



UNIVERSIDAD LAICA “ELOY ALFARO” DE MANABÍ

Título:

Estudio y simulación de resistencia de un tanque sometido a presión interna

Autores:

Vargas Olmedo Juan Pablo
Tortorella Rodríguez Luis Steven

Tutor

Ing. Jiménez Gonzales Jonathan Paúl

Unidad Académica:

Unidad Académica de Formación Técnica y Tecnológica.

Carrera:

Tecnología Superior en Electromecánica.

El Carmen, Febrero de 2026

CERTIFICACION DEL TUTOR

Ing. Jiménez Gonzales Jonathan Paúl docente de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí, Unidad Académica de Formación Técnica y Tecnológica, en calidad de Tutor.

CERTIFICO:

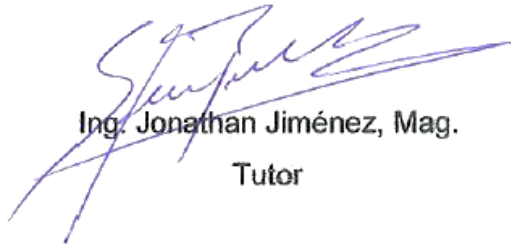
Que el presente proyecto integrador con el título: “Estudio y simulación de resistencia de un tanque sometido a presión interna ” ha sido exhaustivamente revisado en varias sesiones de trabajo, está listo para su presentación y apto para su defensa.

Las opciones y conceptos vertidos en este documento son fruto de la perseverancia y originalidad de sus autores:

Vargas Olmedo Juan Pablo, Tortorella Rodríguez Luis Steven

Siendo de su exclusiva responsabilidad.

El Carmen, Febrero de 2026



Ing. Jonathan Jiménez, Mag.
Tutor

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Quienes suscriben la presente:

Vargas Olmedo Juan Pablo, Tortorella Rodríguez Luis Steven
Estudiantes de la Carrera de **Tecnología Superior en Electromecánica**,
declaramos bajo juramento que el presente proyecto integrador cuyo título:
“Estudio y simulación de resistencia de un tanque sometido a presión interna ”,
previa a la obtención del Título de Estudio y simulación de resistencia de un
tanque sometido a presión interna, es de autoría propia y ha sido desarrollado
respetando derechos intelectuales de terceros y consultando las referencias
bibliográficas que se incluyen en este documento.

El Carmen, Febrero de 2026



Vargas Olmedo Juan Pablo




Tortorella Rodríguez Luis Steven

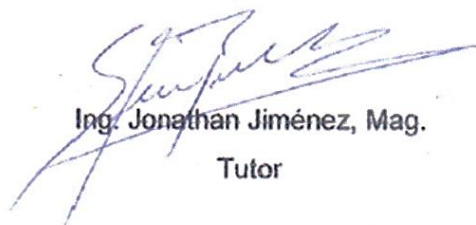
APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Los miembros del Tribunal Examinador aprueban el Trabajo de Titulación con modalidad Proyecto Integrador, titulado: "Estudio y simulación de resistencia de un tanque sometido a presión interna " de sus autores: Vargas Olmedo Juan Pablo, Tortorella Rodríguez Luis Steven de la Carrera "Tecnología Superior en Electromecánica", y como Tutor del Trabajo el Ing. Jiménez Gonzales Jonathan Paúl


El Carmen, Febrero de 2026



Dr. Henry Pinargote, PhD.
PRESIDENTE TRIBUNAL



Ing. Jonathan Jiménez, Mag.
Tutor



Ing. Saed Reascos, Mag.
Primer miembro del tribunal



Ing. Wladimir Minaya, Mag.
Segundo miembro de tribunal

AGRADECIMIENTO

Agradezco profundamente a Dios por brindarme salud, fortaleza y perseverancia para culminar esta etapa tan importante de mi formación académica.

Expreso mi sincero agradecimiento a mi director de tesis por su orientación, paciencia y valiosos conocimientos compartidos durante el desarrollo del estudio y simulación del tanque a presión. Su guía fue fundamental para el logro de los objetivos planteados.

A mis docentes, quienes a lo largo de la carrera me brindaron las bases teóricas y prácticas necesarias para desarrollar este proyecto con responsabilidad y compromiso.

A mi familia, por su apoyo incondicional, motivación constante y confianza en mí, siendo el pilar fundamental en cada paso de este proceso.

Finalmente, a mis compañeros y amigos, por su colaboración y ánimo durante esta etapa académica.

Este trabajo representa no solo un logro académico, sino también el resultado del esfuerzo conjunto de todas las personas que me acompañaron en este camino.

Tortorella Luis, Vargas Juan

DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por ser mi guía y fortaleza en cada etapa de mi vida.

A mi familia, por su amor, apoyo incondicional y confianza en mí, quienes han sido mi mayor motivación para alcanzar esta meta.

A mis padres, por sus sacrificios, consejos y esfuerzo constante, que hicieron posible la culminación de esta etapa académica.

Este logro es también de ustedes, por acompañarme siempre en cada desafío y enseñarme a no rendirme.

Tortorella Luis, Vargas Juan

RESUMEN

El presente proyecto abordó el diseño y análisis estructural de un tanque cilíndrico sometido a presión interna, partiendo del problema de garantizar su resistencia mecánica y seguridad operativa en condiciones de trabajo de 2,5 MPa. El objetivo general fue realizar un estudio y simulación estructural para determinar el espesor adecuado del tanque conforme a la normativa ASME Sección VIII, División 1. La metodología se desarrolló en tres fases: cálculo estructural preliminar, modelado tridimensional mediante el software SolidWorks y análisis por elementos finitos (FEM) para validar su comportamiento bajo presión. Los resultados obtenidos indicaron que el espesor óptimo del cilindro es de 25 mm, con tensiones máximas de 147,7 MPa, desplazamientos de 1,37 mm y un factor de seguridad mínimo de 2,166, lo que demuestra que el diseño cumple con los criterios técnicos de integridad estructural. En las conclusiones, se establece que cada uno de los objetivos fue alcanzado satisfactoriamente, validando la propuesta técnica y asegurando la viabilidad del tanque en su entorno operativo. Este trabajo aporta una base sólida para futuras aplicaciones industriales y académicas relacionadas con el diseño de recipientes a presión.

PALABRAS CLAVE

SolidWorks, elementos finitos, estructural, factor de seguridad

ABSTRACT

This project addressed the design and structural analysis of a cylindrical pressure vessel, based on the need to ensure its mechanical resistance and operational safety under internal pressure conditions of 2.5 MPa. The general objective was to conduct a study and structural simulation to determine the appropriate wall thickness of the tank in accordance with the ASME Section VIII, Division 1 standard. The methodology was developed in three phases: preliminary structural calculation, 3D modeling using SolidWorks software, and finite element analysis (FEA) to validate the tank's behavior under internal load. The results showed that the optimal wall thickness is 25 mm, with a maximum von Mises stress of 147.7 MPa, a maximum displacement of 1.37 mm, and a minimum safety factor of 2.166—demonstrating that the design meets technical standards for structural integrity. In the conclusions, it was determined that all objectives were successfully achieved, validating the technical feasibility of the tank. This work provides a solid foundation for future industrial and academic applications related to the design of pressure vessels.

KEYWORDS

SolidWorks, Finite Elements, *Structural*, *Safety Factor*

ÍNDICE

CERTIFICACION DEL TUTOR.....	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	II
APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	Error! Bookmark not defined.
AGRADECIMIENTO	IV
DEDICATORIA.....	V
RESUMEN.....	VI
PALABRAS CLAVE	VI
ABSTRACT.....	VII
KEYWORDS	VII
ÍNDICE.....	VIII
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	IX
ÍNDICE DE TABLAS	IX
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	1
1.1. PROBLEMA.....	4
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	4
1.3. OBJETIVOS.....	6
1.3.1. Objetivo general.....	6
1.3.2. Objetivos específicos.....	6
1.4. METODOLOGÍA	6
1.4.1. Procedimiento.....	6
1.4.2. Técnicas	7
1.4.3. Métodos.....	8
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	10
2.1. DEFINICIONES	10
2.1.1. Fundamentos generales de los tanques a presión interna.....	10
2.1.2. Definición y tipos de recipientes a presión	10
2.1.3. Aplicaciones industriales y operativas.....	12
2.1.4. Riesgos asociados a fallas estructurales	12
2.1.5. Esfuerzos principales aplicados al diseño de tanques	13
2.1.6. Criterios de falla y factor de seguridad.....	15
2.1.7. Norma ASME Sección VIII – fundamentos y parámetros de diseño	16
2.1.8. Comparación básica con otras normas API 650 y API 579.....	17
2.2. ANTECEDENTES.....	18

2.3. TRABAJOS RELACIONADOS	20
CAPÍTULO III: DESARROLLO DE LA PROPUESTA	23
3.1. DESARROLLO	23
4.1. CONCLUSIONES	37
4.2. RECOMENDACIONES	37
BIBLIOGRAFÍA	39
ANEXOS	41

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Figura 1 Tipos de tanques a presión.....	11
Figura 2 Modelado en SolidWokrks tanque a presión.....	28
Figura 3 Vista tridimensional Tanque a presión	29
Figura 4 Cargas externas al tanque a presión	31
Figura 5 Malla generada al tanque a presión	32
Figura 6 Análisis de Tensiones de Von Misses.....	34
Figura 7 Análisis de desplazamientos.....	35
Figura 8 Análisis del factor de seguridad	36

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Fallos estructurales típicos.....	13
Tabla 2 Datos iniciales de diseño tanque a presión.....	26
Tabla 3 Espesores minimos según Norma ASME	27
Tabla 4 Características del material	29
Tabla 5 Logros del objetivo 1	32
Tabla 6 Logros del objetivo 2	33
Tabla 7 Resumen de análisis.....	36

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

La ingeniería moderna enfrenta desafíos cada vez mayores en términos de seguridad, eficiencia estructural y normativas rigurosas en el diseño de equipos sometidos a condiciones extremas. Uno de los componentes más críticos en diversas industrias como la petroquímica, la alimentaria y la energética es el tanque sometido a presión interna, cuya falla estructural puede derivar en consecuencias catastróficas tanto humanas como medioambientales. De ahí la imperiosa necesidad de realizar un diseño meticuloso y una verificación rigurosa de su resistencia mecánica. Tal como señalan (Romero Vásquez, 2013) y (González Dorta, 2018), el diseño de recipientes a presión no puede limitarse únicamente al cumplimiento normativo, sino que debe integrar herramientas avanzadas de simulación que permitan anticipar comportamientos bajo cargas operativas reales y accidentales, a fin de optimizar su espesor, forma y materiales

En este contexto, el presente trabajo se orienta al análisis estructural y a la simulación numérica de un tanque sometido a presión interna, aplicando herramientas de análisis por elementos finitos (FEM), específicamente mediante el software SolidWorks. La validación del modelo se sustenta tanto en criterios normativos (como ASME Sección VIII División 1) como en estudios previos de referencia académica y técnica. Así, se busca identificar los puntos críticos de esfuerzo, validar los espesores mínimos requeridos y garantizar la integridad del tanque bajo condiciones de presión de diseño. Como lo destacan (Escudero Vega, 2016) y (Chávez Basantes, 2004) el uso combinado de normas técnicas, modelado tridimensional y simulación numérica proporciona una aproximación integral al comportamiento real del recipiente, reduciendo la incertidumbre en la toma de decisiones de diseño

Las normas ASME Sección VIII División 1 y División 2 son ampliamente utilizadas en el ámbito industrial para establecer los criterios de cálculo y verificación del espesor mínimo de paredes, esfuerzos permisibles y consideraciones adicionales como la corrosión y la fatiga. Estas normas permiten dimensionar adecuadamente el cuerpo cilíndrico, los casquetes y las aberturas, asegurando la resistencia del recipiente a los estados límite de falla elástica o plástica (Romero Vásquez, 2013). Adicionalmente, normas como la API 650 y la

API 579 complementan esta labor al contemplar aspectos como la integridad estructural en servicio, evaluación por mecanismos de degradación y aptitud para continuar en operación (Chávez Basantes, 2004). Estas directrices técnicas no solo establecen procedimientos de cálculo detallados, sino que también introducen factores de seguridad basados en experiencias industriales acumuladas, convirtiéndose en una herramienta indispensable tanto para el diseño inicial como para las evaluaciones posteriores durante la vida útil del equipo. El cumplimiento riguroso de estas normas ha demostrado ser efectivo en la prevención de fallas estructurales, como lo evidencia la literatura especializada y los estudios de casos documentados en proyectos industriales (Romero Vásquez, 2013), (González Dorta, 2018).

En los últimos años, diversos estudios han profundizado en el análisis estructural y diseño mecánico de tanques sometidos a presión interna, destacando el empleo de herramientas computacionales como el método de elementos finitos (FEM) para evaluar el comportamiento estructural bajo diferentes condiciones de carga (Ledesma-Orozco, 2013), por ejemplo, realizaron un análisis numérico-teórico de un tanque cilíndrico reforzado con fibras compuestas, validando sus resultados mediante simulaciones en ANSYS y demostrando que las zonas más críticas se localizan en las capas internas de material compuesto, lo que permite una mejor comprensión del comportamiento estructural en ciclos de sobrepresión. Asimismo, (Quispe Quispe, 2019) llevaron a cabo el diseño de un tanque de almacenamiento de 10,000 galones de petróleo conforme a la norma API 650, incorporando simulaciones CAD/CAE bajo condiciones hidrostáticas, logrando determinar deformaciones y tensiones máximas aceptables para su fabricación segura. Estos antecedentes evidencian la relevancia de integrar metodologías numéricas en el diseño y validación estructural de recipientes a presión, tanto en aplicaciones industriales como en contextos académicos.

