

ESCONDIDA | BHP

**“ANALISIS ESTRUCTURAL METODO POR ELEMENTOS FINITOS
ESTANQUE DE ACIDO TK-2
CATODOS, MINERA ESCONDIDA LTDA.”**

**MEMORIA DE CÁLCULO
CC18-S-CAT-MC-09
OS N°4507781150**

CAD CAE INGENIERIA LTDA.
Avda. Balmaceda 2472 Piso 12
Antofagasta. Fono 55 2 263814
www.cad-cae.com

REVISIÓN:
FECHA:


CAD CAE INGENIERIA LTDA.
RUT: 76.028.440 - 8
AVDA. BALMACEDA 2472 Of. 121
ANTOFAGASTA - FONONO: (055) 2263814

REV.	FECHA	POR	CHK	APROB.	DESCRIPCION
A	20.AGO.19	Y.E.CH.	P.C.T.	H.L.L.	REVISION INTERNA
B	03.NOV.19	Y.E.CH.	P.C.T.	H.L.L.	PARA COMENTARIOS DEL CLIENTE
0	12.DIC.19	Y.E.CH.	P.C.T.	H.L.L.	APROBACION CLIENTE

INDICE

1	RESUMEN EJECUTIVO	3
2	INTRODUCCION	4
3	OBJETIVOS	5
4	ALCANCES	5
5	ANTECEDENTES.....	6
	5.1 DESCRIPCION DEL EQUIPO	6
	5.2 DOCUMENTOS.....	9
	5.3 PLANOS	9
	5.4 MATERIALES	9
	5.5 CRITERIOS DE VERIFICACION.....	10
	5.6 NORMAS Y CODIGOS	10
	5.7 VALORES ADMISIBLES	11
	5.8 VISITA A TERRENO	12
	5.8.1 REGISTRO FOTOGRÁFICO	12
	5.8.2 HALLAZGOS CONDICIÓN ESTRUCTURAL.....	13
	5.8.3 DATOS OPERACIONALES	14
6	METODOLOGIA DE TRABAJO.....	15
	6.1 CASO ANALIZADO: CONDICION ACTUAL	15
	6.2 MODELO COMPUTACIONAL	17
	6.3 ENMALLADO.....	18
	6.3 CONDICIONES DE BORDE	20
	6.4 CARGAS CONSIDERADAS	21
	6.4.1 CARGAS MUERTAS (D)	21
	6.4.2 CARGAS VIVAS (L)	21
	6.4.3 CARGAS DEBIDA AL FLUIDO (F).....	21
	6.4.4 CARGAS DE SISMO (E).....	23
	6.4.5 CARGAS DE VIENTO (W).....	26
	6.4.6 CARGAS DE NIEVE (S)	27
	6.5 COMBINACION DE CARGAS	27
7	RESULTADOS	28
	7.1 COMBINACION DE CARGA D+L+F+E	28
	7.2 COMBINACIÓN DE CARGA D + L + F + W	29
	7.3 VERIFICACIÓN DE DEFORMACIONES.....	32
	7.4 VERIFICACION DE RESISTENCIA.....	32
8	CONCLUSIONES	33
9	RECOMENDACIONES	34
10	ANEXOS.....	36

1 RESUMEN EJECUTIVO

En el marco del contrato “Memorias de Cálculo por Elementos Finitos”, Minera Escondida Ltda., en adelante Escondida, ha encargado a la Empresa CAD CAE Ingeniería Ltda. realizar un análisis estructural, a través del método de elementos finitos, para evaluar la probabilidad de una eventual falla “Catastrófica” de sus activos críticos. En este contexto, el presente informe da cuenta de los resultados obtenidos del análisis realizado a la estructura metálica del estanque que almacena ácido sulfúrico, TK-2. Este equipo forma parte del Área Húmeda de la Planta de Cátodos.

Para este activo, se evaluó la posibilidad de ocurrencia de una falla del tipo colapso estructural mediante una verificación de ingeniería, para lo cual se consideraron todos los antecedentes proporcionados por Escondida, y la información obtenida en terreno.

Los antecedentes utilizados para el estudio fueron los planos de fabricación de las estructuras del estanque TK-2, criterios de diseño Escondida, Normativa Chilena vigente y datos de operación.

Para llevar a cabo el análisis se realizó un modelo estructural representativo de la estructura del TK-2 en el Software Ansys v. R17, con el cual se obtuvieron los esfuerzos y deformaciones de la estructura, posteriormente se procede a verificar los elementos a través del método ASD.

De acuerdo a los resultados obtenidos, se puede determinar que la estructura cumple con las solicitaciones externas a las cuales es sometida de manera permanente o eventual. Las tensiones de trabajo de la estructura son inferiores a los valores admisibles recomendadas por la normativa vigente.

En particular, para la condición de cargas de operación se obtienen tensiones de trabajo en el manto en torno de 73 [MPa] que se compara con tensiones admisibles de 160 [MPa] de acuerdo con Norma API 650. Esta condición permite validar la resistencia estructural por corrosión, pandeo del manto superior por viento y sismo. Para el sistema de anclaje se obtienen tensiones de 136 [MPa], valor inferior al de la tensión admisible de 160 [MPa].

A partir de lo anterior, se establece que el activo cumple con las exigencias y directrices de la Norma API 650 y con el criterio de diseño de Escondida, por lo que el estanque puede seguir operando en condiciones seguras desde el punto de vista estructural, atendiendo las recomendaciones preventivas ante fallas de pandeo del manto por vacío, fractura de la soldadura del manto a piso y conexiones entre tuberías y paredes del manto, ver la sección N° 9.

2 INTRODUCCION

Minera Escondida Limitada, en adelante Escondida, está ubicada en el Norte de Chile, a 170 [km] al Sureste de la ciudad de Antofagasta, a 3.100 [m] sobre el nivel del mar. Su operación comenzó en 1990, y se basa en la producción de concentrado de cobre, mediante el proceso de flotación y cátodos de cobre, mediante los procesos de lixiviación.

Su infraestructura, consiste en dos Minas a rajo abierto, tres Plantas Concentradoras, una Planta de Cátodos y dos Mineroductos, que transportan el Concentrado de Cobre desde la Mina hasta la Planta de Filtros ubicada junto al Muelle de Puerto Coloso, en Antofagasta.

Escondida, a través de su Gerencia de Ingeniería integrada, ha solicitado a la Empresa CAD CAE Ingeniería Ltda. realizar un análisis de integridad estructural, a través del método de elementos finitos, de sus activos críticos denominados “Asset Integrity”.

En este informe se entregan los resultados y conclusiones del análisis realizado al estanque TK-2 (descarga de ácido desde el Ferrocarril) de la Planta de Cátodos.

El estanque tiene un diámetro de 21 [m] y una altura de 8 [m]. Este es un equipo que sirve para almacenar y distribuir ácido sulfúrico de una concentración del 96% al proceso. El ácido es recibido de la descarga de carros-estanques del ferrocarril y de camiones a través de un manifold de distribución. El estanque TK-2 está ubicado junto a su “gemelo”, el estanque TK-3, ambos tienen la misma capacidad y se encuentran confinados dentro de un pretil de seguridad con capacidad de 6.100 [m³] con una pendiente de piso de 1%.



Figura N° 1: Ubicación del estanque de ácido TK-2, Planta SX Óxidos.

3 OBJETIVOS

El objetivo de este estudio es verificar la integridad estructural del Estanque TK-2 de ácido sulfúrico bajo las condiciones de operación actual. Para ello se realizó una Memoria de Cálculo mediante el Método de los Elementos Finitos, en la que se analizaron las siguientes condiciones estructurales:

- Pérdida de resistencia estructural por corrosión.
- Pandeo del manto superior causado por ráfagas de viento.
- Pandeo del manto inferior causado por sismo.
- Pandeo del manto por vacío.
- Falla en el sistema de anclaje.
- Estabilidad estructural para cargas operacionales, viento y sismo.

4 ALCANCES

El alcance del estudio contempla el análisis del manto, piso, techo y sistema de anclaje del Estanque TK-2 de ácido sulfúrico. Para esto se consideraron las cargas muertas, cargas vivas, carga de viento, carga de nieve y carga de sismo combinadas de acuerdo con la Norma API Standard 650 "Welded Steel Tanks for Oil Storage", normas chilenas y criterios de diseño estructural de Escondida.

Quedan excluidas del análisis la verificación de fundaciones, fallas por incendio y fallas por condiciones de operación.

