

|   |                   |
|---|-------------------|
| <b>PROYECTO</b>   |                   |
| ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LOS POZOS DE<br>POLIETILENO D-800 Y D-1200  |                   |
| <b>TÍTULO</b>   |                   |
| ANALISIS MECÁNICO PARA JUSTIFICACIÓN ESTRUCTURAL  |                   |
| <b>REFERENCIA:</b> DT-20162-04  | <b>EDICIÓN:</b> 2 |
| <b>CLIENTE</b>  |                   |
| RASED SANEAMIENTO S.A.  |                   |
| <b>Interlocutor cliente:</b>  | Mónica Molina     |
| <b>RESUMEN</b>  |                   |
| El presente Documento Técnico recoge las tareas de análisis estructural realizadas para la comprobación de rigidez y resistencia de los componentes de los depósitos de polietileno. Se pretende caracterizar toda la gama de depósitos, estudiando el de menor y el de mayor diámetro. |                   |

|  |   |
|--|---|
| <b>Realizado:</b><br><b>Ferran Pla</b><br>Responsable de Proyectos | <b>Aprobado:</b><br><b>Jorge Pinazo</b><br>Director Técnico |
| <b>Fecha:</b> 13-abril-2021  | <b>Fecha:</b> 15-abril-2021                                 |

|                 |   |             |             |                |   |
|-----------------|---|-------------|-------------|----------------|---|
| <b>PROYECTO</b> | ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LOS POZOS DE POLIETILENO D-800 Y D-1200 |             |             |                |   |
| <b>TÍTULO</b>   | ANALISIS MECÁNICO PARA JUSTIFICACIÓN ESTRUCTURAL                |             |             |                |   |
| <b>CLIENTE</b>  | RASED SANEAMIENTO S.A.  | <b>REF.</b> | DT-20162-04 | <b>EDICIÓN</b> | 2 |

### ÍNDICE DE EDICIONES / MODIFICACIONES

| Edición | Responsable | Modificación  | Páginas afectadas | Fecha      |
|---------|-------------|---|-------------------|------------|
| 1       | Ferran Pla  | Edición inicial   | --                | 13/04/2021 |
| 2       | Ferran Pla  | Se indica para que altura máxima es valida las losas de hormigón, pag 12. | --                | 21/05/2021 |
|         |             |   |                   |            |
|         |             |   |                   |            |
|         |             |   |                   |            |
|         |             |   |                   |            |
|         |             |   |                   |            |
|         |             |   |                   |            |
|         |             |   |                   |            |
|         |             |   |                   |            |

### DIFUSIÓN

| Nombre        | Empresa-Depart.        | Medio    | Fecha      |
|---------------|------------------------|----------|------------|
| Mónica Molina | RASED SANEAMIENTO S.A. | Correo-e | 21/05/2021 |
|               |                        |          |            |
|               |                        |          |            |
|               |                        |          |            |
|               |                        |          |            |

|          |   |      |             |         |   |
|----------|---|------|-------------|---------|---|
| PROYECTO | ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LOS POZOS DE POLIETILENO D-800 Y D-1200 |      |             |         |   |
| TÍTULO   | ANÁLISIS MECÁNICO PARA JUSTIFICACIÓN ESTRUCTURAL                |      |             |         |   |
| CLIENTE  | RASED SANEAMIENTO S.A.  | REF. | DT-20162-04 | EDICIÓN | 2 |

## CONTENIDO

|      |   |    |
|------|---|----|
| 1.   | INTRODUCCIÓN .....                              | 4  |
| 2.   | DOCUMENTOS DE REFERENCIA.....                   | 5  |
| 3.   | GENERALIDADES.....                              | 6  |
| 4.   | DESCRIPCIÓN DE LAS ESTRUCTURAS ANALIZADAS ..... | 7  |
| 5.   | ESPECIFICACIÓN DE ANÁLISIS.....                 | 8  |
| 5.1. | REQUISITOS MECÁNICOS.....                       | 8  |
| 5.2. | CASOS DE CARGA.....                             | 8  |
| 6.   | METODOLOGÍA DE ANÁLISIS .....                   | 9  |
| 6.1. | MODELO DE ELEMENTOS FINITOS.....                | 9  |
| 7.   | RESULTADOS.....                                 | 14 |
| 7.1. | ANÁLISIS DE LA BASE .....                       | 14 |
| 7.2. | ANÁLISIS DE LOS PATES .....                     | 16 |
| 7.3. | ANÁLISIS DE APLASTAMIENTO.....                  | 18 |
| 7.4. | ANÁLISIS DE COMPRESIÓN.....                     | 19 |
| 8.   | CONCLUSIONES .....                              | 21 |

|          |   |      |             |         |   |
|----------|---|------|-------------|---------|---|
| PROYECTO | ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LOS POZOS DE POLIETILENO D-800 Y D-1200 |      |             |         |   |
| TÍTULO   | ANÁLISIS MECÁNICO PARA JUSTIFICACIÓN ESTRUCTURAL                |      |             |         |   |
| CLIENTE  | RASED SANEAMIENTO S.A.  | REF. | DT-20162-04 | EDICIÓN | 2 |

## 1. INTRODUCCIÓN

El presente Documento Técnico recoge las tareas de análisis estructural realizadas para la comprobación de rigidez y resistencia de los diferentes componentes de la gama de depósitos fabricados con polietileno.

El objetivo del análisis es validar el comportamiento de los componentes de la gama de pozos de material plástico frente a las futuras acciones originadas por el terreno y las propias internas. Con esta finalidad se han estudiado dos depósitos, el de menor y el de mayor diámetro, siendo el diámetro menor 800 mm y el mayor 1200 mm.

Los análisis se han realizado empleando el método de los elementos finitos, para lo que se han generado los modelos simplificados correspondientes a partir de las geometrías CAD incluidas en **Ref. 1** y **Ref. 2**

El software de cálculo por elementos finitos empleado es MSC PATRAN y NASTRAN.

|          |   |      |             |         |   |
|----------|---|------|-------------|---------|---|
| PROYECTO | ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LOS POZOS DE POLIETILENO D-800 Y D-1200 |      |             |         |   |
| TÍTULO   | ANÁLISIS MECÁNICO PARA JUSTIFICACIÓN ESTRUCTURAL                |      |             |         |   |
| CLIENTE  | RASED SANEAMIENTO S.A.  | REF. | DT-20162-04 | EDICIÓN | 2 |

