

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Mecánica

Tesis

**Diseño y cálculo de un tanque con revestimiento de  
neopreno según la norma API 650 para el  
almacenamiento del reactivo colector terciario**

Laura Lariza Pinares Condori

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero Mecánico

Huancayo, 2024

Repositorio Institucional Continental  
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

## INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

**A** : Decano de la Facultad de Ingeniería  
**DE** : Ever Luis Poma Tintaya  
Asesor de trabajo de investigación  
**ASUNTO** : Remito resultado de evaluación de originalidad de trabajo de investigación  
**FECHA** : 30 de Octubre de 2024

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para informar que, en mi condición de asesor del trabajo de investigación:

**Título:**

Diseño y cálculo de un tanque con revestimiento de neopreno según la Norma API 650 para el almacenamiento del reactivo colector terciario

**Autores:**

1. Laura Lariza Pinares Condori – EAP. Ingeniería Mecánica

Se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 12 % de similitud sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- Filtro de exclusión de bibliografía SI  NO
- Filtro de exclusión de grupos de palabras menores  
Nº de palabras excluidas (**en caso de elegir "SI"**): 30 SI  NO
- Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante SI  NO

En consecuencia, se determina que el trabajo de investigación constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad Continental.

Recae toda responsabilidad del contenido del trabajo de investigación sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos conducentes a Grados y Títulos – RENATI y en la normativa de la Universidad Continental.

Atentamente,

\_\_\_\_\_  
Asesor de trabajo de investigación

## **AGRADECIMIENTOS**

Estoy profundamente agradecida con Dios, por el privilegio de vida y por haberme ayudado a alcanzar este crucial momento en mi formación profesional, dándome fuerza, sabiduría, amor y bondad.

A mis padres Lucio y Viciania, quienes siempre velan por mi bienestar con su amor, paciencia y esfuerzo; permitiéndome alcanzar otro de mis sueños. Asimismo, a mis hermanos Yury, Yasmin y Rafael por sus consejos, apoyo y afecto incondicional.

A Mary por creer en mí, por todo lo que me enseñó, por sus orientaciones y estímulo que fueron fundamentales en mi proceso profesional, aunque ahora no estés conmigo siempre te recordaré.

También quiero dedicar esta tesis a mis amigos Fiorella y Diego, por su apoyo inmutable en los momentos más necesarios, por su ayuda en tiempos difíciles y por el amor que me han brindado cada día.

Finalmente, a la Universidad Continental por brindarme la facilidad de presentar mi trabajo y por la guía vocacional que ha sido clave en mi formación.

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a Dios, fuente de mi inspiración y fortaleza, quien me ha guiado en este camino y me ha permitido perseverar en mis metas, proporcionándome fuerza, sabiduría, amor y bondad.

A mis padres, por brindarme constante su apoyo y dedicación incesantemente, dándome amor incondicional, paciencia y la comprensión necesaria para mi formación profesional, pudiendo superar retos y obstáculos.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS .....	iv
DEDICATORIA .....	v
ÍNDICE DE CONTENIDO .....	vi
ÍNDICE DE TABLAS .....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE ECUACIONES .....	xii
RESUMENESU .....	xiv
ABSTRACT.....	xv
INTRODUCCIÓN .....	xvi
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO.....	18
1.1. Planteamiento y formulación del problema .....	18
1.1.1. Problema general .....	19
1.1.2. Problemas específicos.....	19
1.2. Objetivos .....	19
1.2.1. Objetivo general .....	19
1.2.2. Objetivos específicos.....	19
1.3. Justificación .....	20
1.3.1. Justificación tecnológica.....	20
1.3.2. Justificación económica.....	20
1.3.3. Impacto social y medio ambiental .....	20
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....	21
2.1. Antecedentes del problema.....	21
2.1.1. Antecedentes internacionales.....	21
2.1.2. Antecedentes nacionales.....	21
2.2 Bases teóricas .....	22
2.2.1. Tanques atmosféricos.....	22
2.2.1.1. Tipos de tanques .....	22
2.2.1.2. Medición estática en tanques atmosféricos.....	23
2.2.1.3. Clasificación de reactivos químicos (Ver tabla 1) .....	25
2.2.1.4. Clasificación del sistema SAF-T-DATA .....	25
2.2.2. Norma API 650.....	26
2.2.3. Procedimiento de soldadura .....	31
2.2.4. Neopreno.....	35
2.2.5. Reactivo colector terciario (ácido xantogenformato de propilo y isobutilo XF-104) .....	37

