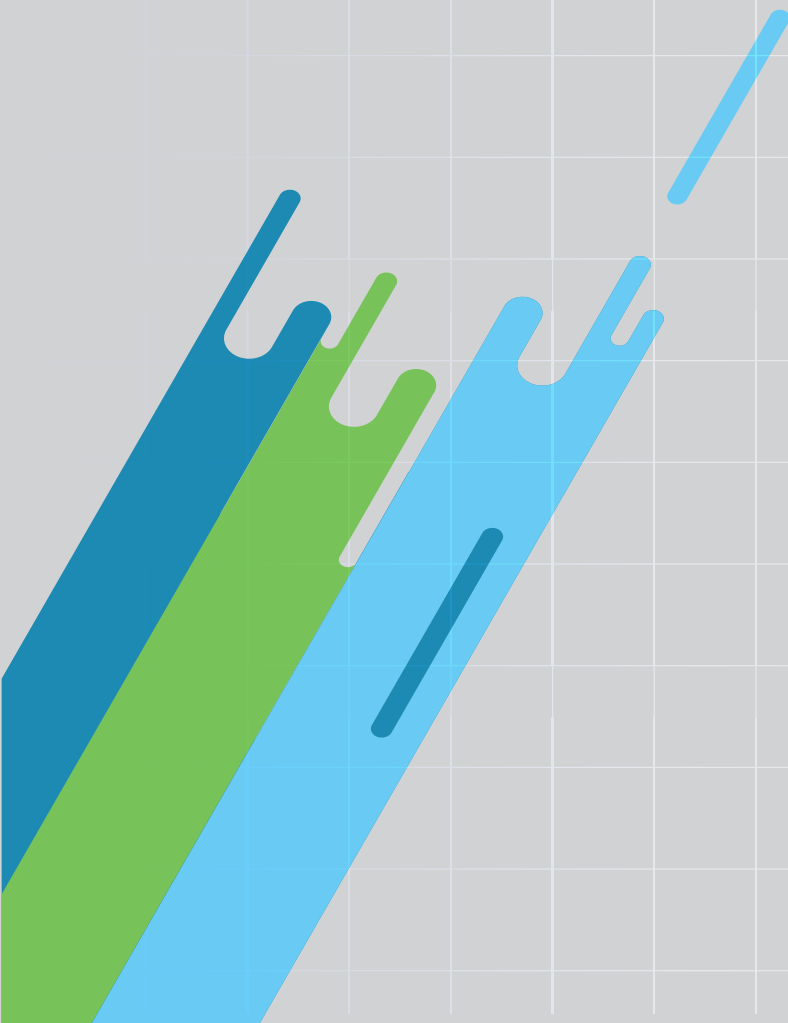


**ANÁLISIS DEL DISEÑO  
DE LAS OREJAS DE IZAJE DE UN  
AUTOTANQUE DE 8000 GALONES,  
APLICANDO ELEMENTOS  
FINITOS MEDIANTE SOFTWARE CAE**



# ANÁLISIS DEL DISEÑO DE LAS OREJAS DE IZAJE DE UN AUTOTANQUE DE 8000 GALONES, APLICANDO ELEMENTOS FINITOS MEDIANTE SOFTWARE CAE.

## ANALYSIS OF THE DESIGN OF THE LIFTING EARS OF AN 8000 GALLON AUTOTANKER, APPLYING FINITE ELEMENTS USING CAE SOFTWARE.

Mariana Elizabeth Villa Orozco<sup>1</sup>  
Byron Hernán Bermeo Jiménez<sup>2</sup>  
Verónica Vanessa Bermeo Jiménez<sup>3</sup>  
Ángel Antonio Chimborazo Aucanshela<sup>4</sup>

<sup>1</sup> IST Carlos Cisneros, Ecuador, mariana.villa@istcarloscisneros.edu.ec

<sup>2</sup> IST Carlos Cisneros, Ecuador, byron.bermeo@istcarloscisneros.edu.ec

<sup>3</sup> Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador, vanessa.bermeo@esPOCH.edu.ec

<sup>4</sup> IST Carlos Cisneros, Ecuador, angel.chimborazo@istcarloscisneros.edu.ec

### RESUMEN

El objetivo del presente estudio es analizar el diseño de las orejas de izaje de un autotanque de 8000 galones para transporte de GLP, aplicando normas ASME, y elementos finitos mediante dos softwares CAE (Computer-Aided Engineering) PrePoMax y Ansys Student, para evaluar la resistencia, la rigidez y el factor de seguridad y realizar una comparación con investigaciones precedentes.

Se determina la masa del autotanque en vacío con sus accesorios igual a  $m = 11598.95$  kg, que soportará las orejas durante las operaciones de izaje. Con este valor se diseña determinando sus dimensiones y posteriormente se modela utilizando un software CAD. Esto incluye definir las dimensiones, geometría y detalles de construcción. Se procede a validar el diseño mediante los softwares CAE. Se establece: la geometría, el material SA516-70, mallado, las cargas a un ángulo máximo de  $\alpha = 45^\circ$  recomendado por la norma ASME,  $W_{1x} = 40229.32$  N,  $W_{1y} = 40229.32$  N y condiciones de borde. Se refina la malla para obtener buenos resultados considerando que el gasto computacional es directamente proporcional a la calidad de resultados.

