



Departamento de Ingeniería Mecánica y de Materiales
Universidad Politécnica de Valencia

INFORME

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DEL DEPÓSITO RASEN SANEAMIENTOS MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS

Peticionario: AIMPLAS

Valencia, Julio 2010

Camino de Vera, s/n
Apto. correos 22012
46022 Valencia (Spain)
Teléfono 34-6-3877620
Fax 34-6-3877629

ÍNDICE

| | |
|---|----|
| 1. OBJETO DEL INFORME | 1 |
| 2. DESCRIPCIÓN DEL MODELO GEOMÉTRICO | 1 |
| 2.1. Importación y adaptación de geometría | 1 |
| 2.2. Propiedades de material y espesor del depósito | 3 |
| 3. MODELO DE ELEMENTOS FINITOS | 4 |
| 3.1. Condiciones de contorno | 5 |
| 3.2. Cargas aplicadas y unidades | 6 |
| 3.2.1. <i>Cargas hidrostáticas</i> | 6 |
| 3.2.2. <i>Carga del relleno</i> | 8 |
| 3.2.2.1. Cargas del relleno. Componente vertical..... | 8 |
| 3.2.2.2. Cargas del relleno. Componente horizontal. | 11 |
| 3.2.3. <i>Cargas dinámicas</i> | 13 |
| 4. RESULTADOS | 13 |
| 4.1. Carga de agua (hidrostática) | 13 |
| 4.2. Carga del terreno combinada | 16 |
| 4.3. Carga del terreno y carga de agua (combinación de todas las cargas) | 17 |
| 5. RESUMEN Y CONCLUSIONES | 17 |

1. OBJETO DEL INFORME

La finalidad de este informe es presentar los resultados obtenidos tras el análisis estructural del depósito RASEN mediante el programa de elementos finitos ANSYS. El estudio se ha llevado a cabo en base a un modelo geométrico del depósito realizado por AIMPLAS en un programa de diseño gráfico. Del mismo modo, las propiedades mecánicas del material han sido proporcionadas por AIMPLAS en base a la caracterización del material mediante ensayos realizados sobre probetas.

El objetivo último de este estudio es confirmar que dado el espesor con el que está construido el depósito, éste será capaz de resistir las cargas a las que se encuentra sometido sin que el estado tensional que aparece en el mismo cause su rotura.

2. DESCRIPCIÓN DEL MODELO GEOMÉTRICO

2.1. Importación y adaptación de geometría

Desde AIMPLAS se proporcionó al CITV un modelo geométrico realizado en un software de diseño gráfico en un archivo de extensión *.STP*. Este modelo se puede observar en la figura 2.1.:



Fig. 2.1. Modelo CAD tanque.

Las dimensiones del tanque se muestran en la siguiente tabla:

| | |
|-----------------|---------|
| Diámetro | 1000 mm |
| Altura | 2420 mm |

Tabla 2.1. Dimensiones del tanque.

En primer lugar, se tomó este archivo de extensión *.STP* y se importó en el software de diseño gráfico SOLIDWORKS. Tras una inspección visual del modelo geométrico en este software, se almacenó en formato *.SLDPRT* para posteriormente ser exportado como un fichero de extensión *.IGS*, para su lectura con ANSYS.

El resultado de la importación en ANSYS, se muestra en la siguiente figura:

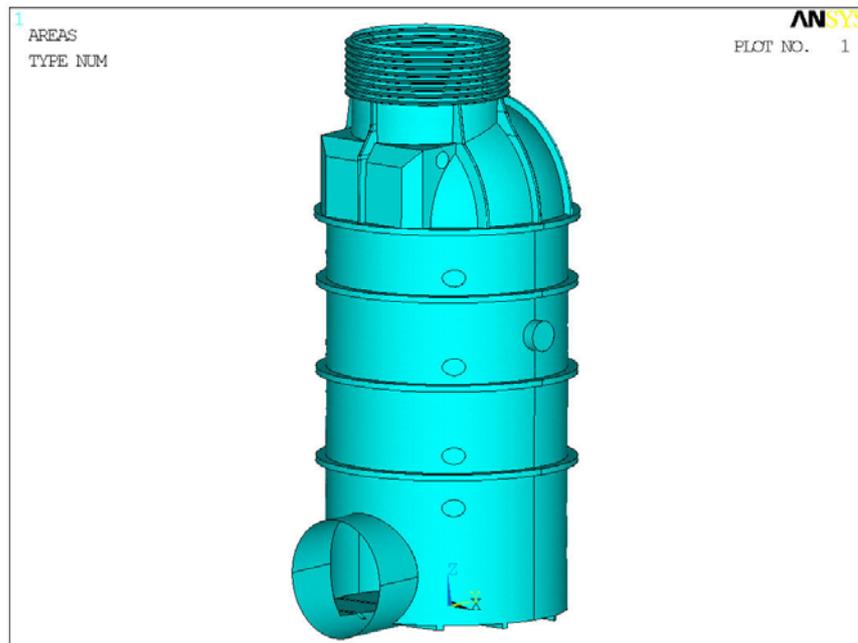


Fig. 2.2. Modelo de áreas de ANSYS.

Aunque aparentemente la importación del modelo geométrico es correcta, ha sido necesario efectuar una serie de cambios en el modelo para poder generar una malla de elementos finitos adecuada. Las tareas realizadas en esta etapa han sido fundamentalmente:

- Eliminación de puntos, líneas y áreas redundantes.
- Eliminación, colapso y fusión de líneas y áreas de pequeñas dimensiones, indeseables para la generación de malla.
- Eliminación de la rosca superior. Se ha optado por simplificar la rosca situada en la parte superior del depósito debido a que ésta no posee función estructural y eleva el número de elementos necesario para mallar el modelo geométrico aumentando el coste computacional del análisis de elementos finitos.

- Eliminación de los insertos metálicos utilizados como peldaños y situados en el interior del depósito. Estos insertos no tienen una función estructural y su no consideración nos sitúa del lado de la seguridad.

En la figura 2.3. se muestra el modelo geométrico final sobre el que se han aplicado las cargas y condiciones de contorno para el análisis del depósito una vez se han realizado todas las correcciones indicadas anteriormente. Del mismo modo se dibuja cada área del modelo con un color diferente mostrando el grado de complejidad del mismo.

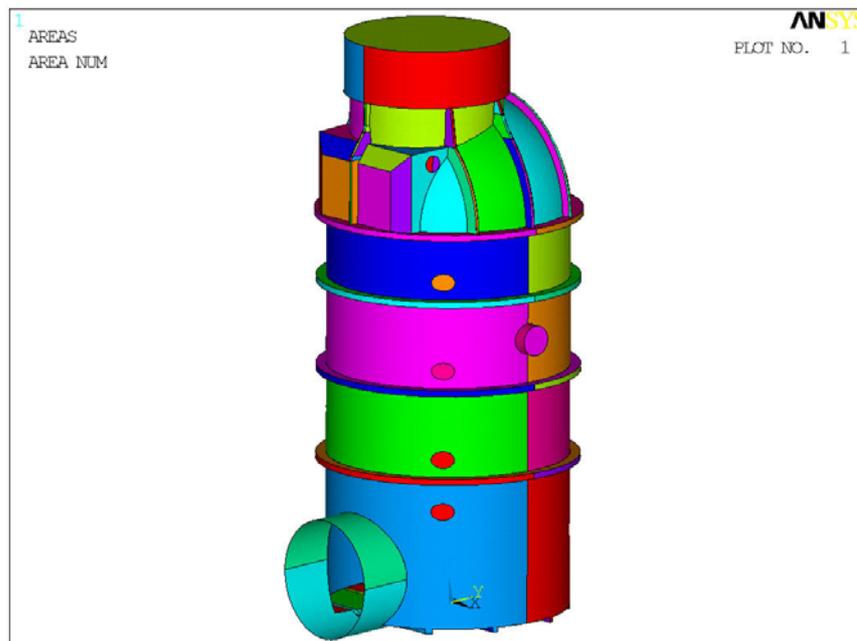


Fig. 2.3. Modelo de áreas de ANSYS.