El análisis estructural de tanques sometidos a presión interna no solo responde a una exigencia técnica, sino también a una responsabilidad ética y legal en la ingeniería moderna. La importancia de este tema radica en su impacto directo sobre la seguridad operativa de instalaciones industriales donde se almacenan gases o líquidos bajo presión, cuya fuga o ruptura puede provocar daños humanos, pérdidas económicas significativas y afectaciones medioambientales

irreversibles. En ese sentido, el correcto dimensionamiento del espesor, la selección de materiales adecuados y la verificación mediante simulaciones estructurales constituyen pilares fundamentales en la prevención de fallas. Además, el avance de la simulación computacional ha permitido sustituir muchos ensayos físicos costosos y peligrosos por análisis predictivos confiables, como el método de elementos finitos, ampliamente usado en la validación estructural de estos sistemas. Tal como indica (Escudero Vega, 2016), el uso de herramientas CAE contribuye a un diseño más eficiente, económico y preciso, lo que refuerza la importancia del enfoque adoptado en el presente estudio. Así, este tipo de investigaciones no solo fortalecen el conocimiento científico y técnico en el área, sino que también ofrecen soluciones concretas a los desafíos de seguridad industrial en contextos donde la presión interna representa un riesgo latente.

El estudio y simulación de la resistencia de un tanque sometido a presión interna guarda una estrecha relación con los campos de conocimiento y acción profesional de la carrera de Tecnología Superior en Electromecánica. Esta disciplina integra principios de la mecánica, la electricidad, la electrónica y la automatización industrial, siendo fundamental la comprensión de los sistemas presurizados que operan en plantas industriales, sistemas de refrigeración, redes de distribución de fluidos y procesos térmicos. El diseño, mantenimiento y supervisión de tanques a presión requiere competencias sólidas en análisis de esfuerzos, selección de materiales, interpretación de planos técnicos, manejo de software de diseño asistido por computadora (CAD) y simulación estructural (CAE), habilidades que forman parte del perfil profesional del tecnólogo electromecánico. Además, este tipo de proyectos fomenta la capacidad de aplicar normativas internacionales (como ASME o API), de trabajar con estándares de seguridad industrial y de prevenir riesgos operacionales, lo cual fortalece la formación técnica integral y prepara al futuro profesional para responder a los desafíos del sector productivo. Así, esta investigación contribuye de manera directa a la consolidación de un aprendizaje significativo, aplicado y pertinente con las exigencias del mercado laboral en el ámbito electromecánico.

1.1. PROBLEMA

En los entornos industriales actuales, el uso de tanques sometidos a presión interna es indispensable para procesos de almacenamiento, transporte y regulación de fluidos bajo condiciones controladas. No obstante, la falta de un diseño adecuado y de una verificación estructural rigurosa puede generar consecuencias críticas, como fugas, deformaciones permanentes, rupturas súbitas y accidentes catastróficos. Estas fallas no solo afectan la continuidad operativa de plantas y sistemas, sino que también comprometen la seguridad de los trabajadores y el entorno ambiental. Muchas de estas situaciones surgen por una inadecuada selección de materiales, errores en el cálculo del espesor de paredes, o la ausencia de un análisis mecánico que simule con precisión el comportamiento del tanque bajo presión interna. A pesar de la existencia de normativas como la ASME Sección VIII o la API 650, en ciertos contextos industriales y académicos se sigue priorizando el diseño empírico sin el respaldo de herramientas de análisis computacional que puedan validar los criterios estructurales adoptados.

En el ámbito académico, especialmente en instituciones formativas técnicas como las que forman a los tecnólogos en electromecánica, se ha identificado una carencia en el uso sistemático de software de análisis estructural (CAE) como apoyo al diseño mecánico. Esto limita el desarrollo de competencias prácticas en simulación y validación, esenciales para un desempeño profesional competente en el campo. Por ello, es necesario generar propuestas de investigación aplicada que combinen fundamentos normativos con herramientas modernas de simulación, como el método de elementos finitos, para analizar con mayor precisión el comportamiento de estructuras sometidas a presión interna.

1.2. JUSTIFICACIÓN

Desde una perspectiva académica, el desarrollo del presente estudio representa una oportunidad formativa integral que articula conocimientos teóricos con aplicaciones prácticas en el campo del diseño mecánico. La elaboración de un modelo estructural y su validación mediante simulación computacional permite al estudiante integrar saberes clave en resistencia de materiales, dinámica de fluidos, diseño asistido por computadora (CAD) y análisis estructural con elementos finitos (CAE), todos ellos fundamentales en la formación del tecnólogo

electromecánico. Este tipo de proyectos académicos fortalece el pensamiento crítico, la resolución de problemas reales y el manejo de normativas técnicas internacionales como la ASME Sección VIII o API 650. Además, fomenta el aprendizaje significativo al involucrar al estudiante en un proceso de investigación aplicada, donde debe interpretar resultados de esfuerzos, deformaciones y factores de seguridad, y tomar decisiones de diseño que respondan a criterios de funcionalidad y seguridad.

Desde una perspectiva tecnológica, este proyecto adquiere gran relevancia al integrar herramientas modernas de simulación computacional para la validación estructural de tanques a presión, lo cual representa una tendencia actual en la ingeniería aplicada. El uso del método de elementos finitos (FEM), a través de plataformas como ANSYS, SolidWorks Simulation o PV Designer, permite analizar con precisión zonas de concentración de esfuerzos, distribución de tensiones y posibles fallas estructurales, aspectos que resultan difíciles de predecir con métodos analíticos tradicionales. Esta aproximación tecnológica no solo optimiza los recursos de diseño al evitar sobredimensionamientos innecesarios, sino que también permite cumplir con estándares internacionales de calidad y seguridad. En este contexto, la simulación no es únicamente un complemento al cálculo, sino una herramienta indispensable para la toma de decisiones técnicas informadas en proyectos industriales reales. De esta manera, el presente estudio no solo evidencia la importancia del diseño mecánico estructural, sino también promueve la adopción de tecnologías emergentes que aumentan la eficiencia, precisión y competitividad del sector electromecánico.

Esta investigación responde a la necesidad de generar soluciones técnicas que mejoren la confiabilidad estructural de componentes sometidos a condiciones extremas, como los tanques a presión, empleando herramientas de diseño asistido por computadora (CAD) y simulación (CAE), competencias esenciales promovidas por el perfil de egreso. Además, el proyecto contribuye al fortalecimiento del vínculo entre docencia, práctica tecnológica e innovación, principios fundamentales en la educación técnica superior. En este sentido, el estudio no solo enriquece el acervo académico de la institución, sino que también aporta conocimientos aplicables a proyectos integradores, laboratorios, prácticas

preprofesionales e incluso convenios con sectores industriales interesados en soluciones eficientes y seguras para sus sistemas de almacenamiento y transporte de fluidos bajo presión.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo general

Analizar y simular la resistencia de un tanque sometido a presión interna.

1.3.2. Objetivos específicos

- Realizar el cálculo estructural preliminar del tanque sometido a presión interna.
- Diseñar el modelo tridimensional del tanque en un entorno CAD.
- Simular el comportamiento estructural del tanque bajo presión interna utilizando software de análisis.

1.4. METODOLOGÍA

1.4.1. Procedimiento

La metodología empleada en el desarrollo de este proyecto se basó en un enfoque cuantitativo, de tipo descriptivo-aplicativo, orientado a resolver un problema técnico real mediante el uso de herramientas computacionales y cálculos normativos. El proceso metodológico se estructuró en tres fases, cada una alineada con los objetivos específicos planteados:

1. Fase de cálculo estructural:

En esta etapa se procedió a recopilar los datos técnicos iniciales del tanque, tales como la presión interna de trabajo, el volumen, las dimensiones geométricas, el tipo de fluido contenido y los materiales involucrados. Con esta información se aplicaron los criterios de diseño establecidos en la norma ASME Sección VIII, División 1, para el cálculo del espesor mínimo requerido en el cuerpo cilíndrico y en las cabezas del tanque (casquetes). Además, se calcularon los esfuerzos máximos permisibles, el factor de seguridad y se consideraron coeficientes de corrosión si el fluido lo exigía. Esta fase permitió obtener los parámetros fundamentales que aseguran la integridad estructural del tanque desde un enfoque analítico.

2. Fase de diseño tridimensional:

Con base en los resultados del cálculo estructural, se procedió al modelado del tanque en un entorno de diseño asistido por computadora (CAD),

utilizando software como SolidWorks. En el diseño se incorporaron todos los detalles geométricos del tanque: cuerpo cilíndrico, casquetes, bocas de acceso y conexiones. Se definieron con precisión los materiales, espesores, dimensiones y condiciones de fabricación. Este modelo tridimensional sirvió como base para la simulación estructural, asegurando la coherencia entre los datos analíticos y el entorno virtual.

3. Fase de simulación estructural:

La última etapa consistió en la exportación del modelo CAD al entorno CAE (Computer Aided Engineering), empleando software como SolidWorks Simulation. Se realizó una malla adecuada para el análisis por elementos finitos, seleccionando el tipo de elemento más apropiado para estructuras de paredes delgadas. Se asignaron las propiedades mecánicas de los materiales, se aplicaron las cargas (presión interna) y las condiciones de contorno (restricciones en apoyos o puntos fijos). Finalmente, se ejecutó el análisis estructural para obtener mapas de tensiones de von Mises, deformaciones y desplazamientos. Los resultados fueron interpretados para verificar si el diseño cumple con los criterios de resistencia y seguridad, comparando con los valores obtenidos en el cálculo teórico.

Este procedimiento metodológico permitió abordar de forma integral el análisis de un tanque sometido a presión interna, asegurando la validez técnica del diseño y su aplicabilidad a contextos industriales reales.

1.4.2. Técnicas

Una de las principales técnicas utilizadas en el desarrollo de este proyecto fue el cálculo analítico estructural conforme a la norma ASME Sección VIII, División 1, la cual establece criterios fundamentales para el diseño seguro de recipientes a presión. Esta normativa permite calcular espesores mínimos, tensiones máximas admisibles y factores de seguridad necesarios para garantizar que la estructura soporte adecuadamente la presión interna sin comprometer su integridad (ASME, 2021). Esta técnica se aplicó en la fase inicial del proyecto, y resultó indispensable para obtener las dimensiones estructurales básicas del tanque, permitiendo establecer una base sólida y normativa sobre la cual fundamentar el diseño posterior. Su uso fue motivado por la necesidad de

asegurar la validez técnica y legal del diseño, acorde a estándares reconocidos internacionalmente en la industria electromecánica.

La segunda técnica aplicada fue el modelado tridimensional asistido por computadora (CAD), mediante el uso del software SolidWorks. Esta herramienta permitió representar gráficamente y con alta precisión el diseño del tanque, incorporando los resultados obtenidos del cálculo analítico. Según (Zhou, 2018), el uso de CAD en el proceso de diseño mecánico mejora la precisión, reduce errores y facilita la transición hacia entornos de simulación. El modelo CAD del tanque incluyó elementos clave como el cuerpo cilíndrico, las cabezas, bocas de inspección y conexiones, representando fielmente la geometría del sistema. Esta etapa fue fundamental para construir una base digital detallada, indispensable para llevar a cabo los análisis posteriores en plataformas de simulación estructural.

Finalmente, se utilizó la técnica de simulación estructural mediante el método de elementos finitos (FEM), implementada en software como SolidWorks Simulation. Esta técnica permitió analizar el comportamiento del tanque frente a la presión interna de operación, mediante la discretización del modelo en elementos finitos y la aplicación de condiciones de carga y contorno. Tal como lo explican (Cook, 2002), el FEM es una de las metodologías más eficaces para predecir cómo las estructuras reaccionan ante fuerzas externas, permitiendo identificar zonas de concentración de esfuerzos, desplazamientos y posibles fallos. En este proyecto, esta técnica se aplicó en la etapa final, validando la resistencia del diseño tridimensional mediante mapas de tensiones y cálculo del factor de seguridad. Su uso fue clave para contrastar los resultados teóricos con los datos obtenidos por simulación, garantizando así un diseño robusto y seguro.

1.4.3. Métodos

Uno de los métodos principales empleados fue el método deductivo, el cual parte de principios generales o normativos para llegar a conclusiones específicas aplicadas a un caso concreto. Este método es ampliamente utilizado en el campo de la ingeniería, ya que permite aplicar teorías establecidas y normas técnicas para resolver problemas prácticos y reales (Hernández Sampieri, 2014). En este proyecto, el método deductivo fue aplicado desde el inicio, al utilizar la normativa ASME Sección VIII para deducir el espesor mínimo necesario del tanque,

basándose en parámetros como presión interna, diámetro y tipo de material. Su utilización permitió trasladar el conocimiento teórico a un diseño funcional, garantizando que las decisiones estructurales respondieran a criterios técnicos válidos.

El segundo método implementado fue el método experimental-simulado, orientado a la validación estructural del modelo mediante herramientas computacionales. Aunque no se realizaron ensayos físicos, el análisis por elementos finitos (FEM) constituye un método experimental virtual que simula el comportamiento del tanque bajo condiciones de carga reales, permitiendo observar tensiones, deformaciones y posibles fallas estructurales (Cook, 2002). Este método fue aplicado en la fase final del proyecto, utilizando el software SolidWorks Simulation para evaluar si el modelo diseñado resistía adecuadamente la presión interna. Su elección se basó en la necesidad de obtener resultados confiables sin incurrir en los elevados costos y riesgos de realizar pruebas destructivas en prototipos físicos.