En los dos programas se obtuvieron: desplazamientos máximos aproximadamente de  $\delta_{\max} = 0.02$  mm, esfuerzos equivalentes máximos según Von Mises de  $\sigma_{\max} = 56.24$  MPa, y factor de seguridad mínimo de  $n_{\min} = 4.41$ . La diferencia de los resultados obtenidos en los programas de simulación es mínima en 0.57%. Los resultados obtenidos según la colorimetría coinciden que la zona crítica es la superficie interna de la oreja. Según el factor de seguridad obtenido da un margen de seguridad de más del 300% garantizando el funcionamiento adecuado.

Al realizar la comparación de los resultados obtenidos con otra investigación la diferencia más relevante está en el factor de seguridad aproximadamente del 58%; esto se debe a las consideraciones establecidas en cada estudio.

**Palabras clave:** Izaje, Autotanque, Análisis por elementos finitos, PrePoMax, Ansys Student

## ABSTRACT

*The objective of this study is to analyze the design of the lifting lugs of an 8000 gallon LPG tanker, applying ASME standards and finite elements by means of two CAE (Computer-Aided Engineering) software PrePoMax and Ansys Student, to evaluate the strength, stiffness and safety factor and to make a comparison with previous investigations.*

*The mass of the empty tank car with its accessories is determined to be  $m = 11598.95$  kg, which will support the ears during the lifting operations. With this value, it is designed by determining its dimensions and then modeled using CAD software. This includes defining the dimensions, geometry and construction details. The design is then validated using CAE software. The geometry, SA516-70 material, meshing, loads at a maximum angle of  $\alpha = 45^\circ$  recommended by the ASME standard,  $W_{1x} = 40229.32$  N,  $W_{1y} = 40229.32$  N and boundary conditions are established. The mesh is refined to obtain good results considering that the computational expense is directly proportional to the quality of results.*

*In the two programs were obtained: maximum displacements of approximately  $\delta_{max} = 0.02$ mm, maximum equivalent stresses according to Von Misses of  $\sigma_{max} = 56.24$  MPa, and minimum safety factor of  $n_{min} = 4.41$ . The difference in the results obtained in the simulation programs is minimal at 0.57%. The results obtained according to colorimetry agree that the critical zone is the inner surface of the ear. According to the safety factor obtained, it gives a safety margin of more than 300% guaranteeing the proper functioning.*

*When comparing the results obtained with other research, the most relevant difference is in the safety factor of approximately 58%; this is due to the considerations established in each study.*

**Keywords:** *Lifting, Autotanker, Finite Element Analysis, PrePoMax, Ansys student.*

Recibido: 18/09/2023  
Received: 18/09/2023

Aceptado: 27/10/2023  
Accepted: 27/10/2023

## 1. INTRODUCCIÓN

El izaje consiste en una serie de maniobras logísticas que tienen como objetivo principal elevar cargas de gran tamaño y peso de manera segura, utilizando diferentes dispositivos o equipos, tales como grúas, polipastos o aparejos. Se lleva a cabo siguiendo procedimientos y normas de seguridad para evitar accidentes y daños a las personas y objetos que se están moviendo. Es fundamental contar con equipos adecuados para realizar un izaje de forma segura y eficiente.[1]

La historia de su uso se remonta a la antigüedad, cuando las civilizaciones antiguas desarrollaron técnicas y dispositivos para mover objetos pesados. Algunos ejemplos incluyen las eslingas y las cuerdas utilizadas en la construcción de monumentos antiguos como las pirámides de Egipto o los obeliscos.[2]

Con el fin de transportar, localizar, dar mantenimiento, etc., a los recipientes de presión, es necesario equiparlos con al menos dos orejas de izaje [3]. Las orejas de izaje son elementos de sujeción del tanque. Su principal función es dar puntos de apoyo para que el tanque pueda ser elevado y de esta manera transportarlo hacia el sitio donde va operar. Son por lo general dos placas con orificios que se sueldan al tanque para sujetarse al cuerpo cilíndrico del mismo. [4]

En la industria, el diseño y la fabricación de orejas de izaje se volvieron más especializados, y se establecieron estándares de seguridad para garantizar que las operaciones de izaje. La evolución continua de la tecnología y la ingeniería ha llevado al desarrollo de orejas de izaje más avanzadas y seguras, lo que ha contribuido significativamente en la confiabilidad de las operaciones de elevación de cargas pesadas [5]. Es importante que estas orejas de izaje estén diseñadas y utilizadas correctamente para garantizar la seguridad en operaciones de elevación y manejo de carga. [6]

Su diseño depende de varios factores y debe seguir pautas de ingeniería para garantizar la seguridad y la capacidad de carga adecuada. [7] Debido al elevado riesgo que existe es fundamental tener un buen diseño y validación, la presente investigación tiene como objetivo comprobar el diseño de las orejas de izaje de un autotank de 8000Gls para transporte de GLP (gas licuado de petróleo)

aplicando la norma ASME sección VIII división 1 y validando con los softwares CAE (Computer Aided Engineering) PrePoMax y Ansys Student.