2.3. Definición de términos básicos .....	38
2.3.1. Mantenimiento preventivo .....	38
2.3.2. Diseño .....	38
2.3.3. Cálculo .....	38
2.3.4. Ácido.....	39
2.3.5. Normas técnicas .....	39
2.3.6. Porosidades .....	39
2.3.7. Resistencia mecánica .....	39
<b>CAPÍTULO III: METODOLOGÍA .....</b>	<b>40</b>
3.1. Metodología de investigación .....	40
3.2. Tipo de investigación.....	40
3.3. Nivel de investigación.....	40
3.4. Metodología del diseño.....	41
3.4.1. Fase I: Información.....	42
3.4.2. Fase II: Creación – concepto de solución .....	43
3.4.3. Fase III Elaboración del proyecto .....	44
3.4.4. Fase VI Elaboración de ingeniería de detalles .....	44
3.5. Técnicas y recolección de datos.....	44
3.5.1. Técnica.....	44
<b>CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISEÑO DE LA SOLUCIÓN .....</b>	<b>45</b>
4.1. Identificación de requerimientos.....	45
4.1.1. Lista de exigencias.....	45
4.1.2. Estructura de funciones.....	47
4.2. Análisis de la solución .....	50
4.2.1. Matriz morfológica .....	50
4.2.2. Determinación de proyecto preliminar .....	52
4.2.3. Determinación del proyecto (determinación del concepto de solución óptima).....	53
4.3. Diseño .....	57
4.3.1. Delimitación de los parámetros para el diseño del tanque atmosférico .....	57
4.3.2. Accesorios para el diseño del tanque atmosférico .....	59
4.3.3. Cálculo del tanque atmosférico.....	60
4.3.4. Datos y condiciones para el cálculo del tanque atmosférico.....	61
4.4. Cálculo del espesor de paredes, fondo y techo del tanque atmosférico .....	62
4.5. Cálculo del anillo superior del tanque atmosférico.....	62
4.6. Cálculo del peso del tanque atmosférico.....	63
4.7. Estabilidad al volcamiento en el tanque atmosférico.....	63
4.8. Construcción del tanque atmosférico.....	64

4.8.1. Fabricación de las planchas .....	64
4.8.2. Consideraciones de diseño e inspección.....	65
4.8.3. Métodos de soldadura.....	65
4.8.4. Pruebas y resultados .....	67
4.8.4.1. Datos generales y condiciones para el cálculo del tanque atmosférico.....	67
4.8.4.2. Materiales para el diseño del tanque atmosférico .....	69
4.8.4.3. Cálculo del tanque atmosférico.....	70
4.8.4.4. Datos y condiciones para el cálculo del tanque atmosférico.....	71
4.9. Cálculo del espesor de paredes, fondo y techo del tanque atmosférico.....	75
4.9.1. Espesor de las paredes para el tanque atmosférico (tp) .....	75
4.9.2. Espesor del fondo para el tanque atmosférico (tf) .....	75
4.9.3. Espesor del techo para el tanque atmosférico.....	76
4.10. Cálculo del anillo superior del tanque atmosférico .....	78
4.11. Cálculo del peso del tanque atmosférico .....	79
4.12. Estabilidad al volcamiento en el tanque atmosférico.....	81
4.12.1. Cálculo de cargas y momento de vuelco.....	81
4.12.2. Cálculo de estabilidad del tanque frente al viento.....	84
CAPÍTULO V: CONSTRUCCIÓN.....	87
5.1. Diseño del tanque atmosférico.....	87
5.2. Programa de puntos de inspección.....	102
CONCLUSIONES .....	107
RECOMENDACIONES.....	108
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	109
ANEXOS .....	113

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Grado de riesgo,.....	25
Tabla 2. Secciones de la Norma API 650 .....	29
Tabla 3. Anexos de la Norma API 650 .....	30
Tabla 4. Lineamientos de la Norma API 650.....	31
Tabla 5. Procedimientos al soldar .....	34
Tabla 6. Propiedades del neopreno .....	36
Tabla 7. Ácido recolector terciario .....	38
Tabla 8. Lista de exigencias.....	46
Tabla 9. Matriz morfológica .....	51
Tabla 10. Criterios de evaluación .....	54
Tabla 11. Valor económico.....	55
Tabla 12. Selección del diseño óptimo .....	56
Tabla 13. Tipos de material ASTM .....	58
Tabla 14. Anillos en el tanque atmosférico.....	63
Tabla 15. Espesores nominales para placas .....	64
Tabla 16. Consideraciones de diseño.....	65
Tabla 17. Soldaduras de filete de la carcasa al fondo .....	67
Tabla 18. Códigos y estándares para el cálculo del tanque atmosférico .....	70
Tabla 19. Plan de puntos inspección.....	104