5 ANTECEDENTES

5.1 DESCRIPCION DEL EQUIPO

Las principales características del estanque de ácido N°2 son:

- TAG : 440-5TAA-015 (TK-2)
- Área : Cátodos
- Vendor : Fluor Daniel
- Año de Inicio de operación : 1998
- Diámetro : 21 [m]
- Altura : 8 [m]
- Capacidad (volumen) : 2.771 [m³]
- Volumen acido : 2.598 [m³]
- Presión de diseño : Atmosférica
- Temperatura de trabajo : 27 [°C]
- Producto almacenado : Ácido sulfúrico
- Concentración : 96%
- Densidad acido : 1.840 [kg/m³]
- Inclinación del techo : 5°

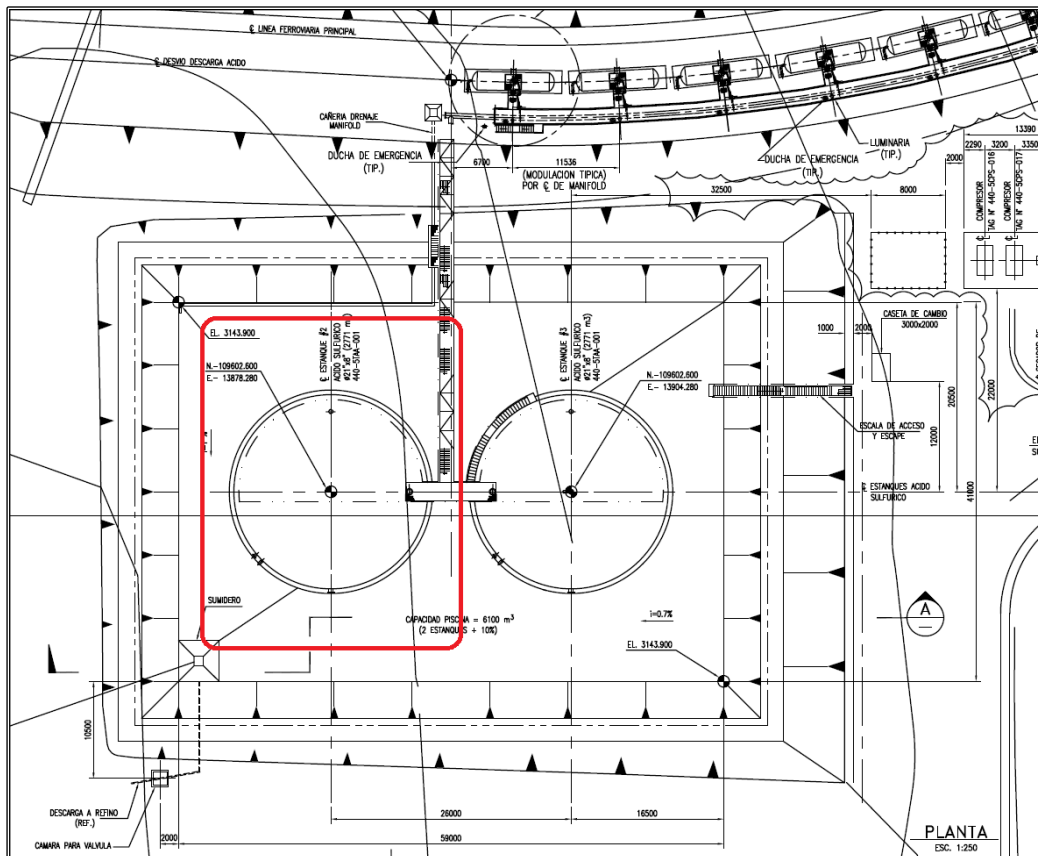


Figura N° 2: Vista de planta estanque de ácido TK-2, cátodos

El estanque está fabricado a partir de planchas de acero estructural ASTM A36 soldadas conformando un cuerpo cilíndrico de 21 [m] de diámetro nominal y 8 [m] de altura. En su parte superior el estanque es cerrado con un techo fabricado con planchas y perfiles laminados de acero estructural ASTM A36 con un ángulo de inclinación de 5°. El techo se apoya en su parte inferior sobre el ángulo laminado de 6" x 6" x 1/2" de coronación del manto.

El estanque está anclado al piso mediante 36 sillas con pernos de anclaje de diámetro de 1 1/4" con aprietes a través de tuercas y contratueras. El propósito de las sillas de anclaje es absorber los deslizamientos y volcamientos provocados por las cargas laterales de viento y sismos. Otro aspecto relevante de mencionar es, que el estanque considera un espesor adicional de corrosión "Corrosion Allowance" de 6 [mm] para el manto y piso y 2 [mm] para el techo (valores de las especificaciones técnicas del proyecto). Algunos espesores representativos son:

- Espesor del 1er anillo del manto : 25 [mm]
- Espesor del 2do anillo del manto : 20 [mm]
- Espesor del 3er anillo del manto : 16 [mm]
- Espesor del 4to anillo del manto : 16 [mm]
- Espesor del piso : 10 [mm]
- Espesor del techo : 12 [mm]
- Sobre espesor corrosión manto : 6 [mm]
- Sobre espesor corrosión piso : 6 [mm]
- Sobre espesor corrosión techo : 2 [mm]

Además, el estanque posee las siguientes boquillas:

- N1: Alimentación del estanque, diámetro 10".
- N2: Descarga del estanque, diámetro 12".
- N3: Drenaje del estanque, diámetro 8".
- N4: Rebose del estanque, diámetro 16".
- N5: Venteo del estanque, diámetro 6".
- N6: Indicador de nivel del estanque, diámetro 1 1/2".
- N7: Sensor de nivel del estanque, diámetro 6".
- N8: Conexión, diámetro 12".
- M1: Entrada de hombre (manhole) del estanque, diámetro 24".
- M2: Tapa de inspección del estanque, diámetro 24".

A continuación, se muestran dos vistas del estanque, en planta y elevación.

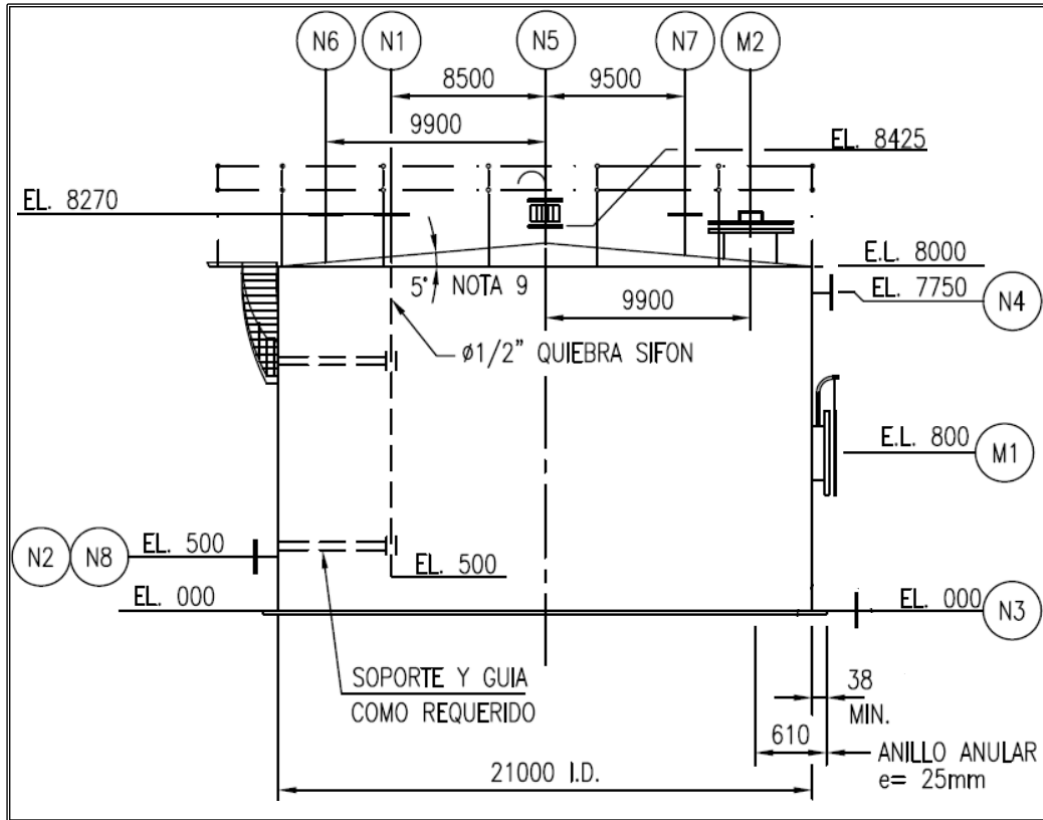


Figura N° 3: Vista en elevación de estanque TK-2

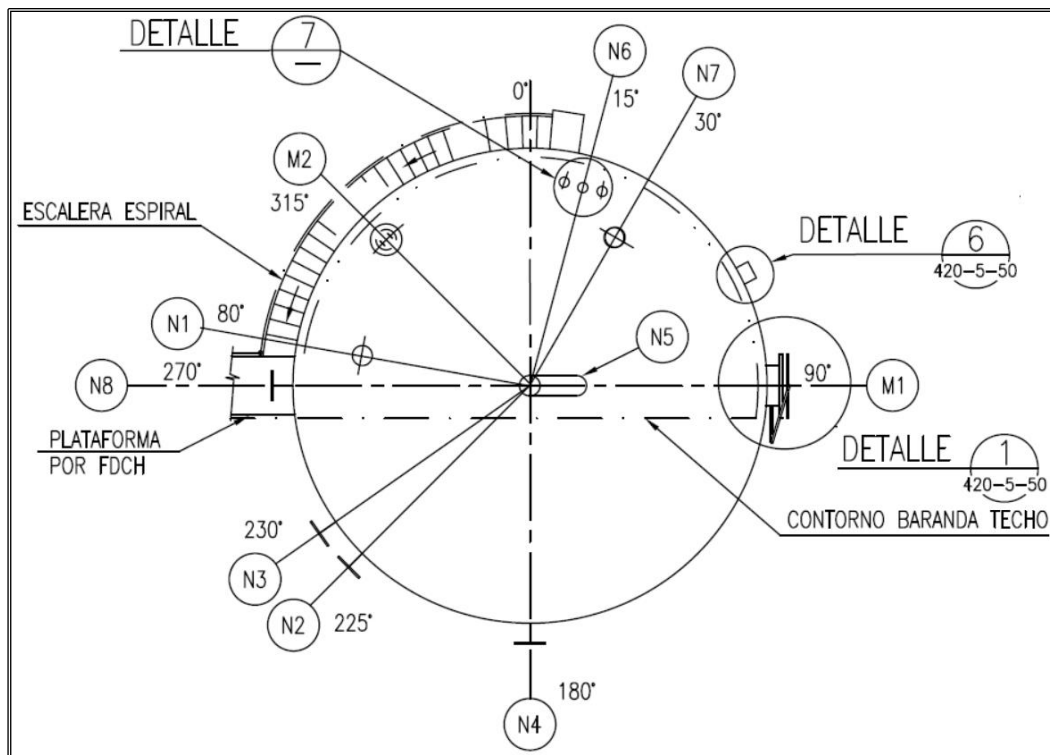


Figura N° 4: Vista de planta estanque de ácido TK-2

5.2 DOCUMENTOS

Los documentos que se utilizaron como antecedentes son:

- [1] Criterio de diseño Estándar Técnico Civil Estructural ES-HP4-070-P-7 Ver. 3.
- [2] Especificación general para condiciones del sitio OGP1-0000-1-ET-0001 Ver. 0.