Se utilizó el método gráfico-computacional, el cual se fundamenta en la representación digital de objetos mediante software de diseño asistido por computadora (CAD). Este método facilita la creación de modelos tridimensionales precisos, mejorando la comprensión visual del sistema y su posterior análisis (Zhou, 2018). En el proyecto, este método fue aplicado en la segunda fase, cuando se diseñó el modelo 3D del tanque en SolidWorks, incorporando las dimensiones calculadas previamente. Este modelo sirvió como puente entre el análisis teórico y la simulación estructural, permitiendo una transición fluida entre los diferentes entornos de trabajo técnico.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. DEFINICIONES

2.1.1. Fundamentos generales de los tanques a presión interna

Los tanques a presión interna constituyen componentes fundamentales en una amplia gama de aplicaciones industriales, desde la generación de energía hasta los procesos petroquímicos, alimentarios y farmacéuticos. Su función principal es contener fluidos (líquidos o gases) a presiones significativamente mayores que la atmosférica, lo que los somete a exigencias estructurales y normativas rigurosas. El diseño adecuado de estos recipientes no solo garantiza la eficiencia operativa, sino también la seguridad de las personas y equipos que interactúan en su entorno. Como señalan (Ledesma-Orozco, 2013), el uso de tanques a presión con estructuras optimizadas es esencial para responder a los crecientes requerimientos de almacenamiento seguro de fluidos presurizados, especialmente en entornos donde la integridad mecánica y la resistencia a la fatiga son críticas.

2.1.2. Definición y tipos de recipientes a presión

Los recipientes a presión son equipos diseñados para contener fluidos (líquidos, vapores o gases) a una presión distinta de la atmosférica, ya sea superior o inferior, y pueden operar en condiciones estacionarias o transitorias. De acuerdo con el Código ASME Sección VIII, un recipiente a presión es “un contenedor diseñado para resistir presiones internas o externas que exceden los 15 psi (1.03 bar o 0.103 MPa)” (ASME, 2021). Estos equipos se encuentran comúnmente en industrias como la petroquímica, alimentaria, farmacéutica, energética y de procesos, donde el almacenamiento seguro y eficiente de fluidos bajo presión es esencial.

Desde el punto de vista funcional y estructural, los recipientes a presión se pueden clasificar de varias maneras. Una de las clasificaciones más comunes es según su forma geométrica, donde predominan tres tipos principales: cilíndricos, esféricos y rectangulares. Los cilíndricos son los más frecuentes en la industria, debido a su simplicidad constructiva y buena distribución de esfuerzos bajo presión interna. Los esféricos tienen mejor distribución de tensiones, pero son más costosos de fabricar, por lo que se reservan para aplicaciones críticas. Los de forma rectangular son menos

comunes y suelen usarse en diseños especiales, aunque presentan mayores concentraciones de esfuerzo en esquinas (Lalanne, 2002).

Otra clasificación fundamental es según su función operativa:

- Recipientes de almacenamiento: Se utilizan para contener fluidos presurizados en estado estático, como tanques de aire comprimido o gas.
- Recipientes de proceso: Intervienen directamente en operaciones industriales, como intercambiadores de calor, reactores o columnas de destilación.
- Recipientes móviles: Son transportables, como los cilindros de gas industrial o botellas SCUBA.
- Recipientes criogénicos: Diseñados para contener gases licuados a muy bajas temperaturas y altas presiones.

Además, pueden clasificarse por el tipo de presión que manejan: interna, externa o combinada. Los más comunes son los de presión interna positiva, como los que almacenan gases comprimidos, aunque también existen recipientes que operan a presión negativa o vacío parcial.

Esta diversidad tipológica exige que el diseño se base en criterios normativos rigurosos que consideren presión de trabajo, tipo de fluido, temperatura, geometría, esfuerzo permisible del material y factores de seguridad. Tal como señala (Manrique, 2016), un diseño correcto debe partir no solo de los parámetros operativos, sino también del tipo de recipiente a emplear, ya que cada configuración estructural responde de forma distinta ante sollicitaciones internas o externas.

Figura 1 Tipos de tanques a presión



Fuente: (aosmithlatam, 2020)

2.1.3. Aplicaciones industriales y operativas

Los recipientes a presión desempeñan un papel esencial en una gran variedad de procesos industriales, donde la manipulación, almacenamiento y transformación de fluidos a alta presión son actividades comunes. Estos equipos están presentes en sectores como la industria química, petroquímica, farmacéutica, alimentaria, energética y de tratamiento de aguas, en los que las condiciones de operación requieren mantener gases o líquidos a presiones significativamente mayores que la atmosférica. Tal como lo establece el (ASME, 2021), cualquier recipiente que opere a una presión superior a 15 psi debe cumplir con requisitos específicos de diseño, fabricación, inspección y pruebas para garantizar la seguridad operativa y estructural. La versatilidad de estos equipos ha permitido su adaptación a una amplia gama de funciones, desde el almacenamiento de aire comprimido y gases industriales, hasta su integración en sistemas de calderas, reactores químicos y tanques criogénicos.

En el ámbito operativo, los recipientes a presión son fundamentales para procesos que involucran transferencia de calor, reacciones químicas controladas, separación de fases y mantenimiento de condiciones termodinámicas constantes. Por ejemplo, en una planta petroquímica, estos equipos pueden utilizarse como torres de destilación o reactores catalíticos; en la industria alimentaria, como autoclaves o pasteurizadores; y en sistemas energéticos, como acumuladores hidráulicos o separadores de vapor. Según (Gómez, 2020), la confiabilidad operativa de los tanques a presión incide directamente en la eficiencia de los procesos productivos, razón por la cual su diseño y mantenimiento deben cumplir con estándares técnicos rigurosos. Esta diversidad de aplicaciones exige que los ingenieros electromecánicos cuenten con una comprensión profunda del comportamiento mecánico de estos recipientes bajo presión interna, así como de las normativas que regulan su uso.

2.1.4. Riesgos asociados a fallas estructurales

Los recipientes a presión son estructuras sometidas a condiciones críticas de operación, por lo que cualquier fallo en su integridad puede representar un riesgo grave para la seguridad industrial y humana. Entre los principales mecanismos de falla se encuentran la sobrepresión, la fatiga por cargas cíclicas, la corrosión interna o externa, la fragilización térmica y los defectos en las uniones soldadas.

Estas fallas pueden ser causadas por errores de diseño, defectos de fabricación, condiciones operativas severas o falta de mantenimiento adecuado. Según el (ASME, 2021), para evitar consecuencias catastróficas es imprescindible aplicar factores de seguridad adecuados en el diseño, realizar inspecciones periódicas, instalar dispositivos de alivio de presión, y utilizar materiales adecuados. Además, el uso de simulaciones computacionales por elementos finitos permite anticipar zonas críticas donde pueden concentrarse esfuerzos y producirse fallas, reforzando el diseño preventivo del sistema.

Tabla 1 Fallos estructurales típicos

Tipo de falla	Causa principal	Consecuencia potencial	Método de prevención/control
Sobrepresión	Mal diseño o falla en válvulas de alivio	Explosión por ruptura súbita	Válvulas de seguridad, sensores, diseño ASME
Fatiga estructural	Cargas cíclicas repetitivas	Fisuras progresivas, fallo estructural	Diseño con factor de seguridad, inspección END
Corrosión interna/externa	Ataque químico o ambiental	Pérdida de espesor, fugas o rotura	Recubrimientos, selección de materiales, monitoreo
Fragilización térmica	Operación a bajas temperaturas	Ruptura frágil, sin deformación previa	Selección adecuada de material, control térmico
Falla en soldaduras	Mal procedimiento de soldadura o defectos ocultos	Fisura o desprendimiento estructural	Ensayos no destructivos (rayos X, ultrasonido), control de calidad

Fuente: Elaboración propia

2.1.5. Esfuerzos principales aplicados al diseño de tanques

En el diseño de recipientes a presión cilíndricos, los dos tipos de esfuerzos más importantes que se deben considerar son la tensión circunferencial (también conocida como esfuerzo tangencial o *hoop stress*) y la tensión longitudinal (o axial). Ambos resultan del efecto de la presión interna actuando sobre las paredes del tanque, siendo la tensión circunferencial la más crítica, ya que actúa sobre la superficie cilíndrica generando una fuerza de expansión perpendicular al eje del recipiente. Esta tensión tiende a dividir el tanque en dos mitades longitudinales, mientras que la tensión longitudinal actúa a lo largo del eje y tiene menor magnitud. En tanques de pared delgada, donde el espesor t es mucho menor que el radio interno r , estas tensiones pueden calcularse utilizando las siguientes fórmulas simplificadas:

Tensión circunferencial:

$$\sigma_h = \frac{P \cdot r}{t}$$

Tensión longitudinal:

$$\sigma_h = \frac{P \cdot r}{2t}$$

Donde:

- σ_h = Tensión circunferencial (MPa)
- σ_l = Tensión longitudinal (MPa)
- P = Presión interna del fluido (MPa)
- r = Radio interno del cilindro (mm)
- t = Espesor de la pared del tanque (mm)

Estas expresiones permiten calcular los esfuerzos generados y determinar el espesor mínimo requerido para garantizar la integridad del recipiente bajo condiciones normales de operación. En situaciones donde la relación r/t sea inferior a 10, se debe emplear un análisis para recipientes de pared gruesa, en los que las tensiones varían significativamente a través del espesor y requieren aplicar la teoría de Lamé. Además, pueden presentarse otros tipos de esfuerzos adicionales, como la tensión radial (menor en magnitud, pero relevante en paredes gruesas) y los esfuerzos térmicos y por fatiga, que surgen en condiciones de operación cíclica o ante variaciones de temperatura importantes (Lalanne, 2002).

El diseño adecuado debe considerar que el esfuerzo circunferencial no debe superar el esfuerzo permisible del material, definido por normas como ASME Sección VIII, la cual también contempla factores como eficiencia de soldadura y posibles pérdidas por corrosión. El uso de simulación computacional, a través del método de elementos finitos (FEM), permite visualizar la distribución real de estos esfuerzos en el modelo tridimensional del tanque, y validar si los espesores propuestos soportan adecuadamente las condiciones de carga. Tal como señala el código (ASME, 2021), se deben establecer factores de seguridad apropiados para garantizar que, incluso ante fluctuaciones o defectos locales, la estructura no exceda el límite elástico del material, evitando así deformaciones permanentes o colapsos estructurales.

2.1.6. Criterios de falla y factor de seguridad

En el diseño de recipientes a presión, uno de los aspectos más críticos es garantizar que la estructura no alcance condiciones de falla durante su vida útil operativa. Para ello, se aplican criterios de falla mecánica, los cuales permiten determinar los límites de carga que un material puede soportar antes de colapsar por esfuerzos excesivos. En el caso de materiales dúctiles, como los aceros al carbono comúnmente utilizados en recipientes a presión, se emplea típicamente el criterio de von Mises o energía de distorsión, el cual establece que la falla ocurre cuando el esfuerzo equivalente supera el límite elástico del material. Matemáticamente, se expresa como:

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2} \leq \sigma_{adm}$$

Donde:

- σ_{eq} : esfuerzo equivalente de von Mises (MPa)
- $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$: esfuerzos principales
- σ_{adm} : esfuerzo admisible del material

Este criterio es ampliamente utilizado en los análisis mediante el método de elementos finitos (FEM), ya que permite evaluar el estado de tensiones complejas en componentes con geometrías irregulares o cargas múltiples. De acuerdo con el ASME Sección VIII, División 1 (2021), el diseño de recipientes a presión debe garantizar que los esfuerzos generados no superen el 66% del límite elástico o el 50% de la resistencia última del material, dependiendo del tipo de análisis y condición de carga.

Además del criterio de falla, el diseño debe incluir un factor de seguridad (FS), que representa el margen entre la resistencia teórica del material y los esfuerzos reales que se espera soportar. Este factor permite cubrir incertidumbres asociadas a defectos de fabricación, deterioro por corrosión, errores de montaje o condiciones imprevistas de operación. En recipientes a presión, los factores de seguridad típicos oscilan entre 1.5 y 4, dependiendo del nivel de confiabilidad requerido y la criticidad del equipo. El valor del esfuerzo admisible (σ_{adm}) se define así:

$$\sigma_{adm} = \sigma_y / FS$$

Donde:

- σ_y : límite elástico del material (MPa)
- FS: factor de seguridad

En resumen, aplicar criterios de falla adecuados y establecer factores de seguridad óptimos permite diseñar recipientes robustos, duraderos y seguros, reduciendo el riesgo de fallos estructurales bajo presión interna o condiciones cíclicas. Esta filosofía de diseño no solo es requerida por normativa, sino que representa una práctica fundamental en la ingeniería mecánica aplicada a sistemas presurizados (Lalanne & Beranger, 2002; Pérez, 2019).

2.1.7. Norma ASME Sección VIII – fundamentos y parámetros de diseño

La norma ASME Sección VIII del *Boiler and Pressure Vessel Code* es el estándar internacionalmente más reconocido para el diseño, fabricación, inspección y pruebas de recipientes a presión. Establecida por la American Society of Mechanical Engineers (ASME), esta norma regula los aspectos técnicos esenciales para garantizar la seguridad estructural de equipos que operan bajo presión interna o externa, ya sea en instalaciones industriales, energéticas o químicas. La Sección VIII está dividida en tres partes: División 1, que abarca recipientes a presión convencionales bajo diseño por reglas; División 2, para equipos diseñados mediante análisis por tensiones detalladas (como elementos finitos); y División 3, que cubre equipos de ultra alta presión (superiores a 10.000 psi). En este proyecto, se considera principalmente la División 1, por ser la más aplicable al diseño convencional de tanques cilíndricos a presión moderada, y por establecer métodos de cálculo conservadores pero eficientes (ASME, 2021).

Los parámetros de diseño fundamentales establecidos por esta norma incluyen: la presión interna de diseño, temperatura de operación, geometría del recipiente, tipo de material, espesores mínimos, eficiencia de soldaduras, y factores de seguridad. Por ejemplo, para recipientes con presión interna mayor a 15 psi (≈ 1 bar), la norma establece el uso de materiales listados en el *ASME Material Specification*, así como el cálculo del espesor mínimo mediante fórmulas normalizadas como:

$$t = \frac{PR}{S \cdot E - 0.6P}$$

Donde:

- t: espesor mínimo requerido (mm)

- P: presión de diseño interna (MPa)
- R: radio interno del cilindro (mm)
- S: esfuerzo permisible del material (MPa)
- E: eficiencia de soldadura ($0 < E \leq 1$)

La norma también contempla el análisis de elementos estructurales como tapas (cóncavas, convexas o planas), bridas, boquillas, refuerzos y válvulas de alivio, además de requerir pruebas como ensayos hidrostáticos, radiografías de soldadura y verificaciones dimensionales. El cumplimiento de ASME VIII no solo asegura la integridad mecánica del equipo, sino que también permite su certificación para operar en contextos industriales nacionales e internacionales, cumpliendo con estándares de seguridad aceptados globalmente (Koves, 2005).