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Tipos de tanques atmosféricos.....	23
Figura 2. Presiones atmosféricas de tanques,.....	23
Figura 3. Medición a fondo.....	24
Figura 4. Medición a vacío .....	24
Figura 5. Clasificación del Sistema SAF-T-DATA .....	26
Figura 6. Tanque atmosférico vista lateral.....	27
Figura 7. Tanque atmosférico vista superior.....	28
Figura 8. Soldadura SMAW .....	32
Figura 9. Soldadura FCAW .....	33
Figura 10. Juntas verticales.....	34
Figura 11. Juntas Horizontales.....	35
Figura 12. Interior del Tanque Atmosférico con Neopreno.....	36
Figura 13. Metodología VDI 2221 .....	41
Figura 14. Lista de exigencias .....	43
Figura 15. Caja negra.....	44
Figura 16. Resultado caja negra.....	47
Figura 17. Secuencia de operación .....	48
Figura 18. Control de proceso.....	49
Figura 19. Diagrama de evaluación técnico - económico.....	56
Figura 20. Material ASTM .....	59
Figura 21. Accesorios para el Tanque atmosférico.....	60
Figura 22. Diámetro y altura sugerida .....	60
Figura 23. Volumen del tanque atmosférico,.....	61
Figura 24. Condiciones de los materiales .....	62
Figura 25. Espesor en paredes, fondo y techo.....	62
Figura 26. Cálculo del peso del tanque .....	63
Figura 27. Estabilidad en el tanque atmosférico .....	64
Figura 28. Métodos de soldadura.....	66
Figura 29. Detalle de soldadura de doble ranura de filete para placas de fondo.....	67
Figura 30. Datos generales y condiciones para el tanque atmosférico, .....	68
Figura 31. Accesorios para el tanque atmosférico .....	69
Figura 32. Anillo superior del tanque .....	79
Figura 33. Anillo superior del tanque atmosférico .....	79
Figura 34. Simulación tipo malla en programa SolidWorks.....	88

Figura 35. Tensión en el techo del tanque, .....	88
Figura 36. Desplazamiento del techo del tanque .....	89
Figura 37. Deformación en el techo del tanque .....	90
Figura 38. Seguridad en el techo del tanque .....	90
Figura 39. Numero de boquillas para el tanque atmosférico .....	91
Figura 40. Diseño del techo cónico autosoportado .....	92
Figura 41. Base del tanque atmosférico .....	93
Figura 42. Acceso de limpieza.....	94
Figura 43. Compuerta de sedimentos.....	95
Figura 44. Mallado del tanque atmosférico .....	96
Figura 45. Tensión en el cuerpo tanque atmosférico, .....	97
Figura 46. Desplazamiento del cuerpo del tanque .....	97
Figura 47. Tensión en el cuerpo del tanque, elaboración propia, 2023 .....	98
Figura 48. Factor de Seguridad en el cuerpo del tanque, elaboración propia, 2023 .....	99
Figura 49. Diseño del tanque atmosférico, .....	100
Figura 50. Norma Técnica electrodo E 6010 (SMAW) .....	101
Figura 51. Norma Técnica alambre tubular E 71T1-1 (FCAW).....	102