5.3 PLANOS

Antecedentes proyecto original.

- [3] Plano N°2376-440-5-002 Rev. 2, Estanque #3 / #2 ácido sulfúrico.
- [4] Plano N°2376-420-5-050 Rev. 2, Almacenamiento y distribución de ácido Planta y detalles.
- [5] Plano N°2376-440-5-004, Almacenamiento y distribución de ácido.
- [6] Plano N°2376-440-5-005, Disposición General
- [7] Plano N°2376-440-6-001, Disposición General de cañerías
- [8] Plano N°2376-440-6-002, Disposición General cañerías planta y secciones
- [9] Plano N°2376-440-0-004, Process Flowsheet
- [10] Plano N°2376-440-2-001, Fundaciones estanques
- [11] Plano N°2376-005-3-001, Estandar de barandas.

5.4 MATERIALES

Para la verificación de la estructura del estanque de ácido TK-2 se utilizaron los siguientes materiales para sus distintos componentes.

Tabla N° 1: Materiales empleados Ref.[3]

	Manto, piso y techo	Cañería / Boquilla	Flange / Copla	Perno de anclaje
Denominación material	ASTM A36	A-106-Gr. B / A-36 Sch. std	A-105 / A-36 Sch. std	ASTM A307
Límite de ruptura, S_{ut} [MPa]	400	415	414	414
Límite de fluencia, S_y [MPa]	250	240	245	250
Módulo de elasticidad, E [MPa]	$2 \cdot 10^5$	$2 \cdot 10^5$	$2 \cdot 10^5$	$2 \cdot 10^5$
Densidad, γ [kg/m ³]	7.850	7.850	7.850	7.850

5.5 CRITERIOS DE VERIFICACION

Cada componente de la estructuración del estanque se verifica de acuerdo con la normativa indicada en 5.6.

- Piso: De acuerdo con ítem 3.4 de la Norma API Standard 650.
- Manto: De acuerdo con ítem 3.6 de la Norma API Standard 650.
- Techo: De acuerdo con ítem 3.10 de la Norma API Standard 650.
- Viga de rigidización para el viento: De acuerdo con ítem 3.9 de la Norma API Standard 650.
- Cálculo de estabilidad para el viento: De acuerdo con ítem 3.11 de la Norma API Standard 650.
- Diseño por efecto sísmico: De acuerdo con Apéndice E de la Norma API Standard 650 complementada con Norma Chilena NCh2369 Of.2003 y criterio de diseño estructural de Escondida.
- Anclaje del estanque: De acuerdo con Apéndice E.6 de la Norma API Standard 650.
- La estructura por elementos finitos se verificó según la metodología de tensiones admisibles que considera la verificación por resistencia y deformaciones.
- Se entenderá como falla la condición en la cual un determinado elemento alcance la tensión admisible del material, de acuerdo, con el código de diseño utilizado.
- Para el modelamiento y análisis de elementos finitos se utilizó el software ANSYS V2019R2.

5.6 NORMAS Y CODIGOS

Las normas y códigos utilizados se presentan a continuación:

[12]API Standard 650, Welded Steel Tanks for Oil Storage.

[13]NCh1537 Of.2009, Diseño Estructural - Cargas permanentes y cargas de uso.

[14]NCh2369 Of.2003, Diseño sísmico de estructuras e instalaciones Industriales.

[15]ASCE 7-05, Minimum Design Load for Buildings and others Structures.

[16]NCh432 Of.2010, Cálculo de viento sobre las construcciones.

[17]NCh427 Of.2016, Requisitos para el cálculo de estructuras de acero para edificios.

[18]ASTM (American Standard Testing Materials).

[19]AISC 360-2010, Specification for Structural Steel Buildings.

[20]Manual de diseño para estructuras de acero, publicado por el Instituto Chileno del Acero, ICHA 2008.

5.8 VISITA A TERRENO

5.8.1 REGISTRO FOTOGRÁFICO

Durante la visita a la planta se realizó una inspección visual del TK-2 y su entorno. Esto sirvió para determinar si existen modificaciones respecto al proyecto original.

A continuación, se incluyen fotografías representativas del TK-2.



Figura N° 5: Vista general TK-2



Figura N° 6: Vista del techo TK-2

5.8.2 HALLAZGOS CONDICIÓN ESTRUCTURAL.

Durante la visita a terreno se verifica que existen cambios estructurales de importancia respecto del diseño estructural original.

- Pérdida de espesor del manto y piso por corrosión debido al ácido
- Acumulación de borra en el fondo del TK
- Se observan zonas con pérdidas de pintura debido al sol y vapor ácidos

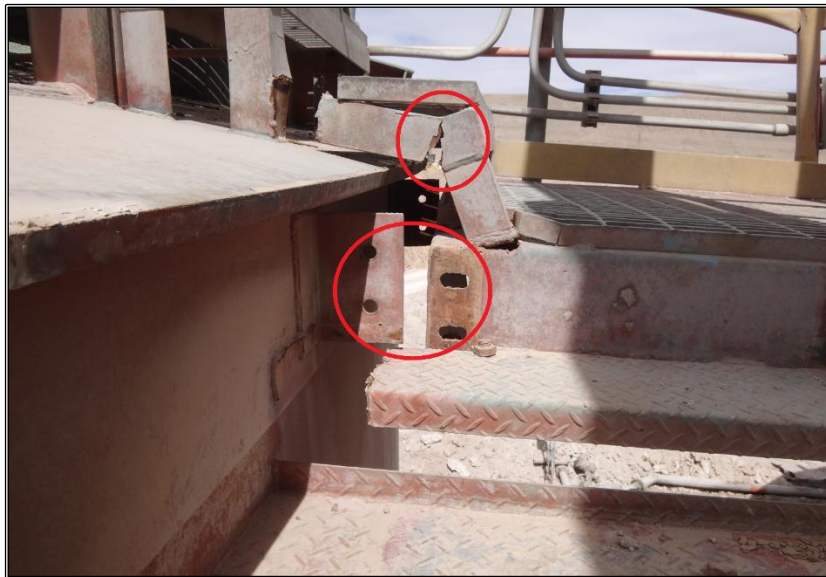


Figura N° 7: Falta de pernos de plataforma TK-3



Figura N° 8: Corrosión en venteo y boquilla TK-3

5.8.3 DATOS OPERACIONALES

El estanque suministra ácido sulfúrico a los tambores aglomeradores N°1 y N°2. Cada tambor consume 18,0 [kg/t] (kilos de ácido por tonelada de mineral), lo que ponderado con la capacidad de proceso de mineral (1960 [t/h]) resulta:

$$q_1 = 18,0 [kg/t] \times 1.960[t/h] \quad (1)$$

$$q_1 = 35.280 [kg/h] \text{ por tambor aglomerador}$$

$$q_2 = \frac{35.280[kg/h]}{1.840[kg/m^3]} = 19,2 [m^3/h] \text{ por tambor aglomerador}$$

Luego, el consumo total de los dos tambores aglomeradores por día es igual a:

$$q_3 = 2 \times q_2 \times 24 \quad (2)$$

$$q_3 = 2 \times 19,2 \times 24 = 922 [m^3/día]$$

De acuerdo con las informaciones obtenidas por parte del personal de operación el estanque, actualmente, el estanque es rellenado a su nivel de trabajo normal con aproximadamente 2.000 [t] de ácido diarias, que equivale a aprox. 1.000 [m³].

Considerando que el TK-2 tiene un volumen útil de 2.600 [m³], se puede concluir que el consumo diario de ácido promedia el 40% del volumen útil del estanque, esto significa que el nivel del ácido en el estanque está fluctuando entre 4,5 [m] (mínimo). Esto significa que el estanque permanece siempre con un volumen de 60 % de ácido. Esta condición es muy favorable para el desempeño del estanque del cual se puede extraer los siguientes beneficios para su vida útil:

6 METODOLOGIA DE TRABAJO

6.1 CASO ANALIZADO: CONDICION ACTUAL

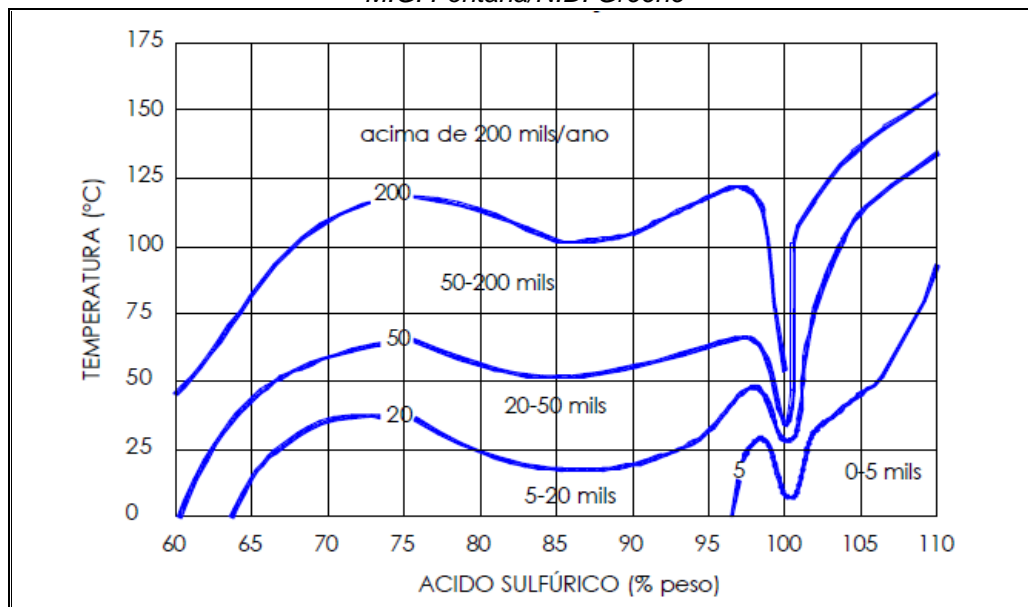
Para representar la condición actual dentro de los cálculos se incluye la presencia de ceniza de ácido sulfúrico en el fondo del estanque y pérdida de espesor por corrosión (ver ítem 10.4 del Anexo A). La presencia de este material representará un relajamiento en las condiciones de mantención sostenida en el tiempo.