## 2. DOCUMENTOS DE REFERENCIA

- Ref. 1** Archivo CAD del depósito de 1200 mm: '*JORDI POZO D1200 3D.stp*'
- Ref. 2** Archivo CAD del depósito de 800 mm: '*Pozo D800 3d T-24.igs*'
- Ref. 3** Norma española UNE EN 13598-2:2017 'Sistemas de canalización en materiales plásticos para saneamientos y evacuación enterrados sin presión. Poli (cloruro de vinilo) no plastificado (PVC-U), polipropileno (PP) y polietileno (PE). Parte 2: especificaciones para los pozos de registro y arquetas de inspección.'
- Ref. 4** Norma DIN 16968-2:2019 'Thermoplastics pipes and fittings with profiled wall and smooth pipe inside –Part 2: Technical delivery specifications.'
- Ref. 5** Norma ISO 13266:2010 'Thermoplastics piping system for non-pressure underground drainage and sewerage. Thermoplastics shaft or risers for inspection chambers and manholes. Determination of resistance against surface and traffic loading.'
- Ref. 6** Norma EN ISO 9969 'Tubos de material termoplásticos, Calculo de la rigidez circunferencial.'
- Ref. 7** Ficha técnica Rotolene Industrial ing0516.pdf
- Ref. 8** Norma UNE EN 124 'Dispositivo de cubrimiento y de cierre para zonas de circulación utilizadas por peatones y vehículos. Principios de construcción, ensayos de tipo, marcado, control de calidad.'
- Ref. 9** DIN 16961-2 'Thermoplastics pipes and fittings with profiled outer and smooth inner surfaces.'
- Ref. 10** UNE EN 12556-1 'Pequeñas instalaciones de depuración de aguas residuales para poblaciones de hasta 50 habitantes equivalentes. Parte 1 Fosas sépticas prefabricadas'.

|          |   |      |             |         |   |
|----------|---|------|-------------|---------|---|
| PROYECTO | ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LOS POZOS DE POLIETILENO D-800 Y D-1200 |      |             |         |   |
| TÍTULO   | ANÁLISIS MECÁNICO PARA JUSTIFICACIÓN ESTRUCTURAL                |      |             |         |   |
| CLIENTE  | RASED SANEAMIENTO S.A.  | REF. | DT-20162-04 | EDICIÓN | 2 |

### 3. GENERALIDADES

#### Abreviaturas, acrónimos y símbolos

- $E$ : Módulo elástico
- $FEM$ : Modelo de Elementos Finitos
- $Fty$ : Tensión Límite de fluencia material (tracción)
- $Fcy$ : Tensión Límite de fluencia material (compresión)
- $Ftu$ : Tensión Última de rotura material
- $FF$ : fitting factor
- $\mu$ : coeficiente de Poisson
- $RF$ : Factor de Reserva
- $\sigma$ : Tensión axial aplicada
- $\sigma_{vonMises}$ : Tensión von Mises aplicada

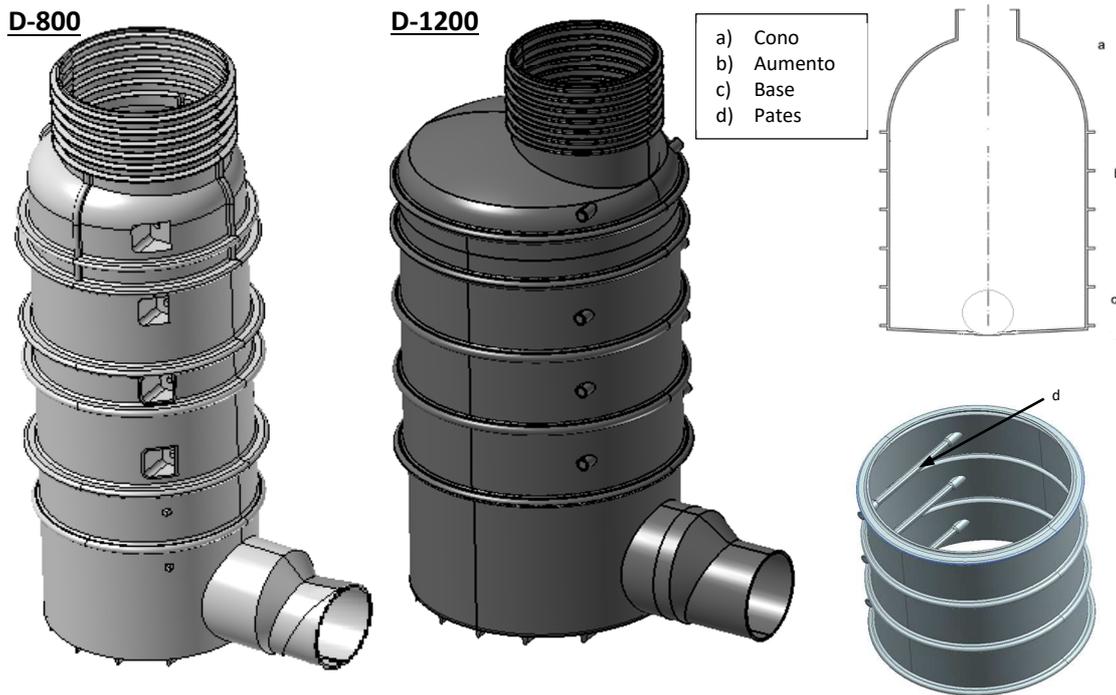
#### Unidades de medida

- Fuerzas: N
- Longitudes: mm
- Tensiones: MPa
- Masas: kg

|          |   |      |             |         |   |
|----------|---|------|-------------|---------|---|
| PROYECTO | ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LOS POZOS DE POLIETILENO D-800 Y D-1200 |      |             |         |   |
| TÍTULO   | ANÁLISIS MECÁNICO PARA JUSTIFICACIÓN ESTRUCTURAL                |      |             |         |   |
| CLIENTE  | RASED SANEAMIENTO S.A.  | REF. | DT-20162-04 | EDICIÓN | 2 |

**4. DESCRIPCIÓN DE LAS ESTRUCTURAS ANALIZADAS**

Las estructuras objeto de estudio **Ref. 1** y **Ref. 2** son los componentes de la carcasa exterior de los pozos (depósitos) de 800 mm (D-800) y 1200 mm (D-1200) de diámetro respectivamente, formados ambos por tramos y unidos entre si mediante soldadura. Quedan excluidos los componentes que lleven instalados en su interior. Los detalles de las estructuras se muestran en la siguiente figura.



**Figura 4-1** Descripción de la estructura del pozo.

Los depósitos de 11 mm de espesor cuentan con una altura total de 2800 mm el D-1200 y de 2400 mm el D-800, cota que se mide sin considerar el prolongador y la tapa. Los pozos disponen, para su entrada al interior, de pates rígidos recubierto de polietileno. Sus aumentos disponen de nervios circunferenciales.

El material empleado para la fabricación de los depósitos es un polietileno de media densidad a base de copolímero de hexeno, con marca registrada llamado Rotolene®. Las propiedades mecánicas del material empleado son facilitadas por la ficha técnica del material **Ref. 7** y por la relación de módulos elásticos de acuerdo con los de la norma DIN 16968-2 **Ref. 4**, son resumidas a continuación:

|                               |           |
|-------------------------------|-----------|
| Módulo de flexión, 1% secante | 758.5 MPa |
| Coefficiente de Poisson       | 0.454     |
| Límite de rotura              | 20.0 MPa  |
| Módulo de creep (50 años)     | 163.7 MPa |

**Tabla 4.1** Propiedades mecánicas del Polietileno de densidad media lineal de copolímero de hexeno.

|          |   |      |             |         |   |
|----------|---|------|-------------|---------|---|
| PROYECTO | ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LOS POZOS DE POLIETILENO D-800 Y D-1200 |      |             |         |   |
| TÍTULO   | ANÁLISIS MECÁNICO PARA JUSTIFICACIÓN ESTRUCTURAL                |      |             |         |   |
| CLIENTE  | RASED SANEAMIENTO S.A.  | REF. | DT-20162-04 | EDICIÓN | 2 |

## 5. ESPECIFICACIÓN DE ANÁLISIS

### 5.1. REQUISITOS MECÁNICOS

Las estructuras deberán soportar las cargas especificadas sin que las tensiones máximas en cualquier punto superen los límites admisibles del material, para ello, la relación entre el valor máximo admisible y las cargas aplicadas (RF) deberá ser superior a 1.0.

$$RF = \frac{F_{admisible}}{F_{aplicada}} > 1.0$$

No se ha considerado ningún factor de seguridad adicional.

