

# **DINAMCAD 3DT, UNA HERRAMIENTA INFORMÁTICA AL SERVICIO DE LA INSTRUMENTACIÓN GEOTÉCNICA Y ESTRUCTURAL**

**Ricardo Salazar Ferro**

**Francisco Salazar Ferro**

## **1. Introducción**

Desde hace algunos años, se han realizado mediciones en ciertos proyectos que incluyen temas geotécnicos y estructurales, cuyos resultados, no solo han permitido mejorar nuestro conocimiento en ciertos tópicos sino que han puesto de manifiesto las limitaciones de los modelos teóricos.

La instrumentación geotécnica y estructural ya no solo se restringe en el país a grandes proyectos hidroeléctricos. Ya son corrientes instrumentaciones en excavaciones medianas, pequeñas presas, puentes, en ciertas estructuras de edificios y fábricas, entre otros.

Estos aparatos, cada vez mejores, desde el punto de vista, capacidad, precisión, y tiempo de respuesta, pues se nutren de todos los desarrollos de la electrónica, nos permiten disponer de una información, la cual hasta hace unos pocos años, nos parecía a los que trabajábamos con Alejandro Sandino (q.e.d.) simplemente un sueño.

La información de estos instrumentos, algunos de los cuales ya no requieren de la intervención humana para su lectura puede ser consultada por Internet en “tiempo real” (Estrictamente hablando, lo de tiempo real es relativo por cuanto la interrogación del instrumento requiere en general determinado tiempo, mayor o menor, dependiendo del tipo de tecnología. Así mismo, el “barrido” de todos los instrumentos por parte de los aparatos de lectura automática también requiere de determinado tiempo).

En nuestro concepto, los problemas de precisión de instrumentos y de tiempo de respuesta ya fueron superados con las tecnologías del “hilo vibrátil” y de la “interrupción en fibra óptica”. La primera, de dominio público, viene siendo utilizada intensivamente en el país. La segunda, de última generación, permite realizar varias lecturas por segundo y luego mediciones en condiciones dinámicas.

Los problemas de errores por transcripción ya se obvian gracias a sistemas de multiplexores y dataloggers que interrogan los instrumentos, que almacenan la información y que pueden enviar la información por cualquiera de los medios de comunicación actual.

Aunque en nuestro concepto, subsisten algunos problemas puntuales con ciertos instrumentos como los de medición de esfuerzos debidos al hecho de que son cuerpos extraños que de alguna manera inciden en el fenómeno que están monitoreando, el problema, en cuanto a información empírica se refiere, ya rebasó el campo tecnológico del instrumento y se trasladó a niveles superiores, a saber, al proceso de la información

que arroja el instrumento y a la interpretación de los resultados correspondientes previa a la toma de decisiones.

Esta ponencia se refiere a una alternativa que hemos venido desarrollado y seguiremos mejorando para facilitar el proceso de grandes volúmenes de información de instrumentación geotécnica y estructural, geográficamente localizada y variable con el tiempo.

Esta alternativa está encaminada a preparar la información para su interpretación, actividad muchas veces difícil e imperfecta en algunos casos, por ejemplo, de interacción suelo estructura, en razón de la complejidad del fenómeno y de la limitación de los instrumentos teóricos.

Esta alternativa nos permite como país en desarrollo, empezar a liberarnos de la dependencia tecnológica, por lo menos en la parte de software de instrumentación, sin ocultar nuestra dependencia casi total en este campo en lo que se refiere a sensores, unidades de lectura, sistemas de automatización de lectura, no obstante ciertos tímidos desarrollos locales de algunos equipos.

Aunque originalmente desarrollada para procesar información de instrumentación geotécnica y estructural, esta alternativa informática puede utilizarse en otras áreas del conocimiento en las cuales es necesario manejar grandes volúmenes de información geográficamente localizada y variable con el tiempo, de la misma manera que una hoja

electrónica puede utilizarse para realizar cálculos estructurales, estadísticas económicas, cálculos financieros, etc.

No obstante lo anterior, los ejemplos reales que se incluyen en este documento corresponden únicamente a controles geotécnicos y estructurales en los cuales se ha utilizado este software en constante evolución. Al respecto, por cuestiones operativas y de equipos, este software se utiliza actualmente en dos versiones, una en DOS y otra en Windows, ambas de funcionamiento parecido más no idéntico. Este documento incluye aplicaciones con ambas versiones.

## **2. Breve descripción conceptual de la herramienta Dinamcad 3DT**

### **2.1. Utilidad**

Dinamcad-3DT traduce : "Dibujo en tres dimensiones y Tiempo, asistido por Computador".

Creado por dos ingenieros civiles colombianos con nexos muy estrechos y antiguos con la Escuela Colombiana de Ingeniería que organiza este Encuentro Nacional de Ingenieros de Suelos y Estructuras, este programa responde, tal como se indicó anteriormente, a la necesidad de poder visualizar de manera expedita, en imágenes dinámicas informáticas, grandes volúmenes de información geográficamente localizada y variable con el tiempo.

## **2.2. La herramienta y su relación con los programas comerciales de amplia difusión.**

Para definir Dinamcad 3DT, lo más sencillo consiste en referirlo a los programas comerciales de amplia difusión, como son las hojas electrónicas, las bases de datos, los programas de dibujo, los motores de imágenes, etc.

Dinamcad 3DT, o simplemente DCAD para abreviar, posee ciertas similitudes con algunas utilidades de cada uno de estos programas. Por otro lado, desde DCAD se puede exportar/importar información desde/hacia bases de datos, hojas electrónicas, programas de dibujo comerciales.

