetros .....	41
3.1.6.	Interacción y funcionalidades adicionales .....	43
	Información del inclinómetro .....	46
	Movimiento dentro de la escena.....	50
	Mapa Global.....	51
	Escala de Colores y Brújula .....	51
	Otras funcionalidades .....	52
3.2.	Lanzador y Qt.....	53
4.	Resultados. ....	55
5.	Conclusiones y líneas futuras.....	58
5.1.	Trabajos futuros:.....	59
6.	Bibliografía.....	60
	Enlaces .....	61
7.	Apéndice.....	62

# **1. Introducción.**

## **1.1. Descripción del problema**

Este proyecto se centra en la facilitación de la visualización de datos multidimensionales y multivariantes en entornos tridimensionales.

Dentro de la visualización de datos, existen múltiples técnicas que permiten un mejor entendimiento de la información mostrada y la creación de interfaces de usuario más intuitivas y manejables.

La representación de datos multivariantes y multidimensionales, requiere una visualización más compleja, que en el caso de una representación de datos simples de una o dos dimensiones. El problema surge cuando se necesitan representar estos datos, de una manera sencilla, evitando representaciones complejas y confusas, de tal forma, que no sea una representación incomprensible y poco útil. Para ello, se han investigado técnicas para representar de manera eficiente esos datos, es decir, técnicas tridimensionales y diferentes visualizaciones gráficas con el fin de crear una aplicación que resuelva las necesidades de una interfaz intuitiva y amigable.

Por otro lado, en la ingeniería civil existen determinados puntos que hay que tener en cuenta, tales como: la colocación en el suelo, la orientación o el conocimiento del terreno siendo éste, importante para la estabilidad estructural de un edificio que se creará en un futuro. Debido a las características de la anatomía del ojo, el ser humano no percibe si un terreno se desplaza, por motivo de las pequeñas variaciones de éste, menos incluso, si los movimientos son a nivel subterráneo, lo que pueden provocar que una construcción sufra daños a lo largo del tiempo.

Esta información es recogida en multitud de posiciones, desplazamientos, velocidades y tiempos. Todos estos datos se componen de multitud de variables que son importantes en conjunto y que necesitan una representación que ayude a entender lo que está ocurriendo en el terreno. Por ello, no es posible su representación de manera intuitiva utilizando una única gráfica.

En el presente proyecto, se ha creado una aplicación que reunirá toda la información recopilada de distintas investigaciones realizadas en el campo de la visualización de datos, que posteriormente permitirá simular el desplazamiento de las capas superficiales y el terreno

que se encuentra a cierta profundidad. Dicha aplicación, constituye una herramienta auxiliar en el estudio geotécnico antes de proceder a excavar, para elegir los emplazamientos adecuados para los cimientos y puntos fijos que necesita una estructura importante, y sobretodo que sea segura y duradera.

El procedimiento que se lleva a cabo para conseguir estas mediciones, es introduciendo unos medidores llamados inclinómetros en las profundidades del terreno (alrededor de 20 metros). Éstos, serían colocados por unos geólogos. Posteriormente, los datos serían recogidos mediante tablas, las cuales se entregarían a la persona responsable para que decida y actúe según crea conveniente.

El objetivo del visualizador es la acomodación y la facilitación del seguimiento y de lectura de estos datos, ya que estas tablas pueden resultar bastante complejas para su comprensión. Por ello se va a crear una interfaz, donde, partiendo de un modelo de terreno, y con sus datos correspondientes, se pueda observar, los movimientos subterráneos del terreno.

## 1.2. Metodología

El objetivo de este proyecto es la investigación y utilización técnicas tridimensionales y gráficas para crear una aplicación que cumpla los objetivos prefijados. Para ello se ha seguido la siguiente metodología.

- Análisis de requisitos:

En sucesivas reuniones con los usuarios finales, se ha podido determinar los requisitos finales que se desean, así como el estudio previo de los datos y modelos a utilizar.

A partir de dicha información, se ha realizado una búsqueda para determinar las herramientas y técnicas más adecuadas para resolver los objetivos determinados.

- Diseño:

Una vez obtenido los objetivos, se ha definido la estructura del proyecto a seguir, determinado los pasos sucesivos y acordando una serie de pruebas y prototipos del cual se elegirá uno según se adapte a las necesidades el que será el visualizador final.

Se ha hecho un seguimiento habitual para retocar y refinar el visualizador.

- Pruebas:

Con una versión casi final del visualizador, se ha seguido una serie de reuniones y pruebas, para retocar y refinar en caso de posibles conflictos o pequeños detalles.

### 1.3. Objetivos

Para la realización de este proyecto se ha hecho uso de la información recopilada de distintas investigaciones, para que a través del uso de ciertas técnicas, permita crear una aplicación

En un primer lugar, se encuentran las técnicas de percepción, las cuales permiten dar una interpretación significativa a la información sensorial que llega a través de los sentidos. Será a través de la psicología, ciencia que estudia estos procesos, de la que se han obtenido estudios e investigaciones que han mostrado cómo llamar la atención al usuario y en qué manera ayudar a que los datos sean más interesantes.

En lo que respecta a las técnicas de visualización de datos, se procederá a recabar información de los progresos de visualización de datos que están vigentes en la actualidad, para que posteriormente se recoja lo que pueda ser útil e incorporándolo al desarrollo de la aplicación.

No se pueden dejar de lado las técnicas de interfaces gráficas de usuario, ya que resultan ser importantes para los objetivos de este proyecto. Por ello, en el campo de la informática, se ha centrado en la actualidad en la creación de interfaces de usuario, sobre todo, dirigidos a entornos de aplicaciones multiventana.

A partir de la exposición de estas técnicas y metodologías, se procederá a la explicación de los siguientes objetivos concretos:

- Recopilación y Representación de los datos.

En este punto se recopilarán y se representarán los datos, de acuerdo a las técnicas expuestas anteriormente, cumpliendo el objetivo de que la información sea comprensible, fácil e intuitiva, para que sea una herramienta auxiliar útil.

- Configuración.

Partiendo de que es importante que una aplicación no sólo esté dirigida a un caso en concreto, sino que abarque además todos los posibles casos similares a los que se tratan, sería importante entonces que la aplicación sea lo más general posible, de tal modo que se

configure en muchos aspectos y de esta manera el conjunto de usuarios finales, sea lo más grande posible.

- Ajuste

Como se ha comentado en la Introducción, hay multitud de variables en formatos y escalas diferentes. El proyecto se basará en visualizar todos los datos, no siendo esto posible sin la realización de algunos ajustes y pequeños cambios en la visualización. Usando la teoría de la percepción y otras técnicas aplicadas a visualización de datos, se reajustarán algunas de las variables para que muestren la información en conjunto sin modificarlas.

- Interacción.

No sólo basta con representar el modelo y los inclinómetros de una forma determinada, sino que se ha elegido la forma de representar estos inclinómetros utilizando colores, formas y facilitando el uso de ésta para cumplir la función de simplificar e informar, sobre el desplazamiento de un inclinómetro.

## 2. Estado del Arte

Antes de mostrar la descripción y el resultado del proyecto, se explicarán a continuación una serie de conceptos como antecedentes de la aplicación que se deberán tener en cuenta para comprender completamente de lo que se está tratando en el proyecto.

### 2.1. Gráficos

La aparición de los ordenadores ha sido un gran hito en la historia de la humanidad y, su incorporación en todos los ámbitos de la sociedad ha hecho posible un gran avance en el corto espacio de tiempo, de menos de un siglo, desde que están presentes. No solo la capacidad de cómputo, sino que la posibilidad de crear contenido gráfico económico y rápido, ha sido capaz de impulsar tecnologías ya existentes, o la de impulsar también nuevas tecnologías. Por ejemplo, la animación, ha revolucionado el cine, la simulación, ha sustituido a las prácticas reales, y el entretenimiento o la educación, han sido muy beneficiadas por la incorporación de los gráficos computarizados. [DOMP]



Figura 1: F-15 Eagle. Primeros juegos de simulación que aparecen a mediados de los 80. Se usaban para entrenar a soldados [1WE].

Las necesidades crecientes de gráficos más reales, han desencadenado en hardware y software cada vez más potentes, siendo posible la representación de objetos mucho más complejos. Los ordenadores son una fuente muy rica y poderosa con un coste relativamente pequeño, lo que ha resultado que esté presente en muchas áreas de la ingeniería y la ciencia, y también en otras, como los ejemplos que se han citado antes. Son la ingeniería y la ciencia ramas en las cuales existe multitud de necesidades, donde los gráficos simplifican mucho la representación de datos o, por ejemplo, mejoran la enseñanza.

Existen dos grandes grupos de software para gráficos por ordenador: paquetes de propósito específico y paquetes de programación general.

Los paquetes de propósito específico se diseñan para quienes no saben programar y quieren generar imágenes, gráficos o diagramas en algún área de aplicación sin preocuparse por los procedimientos gráficos necesarios para producir las imágenes. La interfaz de un paquete de propósito específico es habitualmente un conjunto de menús, que permite a los usuarios comunicarse con los programas. Como ejemplos de aplicaciones se pueden citar: los programas de pintura, sistemas CAD, programas para crear presentaciones, etc.

En cambio, un paquete de programación general, proporciona una biblioteca de funciones gráficas que se pueden utilizar en lenguajes de programación tales como C++, Java, Ruby, u otros como por ejemplo, Python. Entre las funciones básicas de una biblioteca gráfica típica, se incluyen aquellas para especificar componentes de la imagen (figuras y formas), establecer colores e iluminaciones, seleccionar vistas de la escena, o aplicar rotaciones u otras transformaciones. Algunos de los ejemplos de paquetes de programación gráfica son: OpenGL, Java 3D, etc. O en el caso de este proyecto, se ha hecho uso de paquetes como VRML, Open Inventor.



**Figura 2:** fotograma de la película de animación “Gru, mi villano favorito” (2010 Universal Studios). Película creada expresamente para aprovechar la tecnología 3D

Se realizará un repaso sobre las distintas aplicaciones gráficas, que tienen relación con este proyecto.

### 2.1.1. Gráficos y diagramas.

La visualización de datos, representados en gráficos (diagramas de barras, etc.), junto con las presentaciones, y la interfaz de usuario, han sido una nueva forma cultural que apareció junto con los ordenadores. Ya en el siglo XVIII se han encontrado algunos estudios sobre representaciones de datos, pero el uso de gráficos computarizados se ha convertido en algo imprescindible en la actualidad [MAN00].

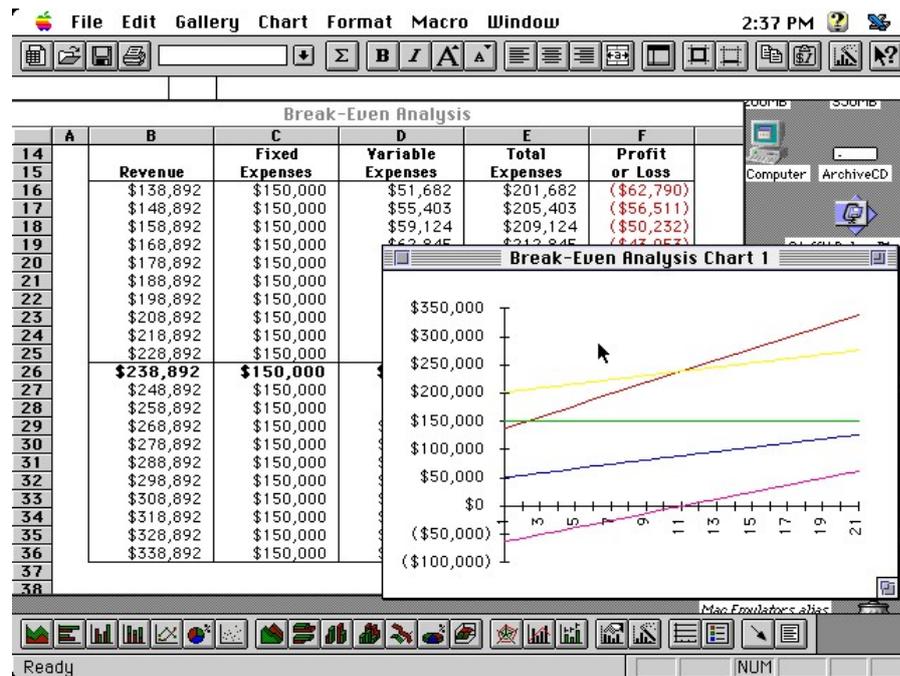


Figura 3: MS Excel 4.0 A principios de los 90, aparecen los primeros suites y empiezan a aparecer todo tipo de programas que explotan los 16 bits [3WE].

Asimismo, ha posibilitado toda una serie de nuevas técnicas de visualización. Por medio del ordenador, se puede representar conjuntos de datos mayores, crear visualizaciones dinámicas, introducir datos en tiempo real y basar la representación gráfica de datos en su análisis matemático, utilizando toda una variedad de métodos, desde la estadística clásica hasta la minería de datos.

Hay disponibles una gran variedad de paquetes gráficos tanto, para uso en oficinas como uso casual. Existen también diagramas y gráficos tridimensionales que se usan para mostrar información adicional, aunque algunas veces simplemente se usen para causar efecto, dando mayor dramatismo, y haciendo más atractivas las presentaciones.

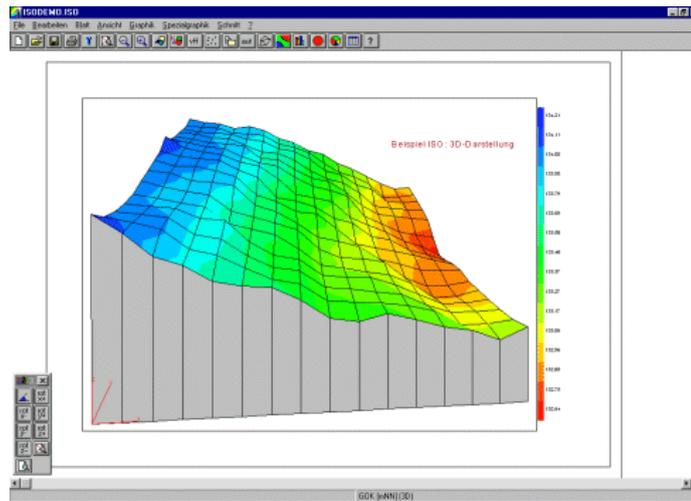


Figura 4: gráfico tridimensional, que usa la profundidad para mostrar más información [4WG].

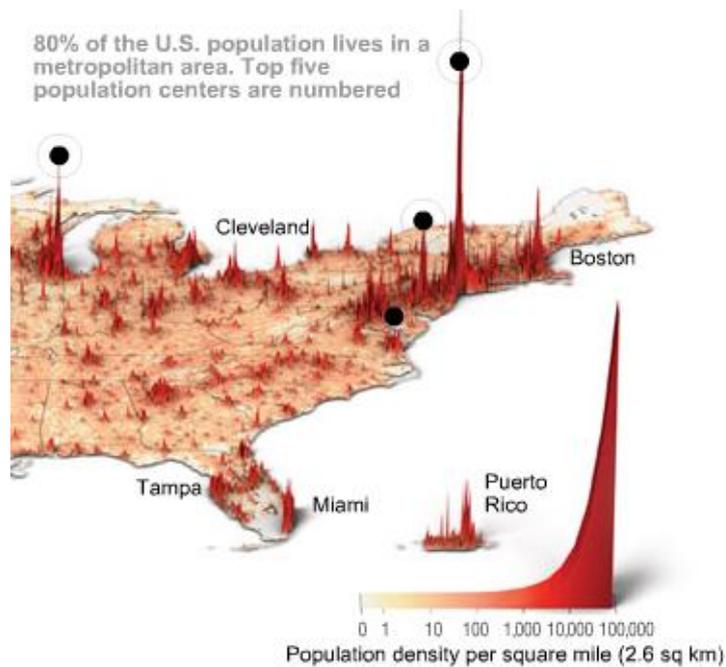
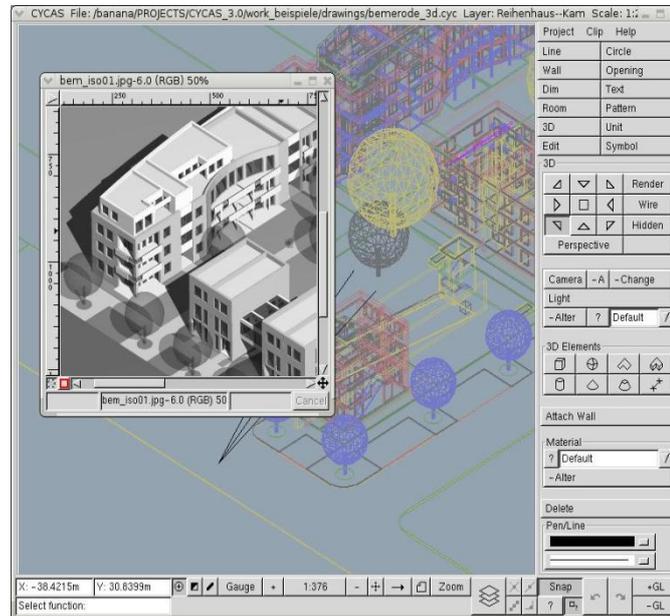


Figura 5: datos representados en un diagrama de barras tridimensional para causar mayor efecto en los datos. [4WG]

### 2.1.2. Herramientas CAD

Una aplicación de los gráficos que se usan en gran parte de la ingeniería y la arquitectura, son las herramientas CAD (*computer-aided design*). El diseño asistido por

ordenador, es un uso bastante generalizado en la fabricación de productos, visualización de objetos, diseño de edificios, etc.