En este estudio, el objetivo es adoptar un nuevo enfoque para diseñar y analizar las orejas de izaje de un autotank de 8000Gls para transportar GLP presurizado, siguiendo los lineamientos suministrados por el código de la Sociedad Estadounidense de Ingenieros Mecánicos (ASME) [8] y las técnicas análisis de elementos finitos (FEA). La seguridad es la principal preocupación a abordar en el diseño de las orejas de izaje, considerando los riesgos potenciales asociados con los accidentes. El objetivo principal es validar un diseño que garantice el más alto nivel de seguridad y minimice el riesgo de falla.[9]

El proceso de validación del diseño implica el modelado geométrico con SolidWorks Student, seguido del análisis con PrePoMax y Ansys Student que permite investigar los desplazamientos, deflexiones y las tensiones de Von Mises en las orejas de izaje encontrando el factor de seguridad, suministrando información sobre su comportamiento bajo diferentes condiciones de carga. Al utilizar el análisis de elementos finitos, se identifica puntos de tensión importantes en las orejas de izaje y realizar las modificaciones necesarias para mejorar su seguridad de ser el caso. El estudio explora la relación entre varios factores como el desplazamiento y la tensión. [10]

El diseño por análisis de elementos finitos está gradualmente superando al uso del diseño tradicional en la industria de los recipientes a presión y en elementos de izaje. Debido a los diseños más exigentes por fiabilidad, seguridad, y costes de producción, son los responsables del desarrollo de técnicas de diseño más avanzadas. [11] [12]

El análisis de elementos finitos proporciona resultados bastante precisos a la hora de calcular y analizar la fuerza de los recipientes a presión y sus componentes y accesorios.

Según [13] los beneficios de FEA son:

- Acorta los plazos de desarrollo y reduce los costes de construcción de prototipos
- Identifica puntos débiles de forma temprana y minimiza el riesgo de responsabilidad legal
- Encuentra el origen del daño

- Se asegura el funcionamiento de los sistemas y los componentes
- Cumple con los requisitos de regulaciones nacionales e internacionales
- Evaluación y prolongación de la vida útil de los componentes

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

El izaje en los recipientes a presión es uno de los desafíos en la industria, por esta razón se hace uso del análisis de elementos finitos por las ventajas y beneficios que presta al momento del diseño.

La metodología utilizada para realizar el análisis de esfuerzos y desplazamientos en las orejas de izaje consiste en lo siguiente:

- Diseñar la geometría de la oreja del recipiente en el software CAD.
- Establecer los parámetros del análisis estático estructural.
- Definir las propiedades mecánicas del material dentro del modelo numérico.
- Instituir las condiciones de contorno correspondientes al modelo numérico, incluyendo los valores de la fuerza
- Obtener los valores de distribución de esfuerzos, desplazamientos y factor de seguridad para posteriormente realizar la interpretación y análisis de los resultados.

En la siguiente figura se muestra el autotanque de Equipinínsula de 8000 Gls que está conformado principalmente por el recipiente, el bastidor y patas telescópicas



Figura 1: Autotanque de Equipinínsula

En el diseño de las orejas de izaje se considera las especificaciones técnicas del autotanque que se detallan a continuación:

Capacidad: 8000 Gls

Producto a transportar: Gas Licuado de Petróleo (GLP)

Dimensiones:

- Longitud: 11598 mm
- Diámetro exterior: 1895 mm
- Distancia desde la soldadura de la cabeza - cuerpo a la oreja de izaje: 350 mm. Ver figura 2.

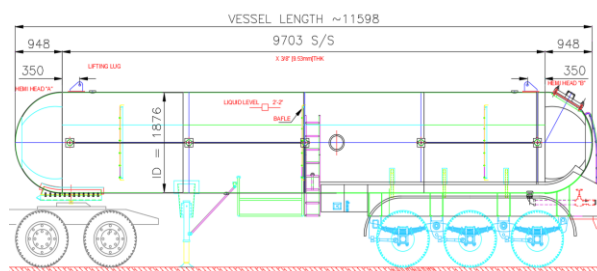


Figura 2: Dimensiones del Autotanque

### Determinación de la capacidad de carga

Inicialmente se calcula la capacidad de carga que se espera que las orejas de izaje soporten. Esto depende la masa que se va a elevar o mover.

Para la aplicación de cargas se determinó la masa del autotanque en vacío con todos sus accesorios dando un valor de  $m = 11598.95$  kg que deberán soportar las dos orejas de izaje durante las operaciones de levantamiento y transporte, como se detalla en la tabla 1.

Tabla 1. Masa del equipo en vacío [10]

Elementos	Masa (kg)
Cabezas y Cuerpo	6502.70
Baffles	280.50
Bocas	217.00
Bastidor	3191.10
King Pin	652.20
Escaleras Caja de Herramientas	148.70
Soporte Patas Telescópica	336.40
Guardachoque Luces Posterior	95.00
Accesorio de Bocas	130.00
Sistema Eléctrico	45.35
<b>Total:</b>	<b>11598.95</b>

Este valor de la masa  $m = 11598.95$  kg nos sirve para determinar las dimensiones de las orejas.

### Diseño de las orejas de izaje

Las orejas deben tener una forma y dimensiones adecuadas para distribuir la carga de manera uniforme y minimizar el riesgo de fracturas o deformaciones.