Esto permite al usuario realizar ciertos procesos en estos programas comerciales, aprovechando las ventajas inherentes de tales programas y ejecutar otros procesos en DCAD, cuya naturaleza y cuyas ventajas se indican a continuación, logrando así una complementariedad entre todos éstos, lo cual se traduce en eficiencia en el manejo de información.

En lo que tiene que ver con la naturaleza de DCAD, este programa, desde el punto de vista informático, puede considerarse como una bodega de objetos gráficos dinámicos.

En esta bodega, el usuario dispone de muchos objetos, desde los más elementales, como puntos y líneas, hasta los más complejos, como son las interpolaciones numéricas espaciales, los elementos finitos tridimensionales (en la versión Windows

únicamente), objetos que el usuario puede, a su vez, ensamblar en imágenes las cuales a su turno, constituyen simplemente otro de los muchos objetos gráficos de DCAD.

Según el tipo de aplicación, existirán o se podrán crear objetos particulares. Para el caso específico de la instrumentación geotécnica y estructural se incluyen objetos tales como inclinómetros, piezómetros, extensómetros, deformímetros, etc, todos éstos contruidos sobre objetos elementales y/o objetos compuestos.

Para terminar con la naturaleza de DCAD, este software puede también definirse como un motor informático de imágenes dinámicas diseñadas por el usuario. El carácter dinámico resulta de la posibilidad para el usuario de incluir en cada imagen todos los objetos variables que considere convenientes.

En esta estructura informática, el usuario recorre las distintas galerías de imágenes y puede observar la transformación de cada de estas imágenes en el tiempo a manera de video.

Esta posibilidad de poder animar objetos en pantalla se logra gracias a la facultad para el usuario de DCAD de poder declarar cualquier característica de cualquier objeto gráfico como variable.

Si el usuario desea conocer la curva de variación en el tiempo de una o varias de sus propias variables, puede solicitar a DCAD que cree automáticamente una imagen en

3D o en 2D con las curvas de variación con respecto al tiempo, igual que lo haría una hoja electrónica comercial, pero con ventajas adicionales en DCAD como son la auto-generación de leyendas y la inclusión de novedades para cada fecha-hora.

Nótese que, tal como está concebido este software, cada mejora que realicen sus autores en el tema de las imágenes, se transferirá a las gráficas de variación con respecto al tiempo y demás imágenes auto generadas por DCAD a solicitud del usuario.

Los autores de DCAD han concebido el desarrollo de esta herramienta como una actividad dinámica en la cual se prevén futuros objetos construidos sobre los ya existentes (el desarrollo se viene implementando bajo lo que se conoce en programación con el nombre de “Programación Orientada Objeto”) y en la cual, cada nueva versión se nutrirá de los nuevos desarrollos en hardware (DCAD será más rápido en la presentación de imágenes en la pantalla cuanto más veloz sea el procesador del computador).

### **2.3. Particularización de la herramienta para cada proyecto.**

Es tal el volumen de información que generan ciertos proyectos (en presas como la Miel, las lecturas automatizadas de más de 700 aparatos se pueden realizar cada tres minutos, si se desea), que obviamente es necesario distribuirla y presentarla en varias imágenes (130 figuras en el proyecto de la referencia) incluyendo en cada una de estas imágenes determinados objetos y excluyendo otros, todo esto, mediante objetos-filtro

definidos por el propio usuario sobre la base de una estructura de códigos de objetos particular para cada proyecto.

Para cada imagen, el usuario define su propio dominio espacial, su propio juego de escalas (varios juegos de escalas aún en una misma imagen), su propio juego de ángulos de visualización (ángulo de isometría, giros en los ejes principales, etc. para un total de 8 ángulos), dominio, escalas y ángulos de referencia que el usuario podrá cambiar a su agrado una vez tenga la figura en pantalla.

Retomando lo correspondiente a la estructura de códigos, ésta debe ser definida de manera previa y en lo posible, de común acuerdo entre los distintos profesionales en relación con la información del proyecto.

Gran parte del éxito en la explotación con DCAD de la información de un proyecto depende del acierto en la definición particular de la estructura de códigos de dicho proyecto. Esta definición de la estructura de códigos debe realizarse en función del contenido deseado de cada una de la imágenes que se pretende generar con el programa, todo lo cual se traduce en una reflexión ojalá interdisciplinaria de la forma de trabajar la información de un proyecto particular.

Los filtros se definen sobre la base de las letras del nombre de los objetos. En DCAD cada objeto tiene un nombre y cada una de las letras de este nombre tiene su propio significado particular para cada proyecto.

Así por ejemplo, en la versión D.O.S de DCAD están previstos para los nombres, 8 caracteres, letras, números o cualquier tipo de caracteres ascii, el primero de los cuales está reservado para identificar el tipo de objeto, a saber, 'P' para Punto, 'L' para Línea, 'T' para Texto, etc.).

Los significados correspondientes a los otros 7 caracteres de la estructura de códigos quedan a discreción de los usuarios quienes, se subraya, deben establecerlos de manera previa para cada proyecto.

Se recomienda que esta codificación y su correspondiente estructura de significados, libre para el usuario, a excepción del primer caracter, quede plasmada en el archivo correspondiente de DCAD, pues esto resulta de gran importancia para la descripción automática de variables, la autogeneración de leyendas en las gráficas de variación con respecto al tiempo, y en fin, la identificación de cualquier objeto de un proyecto.

#### **2.4 Acopio de Información de base**

Después de definir la estructura de códigos, se debe acopiar la información de base del proyecto.