La corrosión es la mayor amenaza en el cuerpo de un estanque que almacena ácido sulfúrico y su falta de control puede provocar accidentes que dañan la salud y la seguridad de las personas, así como las instalaciones y el medio ambiente.

Las tasas de corrosión del acero al carbono en presencia de ácido sulfúrico son una función de la concentración y temperatura del producto y se muestran en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..** Los datos proporcionados se refieren solo a las condiciones sin incluir ninguna tolerancia a los efectos de la velocidad y la turbulencia.

Estas curvas de corrosión son una excelente guía para diversas aplicaciones de diseño y mantenimiento.

Gráfica N°1: Tasa de corrosión del acero al carbono mils = milésima de pulgada / año = 0,0254 mm / año. *Gráfico reproducido de "Corrosion Engineering" de M.G. Fontana/N.D. Greene*



6.2 MODELO COMPUTACIONAL

El método de los Elementos Finitos permite resolver por métodos matemáticos tradicionales gradientes de esfuerzos, desplazamientos, temperatura, fluidos, problemas visco elásticos y campo electromagnético. El programa utilizado para la modelación FEM fue ANSYS V2019.

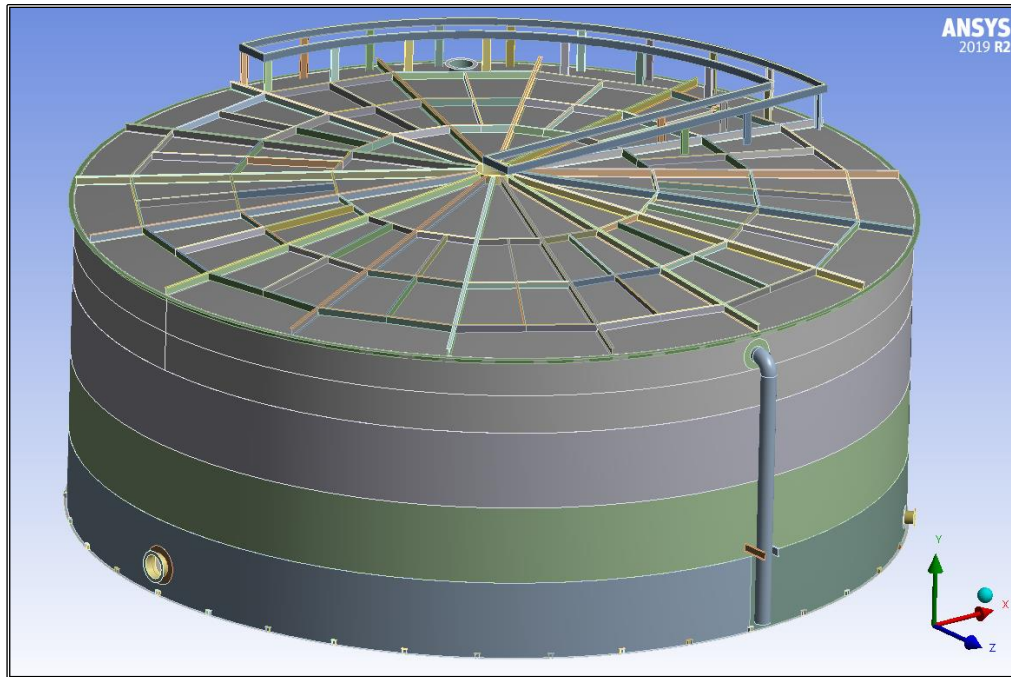


Figura N° 9: Modelo 3D TK-2

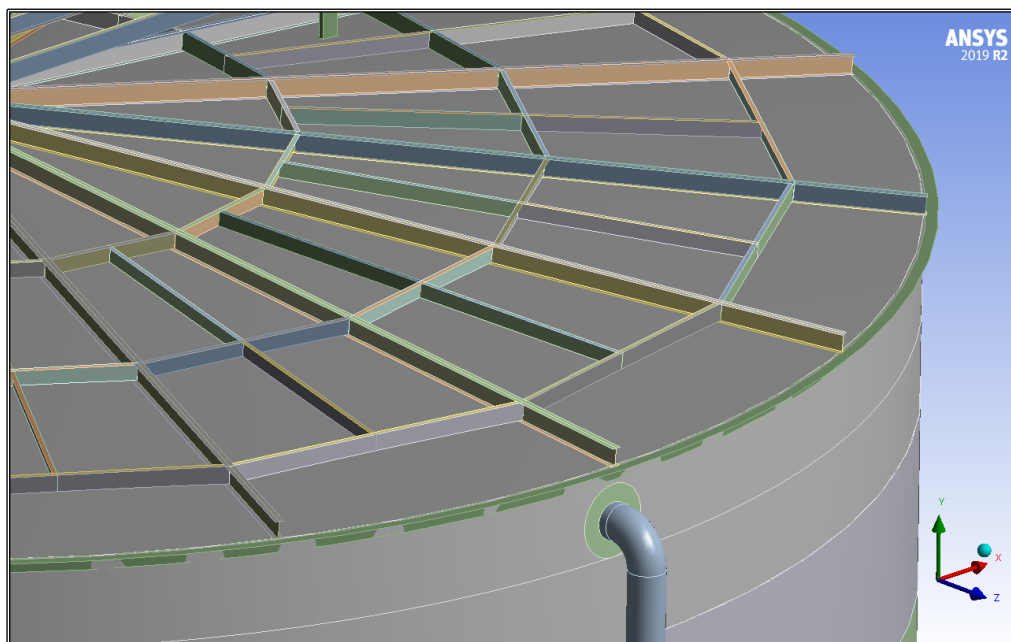


Figura N° 10: Detalle de modelación del techo de TK-2.

6.3 ENMALLADO

El tipo de elemento utilizado para la modelación fue el tipo elemento Shell. La ventaja de utilizar este tipo de elemento es la representación más exacta a la realidad ya que considera todas las piezas del modelo. Los tipos de elementos finitos utilizados se muestran en la figura.

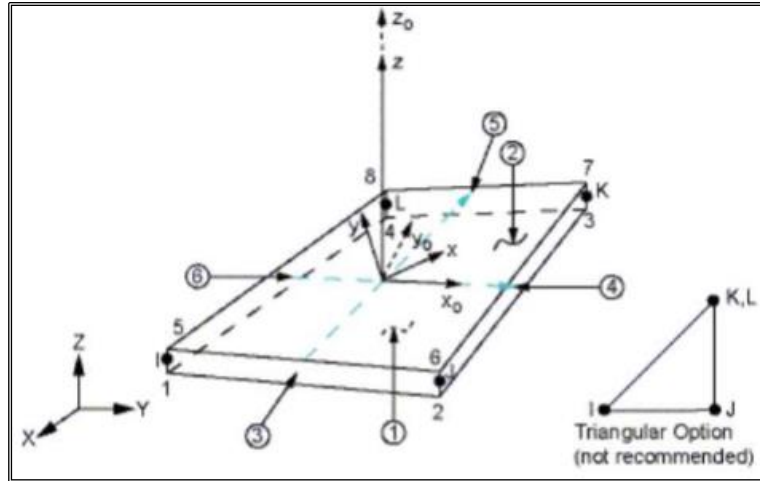


Figura N° 11: Tipo de elemento finito utilizado para la modelación Shell.