2.2. Propiedades de material y espesor del depósito

Los datos sobre el material utilizados son los proporcionados por AIMPLAS tras la caracterización del mismo. Se indica a continuación dichas características del material introducidas en el programa ANSYS para el cálculo:

| | |
|-------------------------------------|------|
| Módulo de Elasticidad (MPa) | 761 |
| Coefficiente de Poisson | 0.4 |
| Límite de Fluencia (MPa) | 19.2 |
| Resistencia a Tracción (MPa) | 19.2 |

Tabla 2.2. Propiedades mecánicas del material

Se ha considerado que se trata de un material isótropo. Como criterio de fallo se tomará como condición de rotura que el valor de la máxima tensión principal alcance la resistencia a tracción. No se producirá fallo del depósito siempre y cuando:

$$\sigma_1 < \sigma_R = 19.2 \text{ MPa}$$

Por último, AIMPLAS ha proporcionado una serie de medidas del espesor medio tomadas en el depósito en distintos puntos del mismo obteniendo los siguientes resultados:

| Medida | Espesor (en mm) |
|----------------|------------------------|
| Punto 1 | 8.44 |
| Punto 2 | 8.96 |
| Punto 3 | 8.42 |
| Punto 4 | 8.41 |
| Punto 5 | 8.59 |
| Punto 6 | 8.54 |
| Punto 7 | 8.54 |
| Punto 8 | 8.53 |
| Punto 9 | 8.58 |
| Punto 10 | 8.53 |

Tabla 2.3. Medidas del espesor medio del depósito

Como se aprecia en la tabla anterior, el menor espesor medio medido en el depósito se corresponde con el punto 4, con un valor de 8.41 mm. Con el fin de realizar un estudio por el lado de la seguridad, se ha optado por escoger un espesor constante en todo el depósito de **8.4 mm**.

3. MODELO DE ELEMENTOS FINITOS

Los tipos de elementos utilizados en el modelo de elementos finitos son dos:

- Elemento placa de ocho nodos SHELL93. Son los elementos que conforman la malla de elementos finitos. Señalar que el espesor que tomen estos elementos será el espesor real que tenga el depósito. Atendiendo a las mediciones indicadas en el punto anterior, y tal y como se ha comentado, se ha optado por tomar un espesor constante para todo el depósito de **8.4 mm**. Por último destacar que se ha tomado un tamaño de elemento de 15 mm de lado.
- Elementos superficie SURF154. Estos elementos no configuran de por sí la malla del modelo sino que toman los nodos creados en la malla de elementos SHELL. Se generan una serie de elementos coincidentes con los elementos SHELL que permiten aplicar las cargas superficiales. Para que no influyan en el comportamiento del modelo, se les ha asignado un valor de espesor muy bajo, que en este caso es de 10^{-9} mm.

La siguiente figura muestra la malla generada para modelar el depósito mediante elementos finitos:

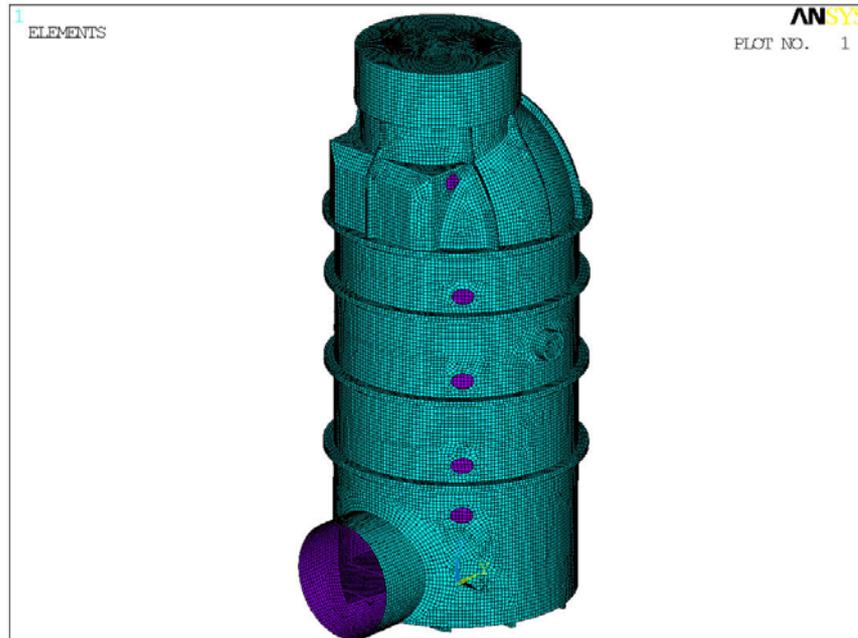


Fig. 3.1. Malla con elementos SHELL93 en ANSYS.

El coste computacional necesario para analizar este modelo es moderado. En concreto, esta malla presenta un total de **296454 nodos** con **50471 elementos** tipo SHELL93.

3.1. Condiciones de contorno

Las condiciones de contorno consideradas para el depósito son las siguientes. Se supondrá que el depósito se encuentra apoyado en el suelo. Se restringe el movimiento vertical (en el eje Z del sistema de referencia del modelo) de los nodos situados en los elementos que conforman la base del depósito. Estas condiciones de contorno aparecen dibujadas en azul en la siguiente figura:

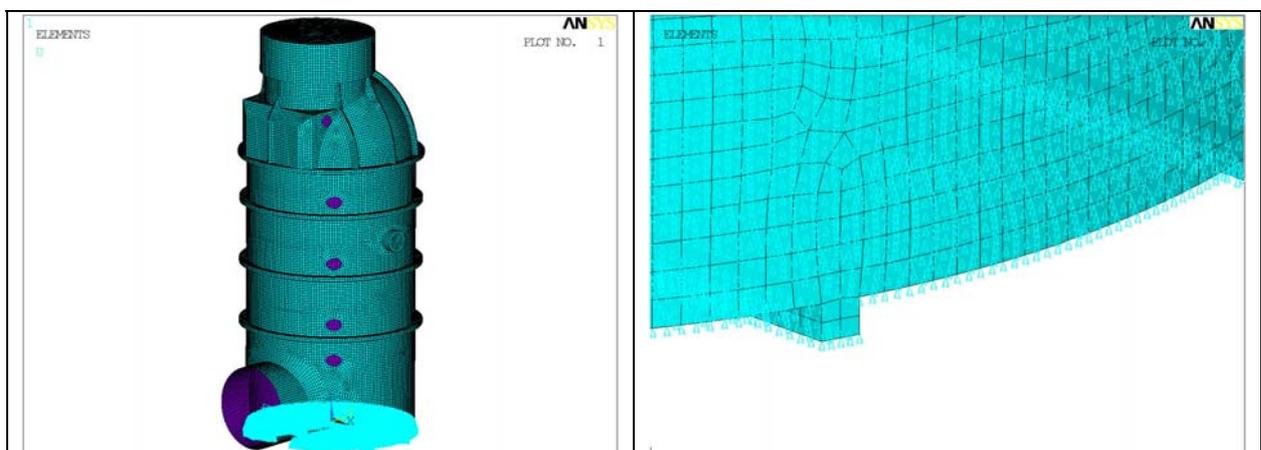


Fig. 3.2. Malla en ANSYS con condiciones de contorno. Izqda. Vista general. Dcha. Vista en detalle.