Se ha comprobado que las deformaciones obtenidas cumplen con los requisitos indicados por la norma EN 13598-2 **Ref. 3** para cada componente.

### 5.2. CASOS DE CARGA

Se han analizado una serie de casos de carga para caracterizar la rigidez y resistencia de los depósitos y de los diferentes tramos:

- Análisis de la base: según norma EN 13598-2 **Ref. 3**, Tabla 3. Presión hacia el interior del depósito  $P = -0.1 \cdot H_w$  (bar), no deben aparecer fisuras ni colapsar.  
La norma añade una comprobación adicional: a 50 años las deformaciones verticales deben ser inferiores a 5% del diámetro exterior y las deformaciones horizontales al 10%.
- Análisis de los pates según norma EN 13598-2 **Ref. 3**, Tabla 4. Debe soportar una carga vertical de 1 kN, y una carga horizontal de 2 kN, sin deformaciones mayores a 10 mm, ni arrancamiento respectivamente. Las cargas se aplican de forma independiente.
- Análisis de aplastamiento: Cálculo de la rigidez circunferencial del depósito completo. El cálculo de la rigidez se obtiene según la norma EN ISO 9969 **Ref. 6**
- Análisis de compresión: Determinación de la resistencia del cono y de los componentes próximos a la superficie, según norma ISO 13266: 2010 **Ref. 5**

El detalle de las condiciones de contorno y de la aplicación de la carga se especifican en el apartado 6.1 del presente documento.

|          |   |      |             |         |   |
|----------|---|------|-------------|---------|---|
| PROYECTO | ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LOS POZOS DE POLIETILENO D-800 Y D-1200 |      |             |         |   |
| TÍTULO   | ANÁLISIS MECÁNICO PARA JUSTIFICACIÓN ESTRUCTURAL                |      |             |         |   |
| CLIENTE  | RASED SANEAMIENTO S.A.  | REF. | DT-20162-04 | EDICIÓN | 2 |

## 6. METODOLOGÍA DE ANÁLISIS

La comprobación de tensiones y deformaciones de la estructura se ha realizado mediante técnicas de análisis por elementos finitos, generando modelos matemáticos representativos de las diferentes piezas que componen las estructuras. A partir de estos, se obtendrán las tensiones a nivel global y las deformaciones resultantes.

Se considera comportamiento lineal del material.

### 6.1. MODELO DE ELEMENTOS FINITOS

Se ha generado dos modelos matemáticos, uno por depósito, empleando el código de elementos finitos MSC NASTRAN versión 2018. Los modelos se han generado a partir de las superficies medias de la geometría **Ref. 1** y **Ref. 2**, representando la rigidez estructural de la misma, empleando elementos placa tipo PSHELL y BEAM (según código NASTRAN). A continuación, se muestra el modelo de elementos finitos (FEM) generado.

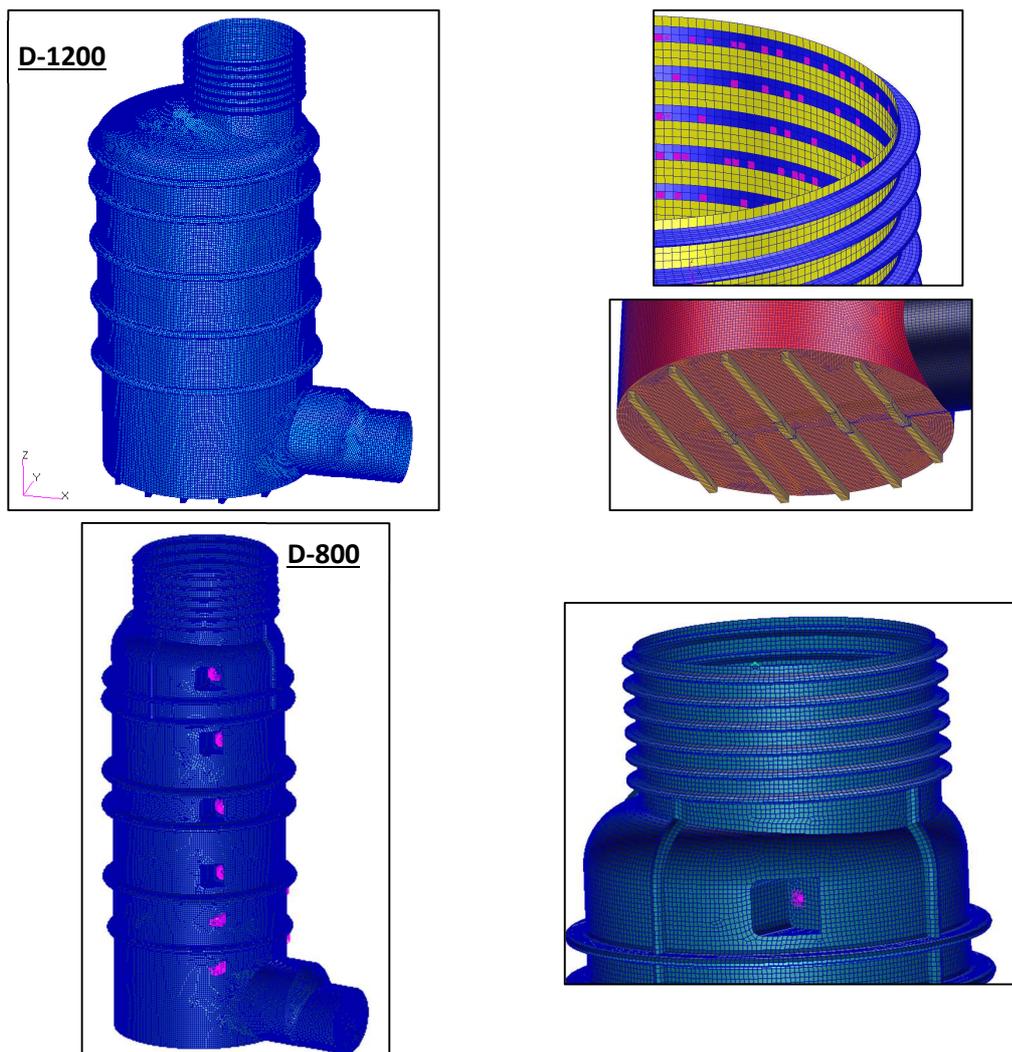


Figura 6-1 Modelos FEM de los depósitos.

|          |   |      |             |         |   |
|----------|---|------|-------------|---------|---|
| PROYECTO | ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LOS POZOS DE POLIETILENO D-800 Y D-1200 |      |             |         |   |
| TÍTULO   | ANÁLISIS MECÁNICO PARA JUSTIFICACIÓN ESTRUCTURAL                |      |             |         |   |
| CLIENTE  | RASED SANEAMIENTO S.A.  | REF. | DT-20162-04 | EDICIÓN | 2 |