**Figura 6: CYCAS Aplicación CAD. En esta imagen vemos como una herramienta CAD nos muestra un modelo con mallas para facilitar posibles modificaciones. En la imagen también vemos como se renderiza en una imagen con texturas. [CYCAS]**

En estas aplicaciones de diseños, los objetos se representan normalmente en forma de mallas, o a veces, son recubiertas por una serie de texturas, mostrando la forma general del objeto. El software ofrece también la posibilidad con múltiples ventanas y acciones diversas, moverse alrededor del objeto, siendo capaz de generar el objeto en 3D y dando la posibilidad de inspeccionar en todas las vistas posibles, el objeto representado.

Normalmente, las aplicaciones CAD permiten ordenar y procesar la información relativa a las características de un objeto o modelo. En el caso particular de la arquitectura, la herramienta CAD, sirve para construir un modelo análogo del edificio o instalación. En el espacio imaginario es posible construir con elementos también imaginarios, la mayor parte de los componentes del objeto o modelo; colocar cada elemento en la posición que le corresponde en relación a los demás, caracterizar cada elemento en función de sus propiedades intrínsecas (forma, tamaño, material, etc.) y también caracterizarlo en sus propiedades extrínsecas (función, precio, etc.). También permite, a la vez, ver en la pantalla las plantas, cortes o vistas necesarias del modelo que se está construyendo y también la posibilidad de modificar, en cualquier momento las características del mismo.

Los cambios al modelo son reflejados instantáneamente en las distintas formas de representación, por lo que estas herramientas hacen posible la verificación constante de las decisiones del arquitecto, creador o diseñador, sin necesidad de rehacer una y otra vez, los dibujos.

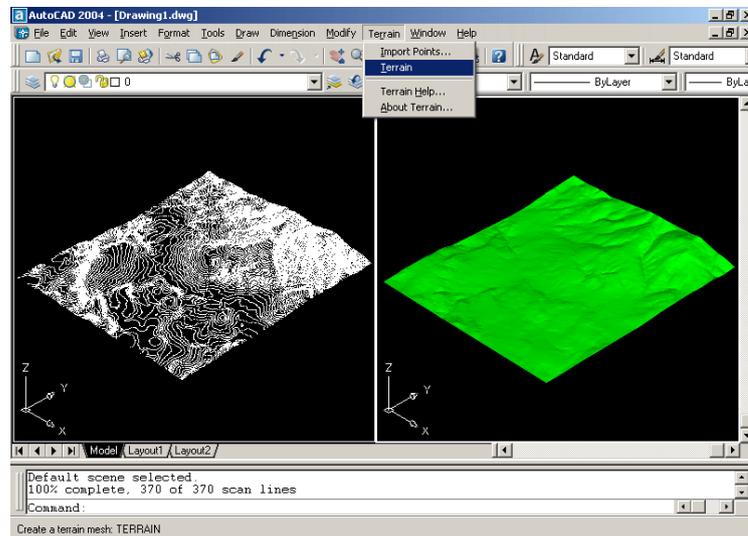


Figura 7: AutoCAD, herramienta más representativa de las CAD, en esta imagen vemos un plug-in de AutoCad para la representación de un terreno. [ACAD]

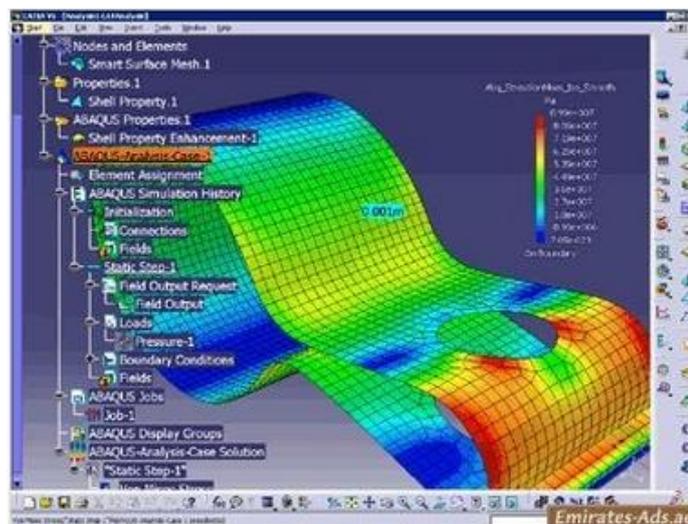


Figura 8: CATIA (Computer Aided Three Dimensional Interactive Application) es un programa de CAD/CAM/CAE comercial realizado por Dassault Systemes. [CATIA]

Para la realización de este proyecto, sólo se necesitará la capacidad de recorrer, y visualizar desde muchos ángulos posibles, la información que se recoge para ser capaces de tomar decisiones a través de los datos que se representan en la pantalla.

### 2.1.3. Simuladores, realidad virtual.

Una aplicación más reciente de los gráficos, es la creación de entornos de realidad virtual (RV en adelante). RV, se puede definir como algo que no coincide en espacio-tiempo, intentando engañar a nuestros sentidos, haciendo que la inmersión en ese mundo sea interactiva por algún medio usando nuestra imaginación.

Se puede marcar el objetivo de la RV en tres hitos llamados las tres íes: Inmersión, Interacción e Imaginación.

Cuanto mayor sea la inmersión en el mundo virtual y se pierda el contacto, más realista será la aplicación. Para ello, también es necesaria una interacción con el sistema, de tal modo que ayuda a la inmersión del mundo si se es capaz de actuar y percibir la RV. La imaginación será la encargada de dar un abanico de posibilidades en el uso de la RV.



Figura 9: vista del simulador ESG Elektroniksystem- und Logistik-GmbH (ESG) [IBE]

Crear unas imágenes cada vez más reales, es el camino que ha seguido este campo y ha hecho posible la realización de aplicaciones como películas de animación, simuladores militares, médicos o civiles, o por ejemplo el gran mundo de los videojuegos cada más diverso.

#### 2.1.4. Películas de animación

Las animaciones realizadas mediante gráficos, utilizadas con frecuencia en publicidad, televisión y cine, se producen fotograma a fotograma, donde cada uno de estos movimientos se produce con una serie de pequeñas transformaciones respecto a posiciones anteriores. Estos fotogramas unidos en secuencia en un buffer de video, nos genera una escena con movimiento. La cantidad de estos fotogramas varían de 25 a 40 por segundo, ésto requiere una gran capacidad de cómputo.

En otras ocasiones las imágenes se combinan con actores reales y escenas filmadas. Incluso en películas con escenas reales, todos los efectos especiales no se pueden conseguir con dobles o con trucos de grabación, y hay que usar técnicas para crear escenas realistas.



**Figura 10: fotograma de la película de animación Toy Story. La primera película de Pixar® y considerada la primera película con efectos de animación estrenada en cine.**

Hay que hacer mención a la tecnología 3D. Está documentada desde principios del siglo XX, pero no llegó a ser muy popular entre el público en general. En los 90 solo estaba presente en parques temáticos y *Cinemax*, y no fue hasta principios de este siglo, donde se ha generalizado al gran público y no solo está presente en el cine, sino también, ha crecido en el ámbito particular con televisores y videojuegos.

### 2.1.5. Videojuegos

A comienzos de la década de los ochenta, los juegos de ordenador se habían consolidado firmemente como una nueva e importante forma cultural de masas. Empezando el siglo XXI, los juegos han llegado a situarse a la altura del cine en términos de tamaño de mercado e importancia cultural. Mantienen entretenidos a los jugadores con diversas modalidades de control y de respuesta en tiempo real ante imágenes, acciones y sonidos. La tendencia que se sigue en cuanto a las imágenes, es la obtención de gráficos más realistas y detallados, y prácticamente la tecnología tridimensional. [AD00]

Desde los primeros juegos como el Pong, hasta los videojuegos actuales ha habido un salto vertiginoso. No sólo la calidad gráfica es importante en un videojuego, sino también la capacidad de entretener e introducirte en un mundo virtual y vivir una experiencia gratificante. La inmersión en un videojuego no sólo viene a través de las imágenes, sino que también un control retroactivo (vibración, oposición,..) y una narrativa que haga volar la imaginación, son características que hacen al videojuego un peculiar y fascinante mundo.



Figura 11: captura del videojuego Mario 64 de Nintendo. Mario recorre un mundo en 3 dimensiones. [M3C]

Hay que hacer una especial mención a Autodesk 3ds Max. Es un programa de creación de gráficos y animación 3D desarrollado por Autodesk. 3ds Max es utilizado en mayor

medida por los desarrolladores de videojuegos, aunque también en el desarrollo de proyectos de animación como películas o anuncios de televisión, efectos especiales y en arquitectura.

En el proyecto, ha sido utilizado para la transformación del terreno de un modelo CAD a un modelo VMRL.

### 2.1.6. Sistema de Información Geográfica

La investigación en las ciencias ambientales, se ha visto profundamente modificada desde que los medios informáticos han comenzado a ser utilizados habitualmente como una herramienta de trabajo. El tratamiento de la información cartográfica no ha sido una excepción a las nuevas tendencias y, aunque con una inercia importante, ha comenzado poco a poco a ser realizada en forma digital, especialmente en el contexto de **Sistemas de Información Geográfica (SIG)**.

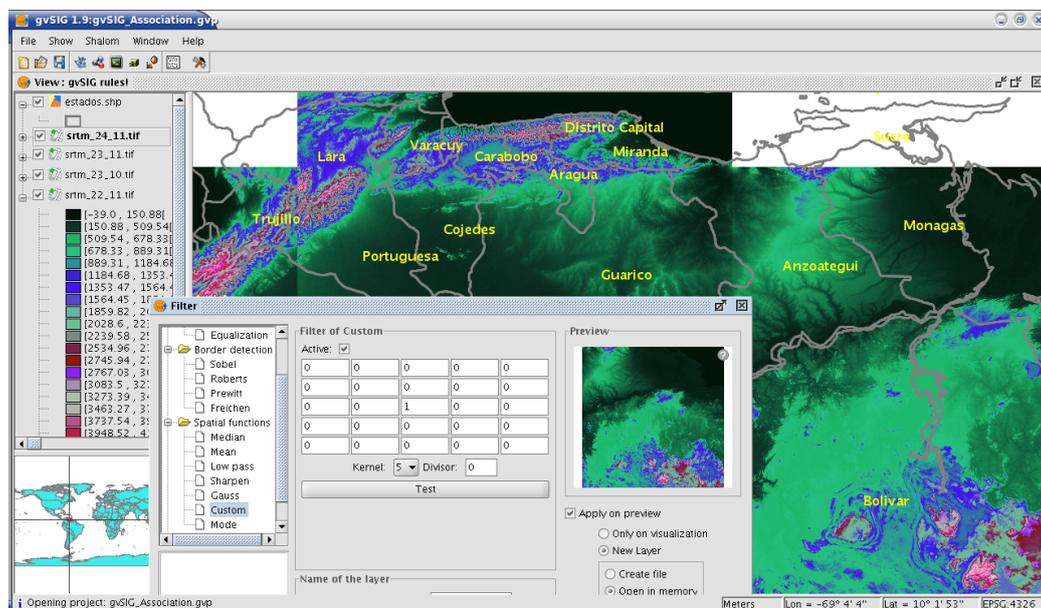


Figura 12: gvSIG Aplicación SIG desarrollada con software libre. [SIGW]

SIG, es una integración organizada de *hardware*, *software* y datos geográficos, diseñada para capturar, almacenar, manipular, analizar y desplegar en todas sus formas la información geográficamente referenciada con el fin de resolver problemas complejos de planificación y gestión. También puede definirse como un modelo de una parte de la realidad referido a un sistema de coordenadas terrestre y construido para satisfacer unas necesidades concretas de información. [SIGW]

Por otro lado, el mundo de los SIG, ha asistido en los últimos años a una explosión de aplicaciones destinadas a mostrar y editar cartografía en entornos web como: Google Maps,

Bing Maps u OpenStreetMap, entre otros. Estos sitios web, dan al público acceso a enormes cantidades de datos geográficos.

## 2.2. Visualización de datos

La generación de representaciones gráficas de conjuntos de datos o procesos de naturaleza científica, de ingeniería o de medicina, es otra nueva aplicación de los gráficos por ordenador. En la última década, ha habido un enorme progreso en la visualización científica. [HHRB] Investigadores, analistas, etc., necesitan tratar con grandes cantidades de información o estudiar el comportamiento de procesos de elevada complejidad. Las simulaciones numéricas, por ejemplo, producen grandes cantidades de ficheros de datos que contienen miles e incluso millones de valores. De modo similar, cámaras de satélite u otras formas de grabación, aportan datos más rápidos de lo que se puede procesar. Intentar sacar información de estos conjuntos enormes de datos para determinar tendencias o relaciones, es un proceso complejo y algunas veces ineficaz. Por ello, el trabajo con datos multivariados, es un objetivo muy importante en el futuro de la investigación de la visualización de datos, que está aportando avances significativos en los algoritmos de visualización.

Antes de continuar, se ha de comentar que es una datos multidimensionales y datos multivariados [HHRB].

Datos multidimensional, son aquellos que, siendo análogo al caso de las bases de datos, la información de una fila viene determinada por el valor de las respectivas columnas, que a su vez contienen otra fila de valores. De tal manera, no se puede representar en una tabla bidimensional de filas y columnas, sino que además, tenemos que nos haría falta mas dimensiones para representar la información.

Datos multivariados, son aquellos conjuntos de variables, que por separado tienen un significado propio pero que se unen en tuplas para definir un nuevo conjunto de datos e información asociada.

La colección de datos que se puede necesitar representar pueden ser: multivariados, valores escalares, multidimensionales, que dependan del tiempo o cualquier tipo de combinación de estos. La representación en un gráfico de dos ejes no es suficiente y se deberá usar técnicas más sofisticadas.

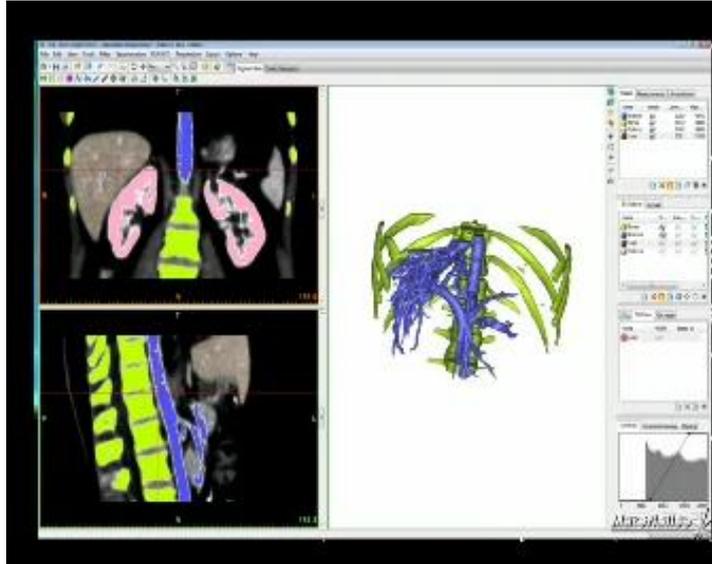


Figura 13: imagen del programa MIMICS. Proyecto Liver del departamento Laimbio de la URJC.

A continuación, se explicarán técnicas existentes que se usan en aplicaciones reales como por ejemplo, aplicaciones de meteorología, imágenes médicas o como en este caso, aplicaciones geotécnicas.

En la literatura [HHRB], se pueden encontrar investigaciones que se resumen en tres aproximaciones generales para representar datos complejos y multidimensionales.

- **Interacción:** La conexión entre los datos y la facilidad de poder explorarlos interactivamente, hacen más efectivo el entendimiento de estos. Esta aproximación, funciona asumiendo que el usuario puede entender la configuración de los datos usando diferentes puntos de vista y diferentes niveles de detalle, interactuando con los parámetros del visualizador. La capacidad del visualizador para explorar diferentes vistas, hace que se consiga una comparación visual entre las correspondencias en los datos. En ella, se usan las funcionalidades que el sistema proporciona, para que el usuario sea capaz de comprender el significado de los datos.