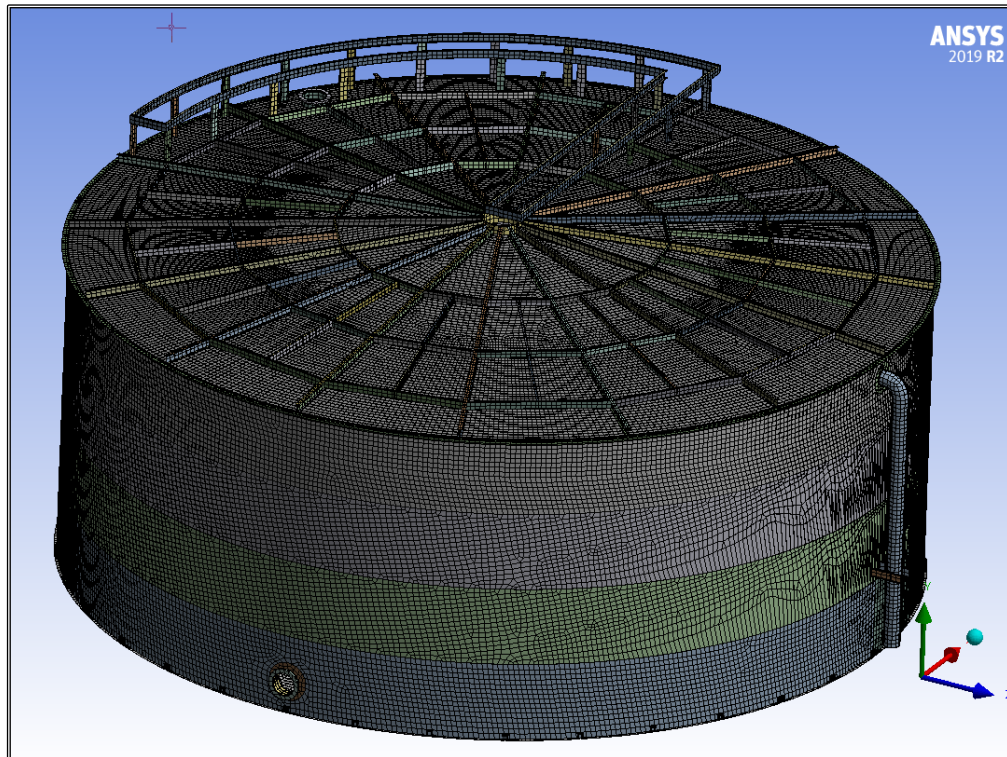


Figura N° 12: Mallado tipo Shell del estanque de ácido TK-2.

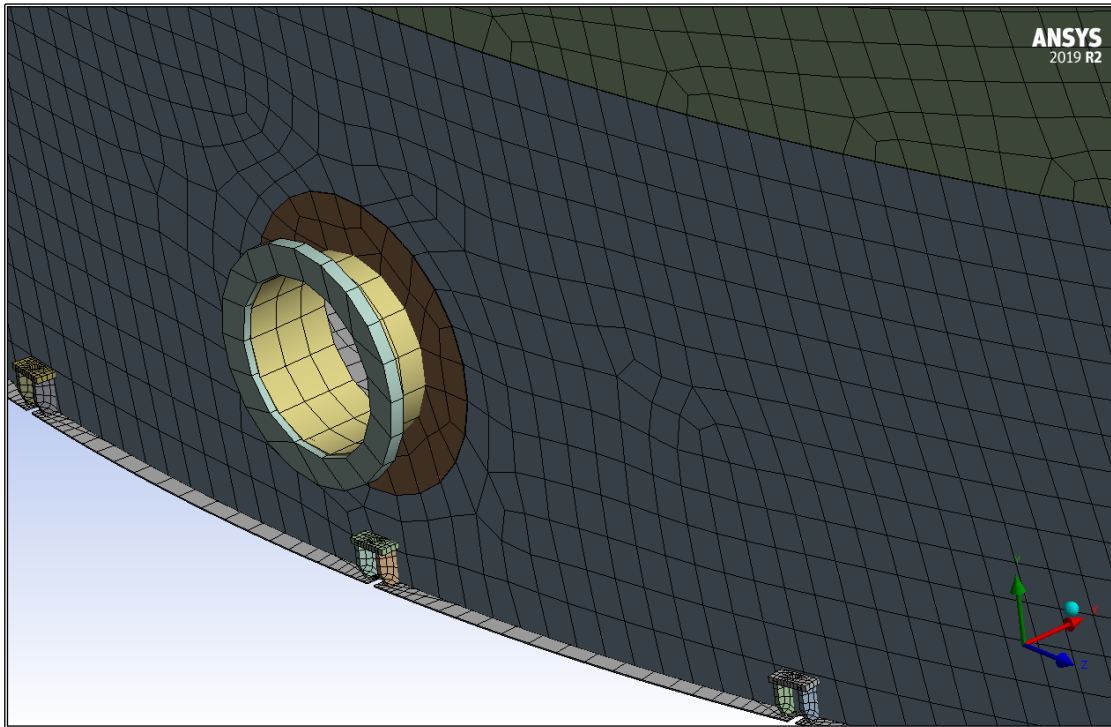


Figura N° 13: Mallado tipo Shell del estanque de ácido TK-2

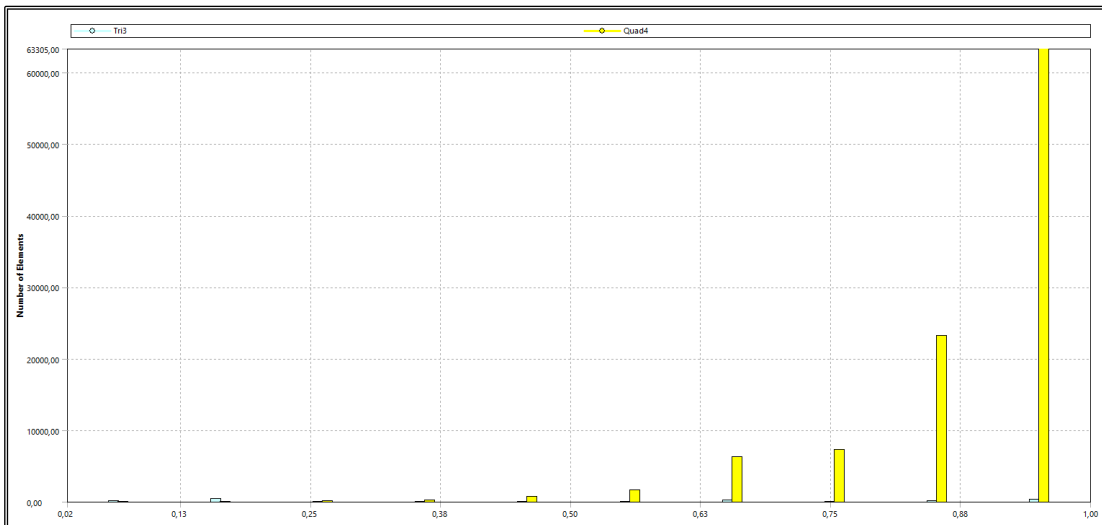


Figura N° 14: Grafico de calidad de la malla, muy bueno.

6.3 CONDICIONES DE BORDE

El Estanque TK-2 de ácido sulfúrico está anclado sobre una fundación de hormigón armado a través de pernos de anclaje con sus respectivas tuercas y contratuercas. Esta fijación impide que el estanque pueda deslizarse y/o volcarse debido a solicitaciones externas como: carga de viento o carga sísmica. Por lo tanto, el estanque está impedido de moverse en sus tres (03) ejes y también está impedido de girar en sus tres (03) ejes.

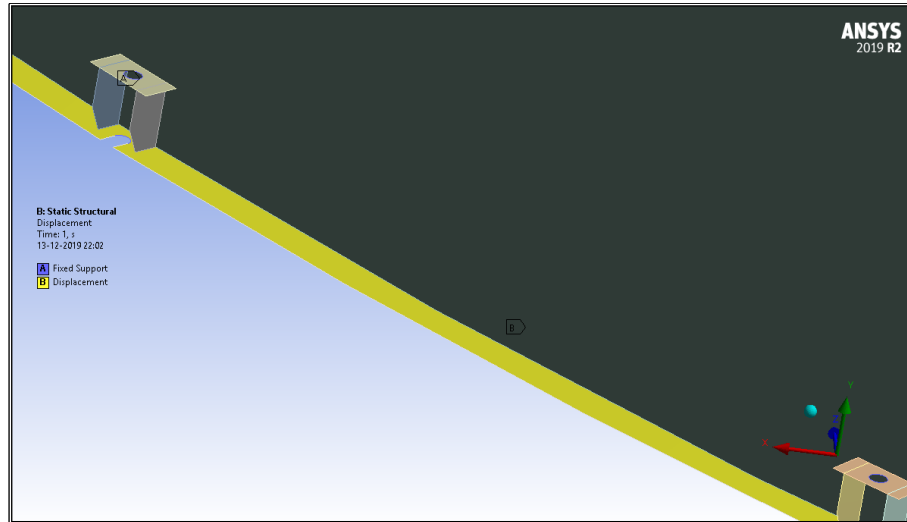


Figura N° 15: Restricción de fijo en los círculos del pernos de anclaje (A: azul)

Static Structural (B5)

- Analysis Settings
- Standard Earth Gravity
- Sismo
- Hydrostatic Pressure
- Fixed Support
- Displacement
- Cargas de uso
- Nieve
- Solution (B5)

Details of "Displacement"

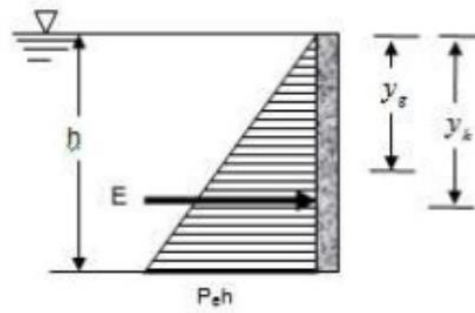
Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	1 Face
Definition	
ID (Beta)	11860
Type	Displacement
Define By	Components
Coordinate System	Global Coordinate System
X Component	Free
<input type="checkbox"/> Y Component	0, mm (ramped)
Z Component	Free
Suppressed	No

$$F = 4.784 \text{ [ton]}$$

Presión del fluido ejercida en la pared y el fondo (F)

Un fluido pesa y ejerce presión sobre las paredes y el fondo del estanque que lo contiene y sobre la superficie de cualquier objeto sumergido en él. Esta presión, llamada presión hidrostática, provoca, en fluidos en reposo, una fuerza perpendicular a las paredes del recipiente o a la superficie del objeto sumergido sin importar la orientación que adopten las caras. Si el líquido fluyera, las fuerzas resultantes de las presiones ya no serían necesariamente perpendiculares a las superficies. Esta presión depende de la densidad del líquido en cuestión y de la altura del líquido con referencia del punto del que se mida. Se calcula mediante la siguiente expresión:

$$P = \rho * g * h + P_0$$



Donde,

- P : Es la presión hidrostática [Pa]
- ρ : Es la densidad del líquido [kg/m³]
- g : Aceleración de gravedad [m/s²]
- h : Es la altura del fluido [m]
- P_0 : La Presión atmosférica [Pa]