3.2. Cargas aplicadas y unidades

Se han seguido las indicaciones de las normas AENOR UNE-EN 12566-1:2000: “*Pequeñas instalaciones de depuración de aguas residuales para poblaciones de hasta 50 habitantes equivalentes. Parte 1: Fosas sépticas prefabricadas*” y AENOR UNE-EN 12566-3: “*Pequeñas instalaciones de depuración de aguas residuales para poblaciones de hasta 50 habitantes equivalentes. Parte 3: Plantas de depuración de aguas residuales domésticas prefabricadas y/o montadas en su destino*”. En ellas se establece que deben considerarse las siguientes cargas:

- a) La carga del relleno.
- b) Las cargas hidrostáticas.
- c) Las cargas dinámicas.

En este apartado se explica con detalle las cargas aplicadas al depósito mientras que en el apartado 4 se mostrarán los resultados obtenidos aplicando las posibles combinaciones de estas cargas.

En el modelo de elementos finitos, las unidades de longitud utilizadas son metros y las unidades de presión y tensión son Pa.

3.2.1. Cargas hidrostáticas

La primera carga considerada es la presión que el agua almacenada ejerce sobre las paredes del depósito. La presión ejercida por el agua sobre las paredes será una presión hidrostática y vendrá expresada por la ley:

$$P_{\text{agua}} = \rho \cdot g \cdot h$$

donde:

ρ es la densidad del agua igual a 1000 kg/m³

g es la aceleración de la gravedad supuesta 9.81 m/s²

h es la altura del agua en el depósito.

Así pues la mayor presión ejercida por el agua será en el fondo del depósito mientras que la presión ejercida por el agua será nula en la capa superior conocida como superficie libre.

Para una simplificación y con el fin de estar del lado de la seguridad, se han establecido cinco regiones en las que se aplicará la mayor presión hidrostática. Se tomará una presión uniforme en cada región igual a la alcanzada en la cota inferior de cada región. Así, la región inferior estará toda sometida a una presión igual que la que se encuentra en la base

del depósito. Si se supone que el depósito se encuentra completamente lleno ($h=2420$ mm), la presión del agua considerada en las cuatro regiones del depósito será:

| COTA (medida desde la base) | PRESIÓN |
|-----------------------------|-------------|
| 0-484 mm | 0.02375 MPa |
| 484-968 mm | 0.01900 MPa |
| 968-1452 mm | 0.01425 MPa |
| 1452-1936 mm | 0.00950 MPa |
| 1936-2420 mm | 0.00475 MPa |

Tabla 3.1. Presión hidrostática del agua.

En la figura 3.3., se representa el modelo del depósito con la carga hidrostática aplicada:

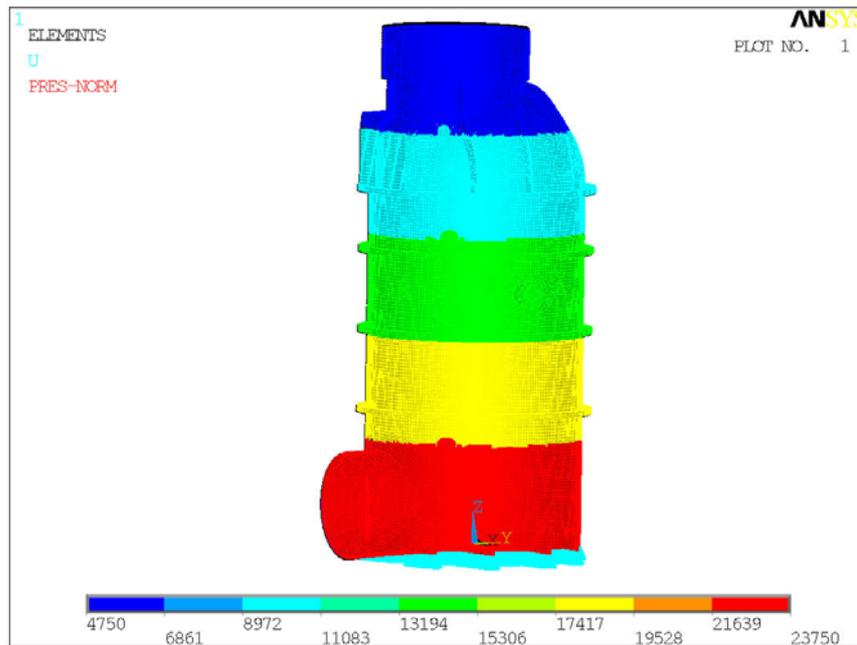


Fig. 3.3. Modelo de la carga hidrostática ejercida por el agua con depósito lleno.

En la imagen se muestran claramente diferenciadas las cinco regiones definidas con sus correspondientes presiones. A modo de ejemplo, se puede observar que la zona dibujada en rojo corresponde con una presión de 23750 Pa (o su equivalente 0.02375 MPa) según la leyenda y coincide con el valor que para esa región se calculó y se presentó en la *Tabla 3.1*. También se pueden observar en la imagen anterior las condiciones de contorno, esto es, los apoyos del depósito sobre la superficie inferior.

Para comprobar la dirección en la que está aplicada la presión sobre las paredes del depósito se ha realizado un zoom sobre la imagen representando la presión con flechas obteniendo el resultado que se muestra a continuación:

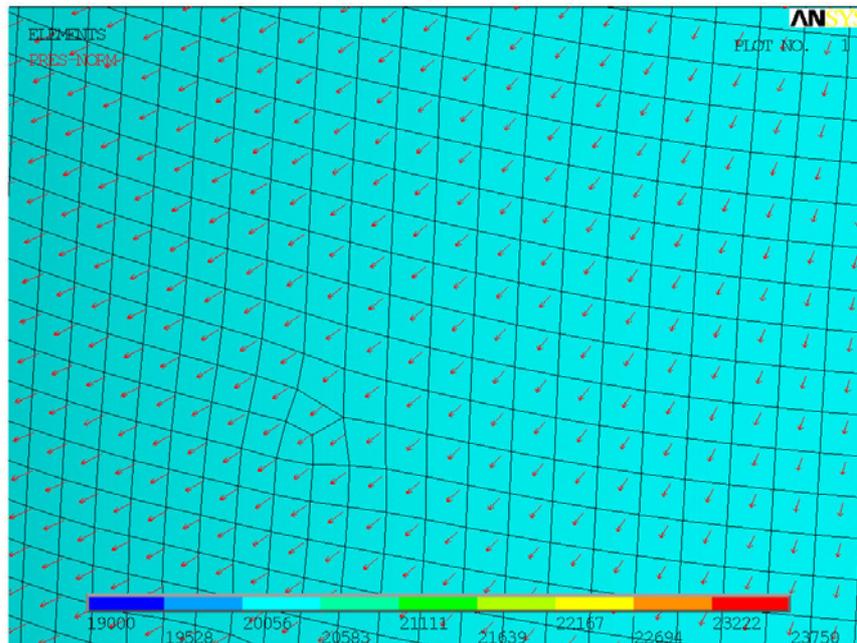


Fig. 3.4. Detalle de la carga hidrostática ejercida por el agua.