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Volumen del tanque atmosférico .....	70
Ecuación 2. Altura efectiva del liquido.....	71
Ecuación 3. Prueba de diseño para primer anillo.....	72
Ecuación 4. Prueba hidrostática para primer anillo .....	72
Ecuación 5. Prueba de diseño para segundo anillo .....	73
Ecuación 6. Prueba hidrostática para segundo anillo.....	73
Ecuación 7. Prueba de diseño para tercer anillo .....	74
Ecuación 8. Prueba hidrostática para tercer anillo.....	74
Ecuación 9. Disposición de los anillos.....	74
Ecuación 10. Perímetro del yanque .....	75
Ecuación 11. Espesor de placa para paredes.....	75
Ecuación 12. Espesor de placas para fondo .....	76
Ecuación 13. Área total del arco .....	76
Ecuación 14. Área total del techo .....	77
Ecuación 15. Cálculo del volumen del techo.....	77
Ecuación 16. Cálculo del peso del techo.....	77
Ecuación 17. Cálculo de la carga muerta.....	77
Ecuación 18. Espesor de placas para techo.....	78
Ecuación 19. Cálculo del ángulo de corte.....	78
Ecuación 20. Peso de la envolvente.....	80
Ecuación 21. Peso del fondo.....	80
Ecuación 22. Peso del techo.....	80
Ecuación 23. Peso total del tanque.....	81
Ecuación 24. Presión estática sobre la envolvente.....	82
Ecuación 25. Área expuesta de la envolvente.....	82
Ecuación 26. Carga del viento sobre la envolvente .....	82
Ecuación 27. Momento de vuelco por carga sobre envolvente.....	83
Ecuación 28. Presión por succión del techo.....	83
Ecuación 29. Fuerza de levantamiento del techo por succión .....	83
Ecuación 30. Momento de vuelco por succión en el techo .....	83
Ecuación 31. Momento total de vuelco por viento .....	84
Ecuación 32. Momento resistente por peso de envolvente y estructura.....	84
Ecuación 33. Momento resistente por peso de planchas de techo y accesorios.....	85
Ecuación 34. Peso del líquido por metro lineal .....	85

Ecuación 35. Peso total del líquido resistente.....	85
Ecuación 36. Peso total del líquido resistente.....	86

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como problema la corrosión temprana en el interior del tanque de almacenamiento, debido a que el material estructural es metal ferroso y no presenta un revestimiento para el transporte del líquido recolector terciario. El objetivo es diseñar y calcular un tanque atmosférico de 36.3 m<sup>3</sup> revistiendo el interior con neopreno, este material ofrece alta resistencia a altas temperaturas, optimizando el tiempo de vida útil del tanque y evitando la corrosión en el interior. Del mismo modo, se cumple la Norma API 650 Edición 13th: 2020 y así poder transportar el reactivo colector terciario (ácido xantogenformato de propilo y isobutilo XF-104) soportando una presión de operación atmosférica, para esto se debe realizar controles de calidad, seguridad y medioambiental en el trabajo y así crear nuevas competencias para la industria del sector minero e hidrocarburos. Asimismo, se usó una metodología bajo la norma alemana VDI 2221 para luego poder ser diseñado en el programa AutoCAD especificando las dimensiones de cada pieza, después es simulado en el programa SOLIDWORKS para observar el comportamiento del material ante escenarios diferentes recopilando resultados e información para determinar factores importantes que aporten en la fabricación del tanque atmosférico en posición vertical. De esta manera se concluye que, los resultados son favorables para el diseño del tanque y para su respectiva fabricación ya que se utiliza la Norma API 650:2020 y con el revestimiento en el interior se garantiza la mayor efectividad en la vida útil del tanque y un transporte seguro del reactivo recolector terciario.

**Palabras claves:** diseño y cálculo, neopreno, revestido, Norma API 650:2020.

## ABSTRACT

The present research work has as a problem the early corrosion in the interior of the storage tank, whose structural material is ferrous metal and is a problem that is generated since it does not present a coating for the transport of the tertiary collecting liquid, the objective is to design and calculate an atmospheric tank of 36.3 m<sup>3</sup>, coating the interior with Neoprene, this material offers high resistance to high temperatures, optimizing the time of useful life of the tank and avoiding the corrosion in the interior. In the same way, the API 650 13th Edition: 2020 Standard is complied with and thus the tertiary collector reagent (propyl xanthogenformate and isobutyl XF-104 acid) can be transported withstanding atmospheric operating pressure, for which quality, safety and environmental controls must be carried out at work and thus create new competencies for the mining and hydrocarbon industry. Likewise, a methodology was used under the German VDI 2221 standard to then be designed in the AutoCAD program specifying the dimensions of each part, then it is simulated in the SOLIDWORKS program to observe the behavior of the material in different scenarios, compiling results and information to determine important factors that contribute to the manufacture of the atmospheric tank in a vertical position. In this way it is concluded that the results are favorable for the design of the tank and for its respective manufacture, since the API 650:2020 Standard is used and with the lining in the interior the greater effectiveness is guaranteed in the useful life of the tank and a safe transport of the tertiary collecting reagent.