El dimensionamiento se basó en PRESSURE VESSEL HANDBOOK [14], que instituye la geometría, dimensiones y material. El diseño por este método establece las siguientes condiciones:

- El ángulo  $\alpha$  es máximo  $45^\circ$
- El material debe tener una resistencia mínima de  $S_{adm} = 482.63 \text{ MPa}$
- La dirección de la fuerza está en el plano de las orejas

En la figura 3 y tabla 2 se muestra las dimensiones de las orejas de izaje.

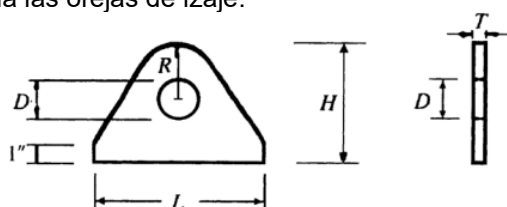


Figura 3: Esquema de las orejas de izaje [14]

Tabla 2. Dimensiones de las orejas de izaje [14]

Vessel Weight (kg)	D (mm)	T (mm)	R (mm)	H (mm)	L (mm)
5442	25.40	12.70	38.10	127.00	254.00
9070	28.58	19.05	50.80	152.40	254.00
13605	34.93	25.40	53.98	152.40	254.00
22676	41.28	31.75	63.50	177.80	304.80

Para una carga de  $m = 11598.95 \text{ kg}$ , de la tabla 2 se toma el inmediato superior  $m = 13605 \text{ kg}$ ; con este valor de carga se obtiene las dimensiones de la oreja de izaje en mm para trabajar en el sistema Internacional como se muestra en la figura 4.

### Modelado según el diseño

Con las dimensiones seleccionadas de las orejas de izaje se modela en un software CAD, con el objetivo de realizar el análisis estático para determinar el comportamiento de la pieza bajo diferentes condiciones de carga.

Esta pieza es utilizada para el cálculo y rendimiento del diseño en estudio. Para importar la pieza en PrePoMax se guardó en la extensión STL (.stl) y

para el programa Ansys Student 2023 en la extensión de ParaSolid (.x\_t; .x\_b).

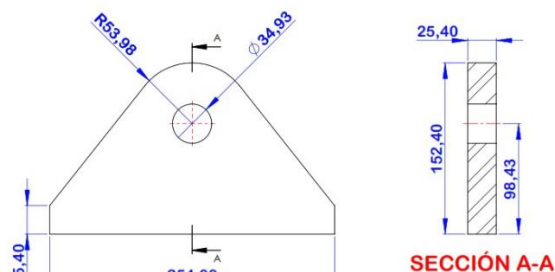


Figura 4: Modelamiento del diseño de oreja de izaje

### Determinación de las fuerzas

Con la masa en kg del autotanque se calcula su peso.

$$W = m * g \quad (1)$$

Donde:

$W$  = Peso en [N]

$m$  = masa en [kg]

$g$  = gravedad en  $[m/s^2]$

$$W = 11598.95 \text{ kg} * 9.81 \frac{m}{s^2} \quad W = 113785.7 \text{ N}$$

Debido a que son dos orejas de izaje como se muestra en la figura 5 el peso calculado se divide para dos teniendo:

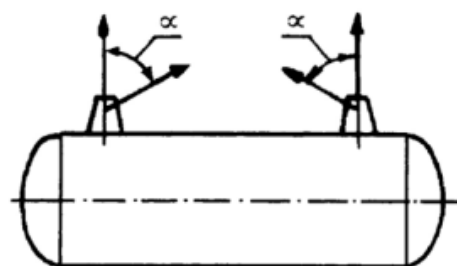


Figura 5: Oreja de Izaje en un recipiente horizontal [14]

$$W_1 = \frac{113785.7 \text{ N}}{2} \quad W_1 = 56892.85 \text{ N}$$

Con el valor del peso total y el máximo ángulo según el Pressure Vessel Handbook considerado es  $\alpha =$



45°, se determina las componentes en los ejes X e Y, realizando los cálculos correspondientes se obtiene:

$$W_{1x} = 40229,32 \text{ N} \quad W_{1y} = 40229,32 \text{ N}$$

### Selección del material:

Debe elegirse un material resistente y duradero que pueda soportar la capacidad de carga deseada. Para este estudio se selecciona el acero SA516-70 como material de las orejas de izaje en función a la tensión admisible que considera Pressure Vessel Handbook [14] mínimo de  $S_{adm} = 482.63 \text{ MPa}$ .

Este material tiene las siguientes propiedades [15]:

- Resistencia a tracción: (482 – 620) MPa
- Alargamiento (min.) 50 mm: 0.21.
- Densidad: (7800 – 8000) kg/m<sup>3</sup>
- Módulo de Elasticidad: (190 – 210) GPa
- Coeficiente de Poisson: 0.27 – 0.30.

Con la oreja de izaje diseñada, modelada, las propiedades mecánicas del material y los valores de las fuerzas a aplicarse, se procede al análisis mediante elementos finitos utilizando los softwares CAE: PrePoMax y Ansys Students.

Los dos softwares son de gran ayuda para el diseño de las orejas de izaje debido a que, ayuda comprender las implicaciones y los riesgos del diseño y de esta manera poder optimizar y tomar las mejores decisiones.