Como se puede observar, las presiones sobre las paredes del depósito debidas al agua son perpendiculares a la superficie del elemento, como es esperable.

3.2.2. Carga del relleno

El segundo conjunto de cargas a las que estará sometido el depósito son las correspondientes al terreno en el que éste se encuentra enterrado. En el apartado 5.2.1. de la norma, se especifican las cargas que el terreno aplica sobre las paredes del depósito, diferenciando la componente vertical y la componente horizontal.

3.2.2.1. Cargas del relleno. Componente vertical.

Para la componente vertical de la carga aplicada por el terreno, la norma especifica que la presión ejercida será:

$$\text{Carga_vertical} = h \cdot 18 \quad \text{en kN/m}^2$$

donde el valor 18 se corresponde con el peso específico del suelo (18 kN/m^3) y h se corresponde con la altura de terreno que existe por encima del punto del depósito donde se quiere obtener la carga.

Se tomará una altura de relleno medida desde la parte superior del depósito de 1 metro. Así pues, realizando una división del depósito en tres regiones de manera análoga a como se realizó para el caso de la carga hidrostática del agua, se ha obtenido la carga vertical debida al peso del relleno, según la altura de terreno sobre la región considerada:

| COTA (medida desde la base) | PRESIÓN |
|-----------------------------|-------------|
| 1680-1846 mm | 0.03132 MPa |
| 1846-2013 mm | 0.02832 MPa |
| 2013-2042 mm | 0.02532 MPa |

Tabla 3.2. Presión vertical ejercida por el terreno.

Notar que en este caso las regiones comienzan desde la cota 1680 que es el plano a partir del cual tiene sentido hablar de carga vertical del terreno, ya que por debajo de éste no tiene sentido hablar de carga debida al peso del terreno ya que esta fuerza es vertical y sentido gravitacional (dirección $-Z$ en nuestro modelo). Por tanto, las paredes verticales están libres de carga vertical al no presentar un vector de área en esta dirección.

Para poder aplicar estas cargas verticales (que no son perpendiculares a los elementos), es necesario hacer uso de los elementos especiales SURF154, que permitirán introducir las cargas en la dirección del espacio que se desee. En la figura 3.5., se representa el modelo del depósito con la componente vertical de la carga de relleno:

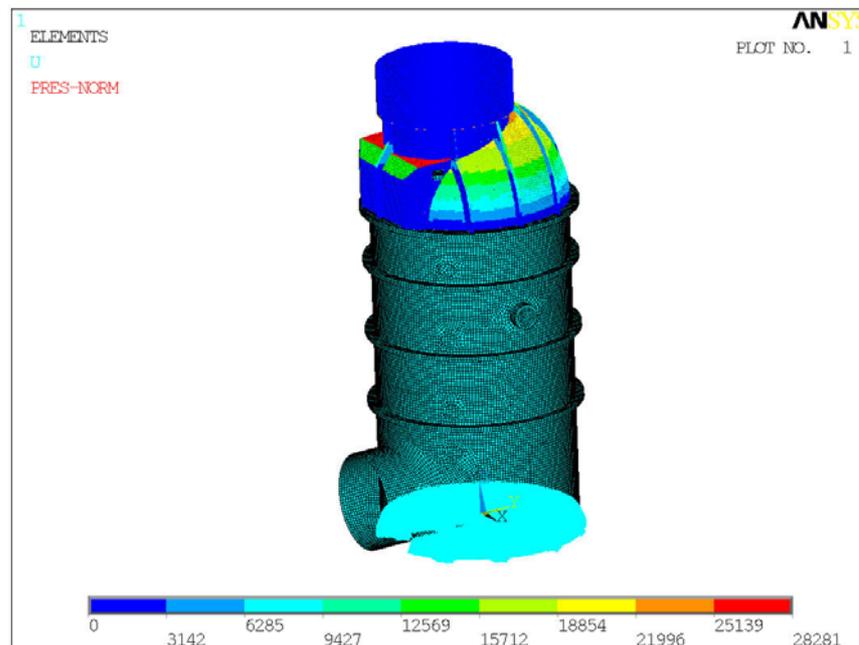


Fig. 3.5. Modelo de la carga ejercida por la componente vertical de la carga de relleno.

En la imagen anterior se representa la componente normal a cada elemento debido a la carga vertical del terreno. Como se aprecia, se produce un gradiente en forma de anillos (salvo en las paredes verticales que están libres de carga al no presentar un vector de área en dirección vertical). Esto es debido a que en cada región se ha introducido una carga vertical de dirección constante. Notar que los vectores normales a los elementos varían de elemento a elemento. De esta manera, elementos de la misma región situados a una mayor cota, presentan una componente vertical del vector normal mayor, por lo que la presión normal al

elemento en estos elementos es mayor cuanto más elevado se encuentre dentro de una región.

Además, se ha considerado la carga vertical que se transmite al depósito a través de la tapa que cubre la boca de hombre en la parte superior del depósito. Para aplicar esta carga, se ha optado por calcular la fuerza aplicada sobre la tapa y repartirla uniformemente por todos los nodos que configuran el agujero sobre el que apoyará dicha tapa. El diámetro de cada boca de hombre es:

$$d = 680 \text{ mm}$$

El área de la boca de hombre (y por tanto de la tapa que la cubre) es:

$$A_{\text{tapa}} = \pi \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2 = \pi \cdot 340^2 = 363168.11 \text{ mm}^2 \approx 0.3632 \text{ m}^2$$

Esta área estará soportando la presión vertical debida al terreno de relleno igual a la región más alta que se mostró en la *Tabla 3.2.*:

$$P_{v,\text{terreno}} = 0.02532 \text{ MPa}$$

Así pues, la fuerza aplicada en la tapa es de:

$$F_{\text{tapa}} = P_{v,\text{terreno}} \cdot A_{\text{tapa}} = 0,02532 \cdot 363168.11 \approx 9196.224 \text{ N}$$

Finalmente, esta fuerza total se ha de repartir entre el número de nodos que conforman el círculo que forma el agujero de la boca de hombre que son:

$$n = 288 \text{ nodos}$$

luego

$$f_{\text{nodo}} = F_{\text{tapa}} / n = 9196.224 / 288 \approx 32 \text{ N}$$

En la siguiente figura se observa cómo se ha aplicado esta presión uniformemente entre los nodos de la boca de hombre:

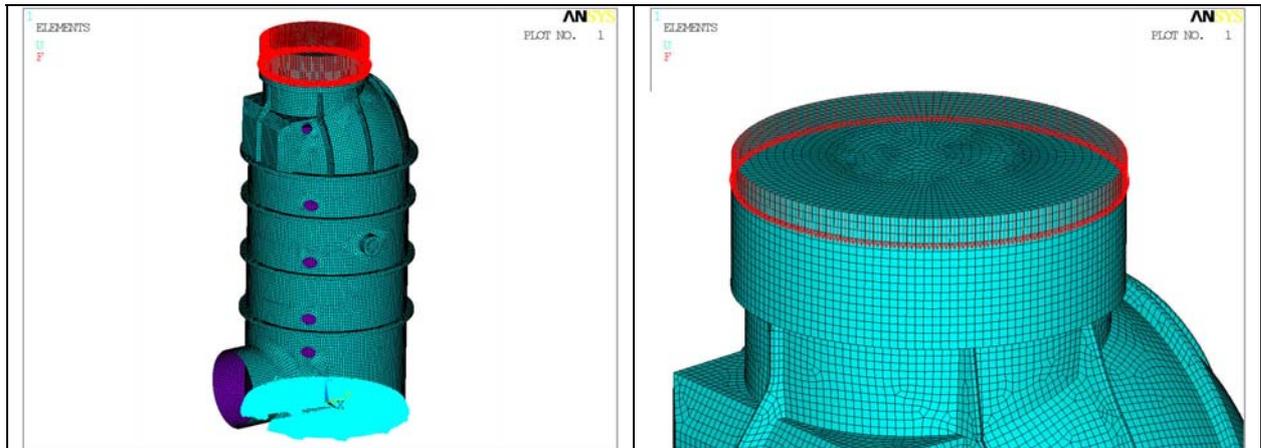


Fig. 3.6. Izqda. Carga debida a la presión sobre la tapa de la boca de hombre. Dcha. Detalle de la carga debida a la presión sobre la tapa de la boca de hombre.