El espesor asignado es de 11 mm para todo el depósito. El tamaño medio de elemento empleado es de 10 mm de lado. La tabla siguiente muestra la dimensión global del modelo del depósito completo.

| <i>Modelo</i>                  | <i>D-800</i> | <i>D-1200</i> |
|--------------------------------|--------------|---------------|
|                                | Cantidad     | Cantidad      |
| <i>Nodos</i>                   | 99391        | 141668        |
| <i>Elementos TRIA (PSHELL)</i> | 78           | 7             |
| <i>Elementos QUAD (PSHELL)</i> | 99143        | 123332        |
| <i>Elementos BAR (BEAM)</i>    | 579          | 493           |

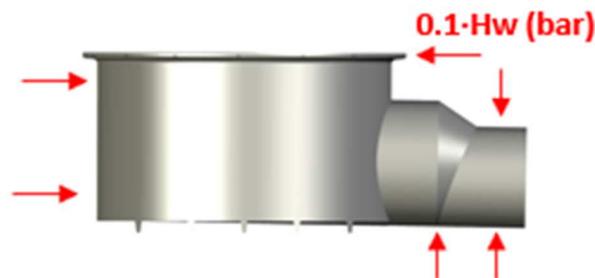
**Tabla 6.1** Elementos modelos FEM.

Los modelos de elementos finitos realizados satisfacen los requisitos mínimos de calidad de malla impuestos por COMET INGENIERÍA.

Para cada caso de carga se ha utilizado la sección del modelo a analizar, generando las condiciones de contorno y cargas adecuadas para cumplir las consideraciones que impone la norma a aplicar. A continuación, se describen las cargas y las condiciones de contorno para cada análisis realizado.

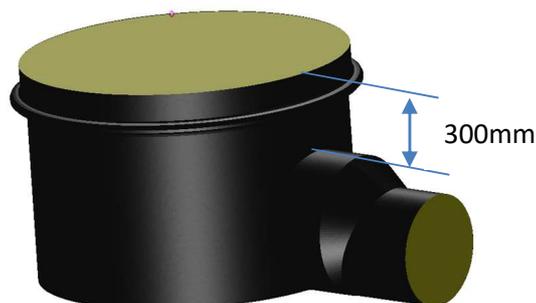
#### **Análisis de la base:**

Cálculos realizados según la norma EN 13598-2 Ref. 3, Tabla 3. Presión aplicada hacia el interior del depósito  $P = -0.1 \cdot H_w$  bar, siendo  $H_w$  equivalente a máxima profundidad del nivel freático sobre la lámina de agua. En el análisis se obtendrá el máximo valor de  $H_w$  para que no aparezcan grietas ni fisuras



**Figura 6-2** Presión aplicada a la muestra.

La altura de la muestra es de 300 mm sobre el canal principal, estando las entradas, salidas y la parte superior selladas, se han considerado tapas de 1 mm de espesor para tener poca influencia en los resultados.



**Figura 6-3** Dimensiones del modelo FEM de la muestra (base).

|          |   |      |             |         |   |
|----------|---|------|-------------|---------|---|
| PROYECTO | ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LOS POZOS DE POLIETILENO D-800 Y D-1200 |      |             |         |   |
| TÍTULO   | ANÁLISIS MECÁNICO PARA JUSTIFICACIÓN ESTRUCTURAL                |      |             |         |   |
| CLIENTE  | RASED SANEAMIENTO S.A.  | REF. | DT-20162-04 | EDICIÓN | 2 |

Como condición de contorno se ha establecido el empotramiento en los nervios de la cara inferior.

La norma añade que a 50 años las deformaciones verticales deben ser inferiores a 5% del diámetro exterior y las deformaciones horizontales inferior al 10% del diámetro. Para el modelo, se utiliza la misma relación del módulo de rigidez del PE entre 24 horas y 50 años que emplea la norma DIN 16961-2: 2000-03, Tabla 2.Ref. 9

**Análisis de los pates:**

Cálculos realizados según la norma EN 13598-2 Ref. 3, Tabla 4. Carga aplicada sobre el centro del pate, 1 kN vertical y 2 kN horizontal, aplicadas de forma independiente.



Figura 6-4 Cargas aplicadas a la muestra.

Se ha considerado únicamente la parte metálica de los pates, siendo un tubo macizo de sección cuadrada y lado 23 mm. El material utilizado es acero cuyo modulo elástico es 210000 MPa.

Como condición de contorno se ha establecido el empotramiento en los nervios de la cara inferior.

**Análisis de aplastamiento:**

Se dispone de los pozos completos colocado en posición horizontal, de manera que el tubo de salida quede centrado en altura. Para evitar el refuerzo de la estructura producida por los pates, han sido eliminados del modelo. La carga se aplica en la parte superior central, estando su parte inferior central apoyada, la zona afectada mide 560 mm para D-800 y 700 mm para D-1200, contienen dos nervios, ver imagen contigua. La carga se aplica hasta alcanzar una deformación del 3% de su diámetro.

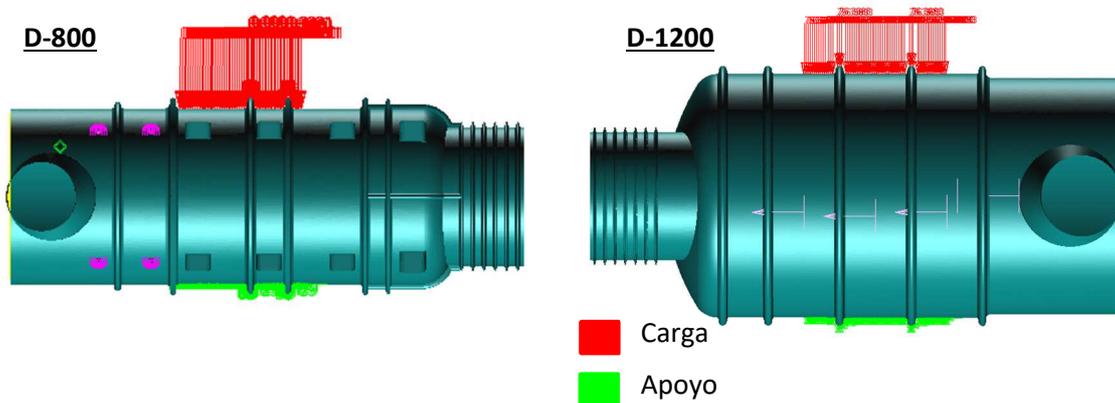


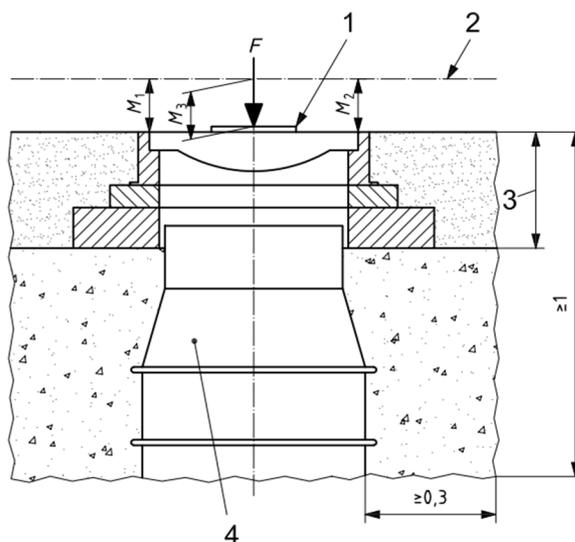
Figura 6-5 Condiciones de contorno para los análisis de aplastamiento.