2.1.8. Comparación básica con otras normas API 650 y API 579

Si bien la norma ASME Sección VIII es la más utilizada para el diseño de recipientes a presión de forma cilíndrica o esférica sometidos a presiones superiores a 15 psi, existen otras normativas relevantes en la industria que cubren contextos de diseño diferentes. La norma API 650, emitida por el *American Petroleum Institute*, está orientada al diseño y construcción de tanques de almacenamiento atmosférico o de baja presión (menor a 2.5 psi), comúnmente utilizados para almacenar productos derivados del petróleo, agua, productos químicos o alimentos. A diferencia de ASME VIII, API 650 no se enfoca en recipientes con presiones elevadas, sino que prioriza el análisis estructural de grandes tanques soldados, donde dominan factores como la presión hidrostática, la resistencia al viento y al sismo, y el tipo de fondo y techo (API, 2020). En estos tanques, el diseño se rige por criterios de estabilidad estructural global y resistencia a la fatiga por cargas ambientales o de servicio, más que por esfuerzos internos por presión.

Por otro lado, la norma API 579 ofrece lineamientos para el análisis de integridad estructural de recipientes en servicio, lo que la convierte en una herramienta de evaluación complementaria al diseño original. Esta norma permite diagnosticar y extender la vida útil de tanques y recipientes que han experimentado corrosión, agrietamiento, deformaciones o daño mecánico. Es compatible con los diseños originales bajo ASME u otras normas, y se basa en principios de *Fitness-For-Service (FFS)*, lo cual permite evaluar si un equipo puede seguir operando de

forma segura o si requiere reparación o reemplazo. En comparación, mientras ASME VIII regula el diseño nuevo, y API 650 el almacenamiento a baja presión, API 579 se enfoca en el análisis post-falla o post-inspección. Por tanto, estas normas no son excluyentes, sino que se aplican según la etapa del ciclo de vida del tanque: diseño, operación o mantenimiento (McKettrick, 2016). El conocimiento comparativo de estas normativas permite seleccionar adecuadamente el marco técnico de referencia según el uso y naturaleza del recipiente.

2.2. ANTECEDENTES

A nivel nacional e internacional, diversas instituciones educativas han desarrollado investigaciones aplicadas relacionadas con el diseño y análisis de recipientes sometidos a presión interna, en respuesta a la necesidad de garantizar seguridad estructural en procesos industriales donde se almacenan fluidos presurizados. Estos estudios han contribuido significativamente a la generación de conocimientos técnicos en el campo de la mecánica aplicada, permitiendo validar mediante simulaciones computacionales los esfuerzos internos, espesores requeridos y zonas críticas de tensión.

Por ejemplo, en la Universidad Central del Ecuador, Manrique (2016) desarrolló el trabajo titulado *Diseño y simulación estructural de un recipiente a presión para la industria química*, en el que se aplicaron criterios de la norma ASME Sección VIII para determinar el espesor del recipiente, y se utilizó software CAD-CAE para verificar su comportamiento estructural bajo carga interna. En una línea similar, (González Dorta, 2021), en la Universidad de La Laguna (España), presentó un análisis mediante elementos finitos del comportamiento de un tanque presurizado cilíndrico, identificando puntos de concentración de tensiones y validando el diseño propuesto con herramientas como SolidWorks Simulation. En otra investigación realizada en la Universidad Politécnica Salesiana, (Aguilar, 2019) analizaron un tanque de almacenamiento sometido a presión interna y cargas térmicas, incorporando condiciones reales de trabajo para optimizar el espesor y el tipo de material requerido.

Asimismo, en la Universidad Técnica de Ambato, se desarrolló un proyecto titulado *Estudio de esfuerzos mecánicos en recipientes de acero utilizados en la industria petrolera* (Paredes, 2020), donde se empleó un modelo tridimensional

y simulación en ANSYS para comparar resultados teóricos y computacionales. Estas investigaciones demuestran que el diseño de recipientes a presión es un campo vigente, con amplia aplicabilidad práctica, que permite a los estudiantes aplicar herramientas de cálculo, diseño asistido por computadora y análisis por elementos finitos en situaciones reales del entorno industrial.

El presente trabajo, desarrollado en la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, se suma a esta línea de investigaciones aplicadas, con el propósito de simular y analizar el comportamiento de un tanque a presión interna desde la perspectiva de la resistencia de materiales, validando los resultados obtenidos mediante software especializado y conforme a normativa vigente

Antes de la ejecución del presente proyecto, se habían desarrollado múltiples investigaciones que abordaban el cálculo estructural, diseño mecánico y simulación numérica de recipientes sometidos a presión, particularmente en contextos educativos y aplicados a entornos industriales reales. Sin embargo, la mayoría de estos trabajos se centraban únicamente en el diseño teórico de espesores mediante fórmulas tradicionales derivadas del equilibrio estático y de las recomendaciones del código ASME Sección VIII, sin integrar de manera completa una validación computacional detallada ni análisis de escenarios de carga combinados.

Por ejemplo, trabajos como el de (Manrique, 2016) en la Universidad Central del Ecuador, y el de (González Dorta, 2021) en la Universidad de La Laguna, si bien incorporaron simulaciones CAD-CAE, se limitaron a evaluar la presión interna nominal sin considerar el efecto de concentraciones de esfuerzo o variaciones geométricas del modelo tridimensional. Asimismo, proyectos como el de (Aguilar, 2019) se centraron en recipientes de gran volumen pero a baja presión, dejando un vacío en estudios enfocados en tanques de presión media o moderada, donde los criterios de fatiga, eficiencia de soldadura y pérdidas por corrosión juegan un papel relevante en la determinación de la resistencia estructural.

En el contexto institucional local, no se ha identificado una propuesta formal que integre de manera articulada el cálculo analítico normativo, el modelado tridimensional en software CAD, y la simulación estructural por elementos finitos (FEM) en una única investigación, enfocada en tanques cilíndricos de pared delgada con presión interna uniforme. Esto representa una oportunidad

académica y técnica para aplicar de manera integrada los conocimientos adquiridos en asignaturas como resistencia de materiales, diseño mecánico y software de simulación, ofreciendo además una herramienta de validación útil para proyectos reales del sector productivo. En este sentido, el presente estudio busca superar las limitaciones de los enfoques previos, proponiendo una metodología completa y replicable que permita optimizar el diseño, verificar el cumplimiento normativo y visualizar el comportamiento mecánico del recipiente antes de su fabricación.

2.3. TRABAJOS RELACIONADOS

Uno de los antecedentes más representativos en el contexto europeo sobre el estudio de recipientes sometidos a presión interna es el trabajo desarrollado por (González Dorta, 2021) en la Universidad de La Laguna, España. Su investigación titulada *Análisis por elementos finitos de un recipiente a presión cilíndrico* tuvo como propósito principal verificar mediante simulación computacional el comportamiento estructural de un tanque de acero al carbono bajo presión interna uniforme, considerando distintos espesores y geometrías. Para ello, se modeló el tanque utilizando SolidWorks y se aplicaron cargas internas en condiciones estáticas, siguiendo los lineamientos de la norma ASME Sección VIII, con el objetivo de identificar los puntos críticos de esfuerzo y establecer si el diseño propuesto cumplía con los criterios de resistencia del material. Este estudio permitió validar que, incluso en configuraciones geométricas aparentemente simples, la distribución de tensiones puede presentar concentraciones localizadas que solo pueden ser identificadas mediante herramientas de análisis por elementos finitos. Además, resaltó la importancia de incorporar factores de soldadura y pérdidas por corrosión en el cálculo del espesor mínimo.

En el ámbito latinoamericano, destaca el trabajo realizado por (Núñez, 2016) en el Instituto Politécnico Nacional de México (IPN), titulado *Diseño y análisis de un recipiente a presión para almacenamiento de gas licuado de petróleo (GLP)*. Este estudio tuvo como objetivo principal el diseño estructural y validación de un tanque cilíndrico horizontal sometido a presión interna, destinado al almacenamiento de GLP bajo condiciones normales de operación. Para ello, se aplicaron los fundamentos del código ASME Sección VIII, División 1, y se realizó

el modelado tridimensional del tanque utilizando Autodesk Inventor, mientras que el análisis de esfuerzos fue ejecutado mediante simulación en ANSYS, bajo criterios de Von Mises y evaluación de factores de seguridad. El trabajo integró además un análisis térmico y un cálculo de vida útil considerando ciclos de carga, lo que permitió evaluar la resistencia del material frente a condiciones de fatiga. Este proyecto representa una contribución significativa a la ingeniería aplicada en el contexto mexicano, al demostrar cómo el uso de herramientas computacionales permite complementar los métodos tradicionales de diseño normativo con análisis más detallados y visuales. Además, resalta la importancia de integrar variables como la eficiencia de soldadura, los coeficientes de corrosión y los efectos térmicos en los tanques expuestos a ambientes industriales exigentes. La propuesta de (Núñez, 2016) sirve como referencia para iniciativas similares en otros países del continente, al establecer una metodología clara, técnica y replicable para el análisis estructural de recipientes a presión en el sector energético y químico.

En Ecuador, una referencia significativa sobre el análisis estructural de recipientes a presión se encuentra en el trabajo desarrollado por (Manrique, 2016) en la Universidad Central del Ecuador, en la ciudad de Quito, titulado *Diseño y simulación estructural de un recipiente a presión para la industria química*. Esta investigación tuvo como propósito diseñar un tanque cilíndrico sometido a presión interna, utilizando los lineamientos de la norma ASME Sección VIII, División 1, para asegurar su integridad estructural en condiciones de operación exigentes. El autor desarrolló el modelado tridimensional del recipiente en Autodesk Inventor y ejecutó la simulación estructural utilizando ANSYS Workbench, aplicando criterios de Von Mises y validando los espesores mínimos requeridos. Además, el estudio contempló el análisis de esfuerzos circunferenciales y longitudinales, incluyendo factores de seguridad y eficiencia de juntas soldadas.

El proyecto de (Manrique, 2016) se destaca no solo por su rigor en el cálculo normativo, sino también por integrar herramientas CAD y CAE como apoyo para la toma de decisiones en el diseño. Este enfoque técnico ha servido de base para otros trabajos similares en universidades ecuatorianas, y pone de manifiesto la importancia de desarrollar capacidades en simulación estructural

como parte del perfil profesional del ingeniero electromecánico. Asimismo, evidencia que la evaluación estructural de recipientes a presión es una necesidad recurrente en sectores industriales de la Sierra ecuatoriana, donde las condiciones de trabajo, los fluidos presurizados y los procesos térmicos demandan soluciones seguras y técnicamente justificadas.

No se han encontrado antecedentes específicos en otros cantones que aborden el diseño, cálculo y simulación estructural de tanques sometidos a presión interna, bajo normativas internacionales como la ASME Sección VIII, tras revisar trabajos académicos y proyectos de titulación desarrollados en la provincia de Manabí. Las investigaciones en mecánica aplicada y mantenimiento industrial se han centrado en sistemas hidráulicos, automatización, instalaciones eléctricas y mantenimiento de maquinaria, sin abordar el análisis estructural de recipientes a presión mediante herramientas CAD/CAE o simulaciones por elementos finitos. No se han encontrado propuestas relacionadas con recipientes a presión cilíndricos con presión interna uniforme en cantones como Portoviejo, Chone y Jipijapa, a pesar de que han desarrollado proyectos orientados a la eficiencia energética, diseño de estructuras metálicas convencionales y sistemas de bombeo.

El presente trabajo, ejecutado en el cantón El Carmen, destaca por su pertinencia y originalidad al abordar una necesidad técnica real en el ámbito industrial y académico local, debido a la falta de investigaciones en el contexto provincial. La carencia de estudios de este tipo representa una oportunidad para fortalecer las líneas de investigación en diseño estructural, análisis por elementos finitos y normativas técnicas internacionales en la carrera de Electromecánica. Esto la posiciona como un eje generador de soluciones aplicadas a problemáticas del entorno. Esta propuesta se proyecta como un referente académico para futuras investigaciones en Manabí al cubrir un vacío en la literatura regional.

CAPÍTULO III: DESARROLLO DE LA PROPUESTA

Se describen los parámetros de entrada y condiciones de diseño, como presión de trabajo, material, dimensiones y criterios normativos. Se calcula el espesor mínimo del cuerpo cilíndrico y tapas del tanque considerando esfuerzos circunferenciales y longitudinales, junto con el factor de seguridad necesario. Se expone el modelado 3D del tanque en software SolidWorks. Se lleva a cabo la simulación por elementos finitos (FEM) en software especializado en una etapa posterior para evaluar las tensiones principales y verificar la integridad estructural del diseño bajo presión interna uniforme.

Se incluye un desglose de materiales, costos estimados y planos técnicos para dimensionar la viabilidad técnica y económica de la propuesta. El capítulo integra los aspectos teóricos y prácticos del diseño mecánico aplicado a tanques a presión, aportando al fortalecimiento de las capacidades en tecnología electromecánica.

3.1. DESARROLLO

El problema identificado en el Capítulo I es solucionado mediante la implementación práctica de la propuesta. Se centra en diseñar y validar un tanque cilíndrico sometido a presión interna según el código ASME Sección VIII. En el cumplimiento de los objetivos específicos, se describen las metodologías aplicadas, los cálculos desarrollados, los criterios de diseño, los modelos tridimensionales generados en software CAD y las simulaciones estructurales ejecutadas mediante análisis por elementos finitos (FEM).