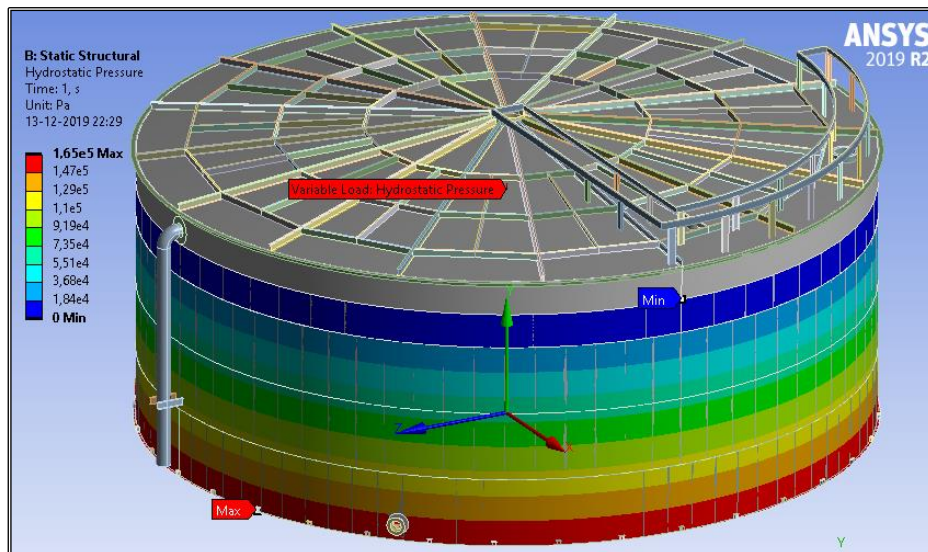


Figura N° 17: Presión hidrostática sobre la pared y piso del estanque
6.4.4 CARGAS DE SISMO (E)

El momento de volcamiento debido a la aplicación de la fuerza sísmica aplicada en el manto será determinado de acuerdo a la siguiente ecuación:

La Norma API Standard 650 en el capítulo E.3.1. define:

$$M = Z \times I \times (C_1 \times W_s \times X_s + C_1 \times W_r \times H_t + C_1 \times W_1 \times X_1 + C_2 \times W_2 \times X_2)$$

$$E = Z \times I \times (C_1 \times W_s \times + C_1 \times W_r \times + C_1 \times W_1 + C_2 \times W_2)$$

Donde:

- M : Momento de volcamiento aplicado al estanque, en [N-m]
 E : Fuerza sísmica
 Z : Factor de la zona sísmica (aceleración horizontal sísmica).
 I : Factor de importancia.
 C₁, C₂ : Coeficientes de la fuerza lateral del sismo
 W_s : Peso total del manto en [N].
 W_r : Peso total del techo del estanque más una porción de carga de nieve
 W₁ : Peso de la masa efectiva del contenido del estanque que se mueve simultáneamente con el manto del estanque, determinada de acuerdo a E.3.2.1 Norma API Standard 650, en [N]
 W₂ : Peso de la masa efectiva del contenido del estanque que se mueve en el primer modo de chapoteo de acuerdo a E.3.2.1 Norma API Standard 650, en [N]
 T : Periodo [s]

Siendo:

- Zona sísmica: 2
- Z=0,3
- Suelo tipo: II
- I = 1,2 por la importancia que representa el estanque dentro del proceso de producción
- Coeficiente de amortiguación (ξ): 0,02
- Máxima aceleración: A₀ = 0,3 x g
- Factor de respuesta: R = 2
- C₁ = 0,6 Coeficiente de fuerza lateral de masa efectiva de acuerdo a ítem E.3.3.1 de API Standard 650

El coeficiente de fuerza lateral, C₂, se calcula como una función del periodo natural del primer modo de chapoteo, T, y las condiciones del sitio donde se ubica el estanque donde:

Donde:

$$W_t = \gamma \times V$$

Siendo:

W_t : Peso efectivo del fluido contenido en el estanque

$$\gamma = 1.840 \text{ [kg/m}^3\text{]} = 115 \text{ [lb/ft}^3\text{]} \text{ (Densidad del fluido contenido en el estanque)}$$

Donde:

$$V = \frac{\pi \times D^2}{4} \times H_t \quad (22)$$

Reemplazando en Ec. (22):

$$V = \frac{\pi \times 68,9^2}{4} \times 24,6$$

$$V = 91.673 \text{ [ft}^3\text{]}$$

Reemplazando en Ec. (21):

$$W_t = 115 \times 91.673$$

$$W_t = 10.542.395 \text{ [lb]}$$

Reemplazando en Ec. (20):

$$\frac{W_1}{10.542.395} = 0,4$$

$$W_1 = 4.216.958 \text{ [lb]}$$

$$\frac{W_2}{W_t} = 0,6 \quad (23)$$

De la figura E – 2 Masas efectivas la relación $\frac{D}{H}$ igual a 2,8

$$W_2 = 6.325.437 \text{ [lb]}$$

Reemplazando en Ec. (15):

$$M = 0,3 \times 1,2 \times (0,6 \times 185.188 + 0,6 \times 131.530 + 0,6 \times 4.216.958 + 0,14 \times 6.325.437)$$

$$E = 1.274.016 \text{ [lb]} = 577.883$$

$$\text{[kg]} = 5.663.253 \text{ [N]}$$

6.4.6 CARGAS DE NIEVE (S)

Es determinada de acuerdo con el punto 3 de la “Especificación general para condiciones del sitio OGP1-0000-1-ET-0001 Ver. 0”. Y Norma Chilena NCh 431. La carga de nieve es 100 [kg/m²]

El valor total de esta carga es $S = 339.216$ [N].

6.5 COMBINACION DE CARGAS

El criterio de cálculo utilizado por la Norma API Standard 650

- D + L + F
- D + L + F + W
- D + L + F + E + S
- D + L + F + E

D : Cargas muerta
L : Cargas vivas
P : Carga del fluido
E : Carga de sismo
W : Carga de viento
S : Carga de nieve