Este es el punto más importante para entender datos multidimensionales complejos y es extensamente usado en los campos anteriormente mencionados. Se ha tomado en cuenta para el proyecto, de tal manera que se ha incorporado al visualizador, la función de moverse dentro de la escena y ser capaces de ver los inclinómetros desde diferentes vistas y ángulos. Así mismo, se ha añadido un zoom automático para enfocar en los inclinómetros automáticamente al ser seleccionados.

- **Ajuste de complejidad:** Debido al crecimiento en capacidad de cómputo se puede aprovechar ese esfuerzo en visualizar los datos. Técnicas de renderizado complejas (por ejemplo, iluminaciones, sombras, etc.) hacen posible una interpretación espacial más sencilla para el usuario.

El ruido y datos inservibles son aspectos a tener en cuenta cuando se muestran los datos. Existen herramientas que reducen la redundancia y la repetición en representaciones tridimensionales de datos.

- **Visualización Multifuncional:** Esta aproximación funciona muy bien en datos de un solo tipo de rango. La posibilidad de combinar multitud de técnicas es la mejor forma de mejorar la representación de estos datos. Las aplicaciones que combine varias técnicas de visualización son más efectivas, y aseguran un mayor entendimiento que las aplicaciones que solo usan una técnica. Aunque esto pueda parecer obvio, la solución planteada resuelve alguno de los problemas en representar grandes cantidades de datos.

Atendiendo a este punto, se ha creado un *viewport* (mapa auxiliar) donde se mostrara el terreno desde una vista aérea, para ser capaces de localizar la localización actual de la cámara.

## **2.3. Representación de datos 3D**

Los datos 3D se pueden representar de múltiples formas. En el mundo real, existen multitud de tipos de objetos tales como rocas, arboles, edificios, animales, y un sinnúmero de cosas, que el ser humano lleva intentando representarlos desde las cavernas y las pinturas rupestres, hasta los gráficos por ordenador. Como en la pintura, en los gráficos 3D hay muchos estilos y técnicas para mostrar los objetos y que el receptor sea capaz de interpretarlos. No existe una técnica universal, ya que cada forma de representar los objetos es más adecuada para unos casos en particular. A continuación comentaremos alguno de las distintas técnicas para representar datos y modelos en 3D.

### **2.3.1. Superficies paramétricas**

Una superficie paramétrica es una superficie en el espacio euclidiano  $R^3$ , la cual es definida por una ecuación paramétrica con dos parámetros. Mediante la utilización de parches de curvas de Bezier, B-Splines o NURBS se pueden representar superficies perfectamente curvas. Estos se pueden situar uno detrás de otro, dando continuidad a la superficie. Esta

técnica tiene un coste alto a la hora de representarse, pues es difícil garantizar la localidad de cada parche. Una modificación en alguno de ellos, afecta a los demás.

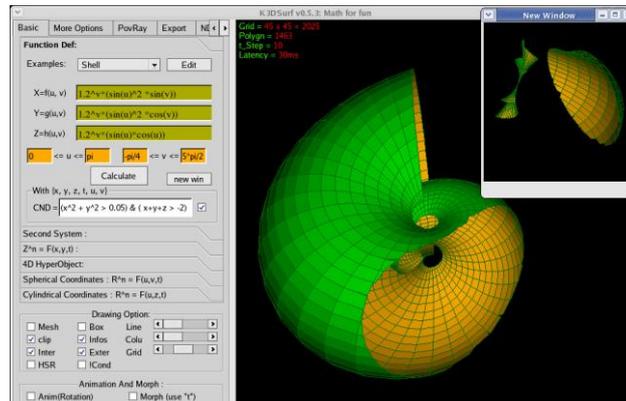


Figura 14: superficie paramétrica representada en el software K3DSurf. [K3D]

### 2.3.2. Superficies implícitas

Las superficies implícitas se definen mediante un conjunto de componentes básicos, como puntos o esferas, y su combinación mediante alguna función. Generalmente la función es de tipo potencial, de tal forma, que definen campos de influencia sobre cualquier punto del espacio. La idea es conceptualmente sencilla si pensamos en el comportamiento de gotas de agua que, cuando se juntan lo suficiente se unen formando una gota más grande. Esta técnica se lleva empleando durante años en el modelado de formas orgánicas. Se hicieron muy famosas a principios de esta década debido a la aparición de varios plugins para paquetes de diseño 3D comerciales que explotaban sus posibilidades.

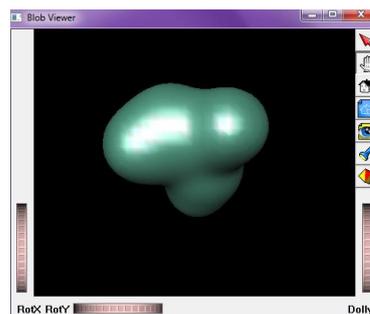


Figura 15: ejemplo de la librería de Coin. Se puede observar una metabola.

### 2.3.3. Superficies poligonales

Las mallas poligonales se basan en describir la superficie del objeto a partir de un conjunto de polígonos conectados, a través de vértices conectados mediante aristas. Estos así definen polígonos, mayoritariamente triángulos al ser la unidad mínima de una superficie al

ser definida solo por 3 vértices. Otros polígonos tiene la desventaja de falta de coplanariedad, llamado efecto pajarita, que afectan a la complejidad de su representación. Las ventajas de esta técnica son la simplicidad y la disposición del *hardware*.

Esta técnica es sencilla en cuanto a representación pues solo requiere menos cálculo pesado y el *hardware* está orientado a procesar la información en calcular vértices y triángulos.

La naturaleza no es poligonal y no corresponden las representaciones de los objetos con las superficies poligonales. Así también, las superficies demasiado complejas no son sencillas de representar.

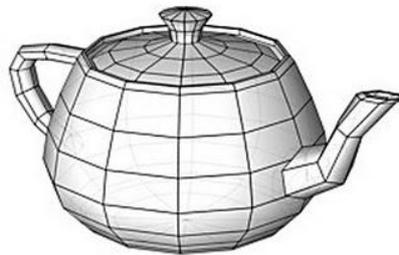


Figura 16: tetera de Utah modelada con poligonos.

#### 2.3.4. GiD

Dentro de la ingeniería civil, existe un software bastante utilizado llamado GiD. GiD, es un entorno de pre/postproceso gráfico que puede tratar modelos geométricos altamente complejos y generar malla y otros datos requeridos para el análisis. En las últimas versiones se han añadido utilidades para convertir modelos desde superficies poligonales a superficies paramétricas, combinarlas, y representarlas juntas o por separado.

En el preproceso es como una herramienta CAD. Se diseña el objeto a tratar, dándole unas características físicas simulando al objeto real. Posteriormente en el postproceso, se puede visualizar los resultados del análisis mediante diversas técnicas gráficas.

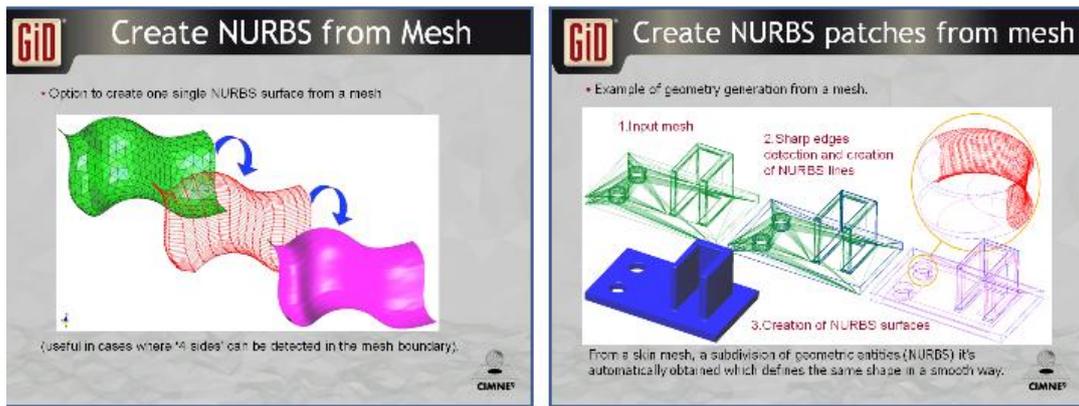


Figura 17: representaciones posibles por GiD. [GiD]

## 2.4. Inclínómetros

Durante la fase de construcción de una estructura, o durante su vida operacional, es posible que sea necesaria la monitorización geotécnica del terreno donde se asienta la estructura (incluso en taludes o aludes naturales también es importante asegurarse que no haya peligros para la estructura\o poblaciones cercanas). Una herramienta para registrar ciertos parámetros como desplazamiento y velocidad son los inclinómetros, sondas inclinométricas o sondas verticales [FAER].

Los inclinómetros son monitores geotécnicos que miden la inclinación de una tubería inclinométrica introducida en estratos de suelos y/o rocas, así como de estructuras, edificaciones y otros, respecto a una línea vertical, según la posición de la misma. Mediante operaciones trigonométricas determinan los desplazamientos horizontales correspondientes a dichos puntos de medición. Además, determinan de los desplazamientos laterales a diferentes profundidades así como de estructuras, edificaciones y otros.

Como se especifica en [CONS] al comenzar con los trabajos en una obra se eligen los emplazamientos, que darán lugar a la construcción de los cimientos que sostendrán el edificio. Para iniciar una obra, la Ley de Ordenación de la Edificación (LOE) obliga que la construcción pase por un control de calidad ofrecido por un Organismo de Control Técnico (OCT) el cual es el encargado de realizar un Estudio Geotécnico de manera obligatoria y preceptiva.

El OCT realiza el replanteo o estudio geotécnico que consta de las siguientes etapas:

1. Obtención y recopilación de la documentación previa que exista, en especial la geotécnica y cartografía geológica; estudio y evaluación.
2. Reconocimiento del terreno.
3. Ensayos in situ para obtener datos sobre las propiedades geotécnicas del terreno en estudio.
4. Análisis e interpretación de datos.
5. Conclusiones y recomendaciones acordes a los objetivos.

Después del proceso de replanteo, se reúne toda la información en un acta, el cual servirá para emplazar los cimientos de acuerdo al cálculo estructural y al proyecto elaborado, considerando todas las variables que inciden, como por ejemplo las cargas propias de la construcción, el tipo de terreno, etc.

El conocimiento de los desplazamientos, son de gran utilidad para evaluar el grado de estabilidad de estructuras o laderas monitoreadas. Los inclinómetros, están basados en las deformaciones que puedan sufrir los materiales ante cargas laterales, las cuales son registradas por observaciones en el comportamiento de las tuberías inclinométricas, introducidas en los estratos de suelo o roca. Los desplazamientos pueden ser registrados de forma periódica o continua, según el tipo de inclinómetro utilizado, fijo o móvil.

Para la medición, los inclinómetros cuentan con sensores electrónicos, servo acelerómetros y, una unidad de almacenamiento donde se guarda la información recogida. Esta información se recoge en unos intervalos de tiempo determinados (normalmente cada mes, para tener medidas aproximadas). Estas medidas son las que después analiza el correspondiente experto que revisará los datos obtenidos.

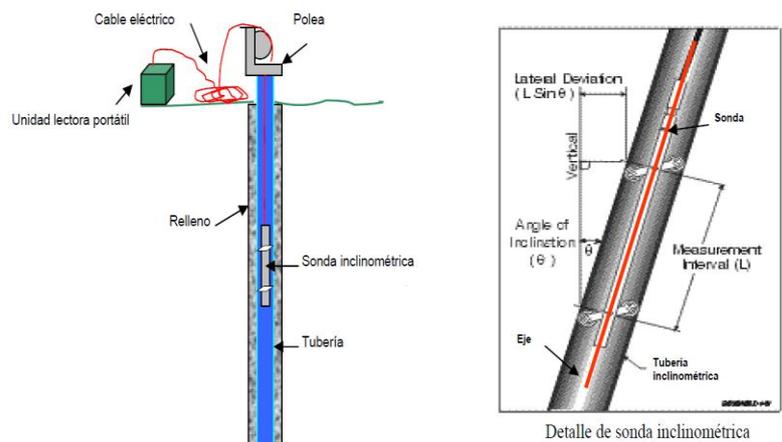


Figura 18: esquema de un inclinómetro [FAER]

Primero, se deberán validar los datos, revisando que el inclinómetro haya recogido las medidas correctamente, sin que se hayan movido u otros aspectos que se tengan en cuenta. Una vez validado el inclinómetro, se procederá a la revisión de los datos de los movimientos recogidos, los cuales darán una idea de lo que ocurre por debajo del terreno. A partir de ahí la decisión será del experto que le corresponderá dar las indicaciones oportunas.

Figura 19: imagen de Excel. Datos del inclinómetro recogidas en tablas enormes.

Los expertos se basan en la lectura de los ficheros donde están los datos. Para alguien que no está familiarizado con la representación, le será muy difícil hacerse una idea. Aun así, el propio experto tiene que dedicar mucho tiempo para analizar la información. En este

momento, es cuando aparece la necesidad de utilizar otras técnicas o métodos para visualizar y agrupar esta información, que aún estando ordenada, está muy dispersa y difusa.

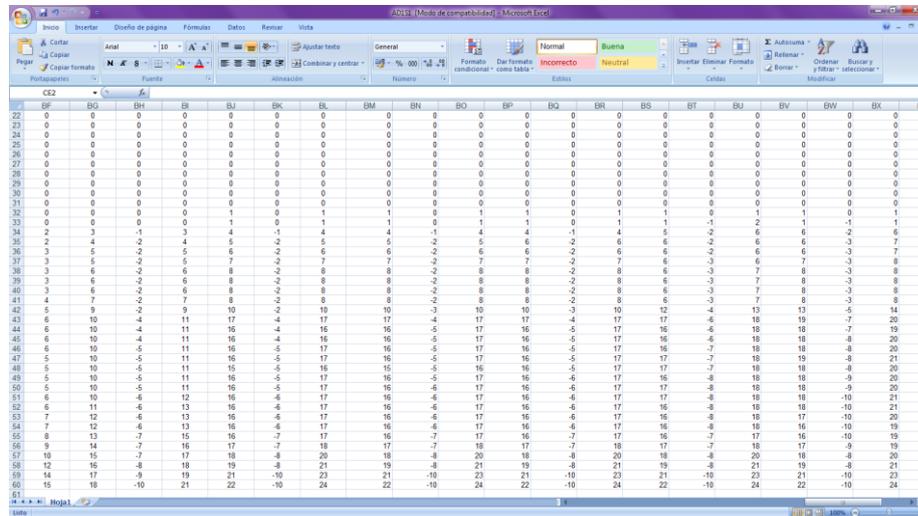


Figura 20: imagen de Excel. Ejemplo de desplazamiento de un inclinómetro en un tiempo determinado.

Por lo general, las tensiones admisibles del terreno son inferiores a las de los materiales de la estructura, de manera que los cimientos deben respetar ciertos límites para que la estructura permanezca estable sin alteraciones.

Las mediciones recogidas por los geólogos, son almacenadas en un soporte físico. Cada uno de estos inclinómetros tendrá un fichero Excel asociado donde está almacenado su desplazamiento a lo largo de los meses.

Para cada uno de los inclinómetros, se toman varias medidas (separadas 50 cm aproximadamente) para evaluar la inclinación en profundidad.

Los geólogos introducen los inclinómetros en posiciones para controlar ciertas mediciones, en general se introducen en el terreno gracias a un estudio previo. El comportamiento lógico del inclinómetro es que se muevan las capas superficiales. Puede ser que en un inclinómetro las posiciones más profundas se mueven, en ese caso, el inclinómetro se verá anulado. Esto es porque las posiciones más profundas se cogen como referencia para las operaciones trigonométricas, de este modo, si estas se mueven, los resultados de las mediciones de todo el inclinómetro se verán afectadas por la más profunda, siendo así, un inclinómetro no válido.

A continuación, se muestra en la figura un intento de representación de un inclinómetro, que están incluidos en los informes proporcionados por los usuarios finales. Los desplazamientos están mostrados como puntos, y se unen según al tiempo que pertenezcan. En un intento de clarificar los resultados, se han coloreado cada instante de tiempo con un color. No ha sido posible mostrar la velocidad de cada segmento.