3.2.2.2. Cargas del relleno. Componente horizontal.

En el apartado 5.2.1. de la norma se ofrecen tres posibilidades para calcular la componente horizontal de la carga del terreno dependiendo del tipo de material utilizado en el relleno. En este caso, se ha optado por tomar el caso más crítico (“*otros materiales de cobertura*”) de manera que la componente horizontal de la carga debida al relleno vendrá dada por la siguiente expresión:

$$\text{Carga_horizontal} = 0,5 \cdot D \cdot 18 \quad \text{en kN/m}^2$$

donde el valor 0,5 se corresponde con el coeficiente del ángulo interno de fricción del tipo de suelo (denominado K en la norma), D es la distancia del nivel del suelo al punto donde se ejerce la carga y por último el valor 18 se corresponde con el peso específico del suelo (18 kN/m^3).

Así pues, tomando un relleno de 1 metro de terreno sobre la parte superior del depósito y realizando cinco regiones desde la base del depósito, se han obtenido cinco niveles de carga horizontal del terreno:

| COTA (medida desde la base) | PRESIÓN |
|-----------------------------|-------------|
| 0-484 mm | 0.03078 MPa |
| 484-968 mm | 0.02643 MPa |
| 968-1452 mm | 0.02207 MPa |
| 1452-1936 mm | 0.01771 MPa |
| 1936-2420 mm | 0.01336 MPa |

Tabla 3.3. Presión horizontal ejercida por el terreno.

Para introducir la componente horizontal de la carga del relleno, es necesario el uso de elementos SURF154 que permiten introducir las cargas en las direcciones que se

especifiquen. Así pues, la carga horizontal debida al terreno será una combinación de las componentes de la misma en dos direcciones perpendiculares. De esta manera, la componente horizontal de la carga del relleno se modelará como la suma vectorial de las componentes en las direcciones X e Y del modelo.

En las figuras 3.7. y 3.8., se representa el modelo de la componente horizontal de la carga del terreno en ambas direcciones respectivamente:

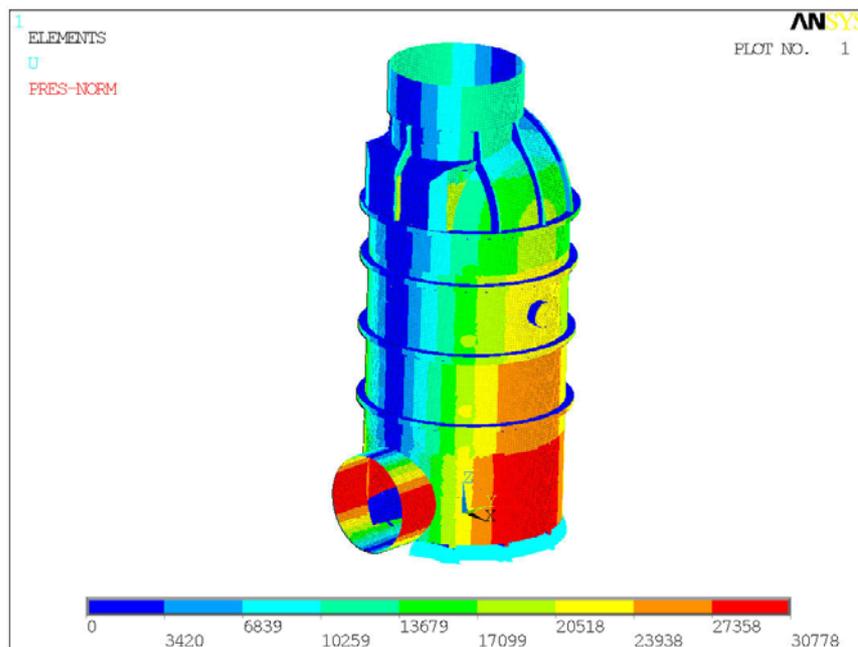


Fig. 3.7. Modelo de la carga ejercida por carga horizontal del terreno en dirección X.

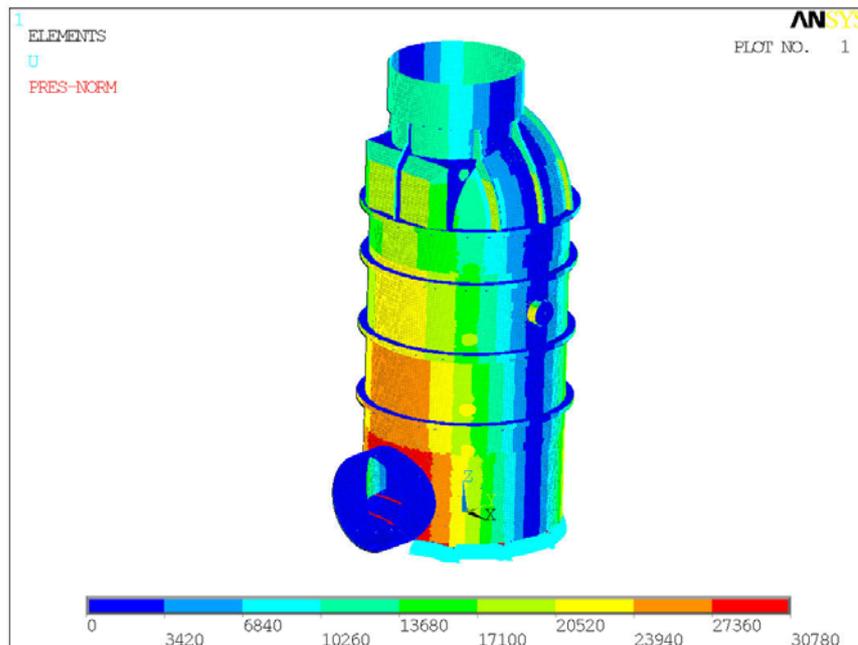


Fig. 3.8. Modelo de la carga ejercida por carga horizontal del terreno en dirección Y.

Al igual que en caso de carga vertical del terreno, se representa la componente normal al elemento de la presión. Se puede apreciar que aparecen zonas en forma de anillos similares a los presentados en el caso de carga vertical (salvo que en este caso los anillos avanzan en el eje X e Y respectivamente).

3.2.3. Cargas dinámicas

En el capítulo 5.2.3. de la norma se especifican las cargas dinámicas que han de tenerse en cuenta. En su apartado a), la norma cita: “*Si la altura del relleno es inferior a 1,00 m debe considerarse un valor de 2,5 kN/m². Por encima de 1,00 m, la carga debida a los peatones se considerará insignificante con respecto al resto de las cargas*”. Puesto que la altura del relleno con respecto a la parte superior del depósito se ha considerado de 1 m, se ignorará la carga dinámica debido a los peatones.