Al respecto, si se dispone de un plano digitalizado del proyecto, ojalá en 3D, esta información de base puede ser importada desde DCAD, dando nombre, en caso necesario, a los diferentes objetos importados.

En caso contrario, será necesario digitar manualmente esta información de base, evitando en lo posible coordenadas obtenidas con referencias o módulos arbitrarios.

Durante la implementación de las bases de datos, se debe pensar en que otra persona pueda entender posteriormente los archivos informáticos de un proyecto particular creado sobre DCAD. Por lo anterior, resulta deseable dejar documentado todo cuanto sea posible. Al respecto, la documentación en papel pueden combinarse con los listados de los archivos de DCAD exportados previamente a una hoja electrónica desde donde se puede realizar de manera expedita su impresión.

## **2.5 Introducción de la información de instrumentación.**

Para el caso específico de instrumentación geotécnica y estructural, una vez se tenga digitada la información de base (la geometría de la presa o del puente, o lo que sea del caso), se procede a introducir la información de instrumentación, para lo cual DCAD incluye objetos particulares espaciales y dinámicos como inclinómetros, piezómetros, extensómetros, etc.

Para cuestiones, por ejemplo de asentamientos y movimientos pequeños de una estructura, DCAD incluye objetos como deformados que permiten observar en pantalla estos movimientos pequeños gracias a una exageración de escala.

Utilizando objetos elementales, se crean por ejemplo líneas entre los deformados, líneas que obviamente serán variables en tiempo. También las figuras se podrán

adornar con textos, ejes de coordenadas, mallas, círculos, etc., toda una serie de objetos dinámicos que podrán ser animados en el tiempo.

## **2.6 Agregación de objetos.**

A medida que se implementa la base de datos, el usuario puede empezar a agregar los diferentes objetos en objetos más complejos.

Así por ejemplo, la información de termocuplas en una presa en CCR se puede agregar en una interpolación numérica, espacial y dinámica.

Estas interpolaciones se pueden agregar con otros objetos simples o compuestos en imágenes mediante los filtros antes indicados, cada imagen con su propio juego de escalas, su propio juego de ángulos, su propio dominio espacial. A su vez, las imágenes se agregarán en galerías etc.

Cualquier imagen puede a su vez incluir varias imágenes, lo que en la práctica significa que el usuario puede crear su propia biblioteca de objetos gráficos. Esta posibilidad permite además generar volúmenes de revolución y volúmenes por objetos que se desplazan en determinadas trayectorias.

Lo ideal es que el usuario utilizando todas las posibilidades que le brinda DCAD y haciendo uso de su destreza creativa elabore imágenes que resulten “parlantes” por sí solas de tal manera que una tercera persona con una simple mirada de la imagen en

cuestión, tenga una percepción clara y correcta de lo que está sucediendo con el fenómeno monitoreado, sin necesidad de entrar en el detalle del valor numérico, que puede estar incluido en la imagen de DCAD, si se desea.

Obviamente, el programa permite modificar el contenido de cualquier imagen y crear cuantas imágenes adicionales se requiera.

## **2.7 Valores históricos.**

DCAD actualiza sus imágenes en función de los valores históricos que pueden ser introducidos de varias formas, a saber, manual, semiautomática (información topográfica, información de inclinómetros) o automática como en los proyectos hidroeléctricos donde DCAD utiliza los archivos de información generada recogida y almacenada por los dataloggers.

En la actualidad, DCAD permite para cada variable disponer de una información cada segundo. Sin embargo la implementación para frecuencias mayores de lectura para tecnologías como la fibra óptica no reviste problema alguno.

## **2.8 Preparación de la información para la interpretación.**

Aunque lo ideal es que la sucesión de imágenes correspondientes a un proyecto sean lo suficientemente “parlantes”, para el campo específico de la instrumentación geotécnica además de los objetos tradicionales como inclinómetros, piezómetros,

extensómetros, etc, DCAD incluye objetos un poco más complejos como son los elementos finitos en tres dimensiones, los cuales pueden servir para preparar la interpretación de los resultados empíricos de las instrumentación en lo que se refiere a temas como generación de calor, redes de flujo y cuestiones de elasticidad.

En efecto, en ciertos proyectos como presas, DCAD permite “calibrar” los elementos finitos tridimensionales interrelacionándolos con la información empírica, a saber, se hacen coincidir las mallas de elementos finitos con la localización de los instrumentos hasta lograr una cierta coincidencia entre los resultados empíricos y los calculados mediante este tipo de instrumento.

En cuanto a la relación entre lo estimado teóricamente y lo obtenido empíricamente, lo deseable en cualquier proyecto consiste en disponer de manera previa de los parámetros teóricos correspondientes a cada variable monitoreados de manera a informar los resultados empíricos como porcentajes de estos valores de referencia y de manera a poder incluir en DCAD los niveles de alertas (amarilla, naranja y roja) correspondientes.

### **3. Futuros desarrollos.**

Actualmente se trabaja en un módulo que incluirá la nueva versión de DCAD y que permitirá un manejo, eficiente y seguro en Internet. Así, para cada proyecto cada usuario dependiendo de su función y de su nivel de acceso tendrá la posibilidad de

dependiendo del caso, consultar, modificar, comentar, etc. la información correspondiente.

Ya en la actualidad, DCAD genera automáticamente programas en Visual Basic compatibles con Power Paint, lo cual permite enviar de manera expedita información gráfica informáticamente.