**Keywords:** design and calculation, neoprene, coated, API Standard 650:2020.

## INTRODUCCIÓN

En el Perú, se utilizan diferentes maneras de transportar fluidos, una de ellas es mediante tanques atmosféricos ya sean horizontales o verticales con diferentes capacidades para sistemas de arrastre simple o carga máxima transportada. Además, se diseñan mediante cálculos específicos y cumpliendo estándares o indicaciones, es por esta razón que todos sus accesorios deben pasar por pruebas para brindar seguridad en el transporte del reactivo recolector terciario, asimismo las exactitudes en las mediciones se pueden ejecutar por su forma, ubicación o condiciones geográficas para poder descargar el fluido por gravedad o por presión interna de aire invirtiendo el ciclo de succión a descarga. Por otro lado, la corrosión interna en el tanque atmosférico es un factor esencial para determinar la duración de vida útil y un elemento muy importante para evitar consecuencias. Como resultado, el mantenimiento preventivo se ha convertido en una excelente estrategia para prever averías y preservar el tanque atmosférico en óptimas condiciones ya que se fabrican a medida y sus valores varían dependiendo a la capacidad nominal.

Por tal motivo, las empresas mineras y de hidrocarburos se ven en la obligación de explorar nuevas soluciones y alternativas para mantener el funcionamiento de sus operaciones. En consecuencia, el objetivo de esta investigación es diseñar y calcular un tanque atmosférico con capacidad de 36.3 m<sup>3</sup> para poder transportar ácido usado en diferentes sectores mineros y de hidrocarburos; dado que, el neopreno es una solución para ampliar la vida útil del tanque atmosférico y evitar corrosión temprana en el acero ferroso. En este sentido, es necesario cumplir con normas específicas y realizar pruebas para determinar un buen control de calidad siendo un método muy utilizado a nivel nacional e internacional.

Como resultado, el uso de esta propuesta ayudará a mantener una temperatura adecuada en el interior del tanque y evitar corrosión prematura, brindando una adecuada presión atmosférica sin alterar gases y presiones acumuladas.

Por lo tanto, el informe de tesis se ha estructurado en cinco capítulos.

El Capítulo I presenta el planteamiento del estudio de investigación, en el que se abordará el cálculo y diseño del tanque atmosférico con capacidad de 36.3 m<sup>3</sup>, revistiendo el interior con neopreno a fin de evitar corrosión temprana en el tanque.

En el Capítulo II se considera recopilar información específica y citar autores para poder

entender el tema de investigación. De igual manera, se encontrará las bases teóricas necesarias para comprender los conceptos y definiciones utilizados, respaldando así el presente informe.

En el Capítulo III se describe la metodología empleada en el estudio para evaluar la efectividad, detallando las técnicas e instrumentos de acopio de datos utilizados.

En el Capítulo IV se realiza la metodología del tema de investigación aplicando cálculos estadísticos y graficando el diagrama de evaluación técnico- económico. Teniendo tres posibles soluciones se demostrará la más eficaz para poder realizar el diseño del tanque atmosférico con capacidad de  $36.3.m^3$ , con el propósito de garantizar que todos los parámetros cumplan con la norma API 650:2020 cumpliendo estándares y control de calidad en cada proceso.

En el Capítulo V se realiza la simulación por medio del programa SolidWorks para poder corroborar el diseño del tanque, analizando el comportamiento del material se aplica fuerzas externas. Luego, se menciona la matriz de puntos de inspección para poder señalar la inspección realizado en ensayos y pruebas. De acuerdo a los requisitos de calidad y estándares aplicables al proyecto, se deben considerar para el control de las diversas fases de la fabricación y montaje del tanque

# **CAPÍTULO I**

## **PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO**

### **1.1. Planteamiento y formulación del problema**

Actualmente, la globalización hace que las corporaciones busquen ser más competitivas en el mercado y aún más en el sector minero, en donde las compañías mineras tratan de automatizar y digitalizar sus procesos de producción con la intención de ser más eficientes, reducir costos, riesgos y por ende aumentar la productividad (1).

Según Rumbo Minero: “el futuro de la minería es la automatización”. En este sector se ha implementado nuevas medidas para mejorar la productividad de los trabajos en mina. Y en vista de la llegada de la industria 4.0, las máquinas logran obtener operaciones seguras sin tener graves consecuencias en los operadores (1).