|          |   |      |             |         |   |
|----------|---|------|-------------|---------|---|
| PROYECTO | ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LOS POZOS DE POLIETILENO D-800 Y D-1200 |      |             |         |   |
| TÍTULO   | ANÁLISIS MECÁNICO PARA JUSTIFICACIÓN ESTRUCTURAL                |      |             |         |   |
| CLIENTE  | RASED SANEAMIENTO S.A.  | REF. | DT-20162-04 | EDICIÓN | 2 |

### Análisis de compresión:

Cálculos realizados según la norma EN-13598-2 **Ref. 3**, Tabla 6. Carga aplicada sobre los elementos próximos a la superficie. La carga se aplica según indica en las normas ISO 13266 **Ref. 5** y UNE EN 124 **Ref. 8**.

La norma ISO 13266 **Ref. 5** indica que se tiene que realizar el análisis sobre una muestra de altura mínima 1 metro, enterrada en tierra compacta con un espacio libre mínimo de 300 mm.



**Figura 6-6** Condiciones de contorno para el análisis de compresión.

El ensayo debe incluir cualquier componente o detalle de montaje recomendado. En este caso, se considera una losa de hormigón armado en la parte superior donde va instalada la tapa de registro.

En los análisis se considera que la losa de hormigón transmite la fuerza directamente al terreno en forma de presión uniforme. La presión obtenida depende directamente de las dimensiones de la losa a instalar. De manera conservativa, la presión se aplica directamente sobre la cara externa del depósito, sin considerar reducción de la carga por profundidad, ni por el acomodamiento del terreno.

Se han estudiado dos escenarios posibles:

- Losa de 300 mm de amplitud, con el objetivo de alcanzar la categoría B correspondiente a aceras, zonas peatonales y superficies similares, áreas de estacionamiento y aparcamiento de varios pisos de vehículos. La carga indicada según la norma ISO 13266 **Ref. 5** para la categoría B es de 50kN.
- Losa de 600 mm de amplitud, con el objetivo de alcanzar la categoría D, correspondiente a calzadas de carretera (incluyendo calles peatonales), arcenes estabilizados y zonas de aparcamiento para todo tipo de vehículos. La carga indicada según la norma ISO 13266 **Ref. 5** para la categoría D es de 100kN.

Los cálculos con estas dimensiones de losas son válidos para depósitos cuyas salidas del canal principal queden por debajo de la altura completa de análisis (1.3 metros), para los casos en que no se cumpla esta condición las losas deben de ser aumentadas en 50 mm.

|          |   |      |             |         |   |
|----------|---|------|-------------|---------|---|
| PROYECTO | ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LOS POZOS DE POLIETILENO D-800 Y D-1200 |      |             |         |   |
| TÍTULO   | ANÁLISIS MECÁNICO PARA JUSTIFICACIÓN ESTRUCTURAL                |      |             |         |   |
| CLIENTE  | RASED SANEAMIENTO S.A.  | REF. | DT-20162-04 | EDICIÓN | 2 |

Remarcar que las características finales de la losa de cubrición y de sus apoyos debe ser determinada por el técnico competente según las cargas a soportar, el tipo de terreno, la profundidad de instalación etc. Esta información quedará recogida en el informe final del proyecto técnico de instalación.

Adicionalmente se incluye también la carga propia del terreno, carga que soportaría el depósito enterrado de forma natural sin la aplicación de ninguna carga externa. La carga del terreno ha sido obtenida de la aplicación de la norma UNE EN 12566-1, **Ref. 10** en su apartado 5.2.1 Cargas de relleno. A continuación, se describen las cargas del terreno aplicadas.

- Componente horizontal (Plano XY): presión variable con la profundidad

$$P_h = K \cdot D \cdot 18 \quad (\text{en } \text{KN} / \text{m}^2)$$

Donde:

18 kN/m<sup>3</sup> es el peso específico del terreno.

$D$ , es la distancia entre el nivel del suelo y el punto de aplicación de la carga

$K$ , es el coeficiente del ángulo interno de fricción de suelo; se escoge el valor de 0.33 que corresponde a materiales de arena, por ser el material indicado para el ensayo.

Componente vertical (Eje Z): presión actuando sobre todas aquellas superficies horizontales.

$$P_v = h \cdot 18 \quad (\text{en } \text{KN} / \text{m}^2)$$

Donde:

18 kN/m<sup>3</sup> es el peso específico del terreno.

$h$ , es la profundidad del relleno medido desde la parte superior.

La resultante de todas las cargas de relleno aplicadas sobre las paredes del depósito se muestra a continuación:

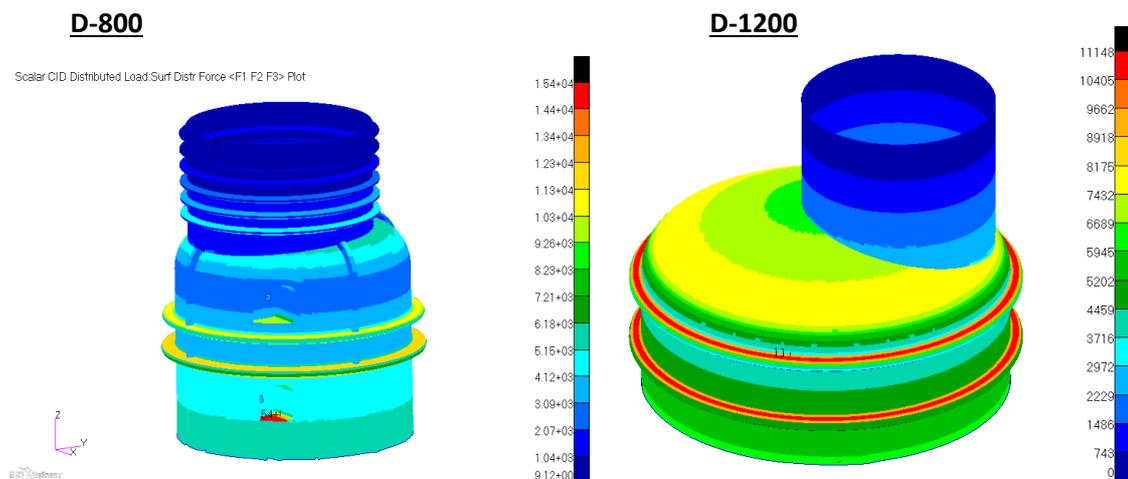


Figura 6-7 Resultante de las cargas del relleno (Pa).

|          |   |      |             |         |   |
|----------|---|------|-------------|---------|---|
| PROYECTO | ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LOS POZOS DE POLIETILENO D-800 Y D-1200 |      |             |         |   |
| TÍTULO   | ANÁLISIS MECÁNICO PARA JUSTIFICACIÓN ESTRUCTURAL                |      |             |         |   |
| CLIENTE  | RASED SANEAMIENTO S.A.  | REF. | DT-20162-04 | EDICIÓN | 2 |

## 7. RESULTADOS

Se presentan a continuación los resultados de los casos de carga descritos.