### Pre procesamiento

El pre procesamiento de análisis estático es la etapa inicial y que consume más tiempo, donde se preparan los datos y se realiza la configuración necesaria antes de efectuar el estudio.

Se agrega el material SA 516-70 seleccionado previamente por sus características mecánicas, donde el Módulo de Young se considera de  $E = 200 \text{ GPa}$  y el coeficiente de Poisson igual a  $\nu = 0.28$ .

### Mallado

El refinamiento de la malla en cualquier software CAE para análisis estáticos se realiza para mejorar la precisión de los resultados, capturar efectos locales, variaciones en el modelo y representar de manera más precisa características geométricas complejas o detalles finos.

En PrePoMax la malla que proporciona generalmente suele ser muy gruesa, obteniendo un número de elementos igual a 947 y número de nodos de 2052.

Con el objetivo de mejorar la calidad de resultados se refina la malla con una dimensión máxima de elementos de 3.75 mm y mínimo de 0.3 mm como muestra la figura 6. Aumentando el número de elementos a 59140 y número de nodos a 90144.

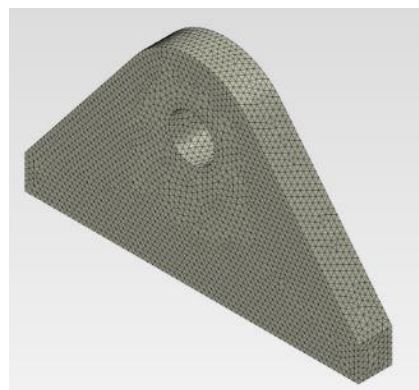


Figura 6: Malla refinada PrePoMax

En Ansys Student por defecto presenta una malla gruesa con un número de elementos igual a 206 y número de nodos de 1365. Se busca la mejor estrategia de mallado en las zonas de influencia para lo cual se agregan estrategias de Inflation y Face Sizing aumentando el número de elementos a 44096 y número de nodos a 94693. Ver figura 7.

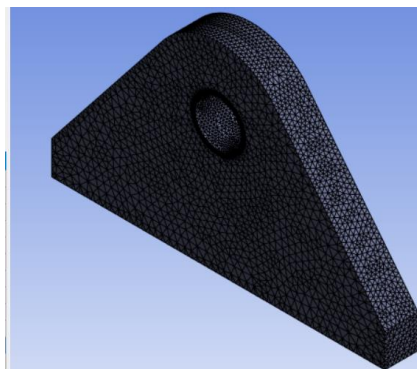


Figura 7: Creación de malla mediante la técnica de Inflation y Face Sizing

### Condiciones de contorno

En la oreja de izaje se considera la aplicación de la carga en el orificio debido a la conexión de los

elementos para elevar y trasladar el recipiente como se muestra en la figura 5. En los softwares PrePoMax y Ansys Student se especifica las componentes encontradas  $W_{1x}$  y  $W_{1y}$ , ubicando los valores correspondientes en  $F1 = X$ ,  $F2 = Y$ ,  $F3 = Z$ .

Se considera un apoyo fijo Fixed en la parte inferior de la oreja de izaje donde va soldado al autotank, interpretando el programa que no existe desplazamientos en ninguna componente X, Y e Z y que se trata como geometría fija; como muestra la figura 8 y 9.

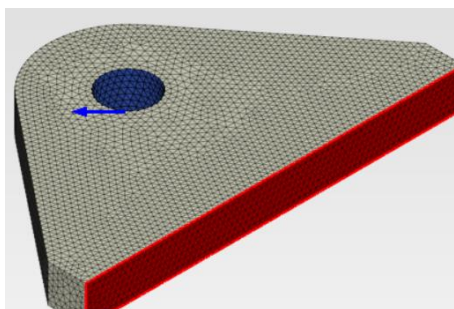


Figura 8: Condiciones de Contorno PrePoMax

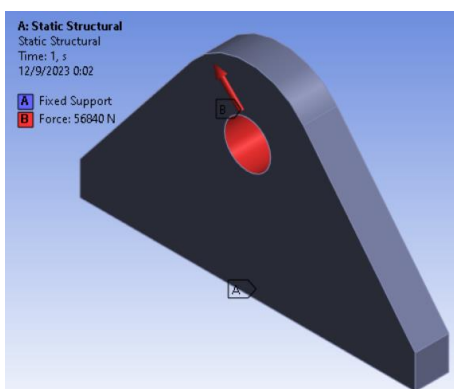


Figura 9: Condiciones de Contorno Ansys Student

### Procesamiento

Es esencial que el diseño cumpla con las regulaciones y estándares de seguridad aplicables para lo cual se simula en los dos softwares que permite cuantificar y validar desplazamientos máximos, esfuerzos máximos que soporta la oreja de izaje y saber cuál es el factor de seguridad con el cual se estaría trabajando.

Una vez realizado las tareas de construcción del modelo, generación de la malla, asignación del material y la definición de las condiciones de contorno, el objetivo del procesamiento es configurar

adecuadamente los datos para obtener resultados precisos y confiables en el análisis estático.

### 3. RESULTADOS

Los resultados obtenidos con el software PrePoMax se lo realiza con un número de elementos de 59140 y número de nodos de 90144.