En el corto plazo, se pretende contar con una versión de DCAD que permita manejar la información complementaria informática (tablas, cartas, fotografías, etc.) de los proyectos, de tal manera que en las imágenes de pantalla se anuncie la existencia de determinado documento, o determinada fotografía digital en relación con la fecha en pantalla y los objetos en ésta incluida para que el usuario proceda a su consulta desde la hoja electrónica, el editor de texto o de imágenes correspondiente, centralizando en una sola herramienta toda esta información, lo que puede resultar de gran utilidad para la consulta eficiente de archivos.

Dada la universalidad de esta herramienta, se pretende en el mediano plazo desarrollar objetos particulares para algunas de las disciplinas de la ingeniería civil.

### **Agradecimientos.**

Los autores de Dinamcad 3DT agradecen a las empresas de Ingeniería, a las entidades nacionales (ISAGEN, EPM, EAAB, INVIAS, IDU, CVC, ECOPETROL, ECOGAS) que han permitido desarrollar y probar esta herramienta en sus proyectos.

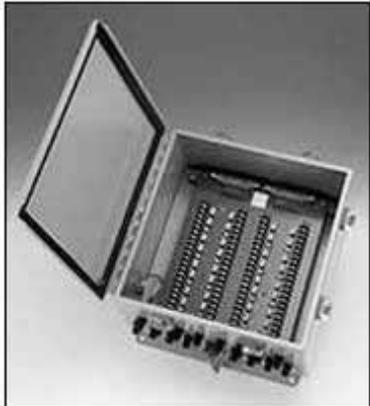
También agradecen a los fabricantes de instrumentación (Geokon, Rocktest - Telémaq, Canary System, Campbell Scientific, Kinematics) por su valiosa información técnica así como a los distintos profesionales que nos brindaron sus invaluable sugerencias y su apoyo incondicional. Finalmente queremos dedicar este sencillo aporte a la Ingeniería a la memoria de quién fue nuestro padre y nuestro socio, Luis Salazar Paéz quien nos dejó este año y a quien le fue otorgada recientemente la orden Julio Garavito, ilustre personaje que honra el nombre de nuestra querida Escuela Colombiana de Ingeniería.