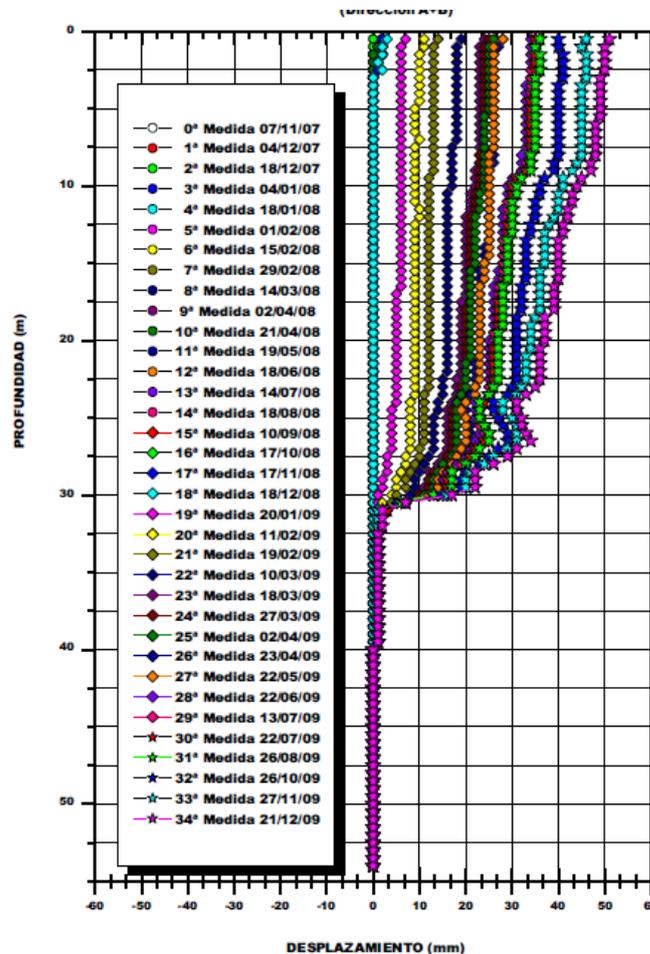


Figura 21: gráfica aportada por el usuario final, ejemplo del desplazamiento de un inclinómetro. No se ha sido posible representar la velocidad

## 2.5. Percepción

Se define como percepción, aquel proceso de carácter biológico, psicofísico y cognitivo por el que el ser humano interpreta y otorga significado a la información sensorial proveniente del medio exterior. Es importante recalcar que todo proceso perceptivo es único y estable, y por tanto, siempre va ligado a la sensación que pueda tener uno mismo [ÈBR].

Así pues, la relación de los procesos perceptivos y el presente proyecto, será la de proporcionar los estímulos que mejor se adecuen a la percepción del sistema visual humano,

permitiendo a su vez, que se puedan representar todos y cada uno de los datos de forma sencilla.

Para empezar, la percepción visual resulta del procesamiento por el cual, la información es captada por los ojos y tras distintos relevos sinápticos, es recibida por nuestro cerebro para procesar la información. Esta información, aunque en un principio parezca sencilla, es realmente compleja y para nada comparable a la visión por computador. A grandes rasgos, en un simple vistazo, nuestro cerebro es capaz de captar la distancia a la que se sitúa un objeto, el color de este, la forma y si esta en movimiento.

Las teorías de percepción están presentes en la creación de gráficos, no sólo para crear unos gráficos más realistas, sino, para simplificar aquellos aspectos que el ojo humano no capta porque no existe un foco de atención que lo atraiga. La realización del proyecto se basará en la utilización de distintas técnicas que darán lugar a enfatizar distintos aspectos del problema para crear un foco de atención.

En el diseño del proyecto, se ha tenido que proceder a un cambio de escala, debido a que las unidades de medición utilizadas en él eran demasiado pequeñas como para ser captadas por el ojo humano y con el fin de mejorar la visualización de datos, se procedió a cambiar milímetros por decímetros sólo en la representación, respetando los valores al almacenar el inclinómetro.

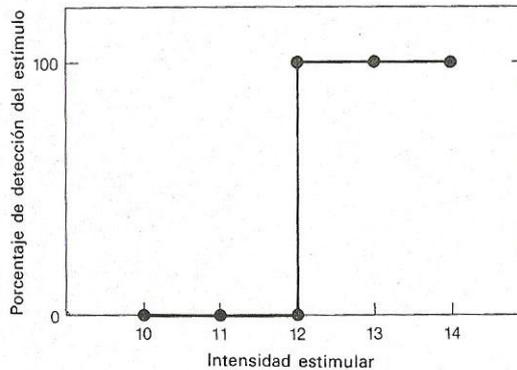
Una parte importante de la percepción es la psicofísica, ésta aporta un estudio científico de la relación cuantitativa entre las dimensiones físicas del estímulo y los atributos de la sensación que provoca. Es por ello, por lo que la psicofísica establece unos umbrales sensoriales que determinan que es perceptible y que no lo es. Esto hace que sea un punto crítico de la aplicación.

Partiendo del terreno kilométrico propuesto en el proyecto, donde se insertan unos inclinómetros que miden de unos 10 a 15 m, los cuales tienen mediciones a lo alto y separadas por 50cm. Estos registrados están medidos en milímetros, lo que provoca que se los pequeños cambios no sean apenas captados por nuestra atención, por lo cual, se necesita tener percepción de que se ha producido un cambio más brusco.

Se definen por tanto, los siguientes parámetros de la psicofísica:

Umbral diferencial: Es aquél mínimo incremento de la intensidad del estímulo que resulta perceptible por la persona (o que resultaría necesario para notar la diferencia). Por

tanto, si se está trabajando con un objeto que varía entre los 10 a 15 metros al existir una variación de 10 mm más o menos, no sería perceptible para el ojo. [EBR]



**Figura 22:** gráfica que representa el salto brusco de un estímulo no perceptible a otro perceptible [EBR]

La Ley de Weber-Fechner establece que: *la magnitud de la sensación es la proporcional al logaritmo natural de la intensidad del estímulo medida en unidades de umbral absoluto*. Ésta y otras leyes junto con otros métodos están desarrolladas en [EBR], formando parte de la investigación realizada.

Para escenificar esta ley, existe el ejemplo de la aguja. Si se pone una aguja encima de la mano, somos capaces de percibirla. Pero por otra parte, si se pone un objeto de 1 kilo y después añadimos la aguja, no somos capaces de percibir la aguja.

En relación a la percepción del color, se debe partir del concepto de visión. El cual se puede decir que es la modalidad sensorial que proporciona información acerca de la naturaleza, localización y cambios de las entidades presentes en el entorno a partir de las imágenes que se forman en la retina.

Como se ha podido saber a través de numerosas lecturas realizadas, la imagen que llega a la retina es captada por las células foto-receptoras, que están compuestas por conos y bastones, encargados del procesamiento del color. Por tanto, para la codificación del color, el estímulo depende del tono, la luminosidad y la saturación. Es aquí donde se centra más la investigación de este proyecto en cuanto a la percepción del color rojo.

El sistema visual humano se basa en dos procesos para poder explicar el procesamiento del color y así, su percepción. En un principio, se parte de la Teoría Tricromática (Young, 1802), dónde éste mantenía que hay tres tipos de receptores en la retina:

unos sensibles al rojo, otros sensibles al azul y otros, al verde. Sin embargo, hacia el siglo XIX, se propone la Teoría de los Colores Oponentes (Hering, 1874), en la que se asume que el matiz percibido se podría representar en el sistema visual por un sistema de colores oponentes: rojo vs. verde; amarillo vs. azul. Descubriéndose posteriormente, células antagonicas: rojo-verde: amarillo-azul.

Por tanto, partiendo de esta posición más lógica, se puede explicar porqué se ve el color rojo como tal. En un primer lugar, una luz que emite el color rojo, llega a la retina y activa el par de células antagonicas: rojo-verde. Éstas, mandan la señal, a otras células de la retina que activan solamente la zona 'roja' e inhiben la zona 'verde'. Llegando al cerebro la información 'rojo'. Gracias a la Psicología, se ha podido conocer que, el color rojo, se ha asociado con determinadas señales de peligro (cómo señales de tráfico, señales de medicina, etc.) y produciendo además, una llamada de atención superior frente a otros colores. [NRC06]

Por todo ello, en el proyecto, se ha escogido el color rojo porque llama más la atención para señalar errores, velocidades máximas y en general, captar la atención.

Se puede utilizar el color para expresar otra dimensión de la representación de datos, de tal modo que se mostrará la velocidad de un desplazamiento, con la variación del color, en una escala cromática de colores fríos (velocidades mínimas) a colores cálidos (velocidades máximas), eligiendo finalmente, el color rojo para denotar el limite. [JSNI]

## **2.6. Interfaz gráfica de usuario**

Hay que hacer una pequeña mención a la interfaz gráfica de usuario, conocida también como GUI (*graphical user interface*).

En el contexto del proceso de interacción persona-ordenador, la interfaz gráfica de usuario es el artefacto tecnológico de un sistema interactivo que posibilita, a través del uso y la representación del lenguaje visual, una interacción amigable con un sistema informático.[WIL] Estas interfaces posibilitan la interacción de un sistema con los usuarios utilizando formas gráficas e imágenes como botones, íconos, ventanas, fuentes, etc.

### 3. Descripción informática

Una vez explicado los antecedentes, se procederá a explicar el desarrollo de la aplicación. Ésta consta de dos partes: el lanzador, y el visualizador.

#### 3.1. Visualizador

Es la parte principal de este proyecto. El visualizador es el encargado de cumplir los objetivos marcados realizando las funciones que se han diseñado. Este se encargará de mostrar toda la escena, ser capaz de moverse a través de ella, etc.

##### 3.1.1. Open inventor y Coin3D

Open inventor es una librería de objetos y métodos usada para crear aplicaciones gráficas en 3d e interactivas. Aunque está escrita en C++, incluye funciones en C. Open inventor es una serie de bloques que te permiten escribir programas que aprovechen la potencia gráfica del hardware con un esfuerzo menor. Basado en *OpenGL*, la herramienta dispone de una librería de objetos que se puede usar, modificar y extender a gusto [WER1].

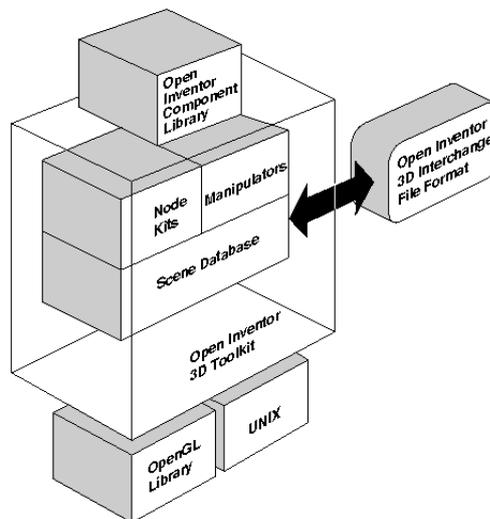
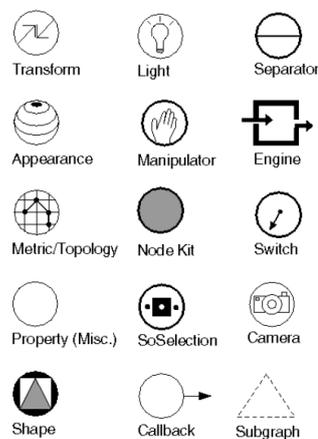


Figura 23: arquitectura Inventor [WER1]

Se estudiaron diversos motores gráficos para la representación usual de los datos. Entre los más destacados se encuentran Coin3D y OGRE. Se ha descartado OGRE debido a su complejidad y que el objetivo del proyecto no es conseguir unos gráficos realistas, sino crear una representación usual por medio de iconos y colores.

Coin3D ofrece la economía y la eficiencia de un sistema orientado a objetos. El motor de *Coin* usa la estructura de datos de una escena gráfica. En esta se puede encontrar unos nodos básicos como son figuras, motores, manipuladores u otros nodos como cámaras, luces, que se colgarán del árbol. Además ofrece la facilidad de mover datos entre aplicaciones con el formato propio de los ficheros 3D. Los usuarios finales pueden guardar y pegar la escena 3D y compartirla por otros programas. Como es solo un motor gráfico, *Coin* necesita una librería aparte para comunicarse con el usuario. *SoWin* y *SoQt* son unos ejemplos característicos de visualizadores. *SoWin* está orientado a los sistemas Windows por lo que ha sido elegido para crear la aplicación.



**Figura 24:** representación de los nodos-objeto que sirven para definir una escena [WER1]

En el árbol se han colgado los nodos que se han mencionado antes, definiendo toda la escena, que se ha representado en el visualizador y se almacenará en la base de datos de *Coin*. Hay que tener en cuenta el orden en el que se cuelgan los nodos, pues el orden determina las transformaciones a las que se ven sometidos los nodos. Estas transformaciones se ven afectadas de izquierda a derecha y de arriba abajo. Por ejemplo, es importante colocar la cámara a la izquierda del árbol, pues verá todo lo que hay a su derecha. Todos los nodos que haya a la izquierda de la cámara no serán representados en la escena.

### 3.1.2. Modelo digital del terreno.

El primer paso es representar el terreno donde se quiere emplazar la estructura. Para ello se necesita un modelo computarizado del terreno en cuestión que es facilitado para este

proyecto. Este modelo contiene la superficie del terreno, el cual es una representación a escala del terreno real y está basado en un mapa topológico.

Este modelo solo pretende reproducir algunas propiedades del objeto o sistema original que, por lo tanto, se ve representado por otro objeto de menor complejidad. Al igual que una maqueta solo le interesa una reducción de escala, un **modelo digital del terreno** (en adelante MDT) es una representación simplificada donde algunos autores utilizan esta definición para expresar su finalidad: un objeto  $M$  es un modelo de  $X$  para un observador  $O$ , si  $O$  puede utilizar  $M$  para responder a cuestiones que le interesan acerca de  $X$  [ARAC].

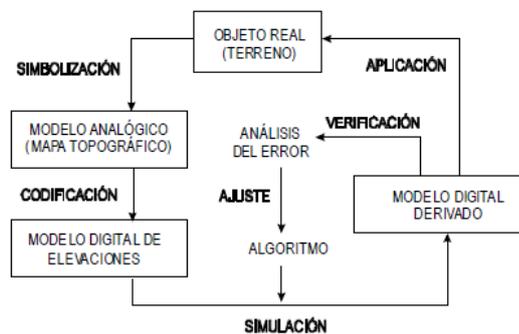


Figura 25: proceso de creación de un MDT y acciones derivadas. [ARAC]

El proyecto, a través de las librerías de Open Inventor es capaz de leer y representar en la pantalla el MDT, donde se podrá trasladar, rotar y acercar o alejar, facilitando la visualización de unas medidas kilométricas con un uso fácil y manejable para el usuario.

El MDT, se encuentra en el formato de AutoCAD y se transforma al formato VRML (Virtual Realty Modeling Language, estándar de descripción objetos 3D), para que el software se capaz de mostrarlo por la pantalla.

VRML está diseñado para ser usando como intercambiador universal de objetos 3d. Se usa en multitud de variedad de aplicaciones en áreas como la ingeniería y la ciencia para visualizaciones, presentaciones multimedia, entretenimiento y fines educativos.

La capacidad portable de los modelos VRML Es una de la principal característica por la que se ha elegido Open Inventor. El modelo originalmente está en un fichero de AutoCAD. La capacidad de este y 3DStudio da la portabilidad para crear un fichero .wrl que introducirá el terreno en el producto.

### 3.1.3. Pre Proceso

Antes de visualizar la escena, existe un pre proceso antes de que el visualizador se muestre en la pantalla. En este pre proceso existe una heurística que se ha diseñado para recopilar la información de los archivos. Una vez recopilada esta información, se crean los inclinómetros maximizando la visibilidad de los datos y no sobrecargar el programa.

Para la recopilación de los datos se ha basado en los formatos de los inclinómetros y a partir de ahí se ha creado la manera de guardar los datos de tal manera que sean fácilmente accesibles en todo el programa.