Mientras que los resultados que se obtuvieron del software Ansys Student se lo realizaron con un número de elementos de 44096 y número de nodos de 94693.

#### Desplazamientos obtenidos

En PrePoMax se obtuvo un desplazamiento máximo de  $\delta_{\max} = 0.01996$  mm, según la colorimetría muestra que existe mayor deformación en la sección donde se aplica la fuerza y la zona superior izquierda en dirección de la fuerza aplicada. Ver figura 10.

El Ansys Student mostró que la oreja de izaje tiene un desplazamiento máximo de  $\delta_{\max} = 0.020074$  mm, la misma deformación se puede identificar por la colorimetría mostrada en la figura 10.

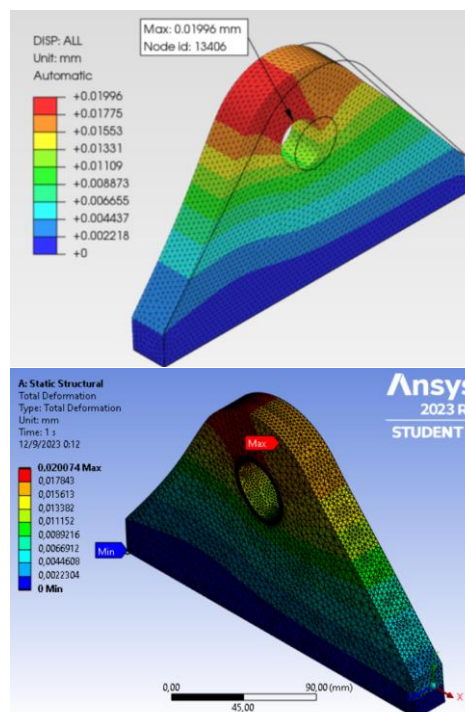


Figura 10: Desplazamiento máximo según PrePoMax y Ansys Student



### Esfuerzo equivalente según Von Mises

Seguidamente se analizó el esfuerzo equivalente que muestra la oreja de izaje, los resultados que se pudieron observar con el software PrePoMax aplicando el criterio de Von Mises es de  $\sigma_{\max} = 56.27$  MPa como máximo y como mínimo  $\sigma_{\min} = 0.3607$  MPa. Con Ansys Student se obtuvo  $\sigma_{\max} = 56.596$  MPa y un mínimo de  $\sigma_{\min} = 0.23438$  MPa. En la figura 11 se observa que los esfuerzos máximos de Von Mises analizados en los dos softwares se focalizan en el orificio de la oreja.

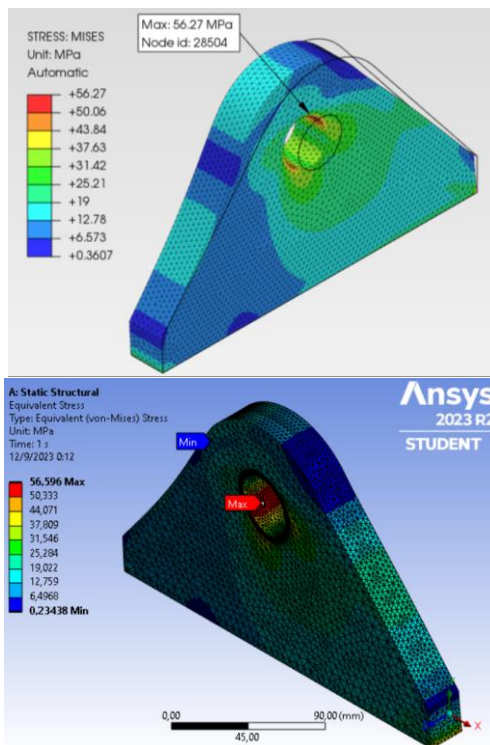


Figura 11: Esfuerzos máximos y mínimos según Von Mises en PrePoMax y Ansys Student

### Cálculo del factor de seguridad.

Como validación final se analiza los factores de seguridad para garantizar que las orejas de izaje sean lo suficientemente confiables y seguras para las condiciones de trabajo previstas.

En PrePoMax no se puede determinar el factor de seguridad de forma directa, sin embargo, con el esfuerzo equivalente máximo obtenido en el programa y la resistencia a la fluencia del material se determina el factor de seguridad como se muestra a continuación.

$$n = \frac{S_y}{\sigma_{eqv}} \quad (2)$$

Donde:

$n$  = factor de seguridad

$S_y$  = Resistencia de fluencia en [MPa]

$\sigma_{eqv}$  = Esfuerzo equivalente en [MPa]

$$n = \frac{249 \text{ MPa}}{56.27 \text{ MPa}} = 4.4424$$

Ansys Student permite determinar el factor de forma directa teniendo valor mínimo de  $n_{\min} = 4$ . Ver figura 12.