Es por este motivo que la compañía minera busca resolver problemas de sistema de dosificación de reactivos a través de la automatización para optimizar la seguridad, la eficiencia y la productividad, simultáneamente disminuyen los costos operativos y el impacto ambiental. En este sentido, un sistema de dosificación de reactivos suele incluir componentes como bombas de desplazamiento, sistema de control, sensores y dispositivos de precisión, tuberías y tanque de almacenamiento.

De esta manera, se garantiza una dosificación precisa y controlada de productos químicos en diferentes procesos.

La presente tesis se enfocará en el diseño de un tanque cilíndrico en posición vertical con techo cónico que cuenta con una capacidad de 36.3 m<sup>3</sup>, altura de 4.0 m y diámetro de 3.4 m, el tanque es un accesorio primordial ya que almacena el ácido xantogenformato de propilo y isobutilo XF-104, de esta manera se transporta a la sala de flotación. Cabe mencionar que, el diseño se enfoca en implementar válvulas con sensores en su interior y de esta manera tener un registro y un control adecuado para el almacenamiento, cumpliendo con los estándares de calidad según la norma API-650 (American Petroleum Institute). Por último, en el interior del tanque de almacenamiento estará revestido con neopreno ya que es un material que ofrece resistencia a altas temperaturas y evita la corrosión de este mejorando la vida útil del tanque.

### **1.1.1. Problema general**

¿Cómo calcular y diseñar un tanque para el almacenamiento de reactivo Colector terciario con revestimiento interior de neopreno, de acuerdo a la norma API-650?

### **1.1.2. Problemas específicos**

- ¿Cómo seleccionar el espesor de las planchas y materiales adecuados para el diseño del tanque?
- ¿Cuáles son las consideraciones del diseño del tanque según la norma API 650?
- ¿Qué tipo de prueba se realizará para el control de calidad del tanque de almacenamiento?

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo general**

Calcular y diseñar un tanque de almacenamiento de reactivo colector terciario con revestimiento interior de neopreno, de acuerdo a la norma API-650.

### **1.2.2. Objetivos específicos**

- Seleccionar el espesor de las planchas y materiales adecuados para diseñar el tanque.
- Determinar las consideraciones para el diseño del tanque de acuerdo con la norma API 650.
- Determinar el tipo de pruebas se llevarán a cabo para realizar el control de calidad en el tanque de almacenamiento.

### **1.3. Justificación**

#### **1.3.1. Justificación tecnológica**

La investigación contribuye al diseño de tanques de posición horizontal para el almacenamiento de reactivos colector terciario (xantogenformato de propilo y isobutilo XF-104) revistiendo el interior del tanque con neopreno ofreciendo resistencia a altas temperaturas y evitando la corrosión del tanque. Asimismo, se utiliza la norma API 650, cumpliendo con los requisitos de diseño y fabricación para asegurar que el tanque pueda operar de manera confiable, certificada y segura a lo largo de su vida útil.

#### **1.3.2. Justificación económica**

El revestimiento en el interior del tanque horizontal proporcionará mayor vida útil y asegura su operatividad ya que para su diseño se basó en la norma API 650:2020. De este modo, su impacto económico es accesible para el sector minero e hidrocarburos por su bajo costo de operación.

#### **1.3.3. Impacto social y medio ambiental**

La investigación contribuirá con las pequeñas y medianas empresas a implementar el revestimiento con neopreno cumpliendo con normas y controles de calidad para no liberar gases y líquido reactivo (xantogenformato de propilo y isobutilo XF-104) evitando las fugas que permitan dañar el medio ambiente.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes del problema**

##### **2.1.1. Antecedentes internacionales**

Gonza presentó una tesis titulada: “Diseño y cálculo de un tanque para almacenamiento de petróleo para 3000 BBLs” Ecuador, 2014. El propósito es calcular y diseñar la construcción de un tanque para poder transportar 3000 BBLs derivados de petróleo cumpliendo la norma API 650. Asimismo, la metodología usada fue del tipo exploratoria diseñando un tanque y siguiendo normas como API 65 edición 2013. En conclusión, se determinó empleando el método del punto fijo o pie para poder hallar parámetros como el cálculo de estabilidad, datos sismográficos o la velocidad del viento. Y así, determinar si se tiene que ser anclado mecánicamente el tanque validado por el software Tank 2012 (2).