En el caso en que exista circulación de vehículos sobre el depósito, será necesario el diseño de forma individual para tener en cuenta los requisitos relacionados con el uso final para la que está destinada (por ejemplo mediante la instalación de una losa de hormigón). En este análisis, se ha supuesto que no existirá carga dinámica debida a la circulación de vehículos.

4. RESULTADOS

Una vez se han definido las cargas aplicadas al depósito, se presenta a continuación las distintas combinaciones de casos de carga que pueden aparecer en el depósito durante su uso a lo largo de su vida útil.

Se ha resuelto el modelo para todas estas combinaciones de casos de carga. El estudio de los resultados se centrará en:

1. Desplazamiento máximo.
2. Máxima tensión principal.

4.1. Carga de agua (hidrostática)

Es el caso de carga que se puede dar cuando el depósito se llena sobre el terreno sin que éste se encuentre enterrado en el suelo.

En las figuras 4.1. y 4.2. se representan el desplazamiento total de los puntos del depósito. En la primera, el desplazamiento aparece dibujado sobre la deformada del modelo en escala ampliada mientras que en la figura 4.2. se representa el mismo desplazamiento sobre una escala real:

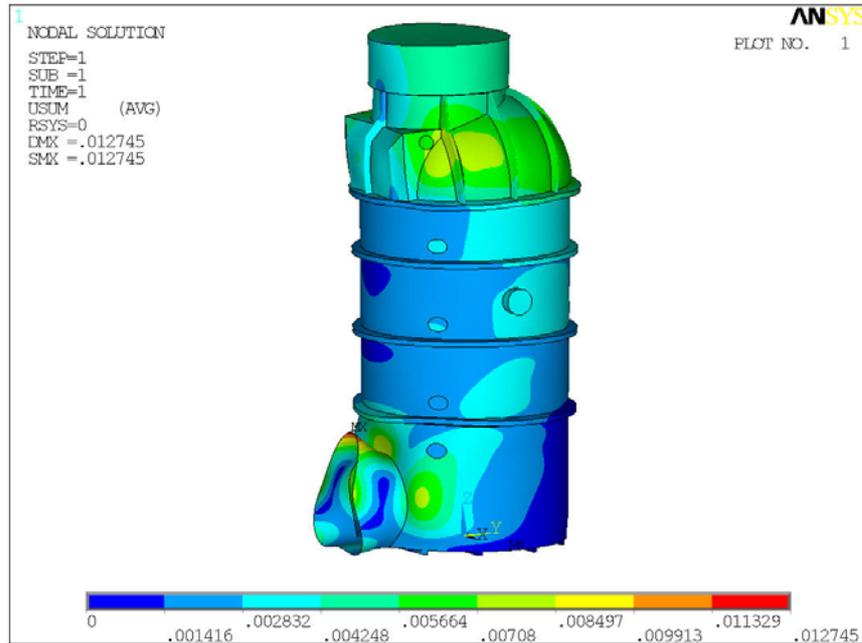


Fig. 4.1. Desplazamiento total en la deformada debido a la carga hidrostática del agua (escala ampliada).

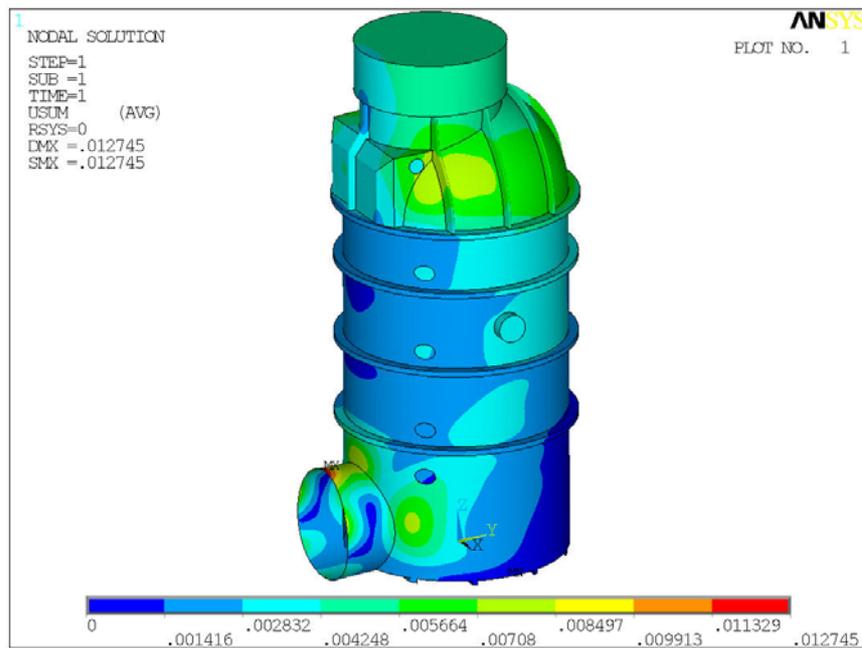


Fig. 4.2. Desplazamiento total en el modelo debido a la carga hidrostática ejercida por el agua (escala real).

Observando la figura anterior, se aprecia que el máximo desplazamiento es de unos 12.75 mm que resulta aceptable respecto a las dimensiones globales del depósito (ver Tabla 2.1. expuesta en el apartado 2.1.).

Por último, se muestra la máxima tensión principal para este caso de carga:

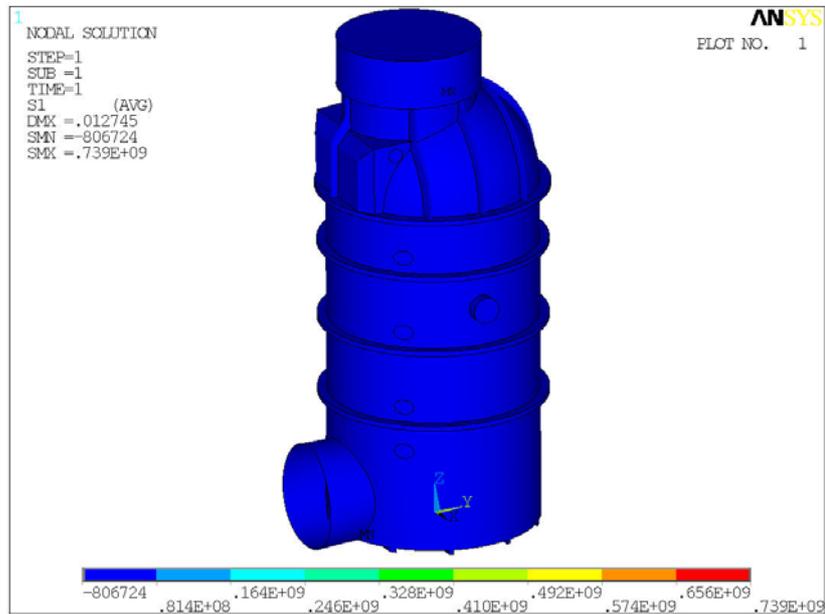


Fig. 4.3. Máxima tensión principal en el modelo debido a la carga hidrostática ejercida por el agua.