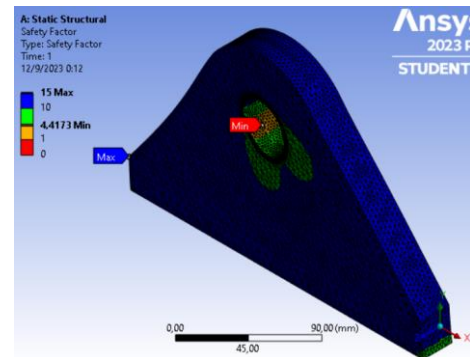


Figura 12: Factor de seguridad según Ansys Student

## 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se realiza la comparación de los resultados obtenidos en PrePoMax y Ansys del desplazamiento máximo, el esfuerzo equivalente máximo según Von Mises y el factor de seguridad mínimo como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 3. Resumen de los resultados obtenidos

Variables	PrePoMax	Ansys Student	Diferencia
Desplazamiento máximo (mm)	0.01996	0.020074	0.000114 (0.57%)
Esfuerzo Equivalente máximo (Von Mises) (MPa)	56.27	56.596	0.326 (0.57%)
Factor de Seguridad mínimo	4.4424	4.4173	0.02517 (0.57%)

Los dos softwares arrojan resultados muy similares de las tres variables calculadas como se puede

observar en la tabla 3 con una diferencia aproximadamente del 0.57% que representa valor mínimo.

Los esfuerzos máximos se dan en la superficie interna del agujero llegando a ser la zona crítica de la oreja de izaje a la cual se conectará los elementos para la elevación del autotank. Cabe recalcar que a pesar de ser está la zona crítica cumple con un factor de seguridad mayor a cuatro.

En los dos softwares la zona crítica respecto a los desplazamientos es la parte superior izquierda de la oreja. En particular, se encontró que los desplazamientos máximos no supera la elongación admisible del material seleccionado, lo que indica que se encuentra completamente apropiado.

Se realiza adicionalmente una comparación con la investigación denominado “Diseño de un autotank de cabeza semiesférica de 8000Gls para transporte de GLP, mediante la aplicación de software CAE”, con el presente trabajo debido a que tienen iguales valores de carga, dimensiones y el mismo material de la oreja. Se considera:

- Condiciones de bordes: en el orificio de la oreja el apoyo fijo, mientras que la aplicación de la carga en la parte inferior.
- Ángulo de inclinación de la carga de  $\alpha = 270^\circ$
- Los resultados obtenidos son: desplazamiento máximo de  $\delta_{\max} = 0.027\text{mm}$ , esfuerzo equivalente máximo según Von Mises  $\sigma_{\max} = 50.28\text{ MPa}$  y un factor de seguridad mínimo de  $n_{\min} = 9.59$

En la presente investigación presenta las siguientes diferencias con la investigación en comparación:

- Condiciones de borde: en la parte inferior de la oreja va soldada al cuerpo del recipiente por lo tanto se consideró como el soporte fijo mientras el agujero es la zona en donde se aplica la carga debido a que es donde se va colocar los elementos de izaje que permitirán la elevación y traslado del recipiente de presión.
- El ángulo de inclinación de la carga es según los requerimientos del Pressure Vessel  $\alpha = 45^\circ$
- Los resultados obtenidos son: desplazamiento máximo de  $\delta_{\max} = 0.020\text{mm}$ , esfuerzo

equivalente máximo según Von Mises  $\sigma_{\max} = 56.27\text{ MPa}$  y un factor de seguridad mínimo de  $n_{\min} = 4.41$ .

Las diferencias entre las dos investigaciones que tienen los mismos parámetros se presentan principalmente debido a las consideraciones realizadas en las condiciones de borde y en el ángulo de inclinación de la carga, que se ven reflejadas en los resultados obtenidos como son: en los desplazamientos una variación entre las dos investigaciones de  $\Delta\delta = 0.007\text{ mm}$ ; en el esfuerzo equivalente máximo según Von Mises  $\Delta\sigma_{\max} = 6\text{ MPa}$  y en el factor de seguridad  $\Delta n_{\min} = 5.5$ .

## 5. CONCLUSIÓN

Con base en la aproximación obtenida por medio del análisis de elementos finitos mediante la utilización de los Software PrePoMax y Ansys Student, se tiene que el valor máximo del esfuerzo según Von Mises es de  $\sigma_{\max} = 56.2\text{ MPa}$  el cual se encuentra por debajo del límite de fluencia del material  $S_y = 249\text{ MPa}$ , y al esfuerzo admisible de  $S_{adm} = 482\text{ MPa}$ . Se observa un desplazamiento máximo de aproximadamente de  $\delta_{\max} = 0.02\text{ mm}$  por muy por debajo del alargamiento permitido.

La mayor intensidad del esfuerzo está localizada en el orificio de la oreja de izaje, por lo tanto, se recomienda suavizar las tensiones mediante un tratamiento térmico.

Vale la pena señalar que el mayor desplazamiento ocurrió en la zona donde se aplica la fuerza y la zona cercana, sin embargo, este desplazamiento es pequeño.

La validación del diseño de orejas de izaje se realizó con la metodología de comparación entre los resultados de dos softwares CAE mediante el análisis de elementos finitos. De los mismo se pudo demostrar que cumple con todos los requisitos de diseño, carga y seguridad establecidos, el cual podrá ser utilizado para las operaciones de elevación.

El análisis de validación demuestra que el diseño de la oreja de izaje está con un factor de seguridad aceptable y adecuado  $n = 4.4$ ; identificando un

margen de seguridad de más del 300% es decir puede soportar más de tres veces la carga aplicada.

El método de elementos finitos ha proporcionado resultados consistentes, estableciendo la confianza y la validez de los ensayos virtuales realizados sobre las orejas de izaje para un autotank de 8000 Gls.