Se presentan los parámetros de entrada necesarios para el cálculo estructural y el diseño conceptual. Las condiciones de servicio incluyen la presión de diseño, el material seleccionado y las dimensiones propuestas. Se calcula el espesor necesario para el cuerpo cilíndrico y las tapas del tanque, teniendo en cuenta los esfuerzos circunferenciales y longitudinales. En un entorno CAD (SolidWorks), se detallan las dimensiones finales del recipiente, el tipo de tapas, boquillas y refuerzos estructurales en el proceso de modelado tridimensional. Una vez concluido el diseño del tanque, se realiza la simulación estructural con análisis por elementos finitos (FEM) considerando cargas internas y condiciones de frontera para simular su comportamiento en operación real. Se valida la viabilidad del diseño mediante el análisis de los resultados obtenidos, que incluye

la distribución de esfuerzos, desplazamientos máximos y factor de seguridad. La viabilidad técnica y económica de la propuesta se refleja en un desglose de costos estimados, materiales requeridos y recursos empleados. Cumplir rigurosamente con este conjunto de actividades valida los criterios estructurales del tanque diseñado y aporta un modelo metodológico replicable para futuros proyectos en ingeniería mecánica y electromecánica.

3.1.1. Descripción de la propuesta

- **Descripción del Objetivo Específico 1**

El primer objetivo específico se enfocó en desarrollar el cálculo estructural preliminar del tanque cilíndrico sometido a presión interna, con el propósito de establecer los espesores mínimos requeridos que garanticen su resistencia mecánica y seguridad en condiciones de operación. Este proceso fue guiado por los lineamientos de la norma ASME Sección VIII, División 1, que proporciona los criterios técnicos necesarios para el diseño de recipientes a presión, considerando variables como presión de trabajo, propiedades del material y factores de seguridad.

El cumplimiento de este objetivo permitió sentar las bases del diseño técnico del tanque, ya que los valores obtenidos serán utilizados como parámetros fundamentales para su modelado tridimensional y simulación estructural. En el siguiente apartado, correspondiente a las etapas de desarrollo, se presentan de forma detallada los cálculos normativos realizados para determinar los esfuerzos internos y el espesor adecuado del cuerpo del tanque, considerando las condiciones específicas del proyecto.

- **Descripción del Objetivo Específico 2**

Con base en los resultados obtenidos en la etapa de cálculo estructural, el segundo objetivo específico consistió en realizar el modelado tridimensional del tanque sometido a presión interna, utilizando como herramienta principal el software SolidWorks, ampliamente reconocido en el ámbito del diseño asistido por computadora (CAD). Esta fase fue esencial para representar con exactitud las características geométricas del tanque, incluyendo el cuerpo cilíndrico, tapas, boquillas, espesores y otros componentes estructurales relevantes. El modelo permitió visualizar de forma integral el diseño técnico, garantizando la coherencia entre los parámetros calculados y su aplicación práctica.

SolidWorks facilitó la construcción precisa del recipiente a presión, permitiendo definir las relaciones dimensionales y verificar la integridad del ensamblaje en una interfaz tridimensional. Este diseño sirvió como base para exportar la geometría al entorno de simulación estructural, y fue fundamental para la elaboración de planos técnicos, cortes seccionales y vistas detalladas que facilitarán futuras fases de análisis o fabricación. Además, el modelado 3D contribuyó a anticipar posibles interferencias o zonas críticas que deben ser consideradas en la validación estructural.

- **Descripción del Objetivo Específico 3**

El tercer objetivo específico se centró en la simulación estructural del tanque cilíndrico sometido a presión interna, utilizando herramientas de análisis por elementos finitos (FEA) disponibles en el módulo de simulación de SolidWorks (SolidWorks Simulation). Esta etapa tuvo como finalidad evaluar el comportamiento mecánico del recipiente ante las condiciones de carga previamente definidas, permitiendo identificar la distribución de esfuerzos, deformaciones y zonas críticas donde podrían generarse fallas por sobreesfuerzo o inestabilidad estructural.

La simulación fue ejecutada a partir del modelo tridimensional previamente diseñado, al cual se le aplicaron condiciones de frontera realistas, tales como la presión interna uniforme, restricciones en los extremos y propiedades mecánicas del material EN-GJS-500-7. Los resultados obtenidos permitieron validar los espesores calculados en la etapa inicial, comprobar el cumplimiento de los criterios de resistencia y factor de seguridad, y asegurar la viabilidad técnica del diseño. Esta herramienta computacional aportó una verificación visual y cuantitativa del diseño, integrando precisión y confiabilidad al proceso de ingeniería.

3.1.2. Etapas

- **Etapa 1: Actividades realizadas para cumplir el Objetivo Específico**

- 1.**

Se recolectaron los parámetros de diseño fundamentales: presión interna de 2,5 MPa, diámetro interno de 700 mm y material EN-GJS-500-7 para el tanque.

Tabla 2 Datos iniciales de diseño tanque a presión

Parámetro	Valor	Unidad	Descripción
Presión de diseño	2.5	MPa	Presión interna constante esperada durante operación
Diámetro interno del tanque	700	mm	Valor interior útil del cuerpo cilíndrico
Radio interno	350	mm	Mitad del diámetro interno
Material	EN-GJS-500-7	—	Fundición nodular (hierro dúctil)
Límite elástico del material	650	MPa	Resistencia máxima antes de deformación plástica
Coefficiente de eficiencia (E)	1.0	—	Asumiendo soldadura de alta calidad
Factor de corrosión y redondeo	Considerado	—	Aumenta el espesor final por seguridad y fabricación

Fuente: Elaboración propia

Conforme a lo establecido en la norma ASME BPVC Sección VIII División 1, específicamente en el párrafo UG-27, el espesor mínimo requerido para un recipiente cilíndrico se calcula utilizando una fórmula que considera la presión interna de diseño, el radio interno del recipiente, el esfuerzo admisible del material y la eficiencia de las uniones soldadas.

Tomando como base un material con un esfuerzo admisible de 160 MPa, un radio interno de 0.75 m y una eficiencia de soldadura del 85%, se construyó una tabla de referencia que muestra los espesores mínimos recomendados para presiones internas que oscilan entre 0.5 MPa y 3.0 MPa. De acuerdo con dicha tabla, se observa que un espesor de 16.77 mm es suficiente para contener una presión interna de 3.0 MPa bajo las condiciones mencionadas.

Sin embargo, para garantizar un mayor margen de seguridad, compensar posibles efectos de corrosión, tolerancias de fabricación, y permitir una vida útil más prolongada del equipo, se ha optado por seleccionar un espesor de 20 mm. Esta elección no solo asegura que el recipiente opere con holgura dentro de los límites permitidos por la normativa, sino que también se alinea con las buenas prácticas de ingeniería en aplicaciones industriales donde pueden existir variaciones de presión, temperatura o condiciones de operación no previstas en el diseño nominal.

La selección del espesor de 20 mm proporciona así una solución técnica robusta, segura y conforme con los requisitos del código ASME, al mismo tiempo que reduce el riesgo de falla estructural por fatiga o desgaste durante la operación prolongada del sistema.

Tabla 3 Espesores mínimos según Norma ASME

Presión Interna (MPa)	Espesor Mínimo Requerido (mm)
0.5	2.76
1.0	5.54
1.5	8.33
2.0	11.13
2.5	13.94
3.0	16.77

Fuente: (ASME, 2021)

- **Etapa 2: Actividades realizadas para cumplir Objetivo Específico 2.**

El segundo objetivo específico se orientó al diseño tridimensional del tanque cilíndrico sometido a presión interna, a partir de los parámetros geométricos y estructurales definidos en la etapa anterior. Para ello, se empleó el software de diseño asistido por computadora SolidWorks, herramienta ampliamente utilizada en ingeniería mecánica por su precisión en el modelado paramétrico y sus funciones integradas de análisis estructural y simulación.

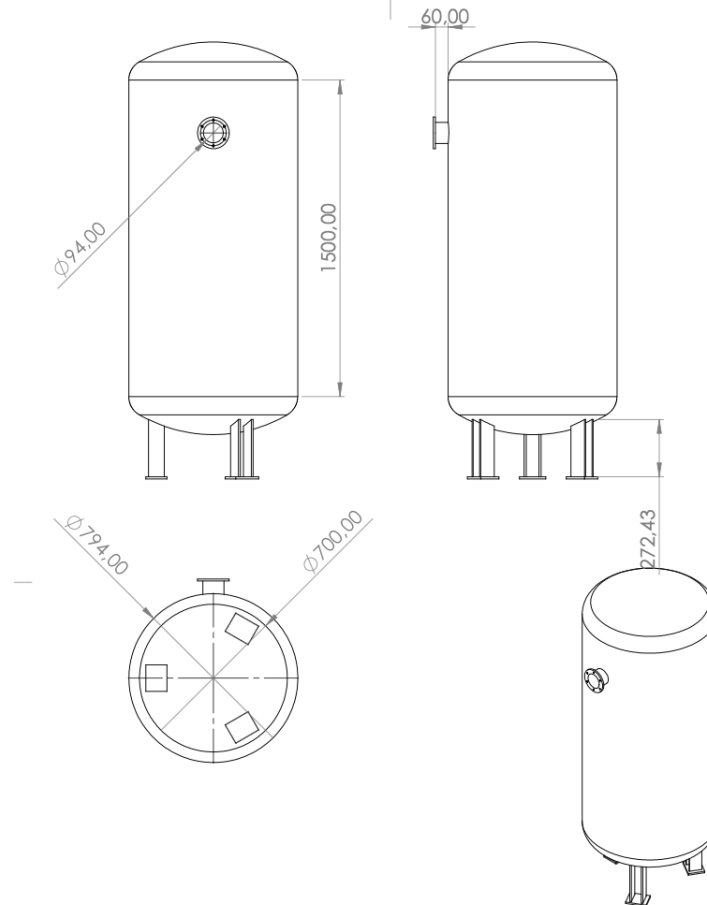
Las actividades desarrolladas incluyeron la creación del modelo CAD 3D del tanque, tomando como base un diámetro interno de 700 mm, un espesor de pared de 20 mm y una longitud total de 1500 mm, acorde con las especificaciones funcionales y operativas del proyecto. En el entorno de SolidWorks, se modelaron todos los componentes del tanque, incluidos los extremos cerrados tipo cabeza elipsoidal, las boquillas de entrada y salida, y las soldaduras estructurales. Además, se establecieron las condiciones de simetría necesarias para optimizar la representación geométrica.

Durante esta etapa, se aplicaron principios de diseño mecánico para garantizar la continuidad estructural y la factibilidad de fabricación. Asimismo, se generaron planos técnicos a partir del modelo tridimensional, incluyendo cotas de fabricación, tolerancias geométricas y especificaciones de material, en conformidad con la norma ASME Sección VIII. Estos planos fueron fundamentales para la etapa posterior de análisis por elementos finitos, ya que permitieron exportar una geometría precisa y representativa al entorno de simulación estructural.

A continuación, se presenta la representación gráfica del diseño tridimensional del tanque a presión desarrollado durante la Etapa 2, utilizando el software SolidWorks. La imagen muestra las vistas principales (frontal, lateral,

superior y en perspectiva isométrica) del modelo, lo cual permite visualizar con claridad las dimensiones clave y los elementos estructurales incorporados.

Figura 2 Modelado en SolidWokrks tanque a presión

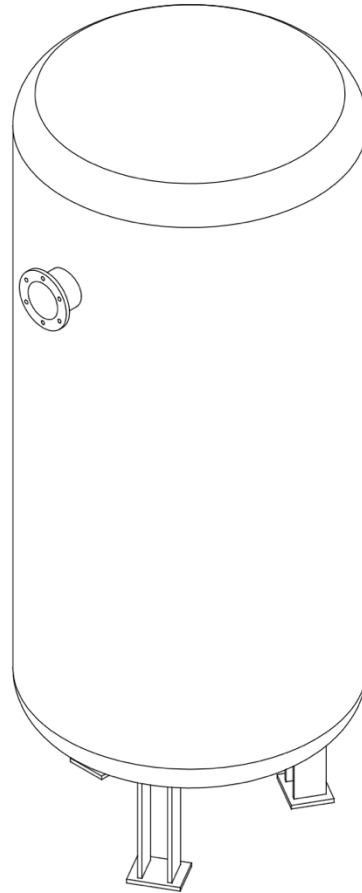


Fuente: Elaboración propia

El diseño considera un diámetro interno de 700 mm, una altura total de 1500 mm y un espesor nominal de 20 mm, conforme a los parámetros definidos en la etapa de cálculo estructural. Se incluyen componentes funcionales como:

- Tapa superior y fondo inferior de geometría elipsoidal.
- Boquilla lateral de entrada/salida de 94 mm de diámetro.
- Soporte con patas de fijación dispuestas en tres puntos equidistantes.
- Accesorios adicionales, tales como una brida y una derivación lateral de 60 mm de longitud.
- Dimensión de separación entre patas de 194 mm para mayor estabilidad.

Figura 3 Vista tridimensional Tanque a presión



Fuente: Elaboración propia

- **Etapas 3: Actividades realizadas para cumplir Objetivo Específico 3.**

El tercer objetivo específico se orientó a simular el comportamiento estructural del tanque cilíndrico a presión mediante el método de elementos finitos (FEM), con el fin de validar los parámetros de diseño y garantizar que el espesor adoptado cumple con los requisitos de resistencia mecánica. Para esta actividad, se empleó el módulo de análisis estático de SolidWorks Simulation, herramienta reconocida por su precisión en la evaluación de esfuerzos, desplazamientos y factores de seguridad en estructuras mecánicas complejas.