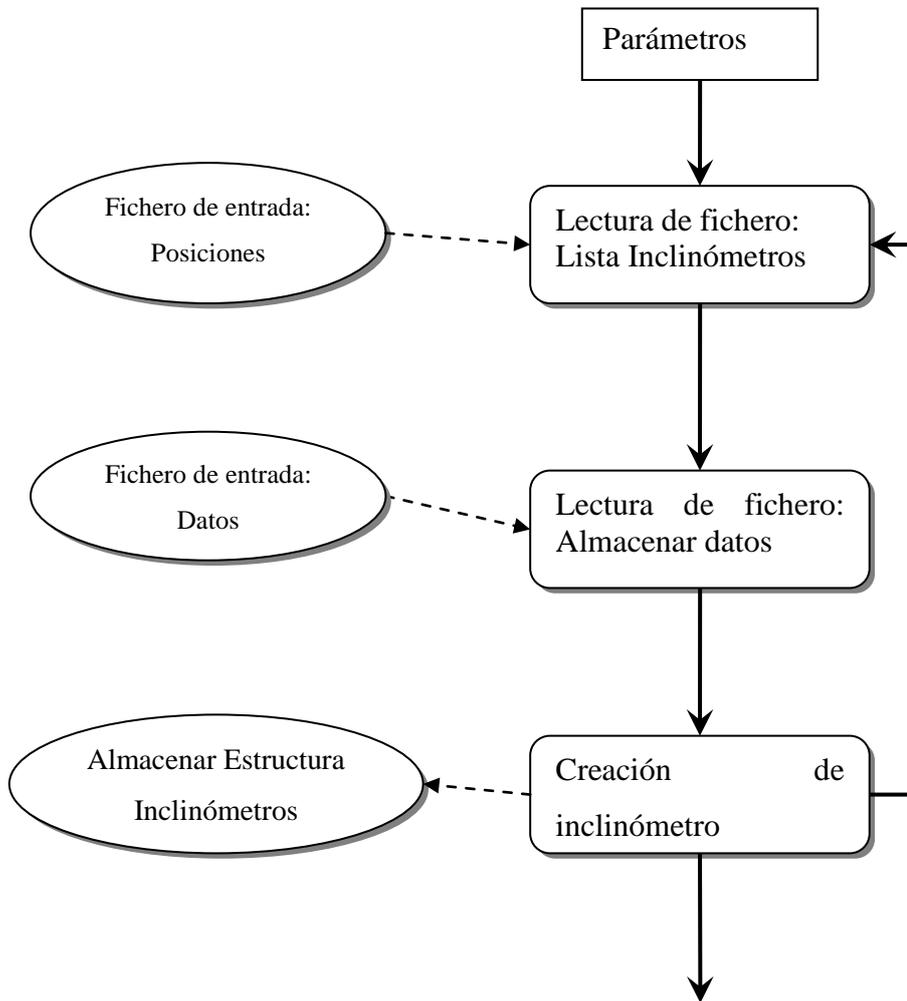


Figura 26: diagrama de flujo que representa el pre proceso existente.

Según los parámetros de entrada, el programa abrirá los ficheros definidos por el usuario. El primero será el fichero de posición, el cual contendrá la lista de inclinómetros que se han definido para ese MDT. De tal forma, al tener una lista, es posible ir uno a uno de los

inclinómetros para ir guardando su información. El programa será capaz de buscar y abrir los ficheros de cada inclinómetro, cuando tenga toda su información, la guardara en una estructura elegida adecuadamente según las necesidades del programa. A la vez, el programa también crea el árbol de escena de cada uno de los inclinómetros, debidamente pensados y creados para conseguir la mínima complejidad para que sean representados en el visualizador, y atendiendo también a las decisiones tomadas en cuanto a formas, color y cambios necesarios para que el inclinómetro muestre su información de manera sencilla.

Los datos se han guardado en una estructura dinámica, solicitando al sistema memoria dinámica en ejecución, debido a que cada inclinómetro tiene unas necesidades particulares en cuanto a dimensión se refiere. Cada inclinómetro se define con un número de fechas y un número de mediciones diferentes en cada caso. Una matriz estática no hubiera sido viable, de tal forma que se hubiera cogido como referencia el inclinómetro con mayor dimensión, y guardar la información en matrices parcialmente llenas. Esta idea se ha desechado y se ha elegido una estructura dinámica gracias a su maleabilidad para generar datos fácilmente dimensionables.

Una vez guardada la información del inclinómetro, se ha aprovechado el pre proceso para crear el inclinómetro en cuestión e introducirlo en la escena. Tanto el formato de los ficheros como la creación del inclinómetro, serán definidos a continuación.

#### **3.1.4. Formato de ficheros EXCEL**

Los datos están reunidos en ficheros Excel. Por una parte, un fichero Excel, tiene los nombres y posiciones de los diferentes inclinómetros, por otra, cada inclinómetro tiene su propio Excel nombrado con su nombre donde se almacenan en una tabla clasificados en fechas y alturas, tienen el valor numérico de las mediciones a lo largo del tiempo.

Primero se ha creado una heurística para leer los ficheros Excel y guardar la información en ejecución para poder acceder a ella en cualquier momento.

Este proyecto trata de ayudar y facilitar la visualización de los datos como ya se ha repetido anteriormente. Sin embargo, la transformación de los libros de Excel a la información recogida por el visualizador no es inmediata ni equivalente. Necesita pasar por una serie de pasos de los cuales, los ficheros tendrán que estar bien definidos y deberán tener un formato exacto que se procederá a especificar.

Primero identificaremos 2 ficheros diferentes:

- Fichero posiciones: Este fichero es único y fundamental, en él se almacenan los nombres, posiciones y ángulo de los demás ficheros. Para dar una comodidad al usuario, este será el único que se defina al programa, ya que después buscare los ficheros de cada inclinómetro por su nombre.

Por tanto el fichero deberá ser:

Dos filas de cabecera, la primera indicamos el nombre de las columnas: Nombre, X, Y, Z, ANG. La segunda fila será una fila vacía para poder distinguir la cabecera de los datos.

A partir de estas dos filas, deberán empezar las filas que describen a los inclinómetros. Cada fila tendrá 4 columnas en este orden:

1. Nombre: La primera columna nos indicara el nombre del inclinómetro, y por tanto el fichero donde esta almacenada los datos del inclinómetro. Es importante que mantenga el mismo nombre que el propio fichero, sino el programa descartara la información ya que no es capaz de localizarla.

2. X: Indica la posición x del inclinómetro

3. Y: Indica la posición y del inclinómetro

4. Z: Indica la posición z del inclinómetro

5. ANG: Indica el ángulo respecto al norte que está dirigido el inclinómetro. Estas medidas están expresadas en grados, y será necesario una transformación en radianes que hace el programa automáticamente.

Con esta información se debe tener en cuenta las siguientes indicaciones:

Los símbolos separadores de los números reales, tienen que estar en versión inglesa y no española. Para no sobrecargar el trabajo del visualizador, esta opción se dejara de parte del usuario, y será explicada en el anexo de este proyecto.

Cualquier omisión de uno de los datos, tanto de posición y ángulo, descartará ese inclinómetro, pues el visualizador tiene como objetivo representar datos, y no tiene ningún modulo de interpretación de datos.

	A	B	C	D	E
1	Nombre	X	Y	Z	ANG
2					
3	AVS-11	269372.419	4774625.185	475.448	22
4	AVS-8	269437.693	4774628.302	464.482	30
5	AVS-6	269510.156	4774628.1	456.133	20
6	AC-2	270221.509	4776183.687	443.148	78
7	AC-1	270184.495	4776132.309	448.1	94
8	AC-3	270353.346	4776236.893	439.558	48
9	AC-4	270424.94	4776392.586	421.305	118
10	ATBN-2	269976.465	4775357.017	468.333	90
11	AVT-1	269893.308	4775214.62	481.029	48
12	SPC-17-Bis	270324.627	4776326.845	449.911	100
13	AD2S-3	270311.975	4776431.343	457.913	102
14	ATBN-3	270025.574	4775464.572	465.317	120
15	ATBN-1	269927.925	4775250.481	472.568	80
16	AD2S-2	270284.812	4776368.687	459.811	100
17	AEPO-SI2	270177.915	4775807.452	407.132	118
18	AEPO-SI3	270230.145	4775713.245	393.197	74
19	AEPO-SI1	270135.53	4775686.582	421.179	122
20	AD3S-1	270393.505	4776597.935	438.239	145
21	AD3S-3	270395.316	4776668.628	438.432	120
22	AEPO-SI5	270403.955	4776783.238	427.563	130
23	AEPO-SI4	270447.823	4776468.201	405.257	140
24	AD1S-6	270280.538	4776121.466	429.38	140
25	AD1S-4	270268.354	4776063.568	431.246	140
26	AD1S-1	270333.504	4776075.14	417.348	120
27	AD5S-7	270576.533	4777119.79	411.115	28
28	AD5S-2	270463.975	4777044.454	435.625	100
29	AD5S-5	270553.882	4776998.228	419.207	140
30	AEPO-SI-8	270604.482	4777636.903	423.087	100
31	AEPO-SI-7	270666.384	4777524.476	400.077	82
32	VTIOS-4	269686.327	4775526.413	520.497	70
33	VTIOS-9	269688.458	4775753.966	517.734	125
34	AEPO-SI-6	270424.663	4776892.953	440.923	135
35	V-TIOS-2	269699.27	4775371.911	524.168	83

**Figura 27: Formato tipo del fichero de posiciones. Podemos distinguir, las 2 primeras líneas de cabecera. Las siguientes filas corresponden a inclinómetros en el que podemos distinguir su nombre, posición y ángulo. Cualquier posible error que haya en estos datos, descartaran automáticamente al inclinómetro.**

- Fichero datos: A cada inclinómetro solo pertenecerá uno y solo uno, en él se almacenan los datos, clasificados en fechas, en altura, y en medidas de cada eje.

Por tanto el formato del fichero deberá ser:

La primera fila de cabecera, contendrá un espacio en blanco, y a continuación, las fechas de las mediciones, que ocuparan tres celdas combinadas. Estas tres celdas corresponden a los tres ejes A, B y C que se definirán más adelante. La longitud de esta fila no está limitada(solo por la memoria del propio programa), y podrá tener las fechas que se establezcan.

Se puede observar que la separación de las fechas difiere en cada caso. Aun así, cada inclinómetro se pintará hasta la última fecha que tenga.

La segunda fila de cabecera, igual que la primera, tendrá una celda en blanco, y a partir de esa celda, la sucesión de A, B y C. Estos indican la columna de los ejes de cada medida, y están relacionadas con las fechas, de tal manera, que a una fecha le corresponden las tres letras en orden.

Las tres columnas A, B y C son datos del inclinómetro. Están medidos en milímetros.

- A. Eje principal del inclinómetro. Angulo respecto al norte.
- B. Eje perpendicular al eje principal del inclinómetro.
- C. Es la suma aproximada de los vectores A+B. Se ha decidido omitir dicho valor por ser aproximado, y se ha procedido a calcularlo de manera exacta. Por lo tanto, C indicará la inclinación/desplazamiento del inclinómetro.

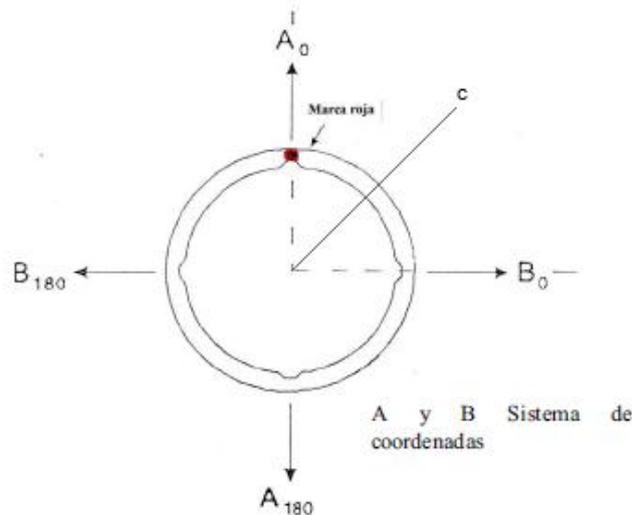


Figura 28: orientación de los ejes del tubo inclinométrica. La marca roja indica el Norte.

A partir de ahí se procede a representar los datos de los desplazamientos de cada medición. Cada fila corresponde a una medición, normalmente separadas por 50 cm aunque el programa está preparado para recibir otro tipo de separaciones. Por tanto, la primera celda estará siempre la altura de la medición. Si seguimos mirando columnas, igual que antes, las 3 celdas siguientes corresponderán con la primera fecha, a partir de ahí, cada 3 celdas están relacionadas con la fecha en la que ocupan.

Consideraciones a tomar en cuenta:

Cualquier omisión de algún dato, se dará como inclinómetro no válido y se descartará toda la información recopilada de ese inclinómetro para simplificar toda información errónea. Tanto esta omisión como la del fichero de posiciones, será avisada por el programa, como alerta en caso de ser información importante y dar la posibilidad de que se revise.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1			24/10/2007			09/11/2007			19/12/2007	
2		A	B	C	A	B	C	A	B	C
3	29	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	28.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	27.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	27	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	26.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	26	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	25.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	24.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	23.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	22.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	21.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	20.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	19.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	18.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	17.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28	16.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	15.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0
32	14.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
33	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0
34	13.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
35	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0
36	12.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
37	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0
38	11.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
39	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0
40	10.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0

**Figura 29: Formato tipo del fichero de datos.**

**Primera fila, reservada para las fechas, 1 celda en blanco, después una fecha por cada 3 celdas.**

**Segunda fila, simple cabecera, 1ª celda en blanco, después la secuencia de A, B, y C.**

**Filas sucesivas, 1ª celda es la altura de la medición, y cada 3 celdas, es un instante coincidiendo con las fechas.**

Consideración muy importante sobre los dos ficheros. Los ficheros tienen el formato propio de M Office y, por tanto, es un formato que incorpora muchos símbolos y representaciones entendibles por el mismo. Para hacer el visualizador lo más genérico posible y que no esté sobrecargado en exceso, se usará la posibilidad que ofrece Excel de guardar los ficheros como “Texto plano(delimitado por Tabulaciones)”. Esto es importante, pues es un fichero fácilmente entendible por el programa, que usará como carácter delimitador la tabulación, por ello es de vital importancia respetar este formato pues sino el programa no será capaz de recopilar los datos correctamente.

Por otro lado, el software también mide las velocidades de los desplazamientos. Esto permitirá mostrar a los ingenieros civiles no solo los desplazamientos de una determinada zona, sino también la rapidez del movimiento. Estos serán calculados a partir del tercer instante, ya que se ha especificado que para calcular la velocidad, se tomara como referencia, las dos últimas mediciones. Para simplificar, se calcula la velocidad media entre la posición  $i$

y la posición  $i-2$ , siendo  $i > 2$  
$$V_m = \frac{\Delta d}{\Delta t} = \frac{d_i - d_{i-2}}{t_{i-2} - t_i}$$
, se calcula la diferencia de días entre las dos fechas y, atendiendo al parámetro configurable, se expresa en mm/día, mm/quincena o mm/mes.

### 3.1.5. Inclinómetros

Se ha elegido una manera de representar los inclinómetros facilitando la visión de estos datos, pues son mediciones milimétricas en un terreno kilométrico.

Por cada altura, se ha creado un cilindro, simulando las sondas del inclinómetro de tal forma que se mueven independientemente.

A continuación, se mostrará la estructura del árbol que representa la escena de un inclinómetro. Todos los inclinómetros tiene la misma estructura principal:

- **Posición y Rotación:** Cada inclinómetro tiene su desplazamiento propio, también un ángulo respecto del norte hacia el cual se desplaza. Se usan los nodos que permiten la translación para la posición en los 3 ejes, y el nodo rotación de ejes para modificar el ángulo del inclinómetro.
- **Puntero:** Se ha incorporado una figura cónica para que sirva de puntero. Esto quiere decir, que es la parte visible del inclinómetro, pues este estará por debajo de la tierra. Para llamar la atención hemos elegido la figura cónica por su similitud con una flecha. El color rojo que se le ha puesto atiende a razones psicológicas descritas con anterioridad, debido a que además de llamar la atención, es fácilmente localizable en un mundo verde (tenemos un terreno).
- **Guía:** Para que el desplazamiento sea más visible se ha creado una guía en color blanco. De esta forma los desplazamientos tienen un punto de referencia para observar los pequeños movimientos a los que se ven afectados.
- **Datos:** Debido a la complejidad de esta sección, se explicara más adelante.

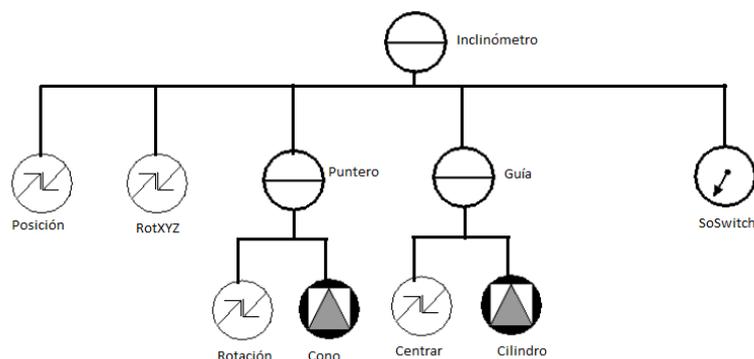
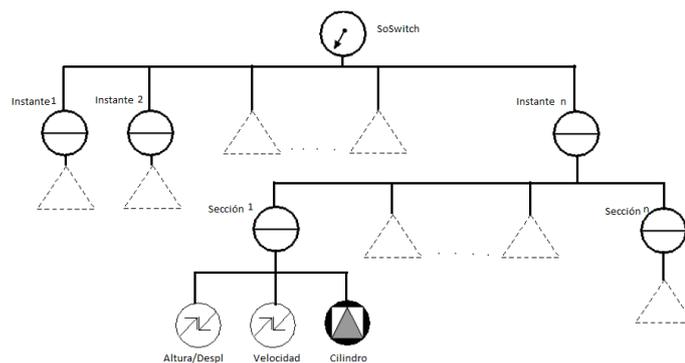


Figura 30: estructura general de un inclinómetro. Todos los inclinómetros respetan esta representación.