Como se aprecia, la tensión principal máxima (en este caso 739 MPa) sobrepasa el valor del límite de rotura del material que se sitúa en 19.2 MPa . Sin embargo este valor se ha calculado en puntos que se corresponden con concentradores de tensión donde la tensión teórica calculada es muy superior a la real. En la realidad existirán plastificaciones localizadas que harán que la tensión real sea inferior a la calculada. Representando la tensión principal entre el valor mínimo de -806724 Pa (valor mínimo calculado por ANSYS) y máximo de 19.2 MPa (valor límite de rotura) se obtiene:

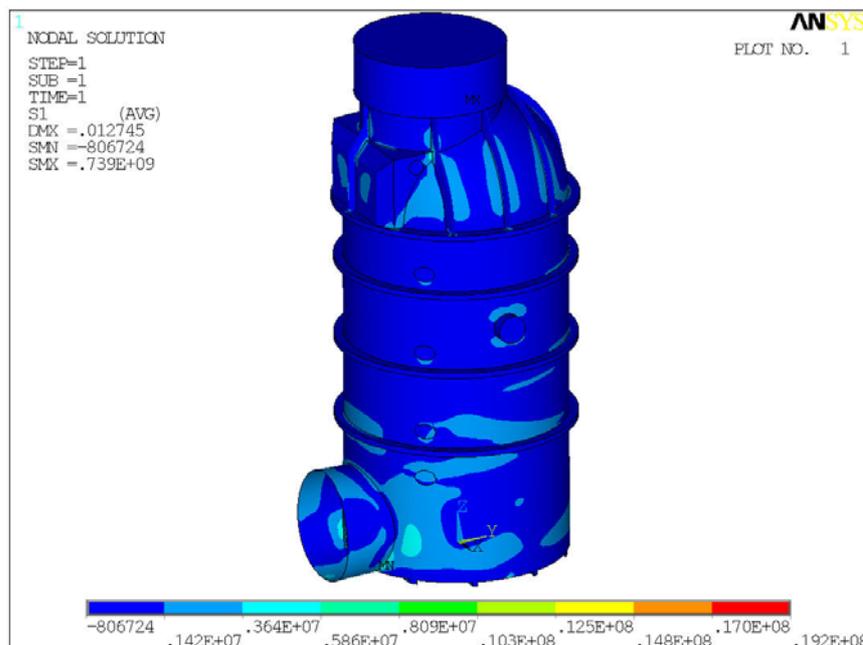


Fig. 4.4. Máxima tensión principal en el modelo debido a la carga hidrostática ejercida por el agua (escala modificada).

En la figura 4.4. se observa cómo no se sobrepasa la tensión de rotura en el depósito (no aparecen zonas dibujadas en rojo). Es por ello que se puede afirmar que para el caso de carga hidrostática del agua no se espera un fallo del depósito.

4.2. Carga del terreno combinada

Es el caso de carga que aparece en el depósito cuando éste se entierra vacío considerando todas las componentes de la carga del relleno (vertical, horizontal en dirección X y horizontal en dirección Y). Representa, por tanto, el caso real en el que el depósito se entierra en el suelo completamente vacío.

Los valores de desplazamiento total y de máxima tensión principal para esta hipótesis de carga se muestran en la figura 4.5.:

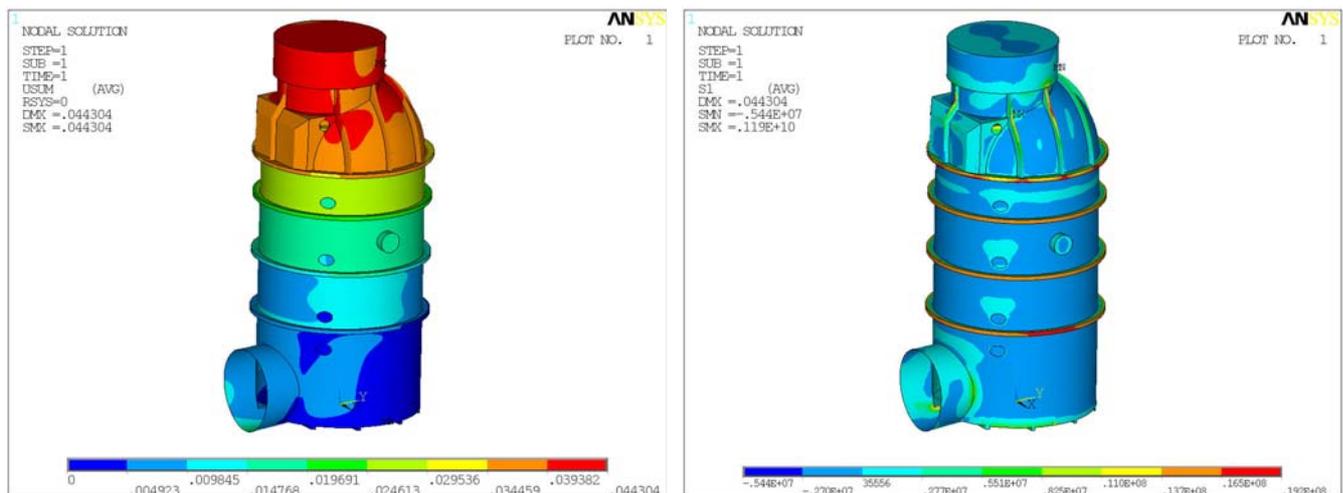


Fig. 4.5. Izqda. Desplazamiento total en la deformada debido a la carga del terreno. Dcha. Máxima tensión principal en el modelo debido a la carga del terreno.

Como se aprecia en las imágenes anteriores, con este estado de carga aparece un desplazamiento máximo de 44.30 mm. Este desplazamiento máximo entra dentro del rango de valores aceptables de acuerdo con las dimensiones totales del depósito.

En la imagen de la derecha se ha representado el valor de la tensión principal. Se ha representado ésta entre el valor mínimo calculado por ANSYS (-5.44 MPa) y el valor del límite de rotura del material (19.2 MPa). Se observa cómo la tensión máxima alcanzada se concentra en los nervios del depósito. Los valores representados en estos nervios tienden a ser mayores que los reales debido a las aristas angulosas y a que dichos nervios son en realidad macizos. Los puntos donde el valor de la tensión principal es superior al límite de rotura del material (no representados en la figura 4.5.) se corresponden con concentradores de tensión donde debido a la formulación de elementos finitos y a las aristas del modelo geométrico, la tensión teórica calculada tiende a infinito. En la realidad existirá una

plastificación localizada en estos puntos que producen una redistribución de tensiones haciendo que la tensión real sea inferior a la teórica calculada por el método de elementos finitos.

4.3. Carga del terreno y carga de agua (combinación de todas las cargas)

Es la hipótesis de carga más general y que aparece en el depósito cuando éste se entierra y se llena. Se corresponde con el uso normal de la misma una vez se ha instalado en su ubicación. Se trata pues de una combinación de la última hipótesis de carga (el caso de carga 4.2. *carga del terreno combinada*) y de la primera hipótesis de carga que se estudió (el caso de carga 4.1. *carga de agua*).