Aquí se tiene los datos técnicos del material:

Tabla 4 Características del material

Propiedad	Valor
Nombre	0.7050 (EN-GJS-500-7)
Tipo de modelo	Isotrópico elástico lineal
Criterio de error predeterminado	Desconocido
Límite elástico	$3,2 \times 10^8$ N/m ² (320 MPa)
Límite de tracción	$5,0 \times 10^8$ N/m ² (500 MPa)

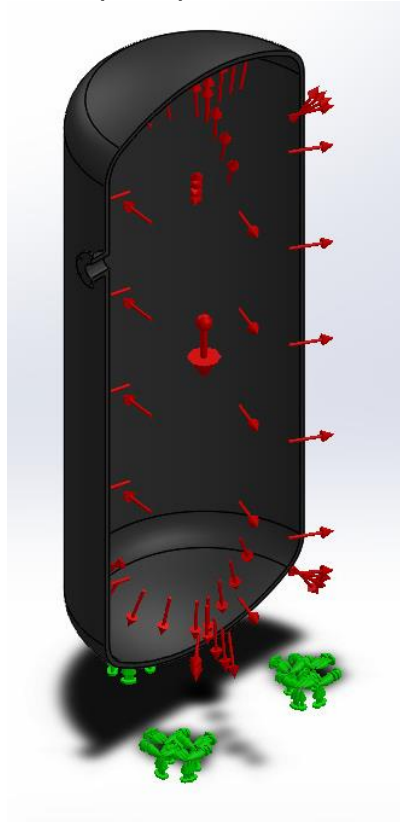
Módulo elástico	$1,2 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$
Coefficiente de Poisson	0,26
Densidad	7250 kg/m^3
Módulo cortante	$6,5 \times 10^9 \text{ N/m}^2$
Coefficiente de dilatación térmica	$1,15 \times 10^{-5} / \text{Kelvin}$

Fuente: Elaboración propia

Se aplicaron condiciones de carga realistas, se aplicó una presión uniforme de 2,5 MPa sobre toda la superficie interna del cilindro, incluyendo las cabezas superior e inferior. La presión uniforme de 2,5 MPa fue la principal carga interna. La presión máxima de trabajo del tanque fue seleccionada según los requerimientos del sistema y la norma ASME Sección VIII, División 1. La presión permitió evaluar los esfuerzos en las paredes del recipiente y verificar la integridad del diseño adoptado.

Se establecieron fijaciones en las bases de las tres patas de soporte del tanque para restringir su desplazamiento y rotación, simulando así su anclaje en posición operativa real. El análisis se centró en condiciones estáticas de presión constante, sin considerar cargas térmicas, dinámicas o sísmicas. Las condiciones de contorno fueron esenciales para obtener resultados representativos y confiables en la simulación, validando así el diseño estructural del tanque.

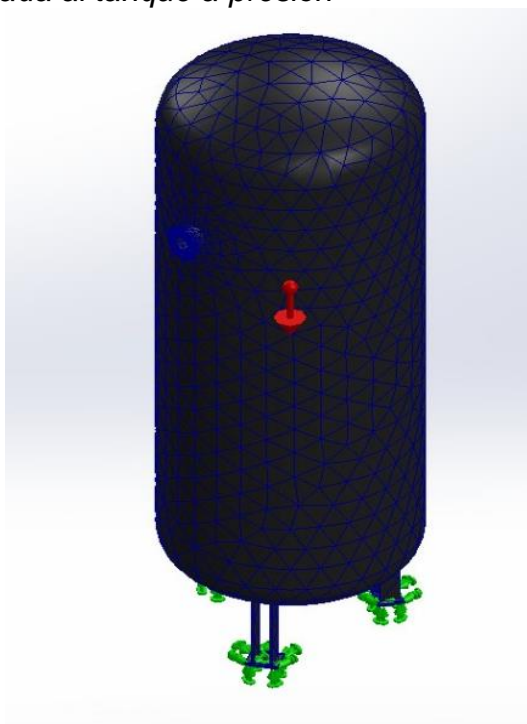
Figura 4 Cargas externas al tanque a presión



Fuente: Elaboración propia

Para la simulación estructural mediante el método de elementos finitos, se generó una malla tridimensional tipo tetraédrica, adecuada para representar con precisión la geometría compleja del tanque a presión. El proceso de mallado se realizó de forma automática en SolidWorks Simulation, utilizando una configuración refinada que equilibró la calidad de los resultados con el tiempo de cálculo computacional. La malla resultante estuvo compuesta por un número elevado de elementos y nodos, lo cual permitió capturar adecuadamente las concentraciones de esfuerzo en zonas críticas, como las uniones de boquillas, las transiciones entre el cuerpo cilíndrico y las cabezas elipsoidales, y la base de soporte. Este refinamiento fue fundamental para obtener resultados fiables en el cálculo de tensiones, desplazamientos y factores de seguridad.

Figura 5 Malla generada al tanque a presión



Fuente: Elaboración propia

3.1.3. Presupuesto

El presupuesto general cubrió los tres objetivos de manera integral, sin desglose por cada uno, ya que las herramientas y recursos empleados fueron compartidos en todas las etapas del proyecto. La mayoría de recursos utilizados corresponden a infraestructura institucional (software, equipo de cómputo y biblioteca académica), lo cual permitió optimizar los costos de desarrollo.

3.2. RESULTADOS

- **Objetivo 1: Logros obtenidos en el objetivo 1.**

Mediante el uso de la fórmula normativa de la ASME VIII Div. 1, se calculó el espesor requerido del cilindro sometido a una presión interna de 2,5 MPa, obteniendo un valor de 20 mm. Este espesor garantiza la resistencia estructural del material elegido (EN-GJS-500-7) con un límite elástico de 320 MPa.

Tabla 5 Logros del objetivo 1

Parámetro	Valor
Presión interna de diseño (P)	2,5 MPa
Diámetro interno (D)	700 mm
Límite elástico (S)	320 MPa
Eficiencia de soldadura (E)	0,85
Espesor calculado (t) Aprox	20 mm

Fuente: Elaboración propia

- **Objetivo 2: Logros obtenidos en el objetivo 2.**

Se construyó el modelo 3D en SolidWorks del tanque cilíndrico con sus componentes principales: cuerpo cilíndrico, cabezales elipsoidales, boquillas de entrada y salida, y sistema de soporte de tres patas. El modelado se realizó con base en los resultados del cálculo estructural, en especial el espesor de 20 mm, lo cual aseguró coherencia entre diseño y resistencia mecánica.

Tabla 6 Logros del objetivo 2

Elemento	Dimensión
Diámetro interno del cilindro	700 mm
Altura total del tanque	1600 mm aprox.
Espesor de paredes	20 mm
Tipo de cabezales	Elipsoidales
Número de boquillas	2 (entrada y salida)
Soportes	3 patas tubulares

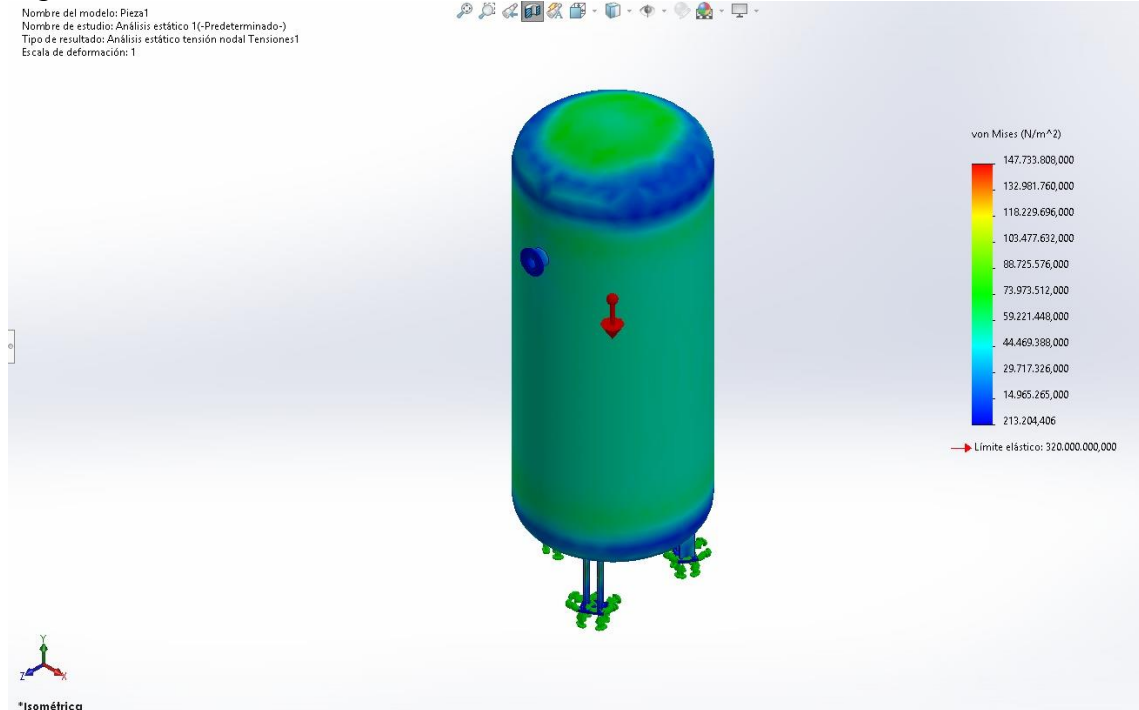
Fuente: Elaboración propia

- **Objetivo 3: Logros obtenidos en el objetivo 3.**

Los resultados del estudio estático se obtuvo tres análisis en el cual se muestra, el análisis de tensiones de von Mises realizado mediante SolidWorks Simulation evidenció que las tensiones máximas generadas en el cuerpo del tanque bajo una presión interna de 2,5 MPa alcanzaron un valor de aproximadamente 147,7 MPa, ubicado en la zona superior del domo esférico. Este resultado se encuentra muy por debajo del límite elástico del material EN-GJS-500-7, que es de 320 MPa, lo que indica que la estructura opera dentro de un rango seguro de esfuerzos. La distribución de tensiones mostró una mayor concentración en las áreas curvas y zonas próximas a las conexiones, como es habitual en recipientes sometidos a cargas internas, mientras que el resto del cuerpo cilíndrico mantuvo tensiones moderadas y bien distribuidas.

La interpretación del criterio de von Mises permite verificar si un material dúctil fallará o no bajo una combinación de tensiones. En este caso, dado que la tensión de von Mises máxima es inferior al límite elástico, se concluye que el tanque diseñado presenta un comportamiento estructural adecuado y seguro, sin riesgo de falla plástica bajo las condiciones de operación simuladas. Estos resultados validan el espesor del cilindro determinado en el cálculo preliminar, y permiten continuar con confianza hacia las etapas de modelado CAD y simulación detallada.

Figura 6 Análisis de Tensiones de Von Mises

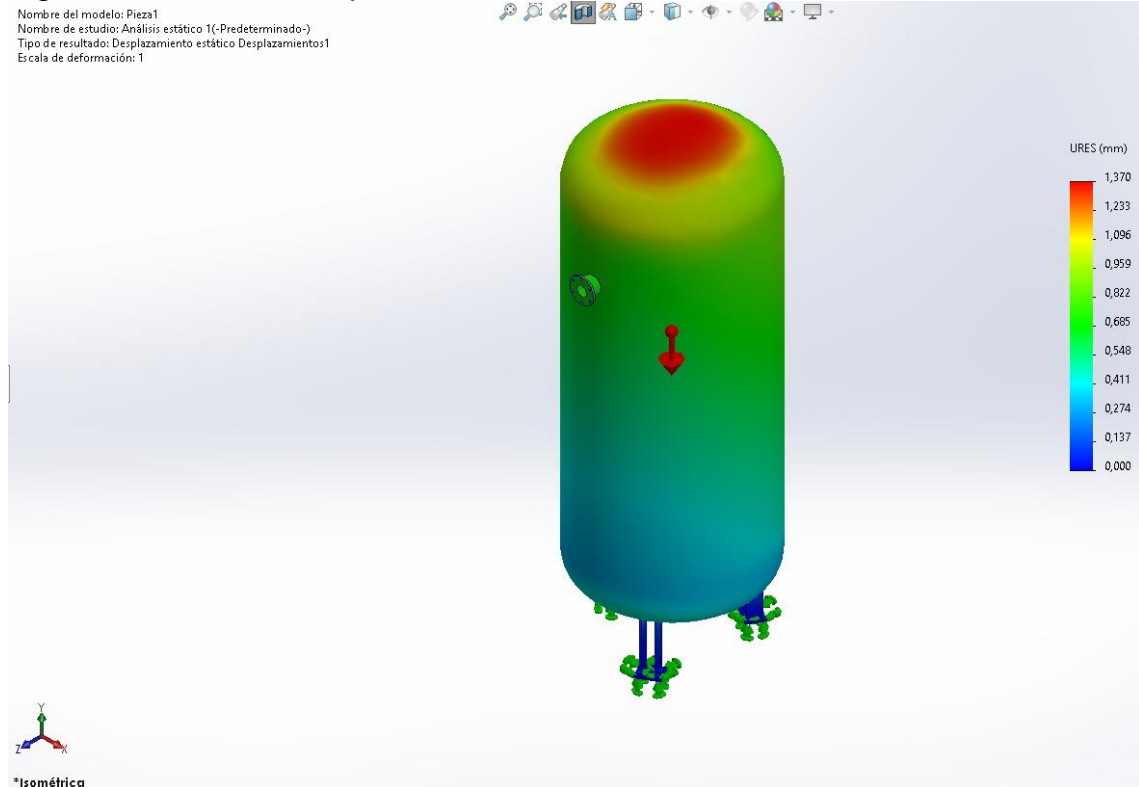


Fuente: Elaboración propia

El análisis de desplazamiento estático realizado en el tanque sometido a presión interna reveló que la deformación máxima total fue de aproximadamente 1,37 mm, concentrándose principalmente en la zona superior del domo elipsoidal, como se muestra en la escala de color del gráfico. Esta área, al estar sometida a mayores esfuerzos por curvatura y contener concentraciones de carga, presenta un leve abultamiento hacia el exterior, aunque dentro de un rango completamente admisible.