Davinia presentó un trabajo de investigación titulado: “Diseño y cálculo de un tanque de almacenamiento de un fluido de alta temperatura” España, 2018. Su objetivo fue diseñar un depósito de almacenaje para soportar altas temperaturas, evitando presión hidrostática, carga de viento y carga de sismo. Se utilizó una metodología de investigación exploratoria, recopilando datos pudo hacer el cálculo estructural y el diseño de depósitos en general siguiendo las instrucciones para el dimensionamiento de los elementos fundamentales del depósito. Dando como resultado que, la simulación del depósito mediante el software ANSYS, permitió un correcto diseño, selección de materiales, espesores de la base, techo, anillo de coronación, el anclaje y el aislamiento (3).

##### **2.1.2. Antecedentes nacionales**

Marin presentó un trabajo de investigación titulado: “Diseño, fabricación y montaje de depósito de agua de 380 m<sup>3</sup> para operación en condiciones ambientales de -7°C para estación

de transferencia Pillones Peru Rail”. Propone como objetivo realizar el diseño y construcción de un depósito de agua potable asegurando su funcionalidad para evitar problemas en el proceso. Asimismo, uso una metodología descriptiva-explicativa desarrollando una memoria de cálculo con el fin de diseñar un tanque de almacenamiento de agua detallando las etapas para la construcción y la inspección con sus criterios de aceptación, bajo la Norma API 650 cumpliendo factores como el medioambiental, optimizando el tiempo y costo en el proceso. (4)

Saldaña presentó un trabajo de investigación titulado: “Diseño de tanques de agua con capacidad hasta 1200 m<sup>3</sup> con techo cónico bajo norma API 650 con Excel y SolidWorks”. Tuvo el objetivo de elaborar un programa en Excel para facilitar el diseño tanques verticales de almacenamiento de agua con capacidad entre 12 m<sup>3</sup> y 1200 m<sup>3</sup> con techo cónico fijo, siguiendo la norma API 650. Además de dirigir las operaciones de dibujo de Solidworks. También, se utilizó una metodología del tipo explicativa creando un programa para poder realizar cálculos de forma eficiente (5).

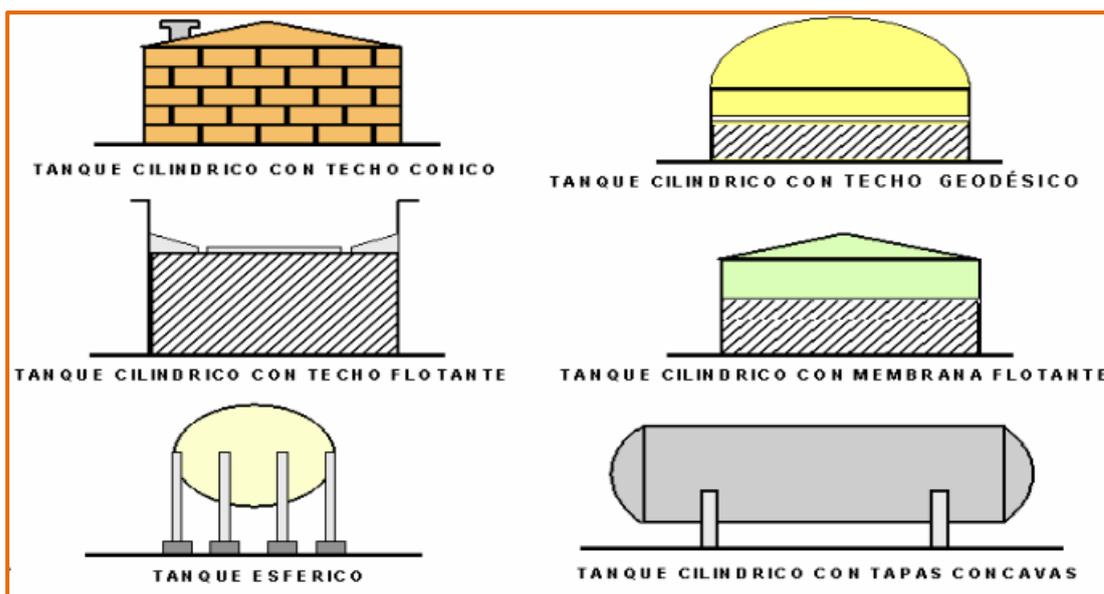
## **2.2 Bases teóricas**

### **2.2.1. Tanques atmosféricos**

#### **2.2.1.1. Tipos de tanques**

Los tipos de tanques se dividen dependiendo de su funcionamiento, almacenamiento o proceso, otro factor es el ángulo de inclinación para poder fabricar el techo. En la actualidad los más usados son los del tipo cilíndricos, pero también existen los del tipo esféricos como se aprecia en la Fig. 1, todos para un uso determinado como soportar presiones atmosféricas, cambiadores de calor, reactores, torres de destilación, etc. (5).