# ESQUEMA DE AUTOMATIZACIÓN PARA UN SISTEMA DE INSTRUMENTACIÓN

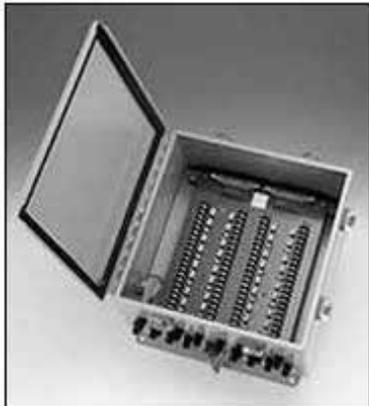
INSTRUMENTOS



MULTIPLEXOR



MULTIPLEXOR



DATALOGGER

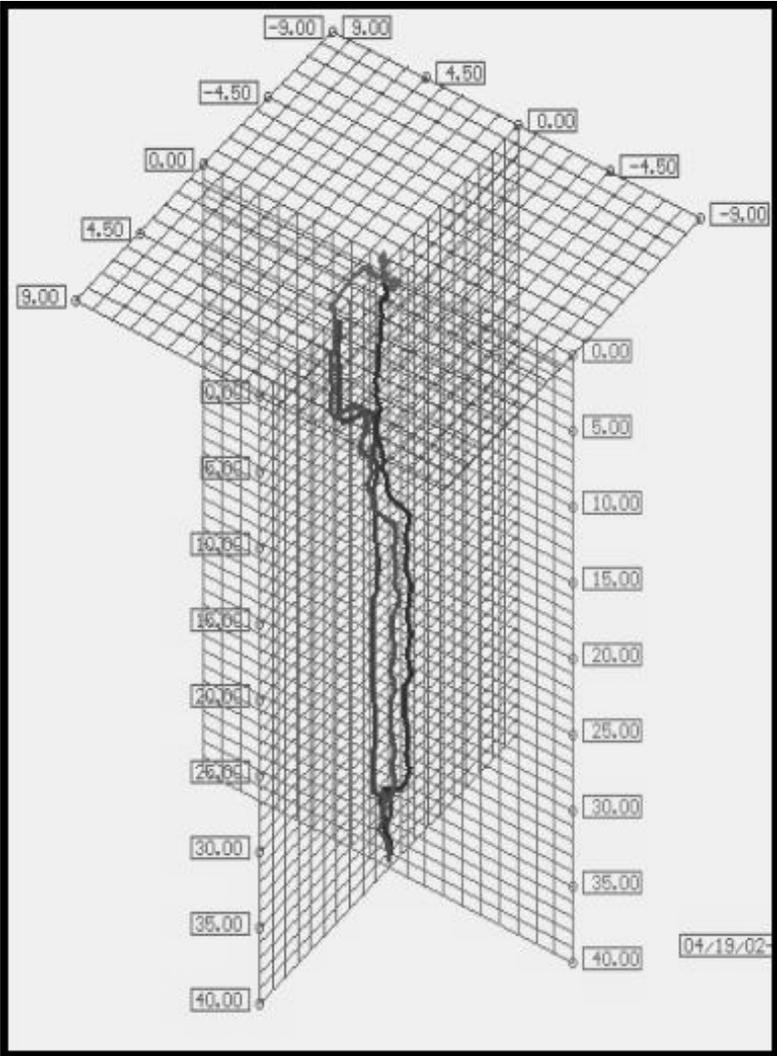


CENTRO DE COMPUTO

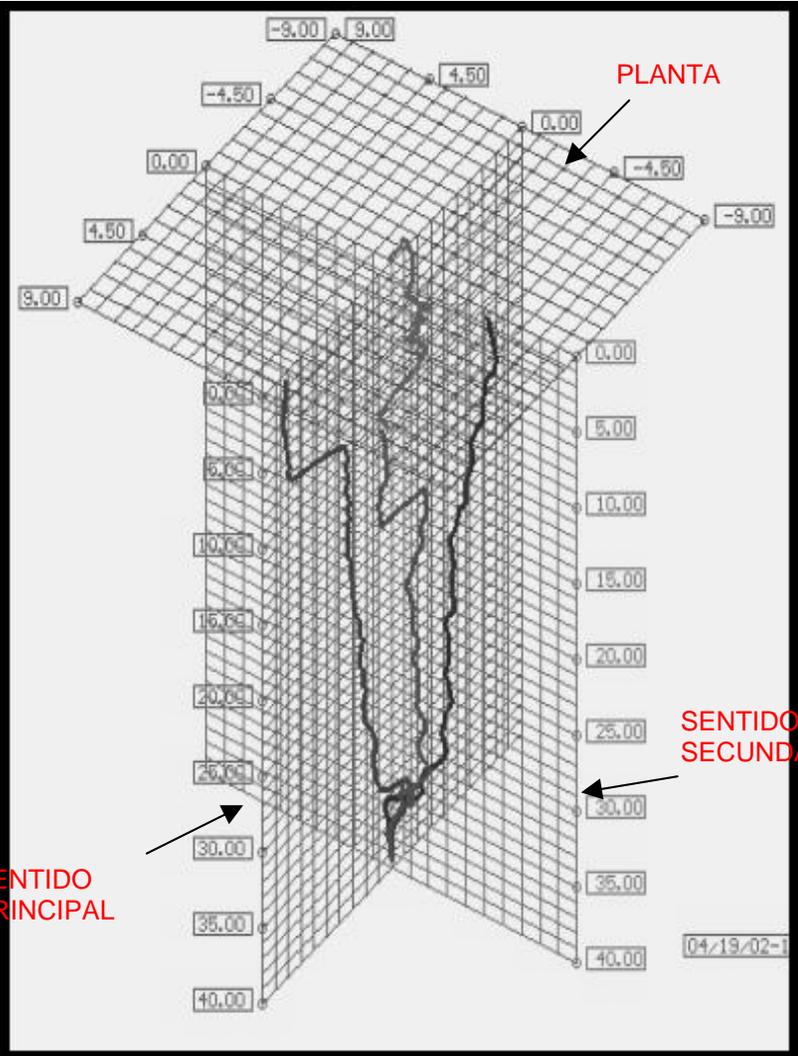