### 7.1. ANÁLISIS DE LA BASE

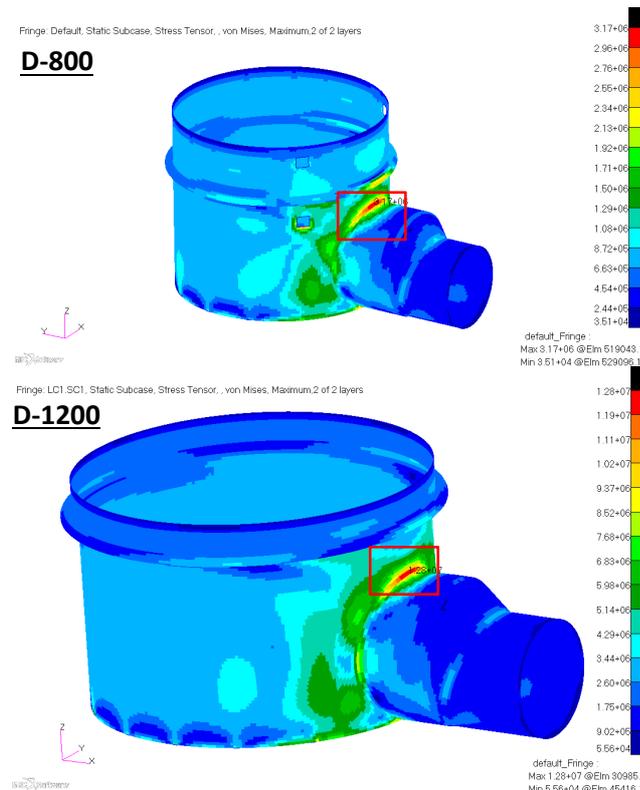
#### Resultados de tensiones

Los datos obtenidos validan las bases para la máxima  $H_w$  que indica la norma (5 m), así los valores mostrados corresponden a una presión soportada de 50000 Pa (-0.5 bar).

La validación de resistencia la estructura se realizó siguiendo el *criterio de von Mises*, comprobando que en ningún punto de la estructura la tensión obtenida supera la máxima tensión admisible del material, tomando ésta como el límite elástico de 20.0 MPa (ver Tabla 4.1).

$$RF = \frac{\sigma_{admisible}}{\sigma_{von Mises}}, \sigma_{admisible} = 20.0 \text{ MPa}$$

La imagen siguiente muestra la distribución de tensiones von Mises en las bases. El valor máximo obtenido es de 12.8 MPa para el depósito D1200, localizado en la zona de interfaz del tubo de salida con la base.



**Figura 7-1** Tensiones de von Mises en elementos placa (N/mm<sup>2</sup>).

$$RF = \frac{\sigma_{admisible}}{\sigma_{von Mises}} = \frac{20.0}{12.8} = 1.56 > 1.0$$

Las tensiones obtenidas son inferiores a la tensión de fluencia del material por lo que no se produce el colapso ni la aparición de fisuras, cumpliendo así con el requisito de la norma EN 13598-2 **Ref. 3**.

|          |   |      |             |         |   |
|----------|---|------|-------------|---------|---|
| PROYECTO | ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LOS POZOS DE POLIETILENO D-800 Y D-1200 |      |             |         |   |
| TÍTULO   | ANÁLISIS MECÁNICO PARA JUSTIFICACIÓN ESTRUCTURAL                |      |             |         |   |
| CLIENTE  | RASÉD SANEAMIENTO S.A.  | REF. | DT-20162-04 | EDICIÓN | 2 |

Adicionalmente, se evalúa la deformada de la base crítica D-1200 con el módulo elástico modificado a 50 años, dando una deformación de 24.9 mm en vertical y de 54.7 mm en horizontal. Por tanto, la base cumple con el requisito de creep.

*Deformacion vertical a 50 años = 24.9 mm ≤ 60 mm = 0.05 Dexterior*

*Deformacion horizontal a 50 años = 54.7 mm ≤ 120 mm = 0.1 Dexterior*

Deform: LC1.SC1. Stelic Subcase. Displacements, Translational. (NON-LAYERED)



**Figura 7-2** Deformaciones en la base (m), Material 50 años.

|          |   |      |             |         |   |
|----------|---|------|-------------|---------|---|
| PROYECTO | ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LOS POZOS DE POLIETILENO D-800 Y D-1200 |      |             |         |   |
| TÍTULO   | ANÁLISIS MECÁNICO PARA JUSTIFICACIÓN ESTRUCTURAL                |      |             |         |   |
| CLIENTE  | RASED SANEAMIENTO S.A.  | REF. | DT-20162-04 | EDICIÓN | 2 |

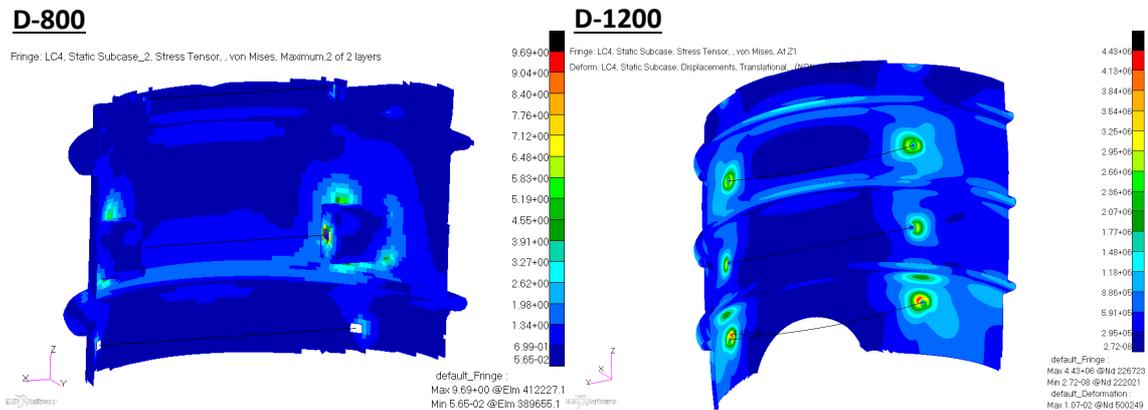
## 7.2. ANÁLISIS DE LOS PATES

### Carga horizontal

La verificación de resistencia frente el arrancamiento del pate se evalúa con la carga horizontal, comprobando la resistencia la estructura con el *criterio de von Mises*, comprobando que en ningún punto de la estructura la tensión obtenida supera la máxima tensión admisible del material, tomando ésta como el límite elástico de 20.0 MPa (ver Tabla 4.1).

$$RF = \frac{\sigma_{admissible}}{\sigma_{von Mises}}, \sigma_{admissible} = 20.0 \text{ MPa}$$

La imagen siguiente muestra la distribución de tensiones von Mises en la base. El valor máximo obtenido es de 9.69 MPa producido en el depósito de D-800.