Este desplazamiento es considerado bajo y no compromete la integridad estructural ni la funcionalidad del tanque, dado que no excede los límites de deformación permisibles para recipientes de pared delgada según la norma ASME Sección VIII. Además, la rigidez del sistema, reforzada por el espesor de diseño y el material seleccionado (EN-GJS-500-7), asegura que el tanque pueda operar con seguridad sin deformaciones plásticas o efectos permanentes. Estos resultados confirman que el modelo estructural responde adecuadamente bajo las condiciones de carga impuestas.

Figura 7 Análisis de desplazamientos

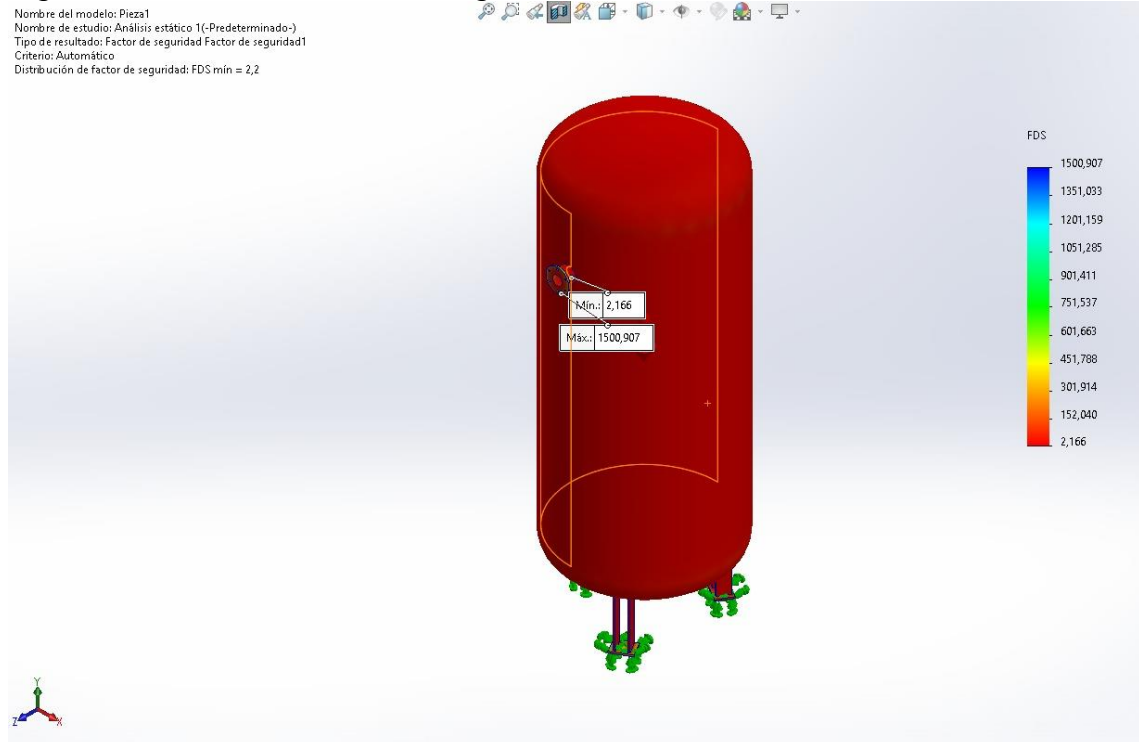


Fuente: Elaboración propia

El análisis del factor de seguridad (FOS) arrojó un valor mínimo de 2,166 en la región cercana a la boquilla lateral del tanque, según los resultados obtenidos mediante SolidWorks Simulation. Este valor supera el umbral recomendado por la norma ASME Sección VIII, División 1, que sugiere un FOS mínimo de 1,5 a 2 para recipientes sometidos a presión interna, dependiendo del tipo de esfuerzo y condiciones de servicio. Por lo tanto, el diseño propuesto se considera estructuralmente seguro para las condiciones operativas planteadas.

La distribución del factor de seguridad es homogénea en la mayor parte del cuerpo del tanque, evidenciando un comportamiento mecánico favorable del material EN-GJS-500-7 bajo la carga interna de 2,5 MPa. Los valores más altos, incluso mayores a 1500, se localizan en zonas donde los esfuerzos son mínimos, como las áreas centrales de las paredes cilíndricas. Este resultado valida tanto el espesor definido durante el diseño preliminar como la resistencia mecánica del material utilizado, garantizando la integridad estructural del recipiente durante su operación.

Figura 8 Análisis del factor de seguridad



Fuente: Elaboración propia

En resumen se tiene:

Tabla 7 Resumen de análisis

Parámetro	Valor
Presión interna aplicada	2,5 MPa
Material utilizado	EN-GJS-500-7 (0.7050)
Límite elástico del material	320 MPa
Tensión máxima von Mises	147,7 MPa
Desplazamiento máximo	1,37 mm
Factor de seguridad mínimo	2,166
Ubicación crítica (von Mises)	Zona superior del domo esférico
Ubicación crítica (FOS)	Cerca de la boquilla lateral
Espesor definido del tanque	20 mm

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES

- Se deduce que el primer objetivo específico fue satisfactoriamente alcanzado, dado que se logró establecer el espesor apropiado del cuerpo del tanque bajo una presión interna de 2,5 MPa, conforme a las directrices de la norma ASME Sección VIII, División 1. El espesor adquirido de 20 mm asegura la integridad estructural del contenedor, considerando las características del material EN-GJS-500-7, que ofrece una resistencia mecánica adecuada para funcionar con un factor de seguridad apropiado.
- Con respecto al segundo objetivo, se deduce que la representación tridimensional del tanque fue correctamente ejecutada en el software SolidWorks, incorporando las dimensiones estructurales y los parámetros técnicos establecidos en el cálculo previo. El modelo de diseño asistido por computadora (CAD) integró todos los elementos del sistema (cuerpo cilíndrico, cabezas, boquillas y soportes), con un diseño coherente, funcional y preparado para la simulación estructural.
- En última instancia, se determina que el tercer objetivo fue cumplido exitosamente, dado que se llevó a cabo el análisis estructural del tanque utilizando el método de elementos finitos (FEM). Los hallazgos derivados, tales como la tensión de von Mises (147,7 MPa), el desplazamiento máximo (1,37 mm) y el factor de seguridad mínimo (2,166), evidenciaron que el diseño sugerido opera de manera segura dentro de los límites permitidos por la legislación vigente. En consecuencia, se verifica técnicamente que el tanque diseñado posee resistencia y fiabilidad para las condiciones de presión interna preestablecida.

4.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda que el proceso de fabricación del tanque se realice respetando rigurosamente los parámetros establecidos en el diseño técnico y en la norma ASME Sección VIII, División 1, especialmente en lo relativo a espesor de pared, tipo de soldadura y materiales. Toda modificación estructural no fundamentada puede comprometer la integridad del recipiente a presión.

- Es importante asegurar que el tanque sea instalado sobre una base estable y nivelada, con las fijaciones adecuadas para evitar desplazamientos o vibraciones. Además, se sugiere realizar pruebas hidrostáticas antes de su uso operativo para verificar la hermeticidad y resistencia mecánica bajo presión.
- Se sugiere utilizar este proyecto como base para futuras investigaciones o prototipos, fomentando la incorporación de simulaciones térmicas, análisis dinámicos y estudios de fatiga. Asimismo, se recomienda capacitar al personal en el uso de software CAD y CAE para mantener la autonomía técnica en el desarrollo de este tipo de equipos industriales.