# INCLINOMETRO BIDIRECCIONAL PARA MEDICIÓN DE DESPLAZAMIENTOS HORIZONTALES

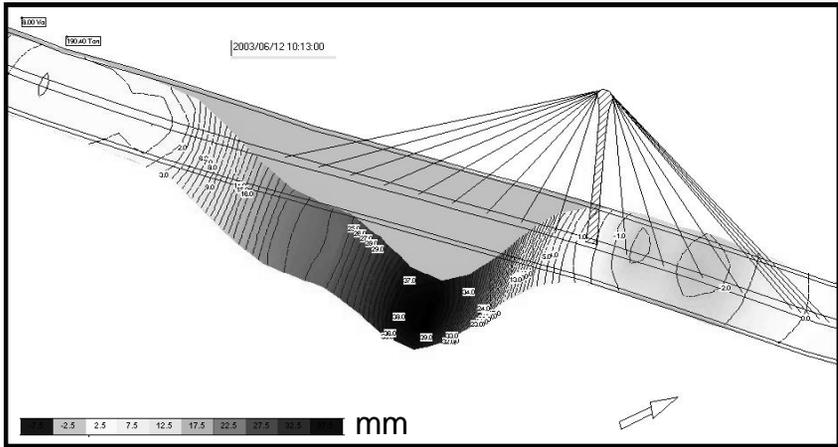
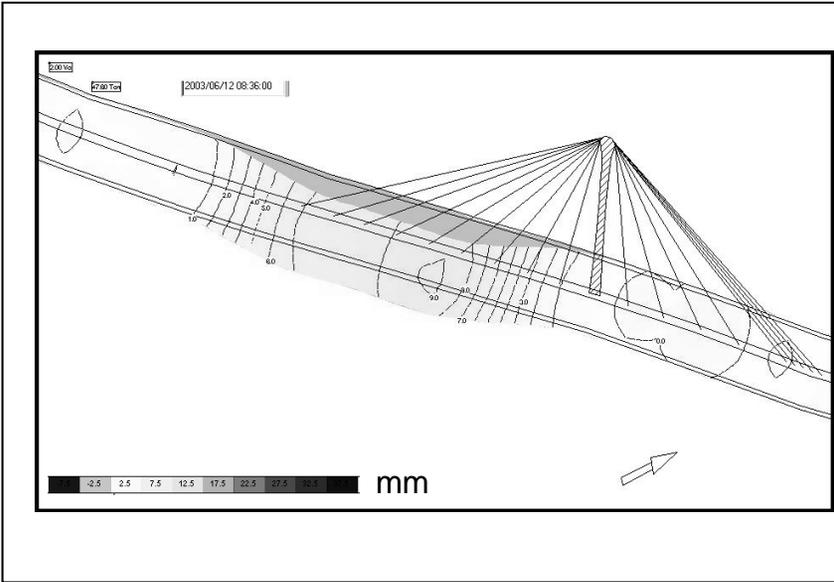
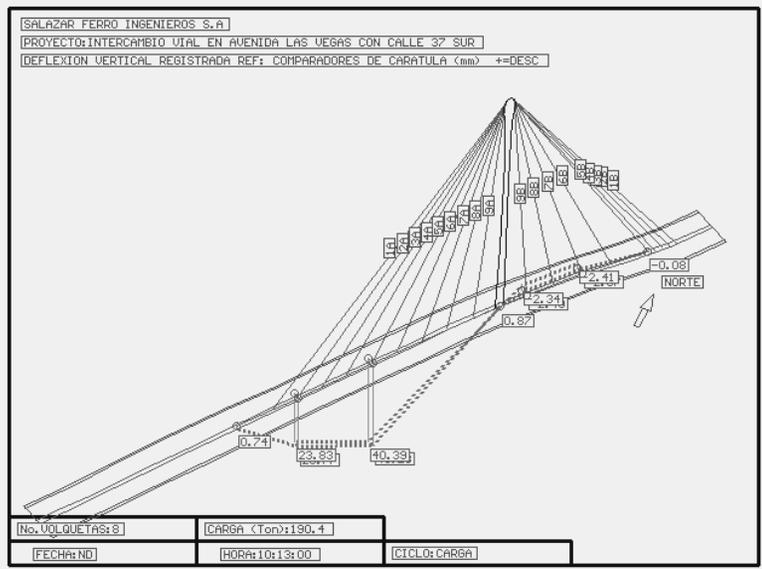
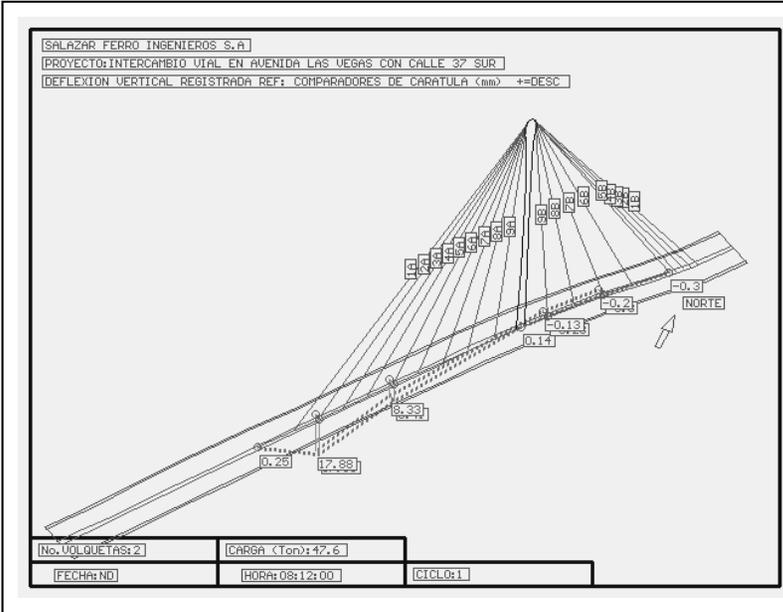
CONDICION INICIAL