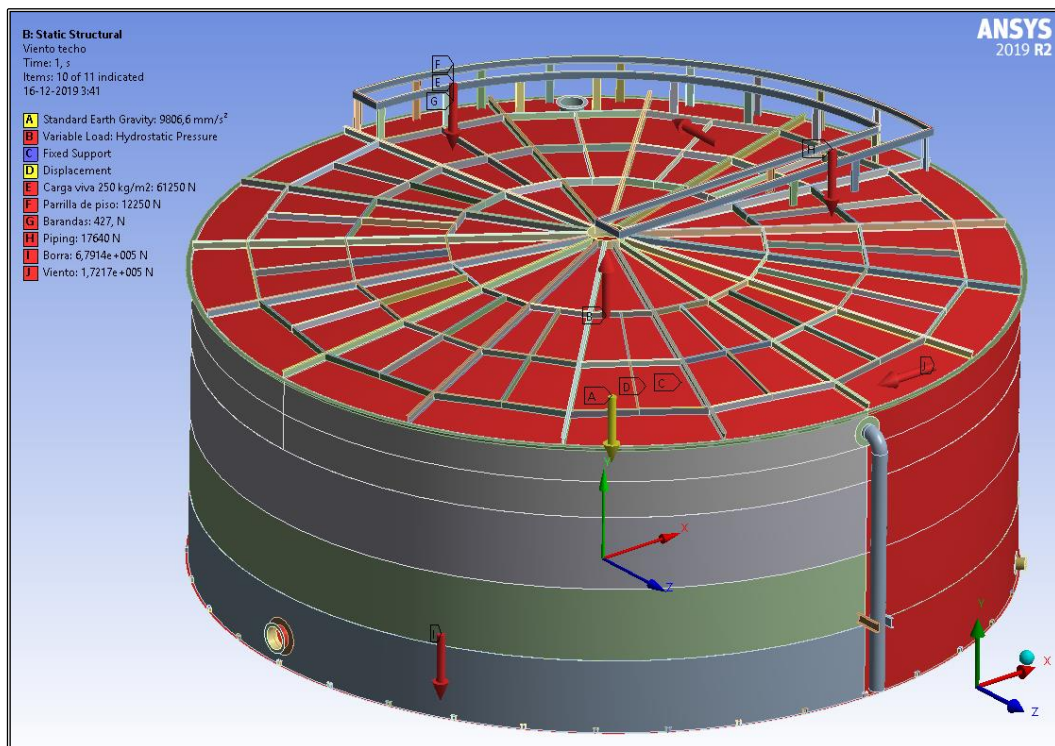


Figura N° 18: Aplicación de cargas según combinación D + L + F + W

7 RESULTADOS

7.1 COMBINACION DE CARGA D+L+F+E

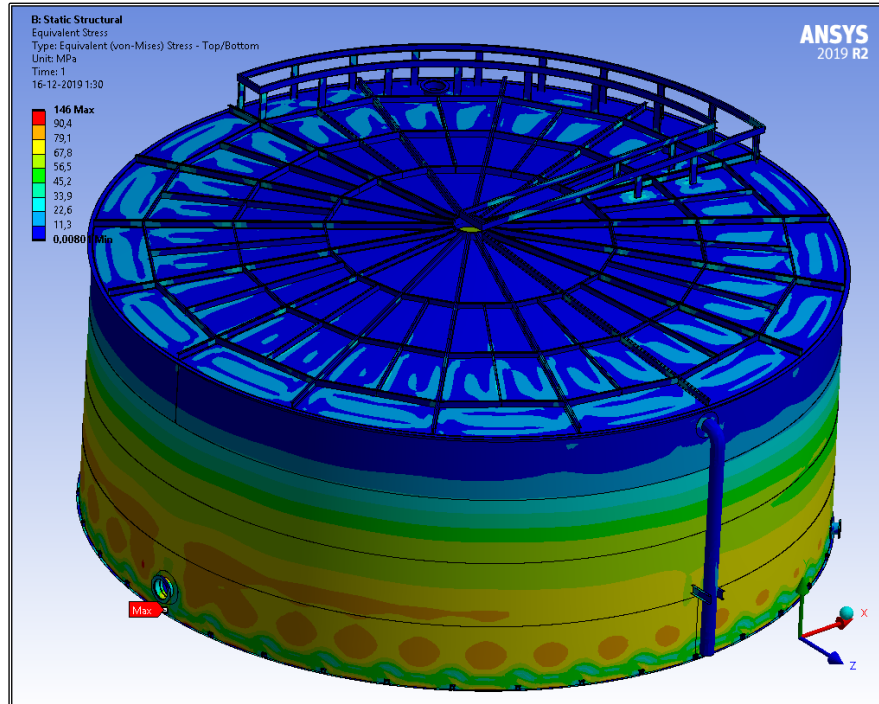


Figura N° 19: Esfuerzo máximo en el TK-2 de 146 [MPa] en el anclaje

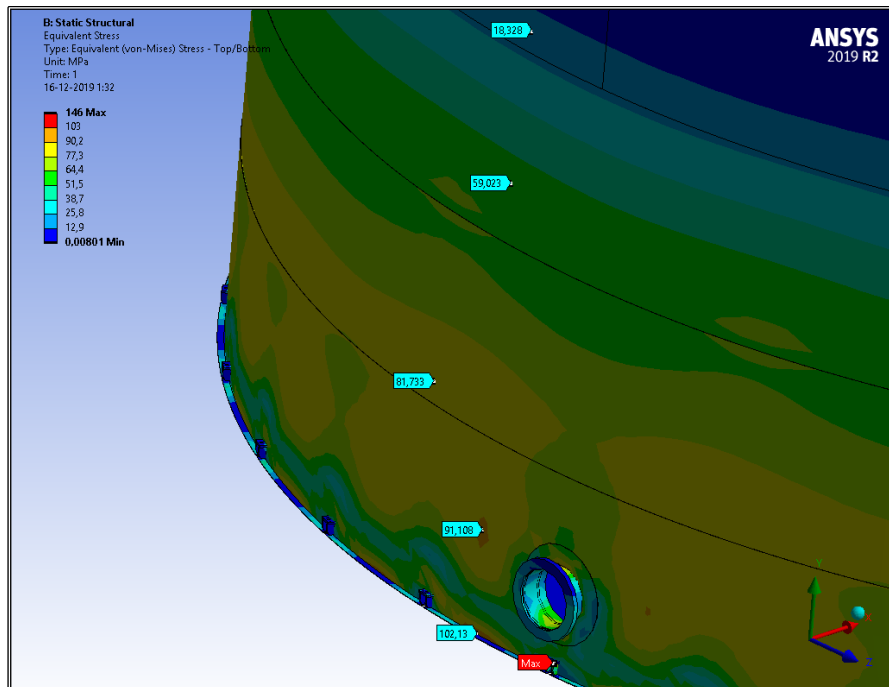


Figura N° 20: Esfuerzo máximo en el TK-2 de 146 [MPa] en el anclaje

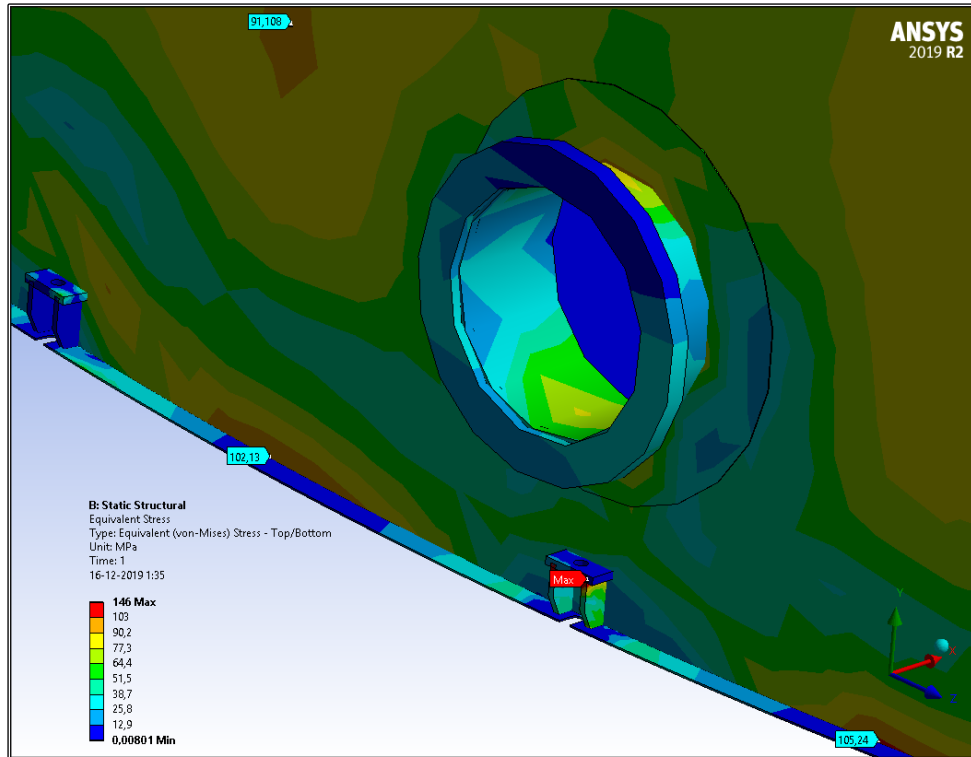


Figura N° 21: Esfuerzo máximo en el TK-2 de 146 [MPa] en el anclaje

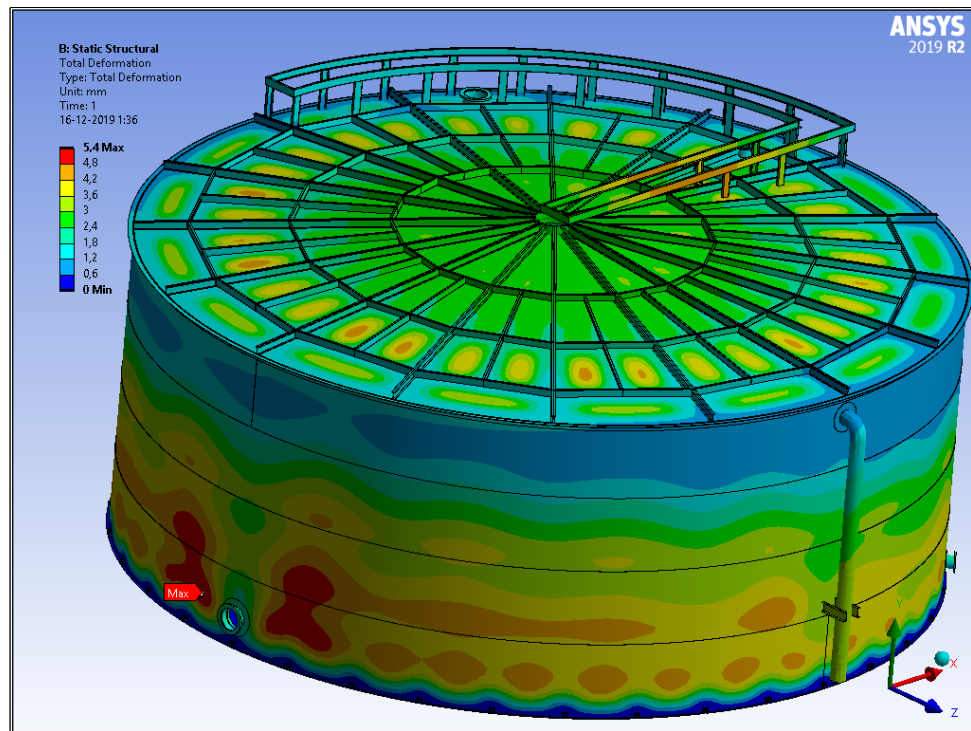


Figura N° 22: Deformación máxima de 5,4 [mm] del TK-2 en el 1er anillo.
7.2 COMBINACIÓN DE CARGA D + L + F + W