Los datos de los inclinómetros son abundantes y se clasificarán de la misma forma que vienen representados en sus respectivos ficheros. Se ha elegido un nodo selector, objeto que es capaz de conmutar sobre los hijos que cuelgan de él, por tanto, se cuelgan los instantes de tiempo. Por cada instante de tiempo, se colgarán unos separadores para cada sección del inclinómetro. De tal forma, que es relativamente sencillo mostrar los diferentes instantes de tiempo, simplemente conmutando el nodo selector.



**Figura 31: estructura general del inclinómetro, donde se almacena la información de cada tiempo y de cada altura.**

Las secciones que cuelgan de los instantes de tiempo, corresponden a la información de cada altura, por tanto, se tiene una sección por cada altura que tenga el inclinómetro. Dentro de esta sección se incluyen dos informaciones: desplazamiento y velocidad.

El desplazamiento está definido en una transformación que afectará al cilindro y lo trasladará a su posición correspondiente. Se ha optado por un cambio de escala, ya que si se mostrara los mm, no aportaría nada gráficamente, y no parecería que el terreno se desplace. Por tanto, se ha tomado la decisión de transformar milímetros en decímetros siendo así muy descriptivo el movimiento que realiza, aunque se tiene que tomar en cuenta que los desplazamientos no son reales.

La velocidad será representada por un color. Cada cilindro tiene su color, que expresará la rapidez de su desplazamiento. Se cuelga un nodo material delante de la figura, indicándole un color, en formato *HSV*, de tal manera que el valor mínimo sea un azul (color frío) y el valor máximo sea un rojo (color cálido).

### 3.1.6. Interacción y funcionalidades adicionales

Como se ha visto anteriormente en el apartado de visualización de datos, la interacción entre el usuario y el programa o sistema, da la posibilidad de entender mejor y más fácilmente la representación de datos.

Como primer objetivo se ha conseguido una representación de los inclinómetros intentando ser fiel a la realidad, implementando los ajustes necesarios para un fácil entendimiento. Como paso lógico en la metodología, se han creado varios prototipos para enseñarlos a los usuarios. Se realizó una consulta en la que se tenía que elegir el prototipo que más se adecuaba a las necesidades del usuario. Se mostraron tres prototipos:

Versión de flechas: Fue la primera versión que se planteó. Las flechas indican la dirección del desplazamiento y la distancia entre la flecha y la guía blanca es la cantidad desplazada. El color representa la velocidad de este.

Ha sido desechada por diferentes motivos:

1. La mayoría de desplazamientos se hacen en la misma dirección por la cual no es necesario mostrarlo en todos los segmentos.
2. Los inclinómetros varían entre 30 y 120 mediciones, por tanto, los conos no son la mejor figura para observar datos muy juntos.

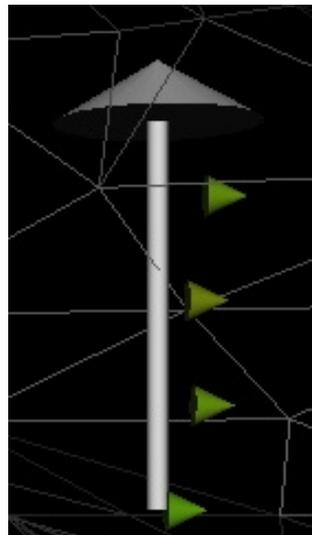


Figura 32: versión de flechas.

La versión basada en *NURBs* (*Non Uniform Rational B-splines*) fue la que más expectativas tenía gracias a su maleabilidad y similitud con el inclinómetro real, pero presenta varios problemas:

1. La complejidad que entraña la aplicación de colores a la curva. Su creación a partir de los desplazamientos es sencilla, pero la representación de la velocidad implicaba generar una textura en cada caso, disminuyendo el rendimiento, importante a tener en cuenta al ser una aplicación en tiempo real.
2. La continuidad de la curva hace que no se puedan distinguir las mediciones por separado y las mediciones están afectadas por su inmediata superior e inferior. Además no representaban los datos de manera simbólica.

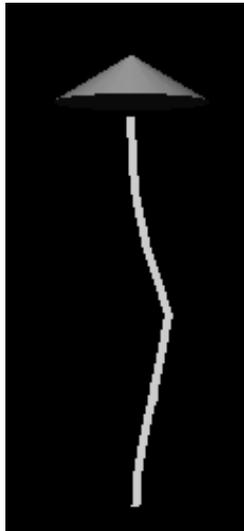


Figura 33: versión de NURBs

Por último, la versión de cilindros fue la más exitosa. Cuenta con la desventaja de no tener tanta similitud con el inclinómetro que la versión NURB. Por lo demás, y por eso ha sido la versión definitiva, representaba muchas ventajas en la representación del inclinómetro, como se enumeraran a continuación:

1. Cada medición es independiente de las demás. Esto permite que no se vean afectados por un error en los datos. Además, se podrá observar medición a medición el desplazamiento y a la vez se puede observar en conjunto.

2. La velocidad es fácilmente representada añadiendo color al segmento únicamente, y así tampoco afectar a las mediciones adyacentes.
3. La guía que queda como referencia, debido a su similitud al ser un cilindro, nos da la sensación de movimiento por muy pequeño que sea el desplazamiento.
4. Fue la mas valorada como intuitiva tras las consultas realizadas.

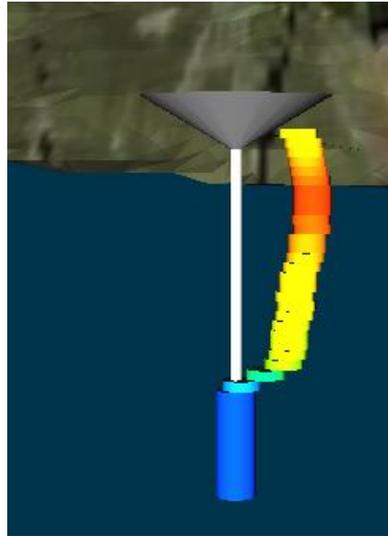


Figura 34: versión de cilindros.

Con la versión del inclinómetro elegida, se seguido con la implementación de la aplicación. Este punto es determinante en la continuación del proyecto, los inclinómetros son la pieza central de esta aplicación, y la elección de un buen prototipo es fundamental para el objetivo de representar estos datos.

Como los datos dependen del tiempo, los inclinómetros deberían cambiar a lo largo de este. El programa permite navegar entre los distintos instantes de tiempo que tienen todos los inclinómetros. Todos los inclinómetros empiezan en el instante cero y utilizando las teclas de navegación es posible pasar al instante siguiente o al anterior. El instante máximo es el último instante del inclinómetro que tenga mayor número de fechas, de tal forma, que el inclinómetro que tenga menos fechas, se quedara en su última fecha disponible.

En la siguiente figura se puede observar una transición ejemplo en un inclinómetro.

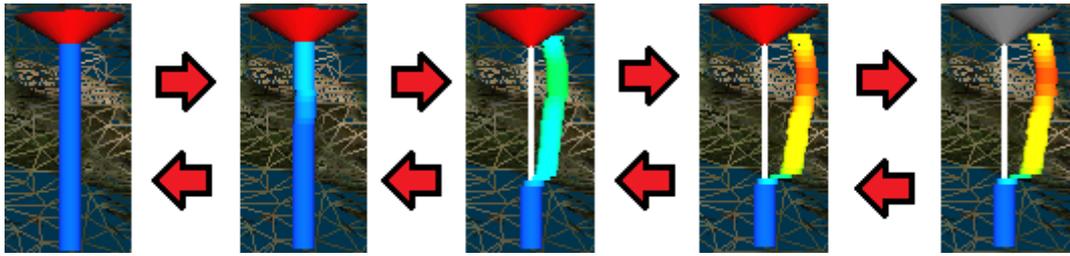


Figura 35: transición ejemplo de un inclinómetro.

Como se puede observar, se puede ir en ambas direcciones en la línea del tiempo. Si en algún caso se llegara al máximo, el siguiente tiempo sería el instante cero. Toda esta transición se irá mostrando en el panel informativo, de tal forma que se pueda saber en todo momento en el instante que se encuentra la aplicación.

### Información del inclinómetro

La parte más importante es mostrar la información de cada inclinómetro. Es imprescindible que sea una representación lógica y fiel con los datos. A continuación, se explicará como se ve el inclinómetro en la aplicación:

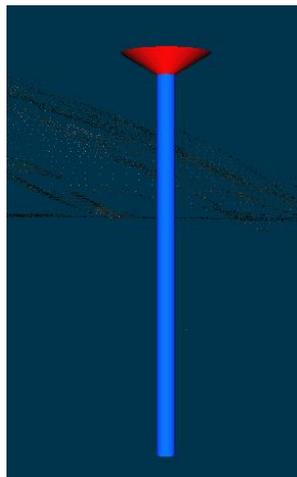


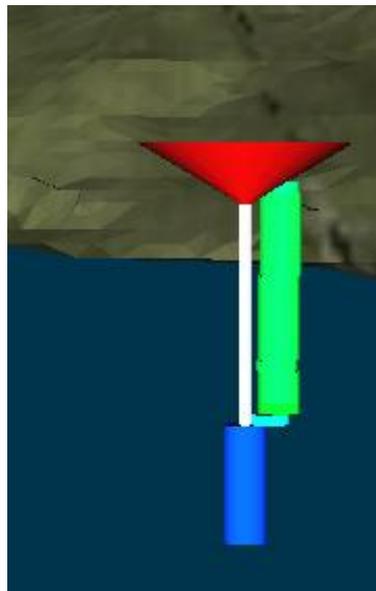
Figura 36: inclinómetro ejemplo. Se puede ver al inclinómetro sin desplazamientos, debido a que sea la posición inicial, o no se vea afectado por movimientos de tierra.

- Momentos iniciales: El inclinómetro en sus momentos iniciales no contiene aún datos de desplazamientos ocurridos. Por tanto, este se verá como un cilindro alargado completamente azul. Las mediciones están lo suficiente juntas que si en caso de que no haya desplazamientos, parezca una única unidad como si fuera el inclinómetro real. El color azul, determina que la velocidad del inclinómetro es 0. El rojo determina que ha alcanzado la velocidad máxima.

- **Momentos intermedios:** En este momento se ve la capacidad de la aplicación para mostrar los datos multidimensionales tales como posición, velocidad, tiempo, etc. Es en los instantes intermedios, donde se puede observar un inclinómetro afectado por los movimientos de tierra. En estos casos, los distintos segmentos del inclinómetro se verán afectados y serán desplazados en consecuencia con sus datos. En cada instante de tiempo, cada segmento tendrá su propio desplazamiento, y se mostrará en el visualizador.

Los segmentos también cambiarán de color representando la velocidad a la que se mueven, pues en estos instantes tienen movimiento. Algunos inclinómetros tienen cambios regulares en sus datos, otros tienen cambios muy bruscos en su representación y algunos otros apenas tienen cambios muy sutiles. Se ha elegido una degradación de colores de fríos a cálidos para representar el cambio gradual o brusco en la velocidad de los inclinómetros.

Los inclinómetros que se mantengan sin cambios a lo largo del tiempo son los inclinómetros más estables y es ahí donde los terrenos se encuentran más firmes. Por otro lado, los inclinómetros más susceptibles a movimientos, son aquellos que varían mucho el código de colores de sus segmentos y el desplazamiento es muy variable.

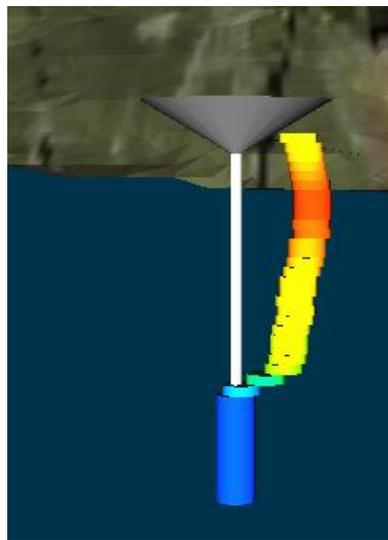


**Figura 37: instante intermedio, inclinómetro sufriendo desplazamientos.**

Las decisiones tomadas sobre colores y formas, junto con la representación gráfica que se ha realizado de los inclinómetros, son los objetivos importantes del visualizador. Es importante transmitir toda la información al usuario, siendo así una aplicación muy intuitiva en la representación de los inclinómetros.

- **Momentos finales:** Los inclinómetros no tienen datos infinitos y, por tanto, llegan a su último instante de tiempo. En este caso, quizás los demás inclinómetros si tengan más datos en sucesivos instantes de tiempo y hay que diferenciarlos de los que no mostrarán más información. Los inclinómetros que no tengan más fechas que incluir en la representación pondrán su puntero de color gris para informar que el inclinómetro no tiene más fechas. Este seguirá mostrando los últimos desplazamientos de los que se tiene medidos.

La elección del color gris corresponde a la decisión de que los demás punteros todavía en activo sigan llamando la atención con el color rojo, y aquellos que ya no aportan nada a la representación, tener el efecto de que están apagados con un color grisáceo.



**Figura 38: inclinómetro deshabilitado momentáneamente por no tener más fechas. Quedan representadas sus últimas mediciones.**

- **Otros avisos:**

Con el fin de ayudar a interpretar los datos de manera más rápido, se han incluido diversos avisos. Inicialmente, se habló con los usuarios finales para que indiquen que avisos son más relevantes.

Existen casos en que los inclinómetros no están bien anclados en el terreno y las capas más profundas se mueven. Esto quiere decir que las medidas de todo el inclinómetro se ven afectadas por este hecho y es necesario invalidar el inclinómetro en ese momento. Este seguirá mostrando los desplazamientos a los que se ven sometidos los segmentos, pero el color de estos cambiará a rojo, para llamar la atención, mostrando que existe un problema y que los datos son incorrectos. Se ha elegido el color rojo como significado de atención,

peligro, y error. De tal manera, se indica que las mediciones del inclinómetro están afectadas por la falta de un punto de anclaje.



Figura 39: ejemplo de inclinómetro invalido por no estar anclado.

Existen otros casos en el que los desplazamientos del inclinómetro han sobrepasado el máximo definido por el usuario. Estos avisos dependen de los parámetros introducidos por el usuario y no significan que el inclinómetro sea incorrecto, simplemente se añade un aviso como que ha habido un desplazamiento máximo en ese inclinómetro, y se informa al usuario para mostrar que hay un aviso, de tal manera que sea visualizado rápidamente. Si el terreno sobrepasa un desplazamiento máximo puede indicar que la construcción de una futura edificación no sea estable. Por ello, es un dato extremadamente importante con el fin de evitar posibles catástrofes.

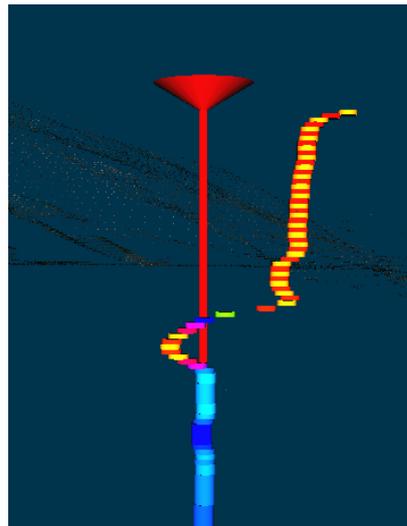
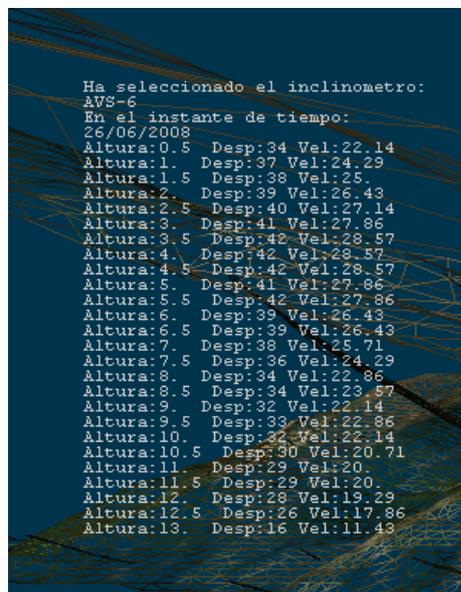


Figura 40: ejemplo de inclinómetro. Algunas de sus medidas sobrepasan el desplazamiento y se avisa mediante el cambio de color de la guía.