Entre la investigación denominado "Diseño de un autotank de cabeza semiesférica de 8000Gls para transporte de GLP, mediante la aplicación de software CAE", y la presente investigación, la diferencia más relevante encontrada está en el factor de seguridad que tiene una variante muy elevada de aproximadamente el 58%; esto se debe a que las condiciones de borde y la carga aplica en el primer caso no están acorde a lo establecido por las normas ASME.

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] «Suarez - 2015 - ELABORACIÓN DE UN MANUAL DE OPERACIÓN PARA IZAJE D.pdf». Accedido: 11 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible en: [https://repositorio.uptc.edu.co/bitstream/handle/001/2719/TGT\\_1309.pdf;jsessionid=288103121654E276A06160A7A66C06BD?sequence=1](https://repositorio.uptc.edu.co/bitstream/handle/001/2719/TGT_1309.pdf;jsessionid=288103121654E276A06160A7A66C06BD?sequence=1)

[2] «Tesis\_Celia\_Domínguez.pdf». Accedido: 5 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible en: [http://repositoriodigital.ucsc.cl/bitstream/handle/25022009/3314/Tesis\\_Celia\\_Dom%c3%adnguez.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositoriodigital.ucsc.cl/bitstream/handle/25022009/3314/Tesis_Celia_Dom%c3%adnguez.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

[3] «ortega\_dl.pdf». Accedido: 5 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible en: [https://repositorio.uni.edu.pe/bitstream/20.500.14076/3194/1/ortega\\_dl.pdf](https://repositorio.uni.edu.pe/bitstream/20.500.14076/3194/1/ortega_dl.pdf)

[4] «a138308\_Jara\_C\_Procedimiento\_para\_evaluar\_y\_diseñar\_2021\_tesis.pdf». Accedido: 5 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible en: [https://repositorio.unab.cl/xmlui/bitstream/handle/ria/23793/a138308\\_Jara\\_C\\_Procedimiento\\_para\\_evaluar\\_y\\_diseñar\\_2021\\_tesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unab.cl/xmlui/bitstream/handle/ria/23793/a138308_Jara_C_Procedimiento_para_evaluar_y_diseñar_2021_tesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

uar\_y\_diseñar\_2021\_tesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y

[5] «Martinez - 2017 - DISEÑO DE UNA CALDERA DE GENERACIÓN DE VAPOR PIRO.pdf». Accedido: 11 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/6507/1/4062032-2017-2-IM.pdf>

[6] A. M. Gómez Aguilar, «Proyecto de ingeniería de un recipiente a presión para vapor de agua, aplicando el código A.S.M.E sección VIII, división 1», feb. 2023, Accedido: 6 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://tesis.ipn.mx/xmlui/handle/123456789/31178>

[7] M. P. R. Alexander, «Dimensionamiento y proceso de montaje de un separador vertical bifásico para una planta de gas natural con un caudal estándar de 300mmscfd», 2020, Accedido: 6 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/10569>

[8] The American Society of Mechanical Engineers, *The American Society of Mechanical Engineers. SECTION VIII Rules for Construction of Pressure Vessels 2019 ASME Boiler and Pressure Vessel Code an International Code*. New York, USA, 2019.

[9] K. Hazizi y M. Ghaleeh, «Design and Analysis of a Typical Vertical Pressure Vessel Using ASME Code and FEA Technique», *Designs*, vol. 7, n.º 3, Art. n.º 3, jun. 2023, doi: 10.3390/designs7030078.

[10] F. C. M. Guillermo y J. A. J. Luis, «"DISEÑO DE UN AUTOTANQUE DE CABEZA SEMIESFÉRICA, DE 8000 GLS PARA TRANSPORTE DE GLP, MEDIANTE LA APLICACIÓN DE SOFTWARE».

[11] «Diseño Y Análisis De Recipientes A Presión - Análisis FEA». Accedido: 14 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible en:

<https://sdeasolutions.com/es/analisis-elementos-finitos-fea/recipientes-a-presion/>

[12] E. V. Ibarra-Hernández, I. M. Díaz, M. Dupin-Fonseca, F. A. Goya-Valdivia, y B. F. G.-Valdés, «ESTUDIO COMPARATIVO MEDIANTE EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS DE LAS TAPAS UTILIZADAS EN RECIPIENTES CILÍNDRICOS HORIZONTALES SOMETIDOS A PRESIÓN INTERIOR», vol. 44, n.º 3, Art. n.º 3, 2017.

[13] T. Rheinland, «Método de Elementos Finitos para Equipos a Presión». Accedido: 14 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible en: [https://www.tuv.com/spain/es/m%C3%A9todo-de-los-elementos-finitos-\(mef\).html](https://www.tuv.com/spain/es/m%C3%A9todo-de-los-elementos-finitos-(mef).html)

[14] E. MEGYESY, *Pressure Vessel Handbook*. Tulsa, Oklahoma, 2008.

[15] «ASTM A516 Propiedades ⚙ (Mecánicas, Químicas y Clasificación) rev. 2022», Materiales (ES). Accedido: 13 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.materiales.gelsonluz.com/2020/09/astm-a516-propiedades-mecanicas.html>