**Figura 7-3** Tensiones de von Mises en la zona de anclaje del pate (N/m<sup>2</sup>), carga horizontal (2 kN).

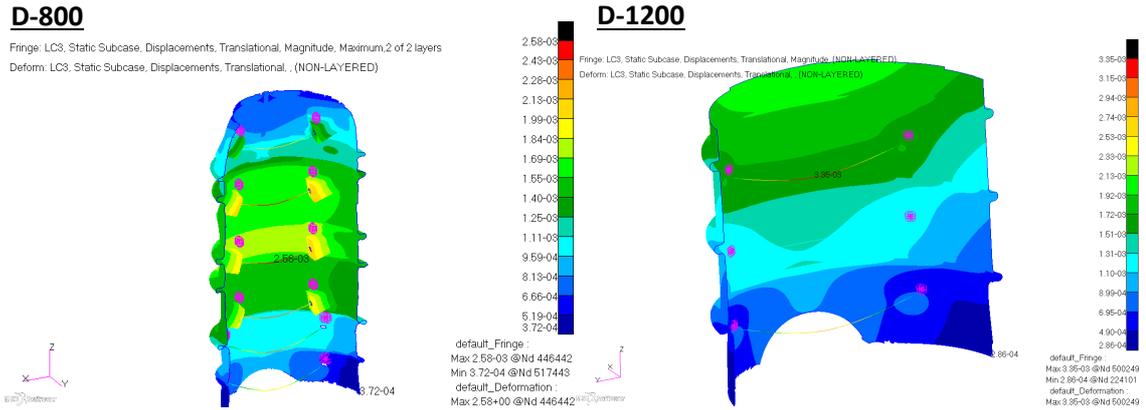
$$RF = \frac{\sigma_{admissible}}{\sigma_{vonMises}} = \frac{20.0}{9.7} = 2.06 > 1.0$$

Las tensiones obtenidas son inferiores a la tensión de fluencia del material por lo que no se produce el arrancamiento del pate, cumpliendo así con el requisito de la norma EN-13598-2 **Ref. 3**.

|          |   |      |             |         |   |
|----------|---|------|-------------|---------|---|
| PROYECTO | ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LOS POZOS DE POLIETILENO D-800 Y D-1200 |      |             |         |   |
| TÍTULO   | ANÁLISIS MECÁNICO PARA JUSTIFICACIÓN ESTRUCTURAL                |      |             |         |   |
| CLIENTE  | RASED SANEAMIENTO S.A.  | REF. | DT-20162-04 | EDICIÓN | 2 |

**Carga vertical**

El máximo desplazamiento frente a la carga vertical debe ser inferior a 10 mm durante la aplicación de la carga y de 5 mm una vez retirada. La siguiente imagen muestra la deformada y la máxima deformación alcanzada.



**Figura 7-4** Deformaciones en el pate(m), carga vertical (1 kN).

La deformación máxima se produce para el depósito D-1200 en el pate intermedio con un desplazamiento total cercano a 3.35 mm, este desplazamiento es menor al exigido por la norma una vez retirada la carga, por lo que ambos cumplen con el requisito.

|          |   |      |             |         |   |
|----------|---|------|-------------|---------|---|
| PROYECTO | ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LOS POZOS DE POLIETILENO D-800 Y D-1200 |      |             |         |   |
| TÍTULO   | ANÁLISIS MECÁNICO PARA JUSTIFICACIÓN ESTRUCTURAL                |      |             |         |   |
| CLIENTE  | RASED SANEAMIENTO S.A.  | REF. | DT-20162-04 | EDICIÓN | 2 |

### 7.3. ANÁLISIS DE APLASTAMIENTO

De acuerdo con la norma EN 13598-2 **Ref. 3**, la rigidez mínima de la probeta del aumento debe ser mayor a  $2 \text{ kN/m}^2$

Nota: Hay que destacar la variación que puede existir entre ensayos sobre probetas tal y como indica la norma EN 13598-2 **Ref. 3** y la realización del ensayo de aplastamiento sobre todo el pozo, donde el aumento de la rigidez anular también depende de la propia estructura del pozo.

En el depósito completo D-1200, el valor de la carga necesario para para alcanzar una deformación del 3% (35 mm) es de 3.07 kN. El cálculo de la rigidez anular se hace según la norma UNE EN 9969 **Ref. 6**, considerando la distancia de aplicación de la carga (700 mm), se obtiene una rigidez de  $2.43 \text{ kN/m}^2$ .

En el depósito completo D-800, el valor de la carga necesario para para alcanzar una deformación del 3% (24 mm) es de 1.43 kN. El cálculo de la rigidez anular se hace según la norma UNE EN 9969 **Ref. 6**, considerando la distancia de aplicación de la carga (560 mm), se obtiene una rigidez de  $2.06 \text{ kN/m}^2$ .

Como muestran los resultados el depósito D-800 es más sensible al aplastamiento que el D-1200, esto se debe principalmente a la diferencia de la geometría de sus nervios y a la distribución (distancia entre nervios).

**D-800** Deform: Complet. Static Subcase, Displacements, Translational, . (NON-LAYERED)



**Figura 7-5** Deformaciones en el depósito D-800 (m), carga vertical (1.43 kN).

**D-1200** Deform: LC1 SC2, Static Subcase, Displacements, Translational, . (NON-LAYERED)



**Figura 7-6** Deformaciones en el depósito D-1200 (m), carga vertical (3.07 kN).

|          |   |      |             |         |   |
|----------|---|------|-------------|---------|---|
| PROYECTO | ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LOS POZOS DE POLIETILENO D-800 Y D-1200 |      |             |         |   |
| TÍTULO   | ANÁLISIS MECÁNICO PARA JUSTIFICACIÓN ESTRUCTURAL                |      |             |         |   |
| CLIENTE  | RASED SANEAMIENTO S.A.  | REF. | DT-20162-04 | EDICIÓN | 2 |

#### 7.4. ANÁLISIS DE COMPRESIÓN.

El análisis de compresión sirve para evaluar la capacidad de carga del cono del depósito y de los elementos próximos a la superficie, determinado que categoría alcanza dentro de los rangos indicados por la norma ISO 13266 **Ref. 5**.

La verificación de resistencia se evalúa comprobando la resistencia la estructura con el *criterio de von Mises*, comprobando que en ningún punto de la estructura la tensión obtenida supera la máxima tensión admisible del material, tomando ésta como el límite elástico de 20.0 MPa (ver Tabla 4.1).

$$RF = \frac{\sigma_{admisible}}{\sigma_{von Mises}}, \sigma_{admisible} = 20.0 \text{ MPa}$$