Toda la representación de los inclinómetros es visual y aunque es muy representativa en cuanto a significado, no se puede saber detalladamente el valor numérico de los desplazamientos. Para ello, se ha habilitado un texto informativo situado arriba a la izquierda del visualizador que será el encargado de representar información específica en pantalla.

Este texto informativo, ayudará al usuario a entender tanto la información representada como ayudará también en la utilización del programa. Como se ha visto en la investigación sobre visualizadores de datos [HHBR], una técnica es combinar diferentes modos de representar la información. Por tanto, si se muestra la información numérica y a la vez, se muestra la información de gráfica, el usuario será capaz de comprender la información y los datos mostrados de mejor manera.



```
Ha seleccionado el inclinometro:
AV3-6
En el instante de tiempo:
26/06/2008
Altura:0.5  Desp:34 Vel:22.14
Altura:1.  Desp:37 Vel:24.29
Altura:1.5  Desp:38 Vel:25.
Altura:2.   Desp:39 Vel:26.43
Altura:2.5  Desp:40 Vel:27.14
Altura:3.   Desp:41 Vel:27.86
Altura:3.5  Desp:42 Vel:28.57
Altura:4.   Desp:42 Vel:28.57
Altura:4.5  Desp:42 Vel:28.57
Altura:5.   Desp:41 Vel:27.86
Altura:5.5  Desp:42 Vel:27.86
Altura:6.   Desp:39 Vel:26.43
Altura:6.5  Desp:39 Vel:26.43
Altura:7.   Desp:38 Vel:25.71
Altura:7.5  Desp:36 Vel:24.29
Altura:8.   Desp:34 Vel:22.86
Altura:8.5  Desp:34 Vel:23.57
Altura:9.   Desp:32 Vel:22.14
Altura:9.5  Desp:33 Vel:22.86
Altura:10.  Desp:32 Vel:22.14
Altura:10.5 Desp:30 Vel:20.71
Altura:11.  Desp:29 Vel:20.
Altura:11.5 Desp:29 Vel:20.
Altura:12.  Desp:28 Vel:19.29
Altura:12.5 Desp:26 Vel:17.86
Altura:13.  Desp:16 Vel:11.43
```

Figura 41: texto en pantalla, mostrando la información de un inclinómetro, mediciones, desplazamiento y velocidad.

### Movimiento dentro de la escena

De acuerdo con el hecho de que la interacción es importante en un entorno de visualización de datos, ser capaces de moverse dentro de la escena o tener distintos puntos de vista de una misma representación, es un objetivo que ha sido implementado en la aplicación.

Cuando se representa la escena en el visualizador, el usuario puede moverse a través de ella con las teclas W, S, A, D, R y F. De tal manera que es capaz de moverse de arriba

abajo, izquierda y derecha, y profundidad. La implementación de una cámara navegable y dirigida por el usuario ayudará a manejar la información de manera tridimensional.

### Mapa Global

A parte de dar una funcionalidad de interacción con el visualizador, debido al cambio de escala tan importante entre los datos (coordenadas georeferenciadas contra milímetros), se ha añadido al visualizador un segundo *viewport*. Al dar la posibilidad de que el usuario se mueva a través de la escena, necesita alguna forma de saber dónde está. Para ayudar al usuario se ha situado un mapa auxiliar en el segundo *viewport*, facilitando así la localización de los inclinómetros. Este mapa auxiliar es una segunda cámara diferente a la principal, que está mostrando su vista en un *viewport* aparte del principal. Esto se consigue con una clase externa a open inventor, creada por profesores de la universidad para la práctica de visión estéreo.

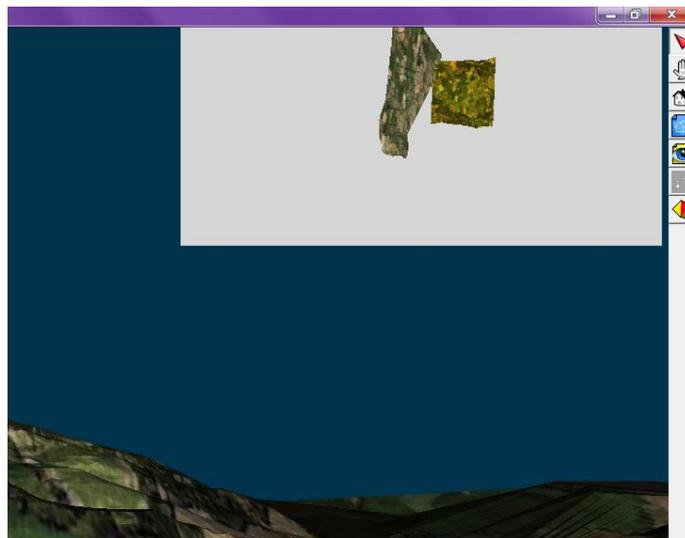


Figura 42: captura del visualizador. El mapa auxiliar tiene un recuadro gris.

### Escala de Colores y Brújula

El uso de colores en la representación de la velocidad es la forma de representar más datos de manera intuitiva y sencilla. Para facilitar el significado de los colores, se ha añadido en el visualizador, una escala de colores. Se ha añadido el valor cero al lado del color azul, y el valor máximo en el color rojo.

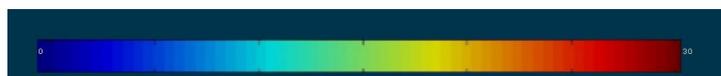


Figura 43: escala de colores usada en la representación de la velocidad.

En el caso del desplazamiento, se ha comentado que están orientados hacia un ángulo respecto al norte. Para ayudar en la orientación del usuario dentro de la escena hay dos herramientas útiles en ese aspecto. Uno es la brújula creada específicamente para este proyecto y el cruce de ejes está implementado en la funcionalidad del visualizador de *SoWin*.



Figura 44: a la izquierda podemos ver la brújula, a la derecha el cruce de ejes.

### Otras funcionalidades

Para que el terreno no oculte los inclinómetros ya que estos se encuentran bajo tierra, se ha procedido a crear dos sistemas para que el terreno no obstaculice la representación de datos. Se modificará el detalle del modelo, de una figura plana a una figura de mallas o a solo representar los puntos del terreno, esto hace posible ver por debajo de la superficie.

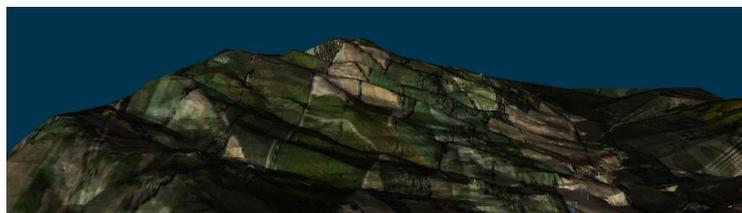


Figura 45: MDT con estilo de dibujo solido.

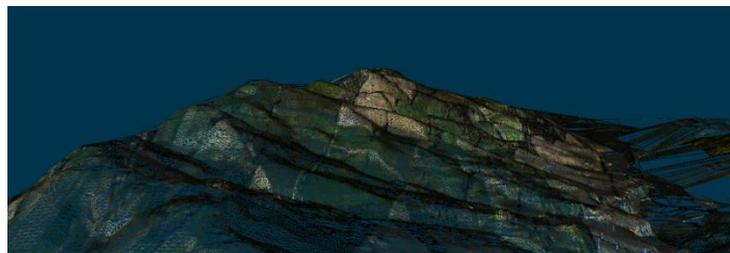


Figura 46: MDT con estilo de dibujo de mallas.

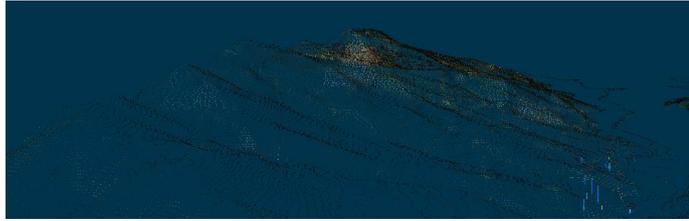


Figura 47: MDT con estilo de dibujo de puntos

Hay que hacer especial mención al visualizador propio de *SoWin*. Contiene varias funcionalidades como las rotaciones en los ejes, volver al punto de partida de la cámara, centrar la cámara en un punto determinado, un zoom, o un manipulador para mover la escena.

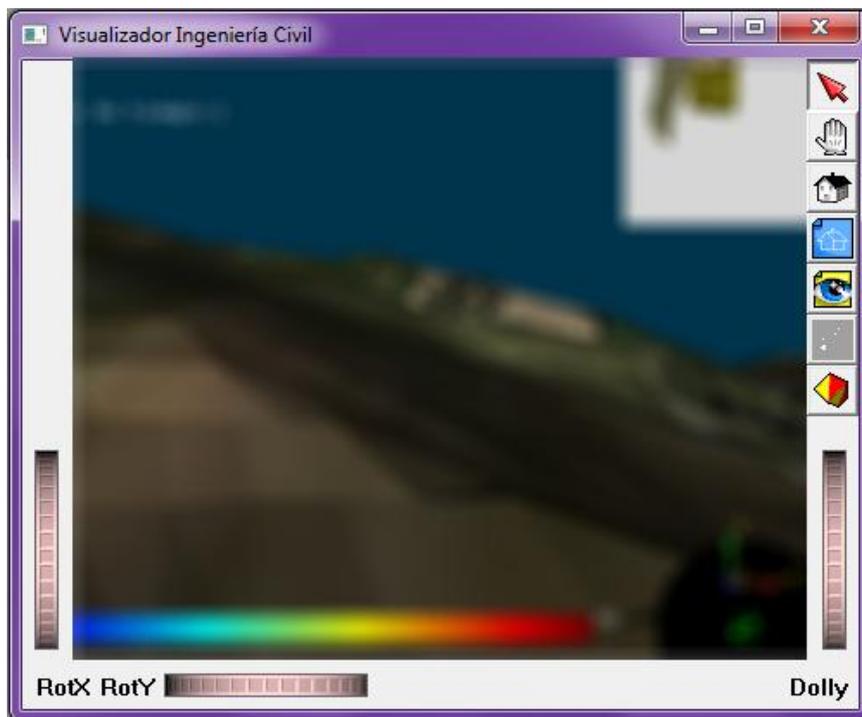


Figura 48: visualizador de SoWin

### 3.2. Lanzador y Qt

En aplicaciones destinadas a usuarios poco acostumbrados a la “*consola*”, los menús, botones, cuadros de diálogo, son la solución perfecta. Como se explica en [WIL], una representación gráfica más fácil de localizar y reconocer que un simple texto. La necesidad de incluir una serie de parámetros definidos por el usuario ha motivado la creación de un lanzador.

La principal motivación de la creación del lanzador, ha sido: la facilidad de uso, ser intuitivo y ser agradable a la vista. Al ser un lanzador que no necesita demasiada complejidad, y ser C++ el lenguaje nativo de Open Inventor, se ha elegido Qt.

Qt, es una biblioteca multiplataforma para desarrollar interfaces gráficas de usuario en lenguaje nativo C++ (aunque con la posibilidad de utilizar otros lenguajes de programación a través de *bindings*), brinda la utilización de multitud de *widgets* tales como navegación por los ficheros, cuadros de texto y botones, menús, cuadros de dialogo necesarios para el lanzador. Otras posibilidades, como enlazar SQL, XML, herramientas Web, etc., no son necesarias en la realización de este proyecto.

El lanzador da la posibilidad de configurar una serie de parámetros específicos, destinados a la mejora y facilidad de la interacción con el visualizador, que sustituye a la línea de comandos propia de la aplicación. Ésta resulta más sencilla debido a las principales ventajas de crear una interfaz de usuario. De esta manera, el lanzador proporciona un uso fácil, resultando sencillo volver hacia atrás y corregir los errores, más atractivo, incrementa la sensación de control, fácil de recordar y apenas requiere que se tecleen datos gracias al del uso del ratón.

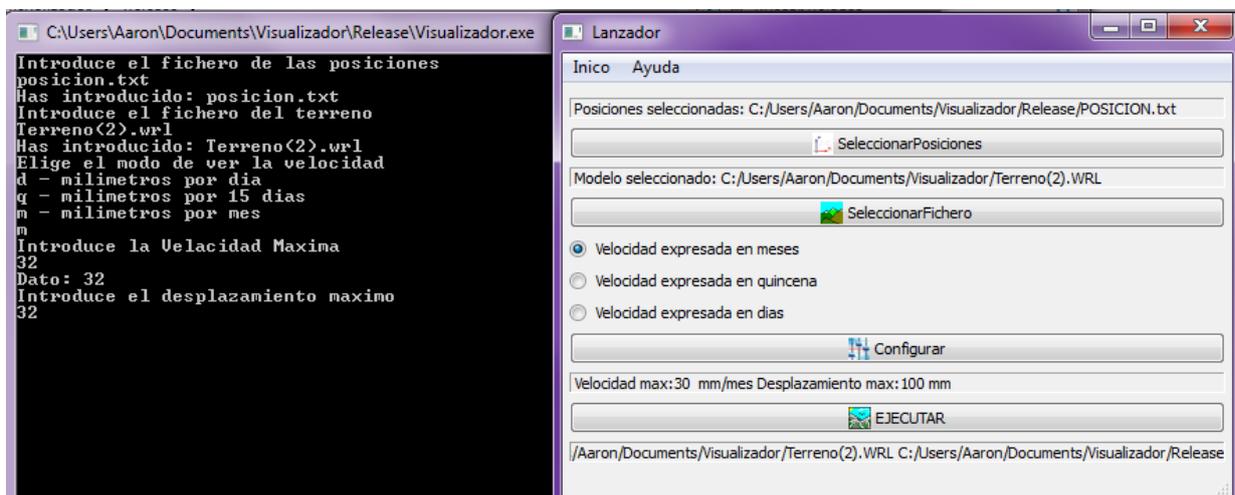


Figura 49: captura de pantalla del momento inicial del software. Vemos la diferencia entre la consola y el lanzador.

La función del lanzador es la definición de los parámetros del visualizador. Esto son: fichero de posiciones, MDT, unidades de velocidad, velocidad máxima, desplazamiento máximo.

#### **4. Resultados.**

En este proyecto se ha trabajado en la inclusión de técnicas para visualizar datos multidimensionales y multivariantes. Gracias a la tecnología gráfica y tridimensional se ha solucionado el problema que tenían los diagramas al no poder representar tantas dimensiones como se puede hacer en un entorno tridimensional.

Una vez se ha diseñado e implementado el visualizador, se han realizado pruebas con datos reales. El banco de pruebas no ha sido demasiado extenso, pero se ha podido comprobar todos los aspectos mencionados en la descripción de la aplicación.

Los datos han sido aportados por los usuarios final, junto con el informe definitivo realizado por ellos. De esta forma, se puede comprobar si la aplicación muestra la información correctamente y no induce a errores.

Se ha cogido como referencia realización del control y seguimiento inclinométrico de la obra A6102 PLATAFORMA SOTIELLO – CAMPOMANES. En esta obra se han colocado cuarenta y siete inclinómetros en diferentes lugares para controlar las posibles deformaciones y desplazamientos de los estratos geológicos circundantes. Estos inclinómetros varían de 15 metros a 60 metros y han sido colocados en el área de estudio entre el año 2007 al 2009, lo que permitirá determinar la magnitud, dirección y sentido, del desplazamiento que pueda tener lugar en dicha zona.

Los ficheros Excel han sido guardados como Texto plano, según se especifica en el anexo. De la lista que se incluye en los ficheros Excel, de los cuarenta y siete inclinómetros, la aplicación ha sido capaz de incluir treinta y seis, ya que se han invalidado once inclinómetros. Como se ha especificado en los formatos que deben respetarse, siete de ellos no contienen las tres coordenadas para su posicionamiento en la escena. Tres de ellos no ha sido posible encontrar su fichero a través de su nombre. Solo uno de los ficheros de datos, tienen error, y el visualizador ha descartado su posicionamiento.

```

Inclinometro incluido:ATBN-5
x es:270054.937500
y es:442.092010
z es:-4775321.500000
ang es:134.000000
Inclinometro incluido:ATBN-6
x es:270113.125000
y es:430.170013
z es:-4775443.000000
ang es:122.000000
Inclinometro incluido:AUCAN-I-1-i-1
x es:269397.750000
y es:495.890015
z es:-4774009.000000
ang es:70.000000
Inclinometro NO VALIDO:AUCAN-I-1-i-1

```

Figura 50: captura del momento inicial de la aplicación. El inclinómetro AVCAN no ha podido ser añadido a la escena.