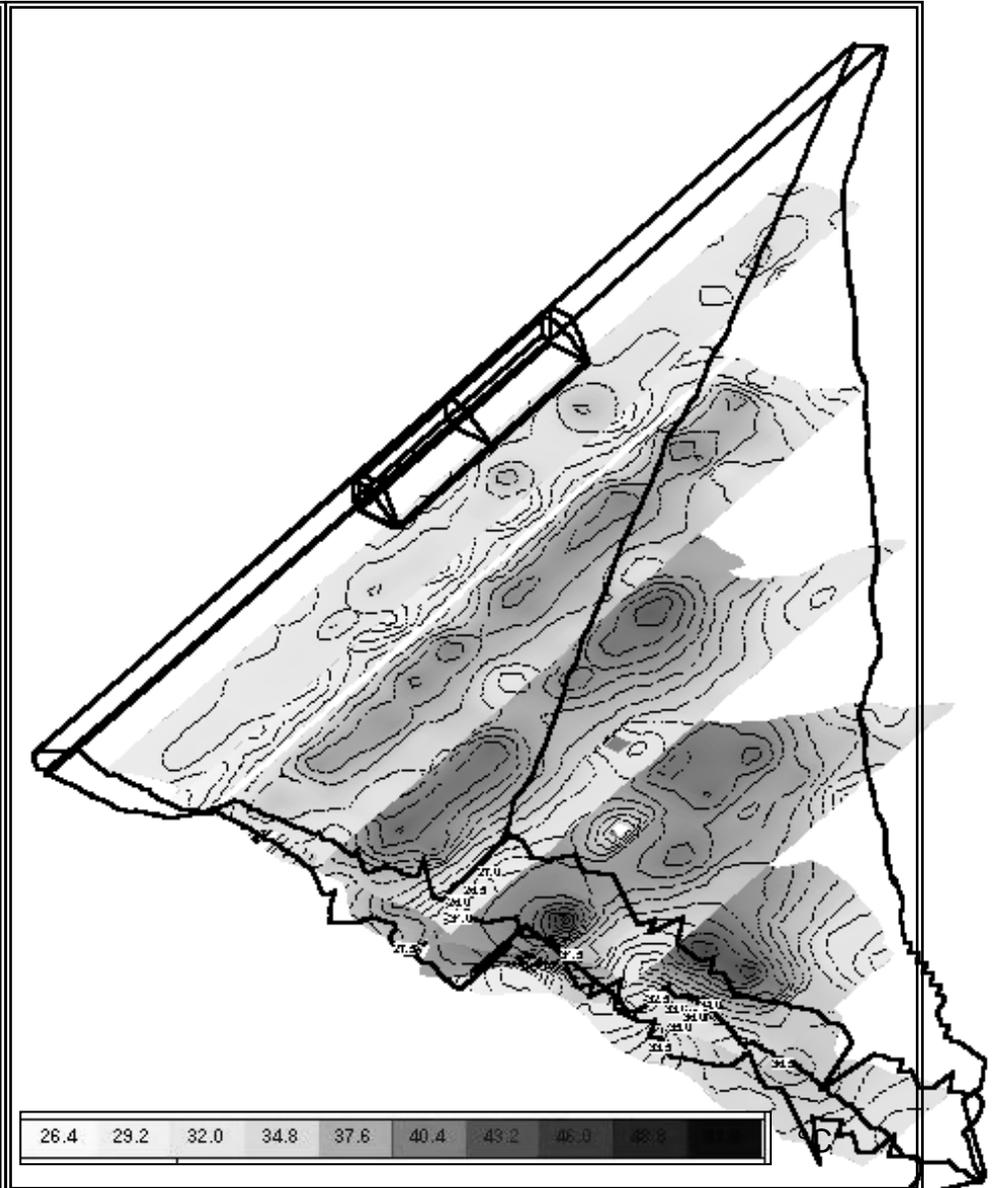
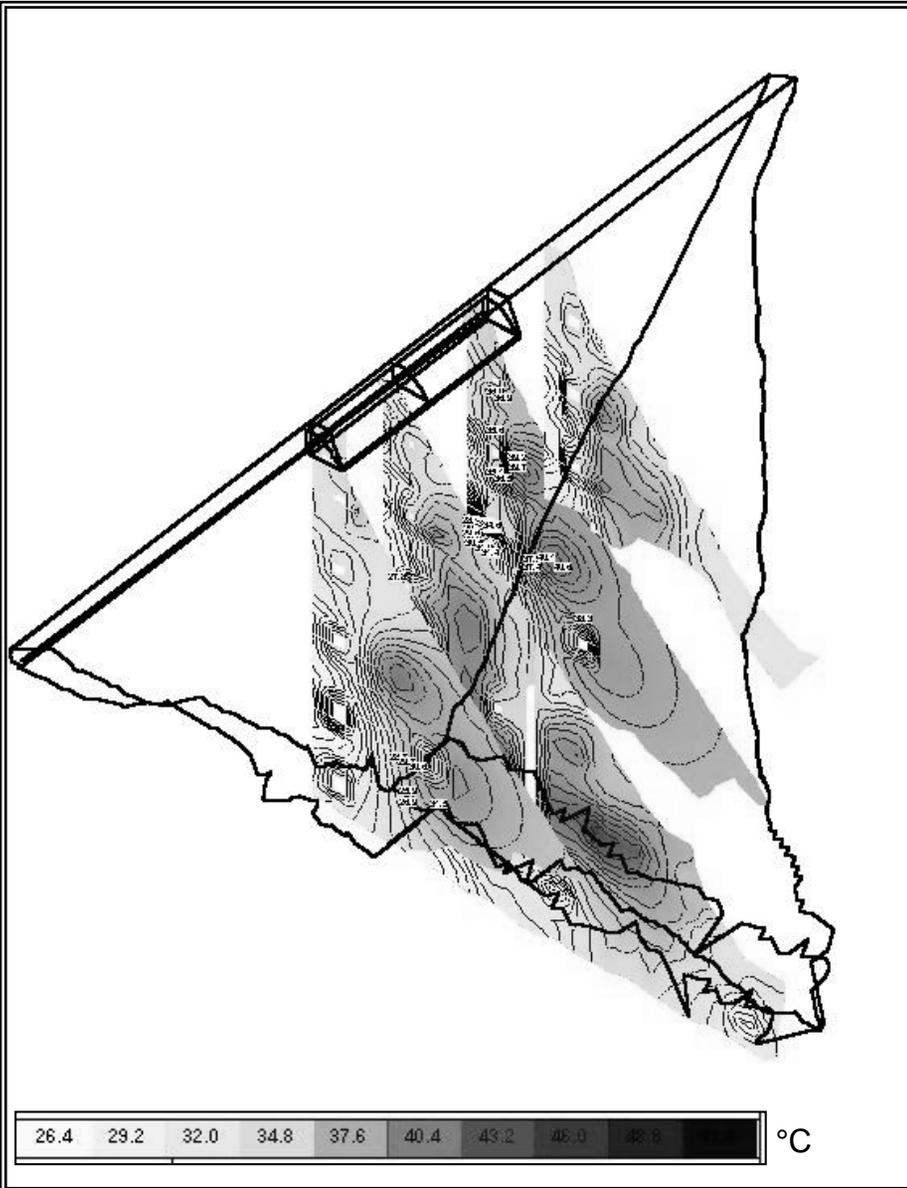
CONDICION FINAL