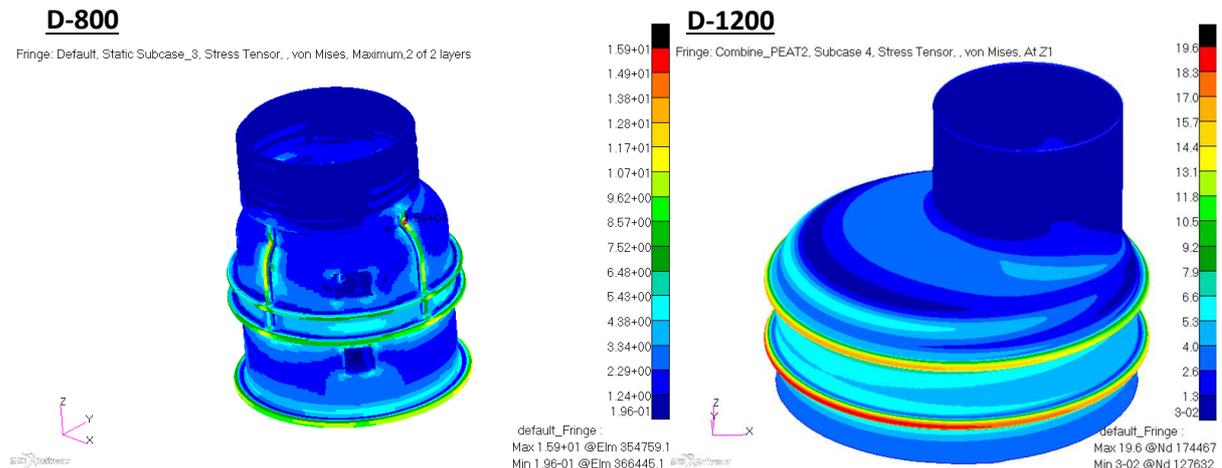
**Escenario 1:** Losa de 300mm de amplitud con carga de 50kN correspondiente a la categoría B

La presión obtenida para la losa de 300 mm de amplitud es de 46246 Pa, presión aplicada de forma conservativa a toda la muestra de ensayo por igual, a la que se añade la presión debida al terreno indicada en la descripción del análisis de compresión, incluida en el apartado 6.1

La tensión máxima se obtiene en el depósito D-1200 siendo 19.6 MPa, no alcanzándose la tensión de fluencia del material por lo que no se produce el colapso ni la aparición de fisuras, cumpliendo así con el requisito de la norma EN 13598-2 **Ref. 3**. Por tanto, se puede afirmar que para una losa de estas dimensiones se supera la categoría B (50 kN).

$$RF = \frac{\sigma_{admisible}}{\sigma_{von Mises}} = \frac{20}{19.6} = 1.02$$

La siguiente imagen muestra el campo de tensiones obtenido en el análisis.



**Figura 7-7** Tensiones de von Mises en elementos placa (N/mm<sup>2</sup>). Escenario 1.

**Escenario 2:** Losa de 600mm de amplitud con carga de 100kN correspondiente a la categoría D.

La presión obtenida para la losa de 600 mm de amplitud es de 43740 Pa, presión aplicada de forma conservativa a toda la muestra de ensayo por igual, a la que se añade la presión debida al terreno indicada en la descripción del análisis de compresión, que se incluye en el apartado 6.1

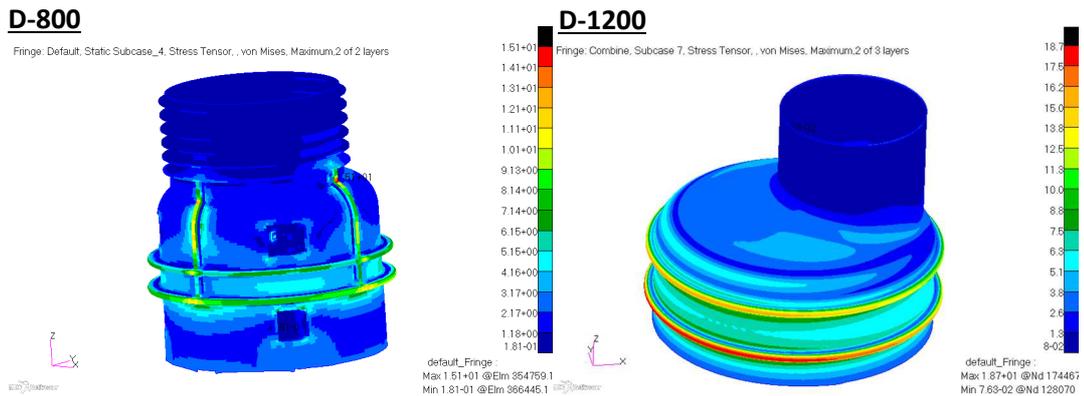
La tensión máxima se obtiene en el depósito D-1200 siendo 18.7 MPa, no alcanzándose la tensión de fluencia del material por lo que no se produce el colapso ni la aparición de fisuras, cumpliendo así con

|          |   |      |             |         |   |
|----------|---|------|-------------|---------|---|
| PROYECTO | ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LOS POZOS DE POLIETILENO D-800 Y D-1200 |      |             |         |   |
| TÍTULO   | ANÁLISIS MECÁNICO PARA JUSTIFICACIÓN ESTRUCTURAL                |      |             |         |   |
| CLIENTE  | RASED SANEAMIENTO S.A.  | REF. | DT-20162-04 | EDICIÓN | 2 |

el requisito de la norma EN 13598-2 **Ref. 3**. Por tanto, se puede afirmar que para una losa de estas dimensiones se supera la categoría D (100 kN).

$$RF = \frac{\sigma_{admissible}}{\sigma_{von Mises}} = \frac{20}{18.7} = 1.07$$

La siguiente imagen muestra el campo de tensiones obtenido en el análisis.



**Figura 7-8** Tensiones de von Mises en elementos placa (N/mm<sup>2</sup>). Escenario 2

Nota: para los análisis de compresión se ha determinado el área de las losetas con la finalidad de cumplir con el ensayo indicado en la norma EN 13598-2 **Ref. 3**. La distribución del área obtenida, las características finales de la losa de cubrición y de sus apoyos debe ser determinada por el técnico competente según las cargas a soportar, el tipo de terreno, la profundidad de instalación etc.

|          |   |      |             |         |   |
|----------|---|------|-------------|---------|---|
| PROYECTO | ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LOS POZOS DE POLIETILENO D-800 Y D-1200 |      |             |         |   |
| TÍTULO   | ANÁLISIS MECÁNICO PARA JUSTIFICACIÓN ESTRUCTURAL                |      |             |         |   |
| CLIENTE  | RASED SANEAMIENTO S.A.  | REF. | DT-20162-04 | EDICIÓN | 2 |

## 8. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos de los análisis realizados determinan que:

- La base crítica corresponde al D-1200 y cumple con los requisitos establecidos en la norma EN 13598-2 **Ref. 3**.
- Los pates D-1200 son críticos frente a la deformación mientras que los pates D-800 son críticos frente a las tensiones, ambos cumplen con los requisitos establecidos en la norma EN 13598-2 **Ref. 3**.
- El depósito D-1200 completo tiene una rigidez anular de 2.43 kN/m<sup>2</sup> y el depósito D-800 tiene una rigidez anular de 2.06 kN/m<sup>2</sup>.
- Los conos y los elementos próximos a la superficie, debido a su resistencia a compresión, alcanzan la categoría B instalando una losa de 300 mm de anchura y la categoría D para una losa de amplitud 600 mm, según lo establecido en la norma ISO 13266 **Ref. 5**, referenciada para tal propósito en la norma EN 13598-2 **Ref. 3**.

Con las comprobaciones realizadas se puede afirmar que toda la gama de depósitos semejantes, comprendidos entre los diámetros 800 mm y 1200 mm, cumplen con los requisitos de la norma EN 13598-2 respecto los ensayos de base crítica, cargas en los pates y compresión de elementos próximos a la superficie.