Una vez cargados todos los inclinómetros de los que se puede encontrar datos, se ha elegido el inclinómetro AC-3, ya que es un inclinómetro relativamente pequeño y tiene pocas fechas. En la siguiente imagen, vemos las medidas recogidas en el informe, tanto la dirección A como la dirección B. Se puede observar, tanto desplazamientos positivos en medidas superficiales, como desplazamientos negativos a media altura.

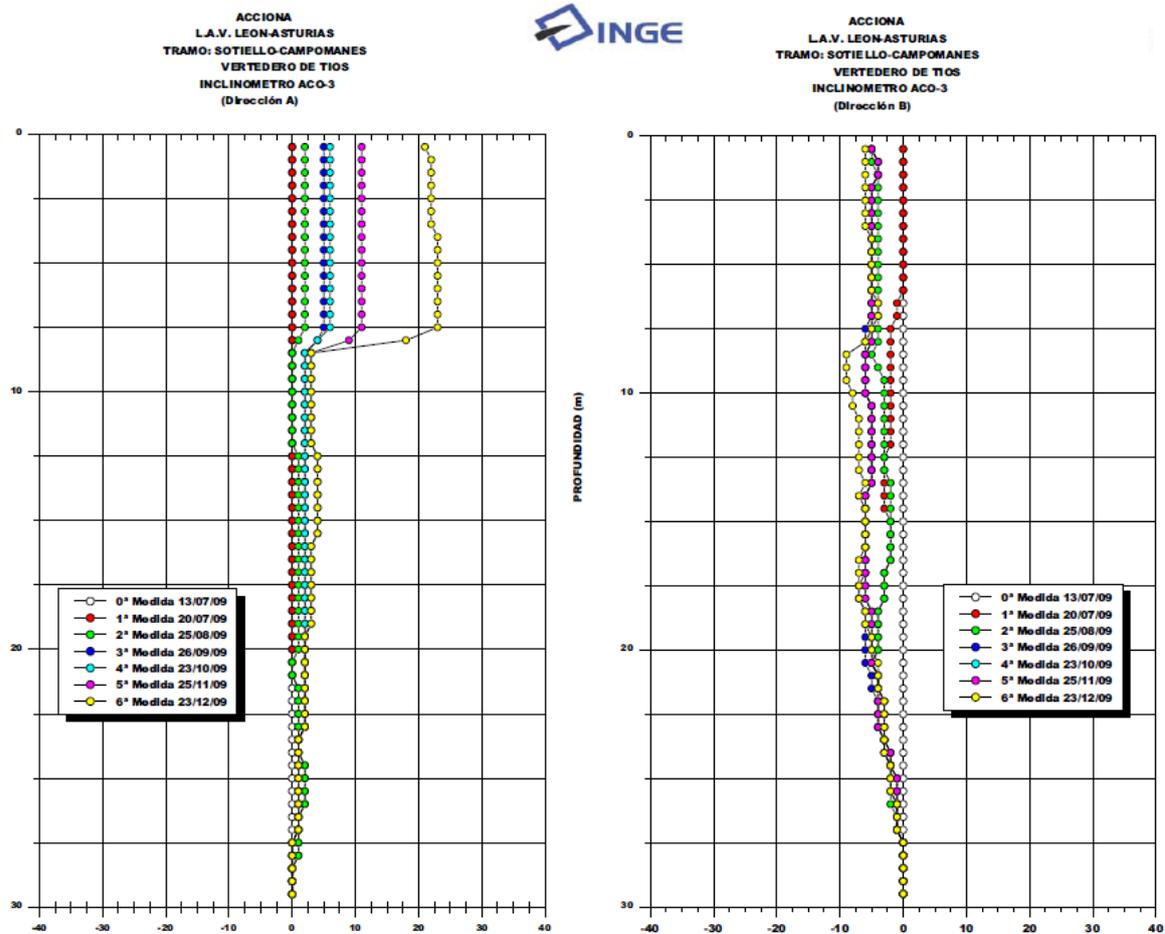


Figura 51: diagrama del inclinómetro AC-3 y sus desplazamientos, aparecidos en el informe.

Una vez visto los datos recogidos, al trasladarse a la aplicación, la representación de los inclinómetros queda como en la siguiente imagen. Hay que tomar en cuenta, que al solo poder incluir imágenes, no podemos interactuar con la evolución en el tiempo, pero se ha situado en un tiempo determinado, y se ha pinchado en su puntero. La aplicación ha mostrado los datos numéricos corroborando la representación gráfica del inclinómetro. Es importante darse cuenta, tanto en la representación gráfica como en la representación numérica, que se ha incluido la visualización de la velocidad, ya que se pueden usar los colores para mostrarla.

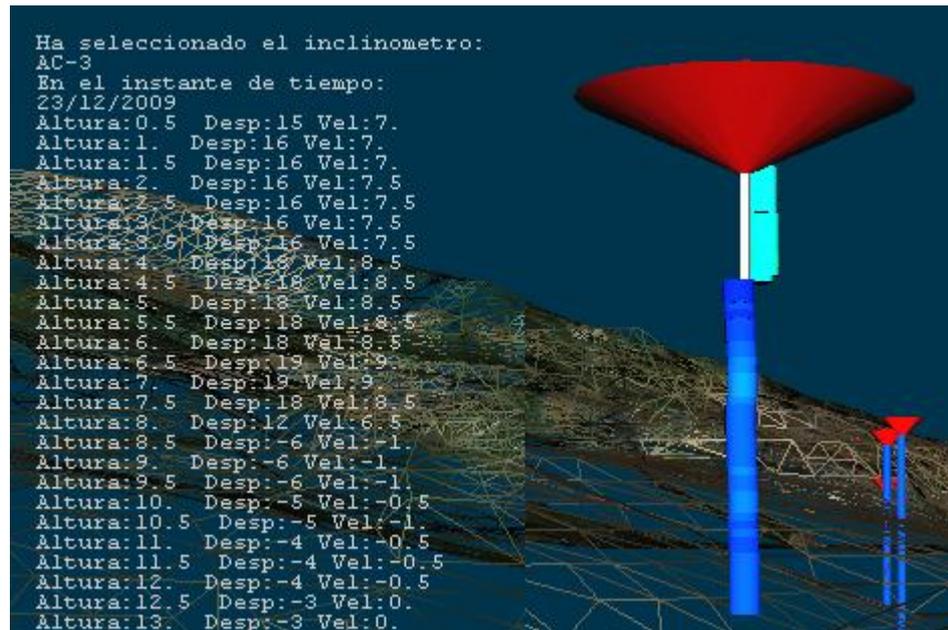


Figura 52: captura del visualizador, representando el inclinómetro AC-3

## 5. Conclusiones y líneas futuras.

Cumpliendo con los objetivos, se ha creado una aplicación fácil, intuitiva, agradable, y gráficamente vistosa. El uso de técnicas de visualización y distintas teorías de la percepción han hecho posible resolver los problemas de una información multidimensional de los inclinómetros, en una aplicación gráficamente vistosa.

Durante el desarrollo de este proyecto han surgido varias incidencias las cuales se han conseguido solucionar gracias a la ayuda de los profesores de la Universidad Rey Juan Carlos.

Uno de los problemas más serios que ocurrieron, fue con la inclusión del terreno en la aplicación. Algunos formatos no eran compatibles y otros no correspondían con las localizaciones de los inclinómetros. Se incorporó, por tanto, 3ds Max como intermediario de la portabilidad de los ficheros para hacer posible la transformación de formato. Debido a la demora que se produce al solicitar más modelos de prueba, no se han podido realizar pruebas exhaustivas a la versión final.

La inclusión de una clase externa a Open Inventor para la creación del viewport, ha dado la posibilidad de crear uno, el cual, coin3d no era capaz dar soporte.

En las versiones tempranas de la aplicación, el uso continuado de la línea de comandos para incluir los parámetros con poco margen de error, impulsó la creación de un lanzador más sencillo, intuitivo, y con posibilidades de rectificar.

La navegación por la escena, ha pasado por varios estados, hasta la versión final.

Aunque no ha sido posible realizar una valoración rigurosa debido a la imposibilidad de una última reunión con los usuarios finales y una versión final de la aplicación, se ha realizado pruebas esporádicas a usuarios casuales, los cuales han tenido una valoración bastante positiva, encontrando la visualización de los inclinómetros mucho más sencilla y entendible que la información mostrada originalmente en los ficheros Excel.

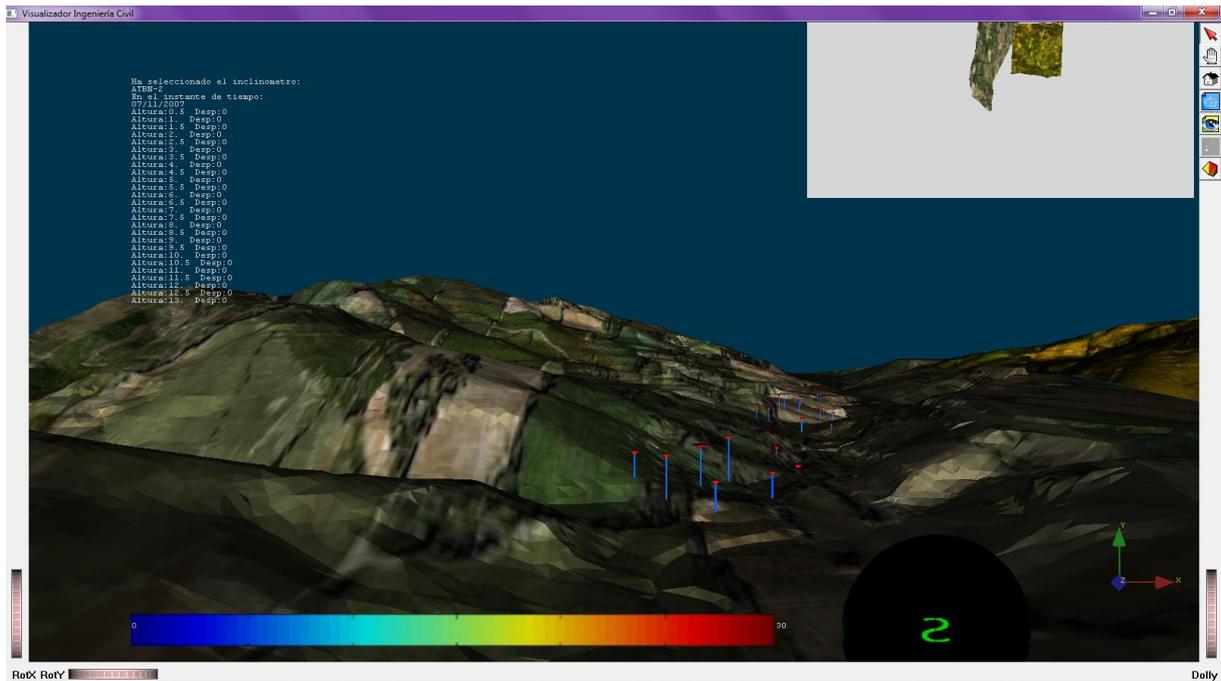


Figura 53: captura de la versión final del Visualizador.

### 5.1. Trabajos futuros:

Incluir visión estéreo para conseguir una mayor inmersión en la escena y una visualización más clara en las 3 dimensiones.

Permitir modificar datos en tiempo real. El usuario podrá modificar algunas características mientras visualiza los datos.

Dar soporte a otro tipo de inclinómetros y no solo los verticales. Existen otros tipos de medidores geotécnicos como, piezómetros, extensómetros, etc.

Cambiar de plataforma la aplicación a un entorno más flexible y más potente que Coin3d, consiguiendo así un entorno más libre.

Integrar la aplicación en un entorno multiventana, donde sea totalmente configurable, y poder realizar cambios en ejecución, que los textos informativos sean visibles y seleccionables.

Generación de informes automáticamente, sin tener que haber hecho un estudio previo.

## 6. Bibliografía

[AD00] ANDREW DARLEY. Visual Digital Culture. Editorial Routledge 2000

[ARAC] JAVIER ARACIL Máquinas, sistemas y modelos. Un ensayo sobre sistémica. Editorial Madrid.

[DoMP] DONALD HEARN ; M. PAULINE BAKER Gráficos por computadora con OpenGL. Editorial Pearson Educación.

[EBR] E.BRUCE GOLDSTEIN *Sensación y Percepción. Editorial Debate.1988*

[FAER] FIDEL ANTONIO BLANCO URRUTIA;EDWIN RICARDO ALVARENGA  
Artículo sobre los estudios geotécnicos de una obra oficial. Ministerio de Obras Públicas de El Salvador. <http://www.mop.gov.sv/archivo/uidv/documentos/taludes/inclino.pdf>

[HHRB] HELWIG HAUSSER; RAPHAEL BÜRGER Visualization of Multi-variate Scientific Data Artículo aparecido en EUROGRAPHICS 2007

[JSNI] JULIE STEELE; NOAH ILINSKY. Beautiful Visualization. Editorial O'Reilly Media Inc.

[NRC06] NEIL R. CARLSON Fisiología de la conducta.. 8ª edición. Pearson educación, S.A., Madrid, 2006

[VRML] ISO/IEC 14772-1:1997, the Virtual Reality Modeling Language (VRML)

[WER1] JOSIE WERNECKE "The Inventor Mentor: Programming Object-Oriented 3D Graphics with Open Inventor(TM), Release 2". Ed. Addison-Wesley.

[WER2] JOSIE WERNECKE "Open Inventor C++ Reference Manual"  
Josie Wernecke. Ed. Addison-Wesley.

[WIL] WILBERT O.GALITZ *The Essential Guide to User Interface Design. Wiley Computer Publishing*

[WATT] WATT A. *3D Computer Graphics” Addison Wesley 1993*

## Enlaces

[CONS] <http://www.construmatica.com/> Pagina dedicada a Arquitectura, Construcción e Ingeniería. Donde podemos encontrar procedimientos en la construcción, empresas, foros, y comunidad.

[MAN00] [http://www.estudiosvisuales.net/revista/pdf/num5/manovich\\_visualizacion.pdf](http://www.estudiosvisuales.net/revista/pdf/num5/manovich_visualizacion.pdf)  
Articulo: Lev Manovich. La *visualización de datos* como nueva abstracción. Aparecido en la revista “estudiosvisuales”

[SIGW] <http://www.gabrielortiz.com/> Pagina dedicada expresamente a todo tipo de aplicaciones SIG.

[1WE]. Captura recogida de [www.ellosnuncaloharian.com](http://www.ellosnuncaloharian.com)

[3WE]. Visto en:

<http://school.anhb.uwa.edu.au/personalpages/kwessen/web/software/software.html>

[4WG]. Visto en: [http://www.ggu-software.com/software/ggu-field/geograph/ggu-geograph\\_s.html](http://www.ggu-software.com/software/ggu-field/geograph/ggu-geograph_s.html)

[K3D] <http://k3dsurf.sourceforge.net/>

[GiD] <http://www.gid-usa.com/>

[IBE] [www.ibersim.com](http://www.ibersim.com)

[M3C] Visto en: <http://www.monode3cabezas.com/>

[CYCAS] <http://www.cycas.de/>

[CATIA] <http://www.3ds.com/es/products/catia/welcome/>

[ACAD] <http://www.sharewarebay.com/>

## 7. Apéndice

<b>Bindings</b>	En el campo de la programación, un <i>binding</i> es una adaptación de una biblioteca para ser usada en un lenguaje de programación distinto de aquél en el que ha sido escrita.
<b>RadioButton</b>	Un botón de opción o botón de radio es un tipo de widget de interfaz gráfica de usuario que permite al usuario elegir una de un conjunto predefinido de opciones. Los botones de opción se agrupan en dos o más y se muestran en la pantalla una lista de agujeros circulares que pueden contener un espacio blanco (para la opción de "no seleccionado") o un punto (para la opción de "seleccionado").
<b>Widget</b>	Un widget, también conocido como artilugio o control, es un componente gráfico, con el cual el usuario interactúa, como por ejemplo, una ventana, una barra de tareas o una caja de texto.
<b>Render</b>	<i>Renderizado</i> es un término usado en jerga informática para referirse al proceso de generar una imagen desde un modelo. La renderización es un proceso de cálculo complejo desarrollado por un ordenador destinado a generar una imagen 2D a partir de una escena 3D.
<b>NURBS</b>	NURBS es un modelo matemático muy utilizado en la computación gráfica para generar y representar curvas y superficies.
<b>Viewport</b>	En gráficos 3D, se refiere a rectángulos 2D usadas para representar escenas 3D posicionando una cámara virtual.
<b>HSV</b>	<i>(Hue, Saturation, Value)</i> define un modelo de color en términos de sus componentes constituyentes en coordenadas cilíndricas. Se trata de una transformación no lineal del espacio de color RGB.