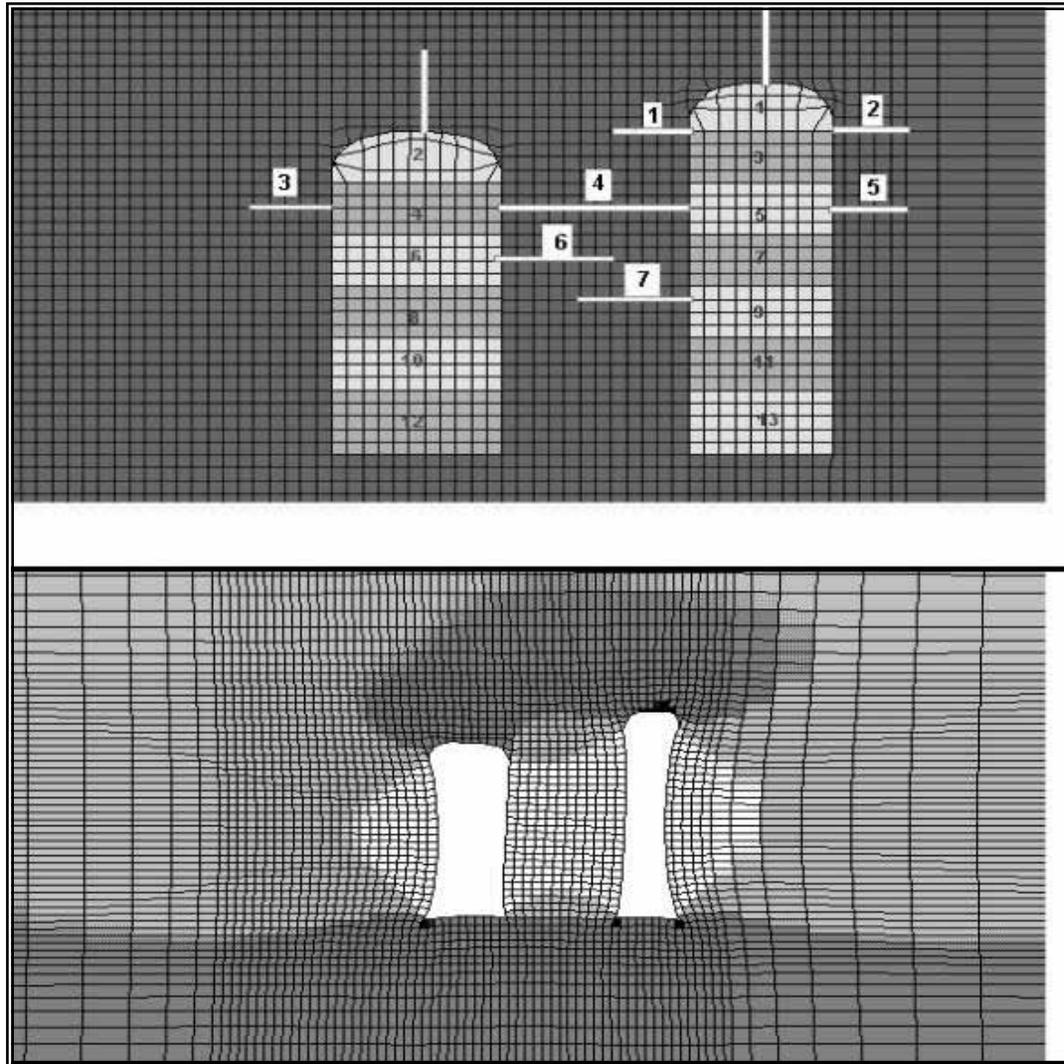
# CONTROL DEFLEXIONES VERTICALES



# CONTROL DE TEMPERATURAS



# UTILIZACIÓN DE ELEMENTOS FINITOS



# CODIFICACION DEL PROGRAMA



D  
I  
N  
A  
M  
I  
C

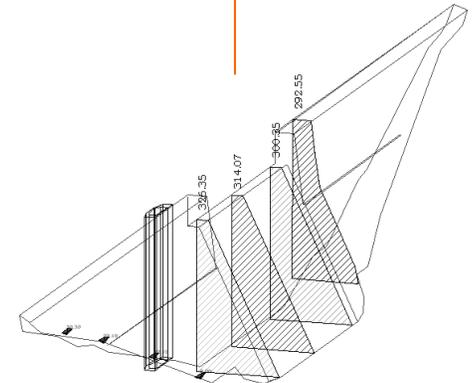
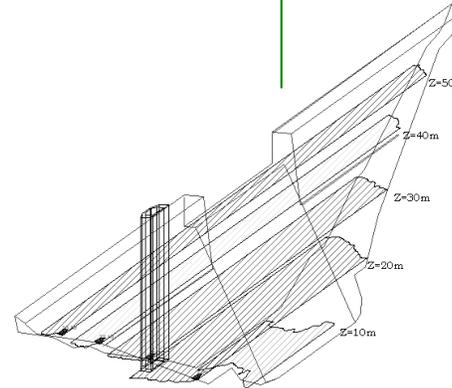
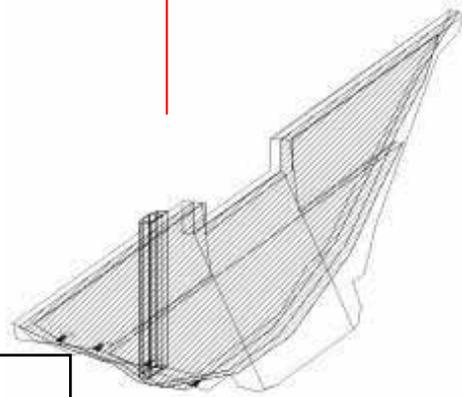
T  
I  
P  
O  
D  
E  
I  
N  
S  
T  
R  
U  
C  
T  
I  
V  
E

S  
E  
C  
C  
I  
O  
N

N  
I  
V  
E  
L

A  
B  
S  
C  
I  
S

NUMERACION



**PTFa 3 091**

**1 2 3 4 5 6 7 8**

1= P = Punto

2= T = Termocupla

3= a =Sección O.

4= 3= Nivel de instrumentación.

5= F= Abscisa 3.

6= 0= Numeración.

7= 9= Numeración.

8= 1= Numeración.