A continuación se representan los valores que se están estudiando (de desplazamiento total y de máxima tensión principal) para esta hipótesis de carga:

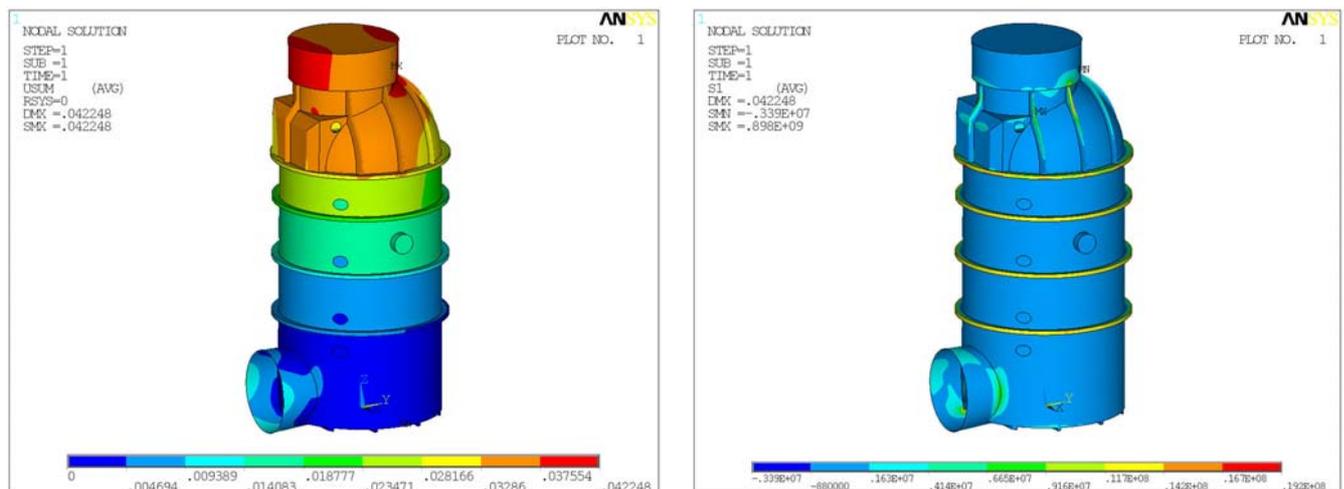


Fig. 4.6. Izqda. Desplazamiento total en la deformada debido a la carga del terreno más carga del agua.
Dcha. Máxima tensión principal en el modelo debido a la carga del terreno más carga del agua.

Como se aprecia en las imágenes anteriores, con este estado de carga aparece un desplazamiento máximo de 42.23 mm. Este desplazamiento máximo se sitúa dentro del rango de valores que se están presentando en los diversos casos de carga.

Como en los casos anteriores se ha representado el valor de la tensión principal entre el valor mínimo calculado por ANSYS (-3.39 MPa) y el valor del límite de rotura del material (19.2 MPa). Como ocurría con anterioridad, aparecen concentradores de tensión donde la tensión real esperada es inferior a la teórica calculada. Se observa cómo, al igual que ocurría en el caso anterior, la tensión máxima alcanzada se concentra en los nervios del depósito.

5. RESUMEN Y CONCLUSIONES

Una vez modeladas todas las hipótesis de carga que se pueden presentar en el depósito y analizados los valores calculados, se puede resumir todos ellos en la siguiente tabla que recoge de manera esquemática los resultados obtenidos:

| | Desplazamiento máximo (mm) | Fallo del depósito* |
|--------------------------------------|----------------------------|---------------------|
| Carga de agua | 12.75 | NO |
| Carga terreno combinada | 44.3 | NO |
| Carga terreno combinada + carga agua | 42.30 | NO |

Tabla 5.1. Tabla resumen análisis realizados

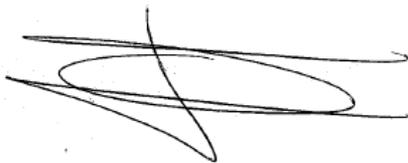
* Se ignoran las tensiones elevadas localizadas en concentradores de tensión. Las tensiones en estas zonas no son realistas debido a la existencia de radios de acuerdo no considerados en el modelo y plastificaciones locales.

Atendiendo a los resultados expuestos a lo largo de este informe y a la tabla resumen presentada en la parte superior, se establecen las siguientes conclusiones:

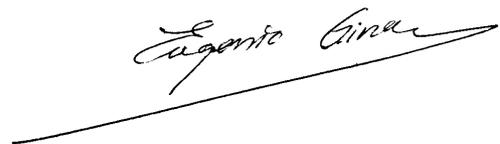
- 1) Se ha importado el modelo de CAD proporcionado por AIMPLAS en ANSYS depurando todas las entidades no coherentes con el modelo y realizando simplificaciones para un menor coste computacional de cálculo.
- 2) Los elementos utilizados en ANSYS han sido SHELL93 y SURF154. Se ha realizado una malla lo suficientemente fina para obtener resultados con la suficiente precisión.
- 3) Se han establecido las propiedades del material utilizado en la fabricación del depósito (a partir de la caracterización de material proporcionada por AIMPLAS), así como las condiciones de contorno en las que éste va a trabajar.
- 4) Se han estudiado las cargas a aplicar en el depósito según las normas AENOR UNE-EN 12566-1:2000, "*Pequeñas instalaciones de depuración de aguas residuales para poblaciones de hasta 50 habitantes equivalentes. Parte 1: Fosas sépticas prefabricadas*" y AENOR UNE-EN 12566-3: "*Pequeñas instalaciones de depuración de aguas residuales para poblaciones de hasta 50 habitantes equivalentes. Parte 3: Plantas de depuración de aguas residuales domésticas prefabricadas y/o montadas en su destino*". También se han establecido las hipótesis de carga que con mayor probabilidad se van a dar en el depósito a lo largo de su vida útil. Al mismo tiempo se ha establecido un criterio de fallo que servirá para predecir si se producirá rotura del depósito.

- 5) Bajo la hipótesis de carga más crítica (solamente carga del terreno), el desplazamiento máximo obtenido en el modelo es del orden de 44.3 mm , que se considera aceptable dadas las dimensiones del depósito (altura 2420 mm , diámetro 1000 mm).
- 6) Aparecen puntos singulares en ciertas esquinas del depósito. En esta zona, se producen tensiones claramente elevadas en regiones de volumen muy pequeño (su extensión es muy pequeña comparada con el espesor). Estas tensiones elevadas se ignoran debido a que el valor real de la tensión en estos puntos queda disminuido por la existencia de:
 - a) Radios de acuerdo. Realmente no existen las aristas angulosas que aparecen en el modelo geométrico. Por el contrario, existe un cierto radio de acuerdo que disminuye la tensión en estos puntos.
 - b) Redistribución de tensiones. Debido a las altas tensiones localizadas en pequeñas zonas, se puede llegar a producir una deformación plástica localizada en estos puntos produciendo una redistribución de tensiones que disminuye su valor en el potencial punto crítico.
- 7) Se ha comprobado que la carga más crítica a la que se encuentra sometido el depósito es la debida al terreno estando el depósito vacío. Para aplicar esta carga se han considerado las normas AENOR UNE-EN 12566-1:2000 y AENOR UNE-EN 12566-3. De ellas se ha tomado el valor más crítico para la componente horizontal (valor de coeficiente del ángulo interno de fricción K de la norma de 0.5 correspondiente a “*otros materiales de relleno*”) y una altura de relleno de un metro medida desde la parte superior del depósito. De esta forma, se está por el lado de la seguridad.
- 8) Se ha demostrado que el espesor con el que se fabrica el depósito ($8,4 \text{ mm}$) es suficiente para resistir las cargas a las que se va a ver sometido a lo largo de su vida útil.

Valencia, a 13 de julio de 2010



Fdo. Rafael Jiménez Lorenzo
Investigador Técnico Superior de CITV



Fdo. Eugenio Giner Maravilla
Profesor de Ingeniería Mecánica del DIMM-CITV