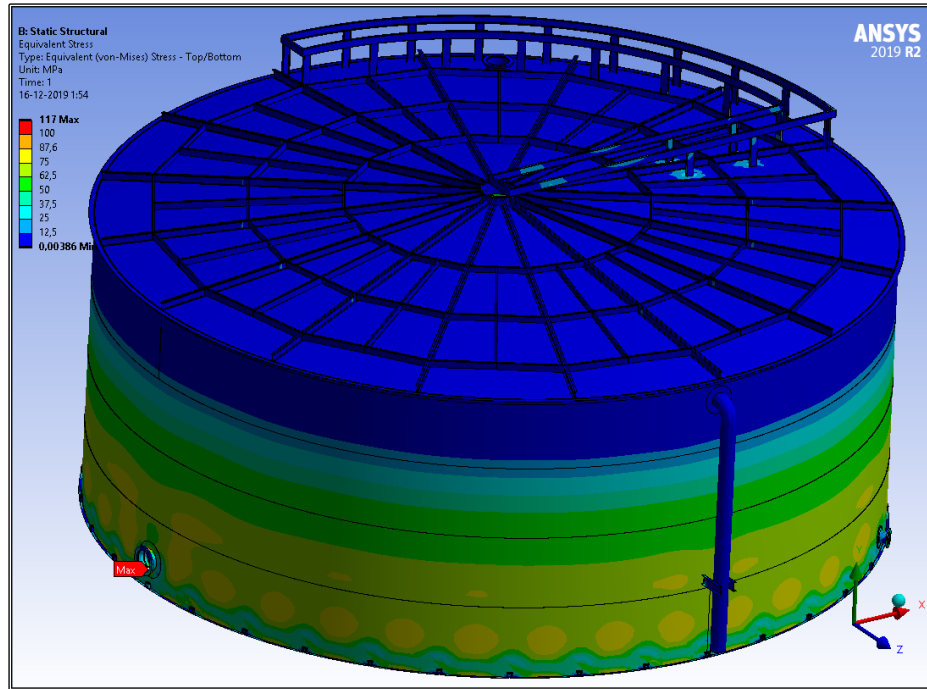


Figura N° 23: Esfuerzo máximo en el TK-2 de 117 [MPa] en la boquilla entrada de hombre

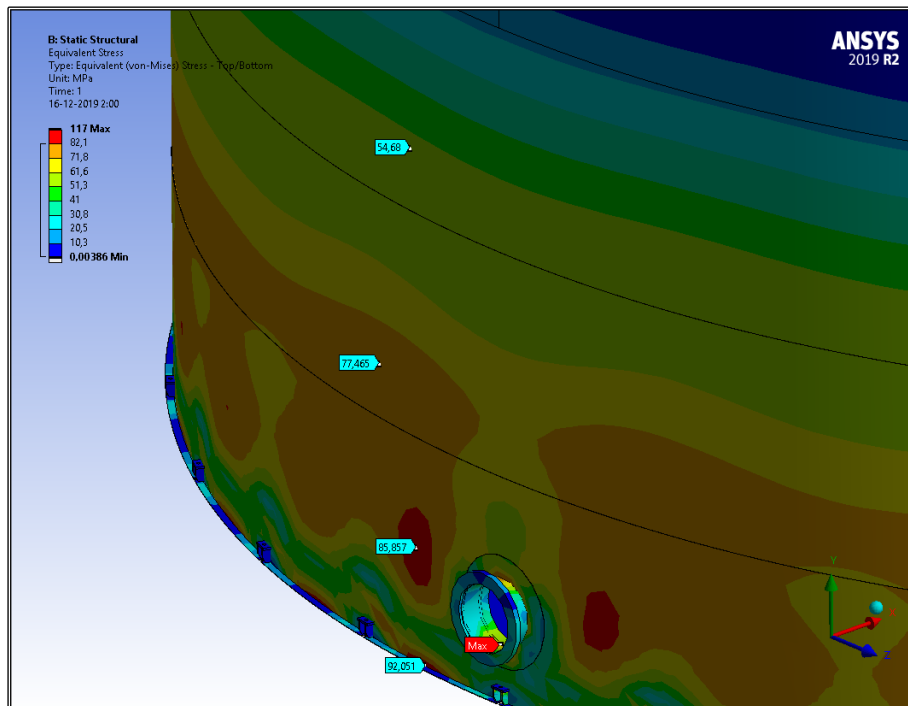


Figura N° 24: Esfuerzo máximo en el TK-2 de 117 [MPa] en la boquilla entrada de hombre

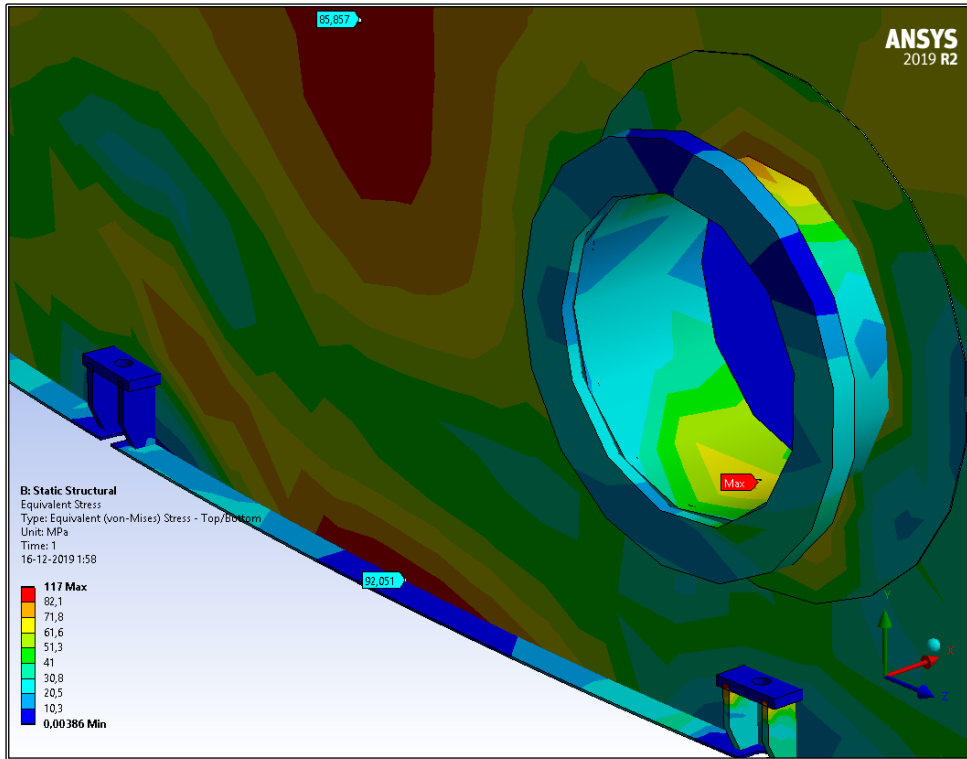


Figura N° 25: Esfuerzo máximo en el TK-2 de 117 [MPa] en la boquilla entrada de hombre

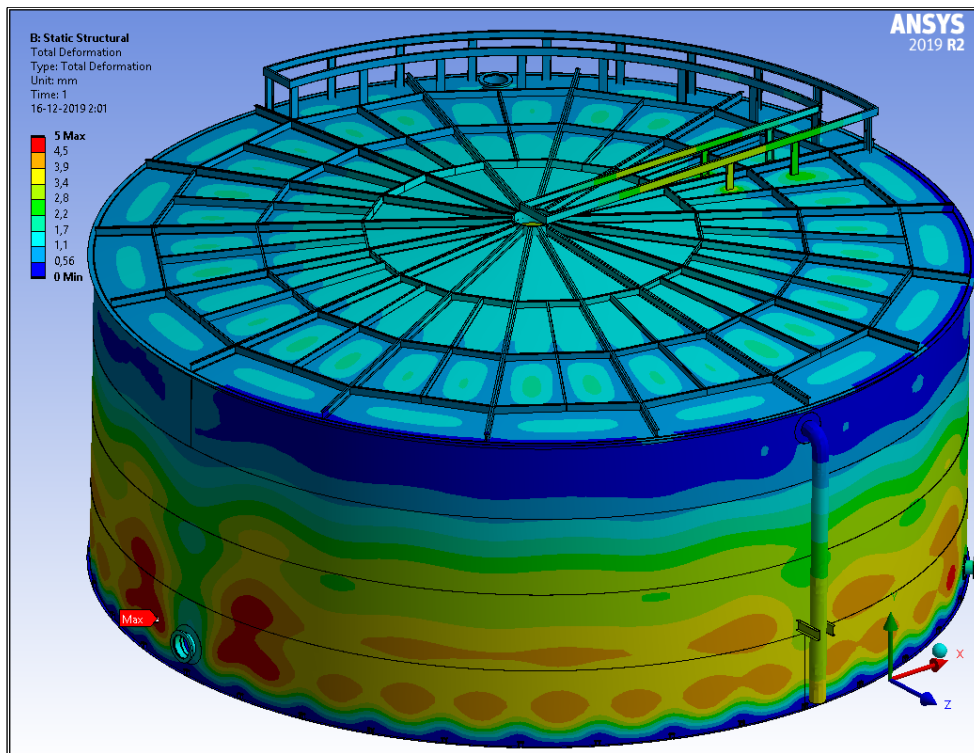


Figura N° 26: Deformación máxima de 5 [mm] del TK-2 en el 1er anillo.

Realizar medición de la verticalidad del estanque (Out of plumb). La desviación de la verticalidad para este estanque deberá ser menor o igual a 40 [mm].

Medición de la circunferencia del estanque (Out of roundness). La desviación de la circunferencia para este estanque deberá ser menor o igual a 19 [mm].

En caso que se detecte asentamiento de la fundación y pérdida de la verticalidad sobre el valor recomendado se deberá contratar los servicios de una empresa especializada para estudio de mecánica de suelos.

Implementar y ejecutar un programa permanente que permita mantener siempre desobstruidos los venteos del estanque para evitar presiones negativas que podrían llevar el colapso del estanque.

Reparar plataformas, escaleras y venteos del TK-3, ver figura 7 y 8.

10.2 FRECUENCIA DE INSPECCION DE ESTANQUES DE ACIDO

TABLE I. INSPECTION FREQUENCY FOLLOWED BY C-I-L.
Note—This can change significantly when conditions demand it.

Tank Description	Internal Inspection Intervals	External Inspection Intervals	Base Data
Larger than 1000 tons capacity.	5 years	1 year	A thickness survey is taken on each new tank, before commissioning, to obtain base data to which later inspection results can be compared.
Smaller than 1000 tons capacity.	5 years	2 years	
Insulated.	5 years	1 year	

10.3 PERDIDA DE ESPESOR EN ESTANQUES DE ACIDO