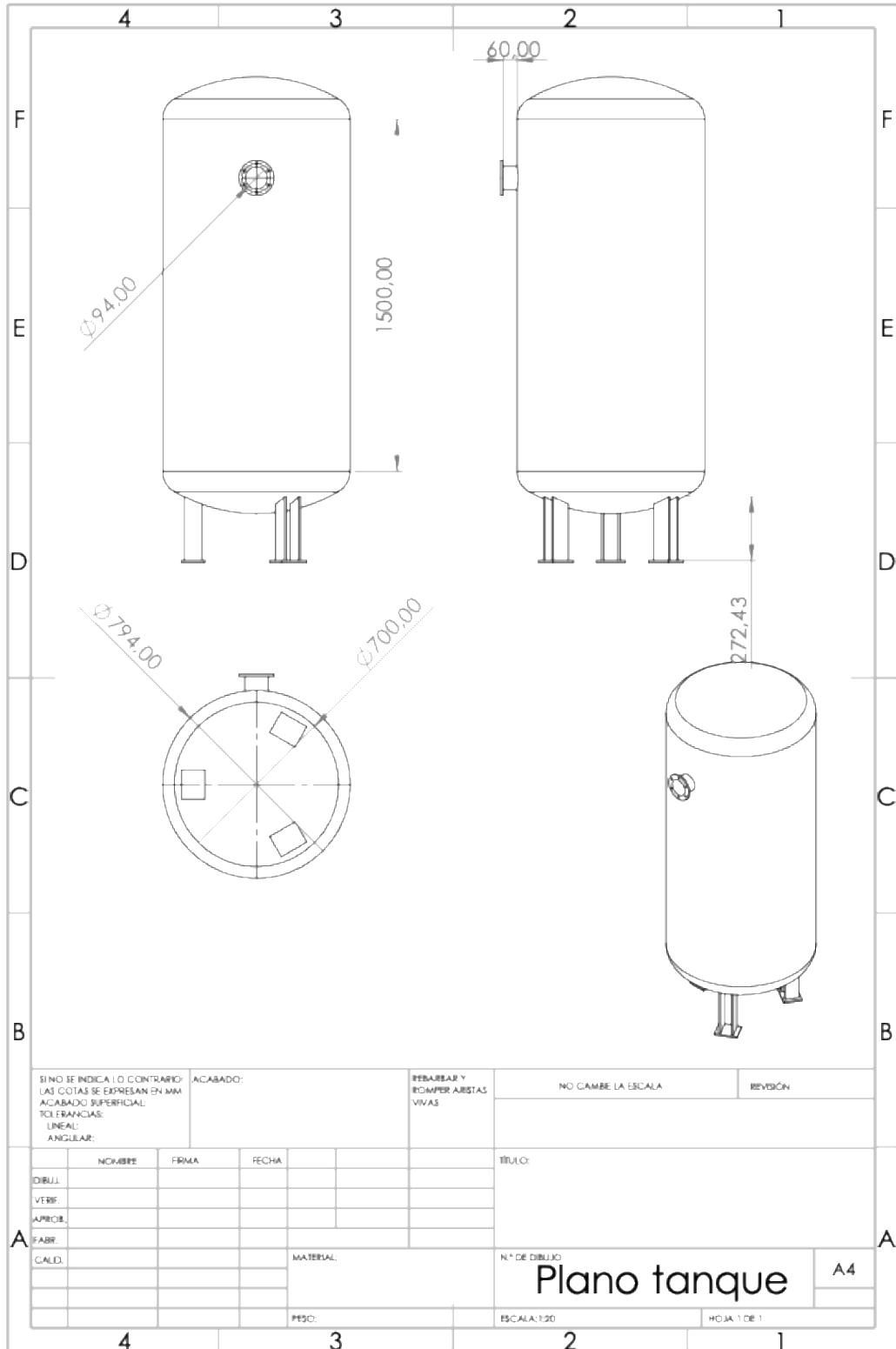
BIBLIOGRAFÍA

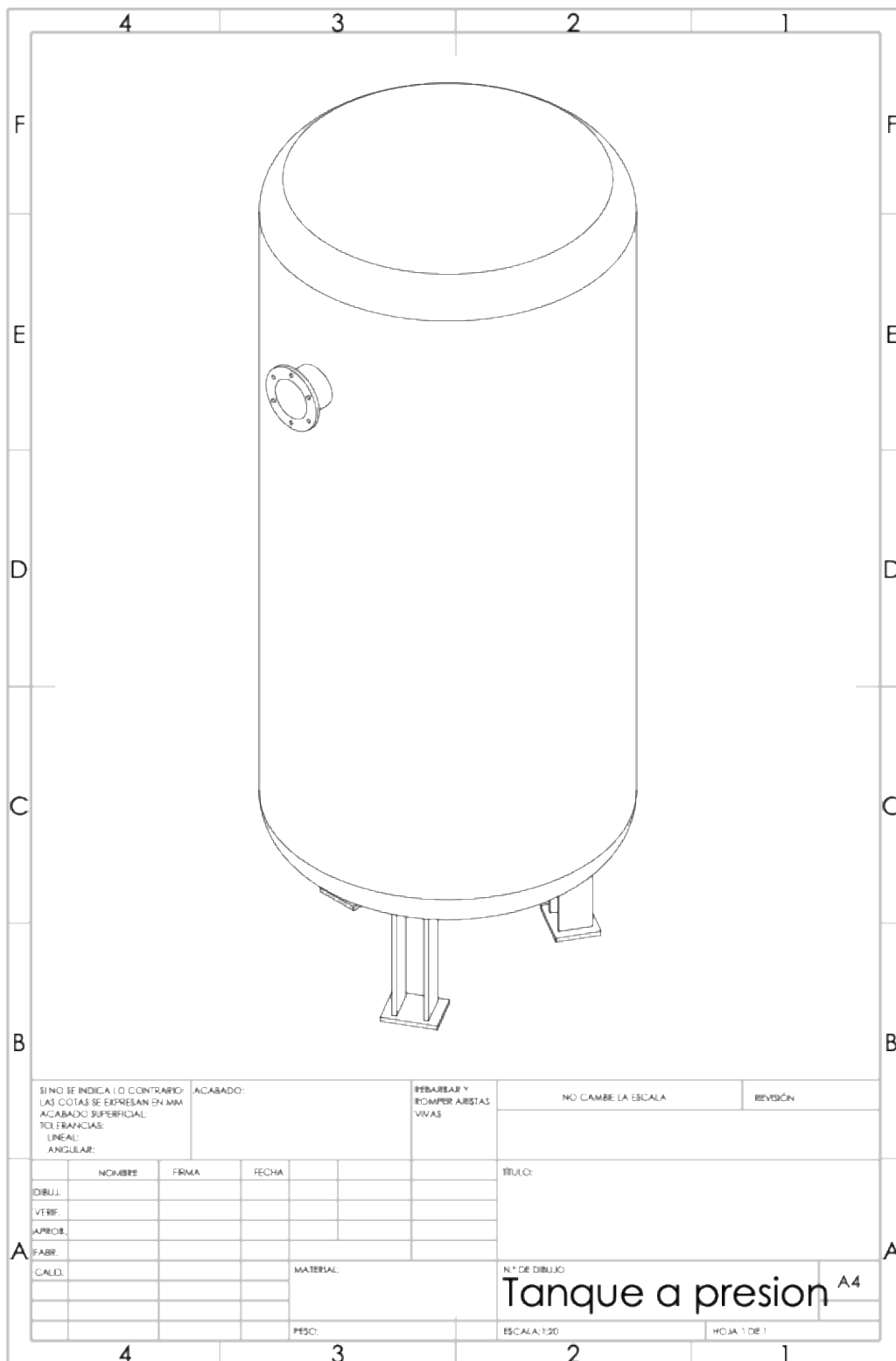
- Romero Vásquez, L. E. (2013). *Elaboración de procedimientos para la inspección técnica, mantenimiento y reparación de tanques a presión para almacenamiento de G.L.P.* . Escuela Politécnica Nacional.
- González Dorta, D. (2018). *Diseño y cálculo de un tanque de almacenamiento de un fluido a alta temperatura.* Universidad Politécnica de Madrid.
- Escudero Vega, R. (2016). *Diseño de recipientes a presión con el método de los elementos finitos* . Universidad de Valladolid.
- Chávez Basantes, W. I. (2004). *Gestión del análisis de riesgos aplicados en procesos de inspección técnica de tanques de almacenamiento* . Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- Ledesma-Orozco, E. R.-S.-M. (2013). Análisis de un tanque reforzado con fibras sujeto a presión interna. *XIX Congreso Internacional Anual de la SOMIM, Pachuca, México.*
- Quispe Quispe, N. U. (2019). *Diseño de un tanque de almacenamiento de petróleo de 10 000 galones según norma API 650 y su análisis empleando un programa CAD/CAE* . Universidad Tecnológica del Perú.
- ASME. (2021). *ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section VIII – Rules for Construction of Pressure Vessels.* . American Society of Mechanical Engineers.
- Zhou, Y. Z. (2018). Integration of CAD and CAE tools in mechanical design education. *Computer Applications in Engineering Education.*
<https://doi.org/10.1002/cae.21977>, 26(1), 3–12. .
- Cook, R. D. (2002). *Concepts and applications of finite element analysis (4th ed.)* . Wiley.
- Hernández Sampieri, R. F.-C. (2014). *Metodología de la investigación (6.ª ed.)* . McGraw-Hill.
- Lalanne, M. &. (2002). *Mecánica de estructuras: Aplicaciones industriales.* Reverté.
- Manrique, E. (2016). *Diseño y simulación estructural de un recipiente a presión para la industria química.* Universidad Central del Ecuador.
- ASME. (2021). *Boiler and Pressure Vessel Code – Section VIII, Division 1: Reglas para la construcción de recipientes a presión.* . American Society of Mechanical Engineers.
- Gómez, A. R. (2020). Análisis estructural de un recipiente a presión con presión interna mediante elementos finitos. . *Revista Iberoamericana de Ingeniería Mecánica*, 24(2), 15–25.
- Koves, W. J. (2005). *Pressure Vessel Design Manual.* Elsevier.

- McKettrick, J. (2016). *Fitness for Service Evaluations for Piping and Pressure Vessels*. . Gulf Professional Publishing.
- González Dorta, D. (2021). *Análisis por elementos finitos de un recipiente a presión cilíndrico*. . Universidad de La Laguna.
- Aguilar, A. &. (2019). *Análisis estructural de un tanque presurizado sometido a cargas térmicas mediante simulación FEM*. . Universidad Politécnica Salesiana.
- Paredes, L. (2020). *Estudio de esfuerzos mecánicos en recipientes de acero para la industria petrolera*. . Universidad Técnica de Ambato.
- Núñez, M. &. (2016). *Diseño y análisis de un recipiente a presión para almacenamiento de gas licuado de petróleo (GLP)*. . Repositorio IPN. [Tesis de licenciatura, Instituto Politécnico Nacional de México]. .

ANEXOS

Anexo 1. Planos SolidWorks



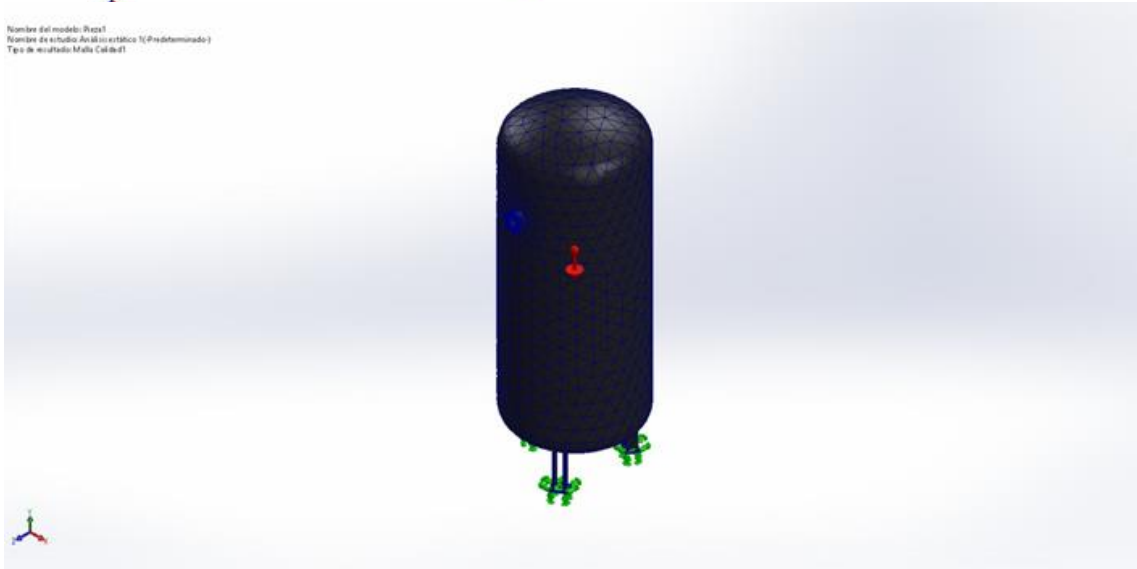


SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
NOMBRE		FRIMA	FECHA	TÍTULO:		
DIBUJ.				Tanque a presión ^{A4}		
VERIF.						
APROB.						
FABR.						
CALD.		MATERIAL:		N.º DE DIBUJO	ESCALA: 1:20	
				HOJA 1 DE 1		
PESO:						

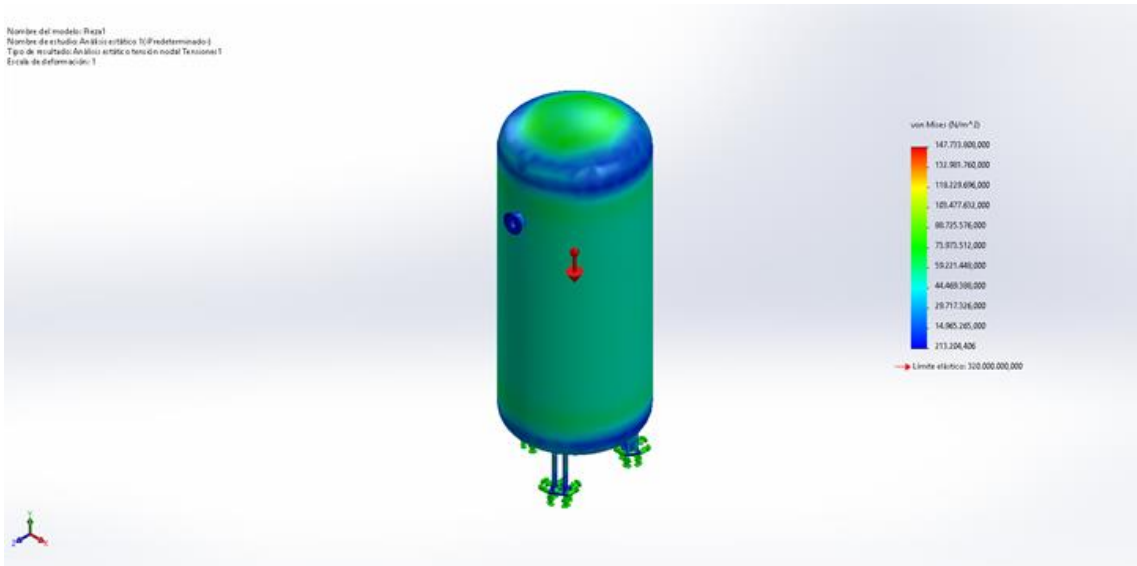
Anexo 2. Análisis Solidworks



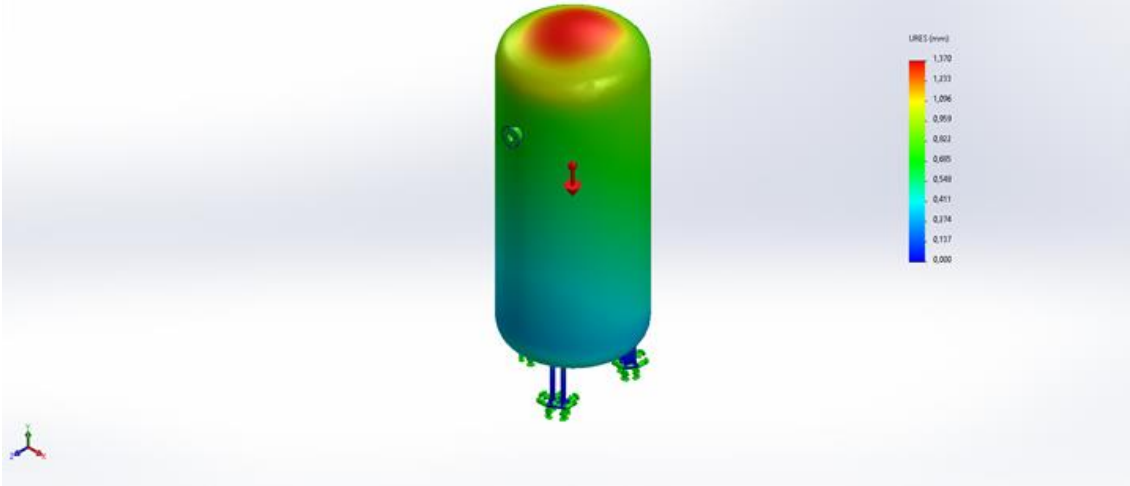
Nombre del modelo: Raza1
Nombre de estudio: Análisis estático 1 (Predeterminado)
Tipo de resultado: Malla Calculada1



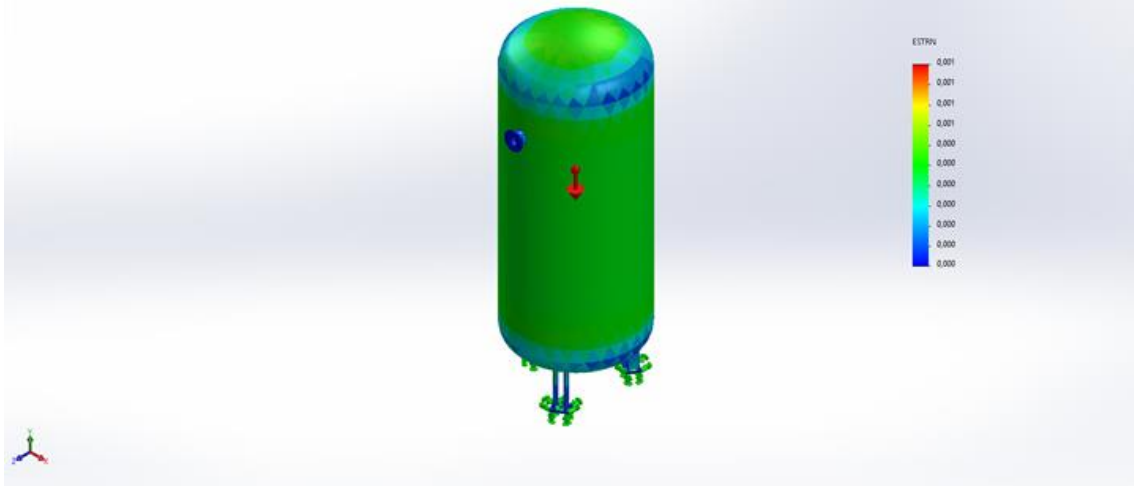
Nombre del modelo: Raza1
Nombre de estudio: Análisis estático 1 (Predeterminado)
Tipo de resultado: Análisis estático o term con modal: Tensiones1
Escala de deformación: 1



Nombre del modelo: Raza1
Nombre de estudio: Análisis estático (Predeterminado)
Tipo de resultado: Desplazamiento estático (Desplazamiento)
Escala de deformación: 1



Nombre del modelo: Raza1
Nombre de estudio: Análisis estático (Predeterminado)
Tipo de resultado: Deformación unitaria estática (Deformaciones unitarias)
Escala de deformación: 1



Nombre del modelo: Raza1
Nombre de estudio: Análisis estático (Predeterminado)
Tipo de resultado: Factor de seguridad (Factor de seguridad)
Criterio: Automático
Distribución de factor de seguridad: 100 mín = 2.2