Asimismo, un tanque de almacenamiento debe estar conformado por un kit de accesorios para cumplir funciones específicas, evitando un llenado excesivo, inspecciones correctivas ó vaciado del tanque como mantenimiento preventivo. Sus principales accesorios son las boquillas de entrada y salida, luego el venteo ya que sirve para eliminar gases o vapores en el interior del tanque generados debido a cambios de temperatura o presiones elevadas y por último el medidor de nivel este accesorio se instala para evitar fugas o sobre llenado del tanque atmosférico (5).



*Figura 1. Tipos de tanques atmosféricos  
Tomada de Medición de hidrocarburos, 2007, pág. 7*

	HEMISFEROIDE	ESFEROIDES	ESFERA
<b>PRESION DE ALMACENAMIENTO</b>	+350 mbar (5,08 psi) -5 mbar (0,07 psi)	$\leq 2$ bar (29,01 psi) -5 mbar (0,07 psi)	$\leq 25$ bar (362,59 psi)
<b>PRODUCTO A ALMACENAR</b>	GASOLINA SUPER PENTANO	GASOLINA LIVIANA	GASES LICUADOS GASES COMPRESOS

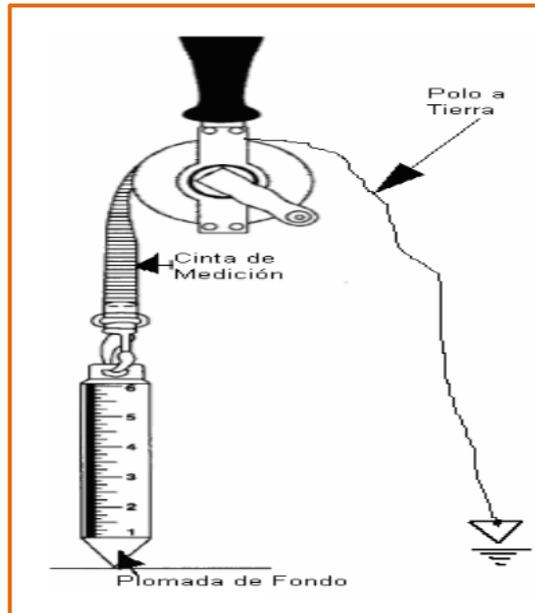
*Figura 2. Presiones atmosféricas de tanques,  
Tomada de Roberto y Wilson, 2011, Pág. 7*

### 2.2.1.2. Medición estática en tanques atmosféricos

#### a) Medición a fondo

Comprende en medir la distancia desde el fondo del tanque hasta el nivel del líquido, obteniendo la medida de forma directa (ver fig. 3). En el caso, de medición de crudos livianos es necesario el uso de crema o pasta para hallar la medida con mayor exactitud.

Por otro lado, se utiliza una cinta de medición a fondo en donde la plomada tiene una forma cilíndrica terminando en un cono marcando CERO en la punta de la plomada (6).

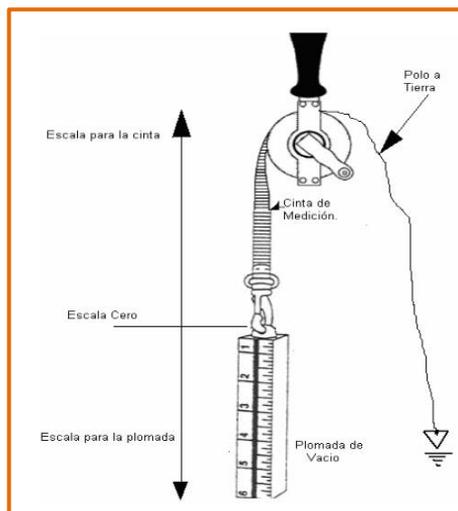


**Figura 3. Medición a fondo**  
*Tomada de Medición de hidrocarburos, 2007, pág. 7*

**b) Medición al vacío**

Comprende en medir la distancia vertical desde la superficie hasta el punto de referencia establecido por el líquido (ver fig. 4). De modo que, se halla la medida del volumen de manera indirecta, la medida resulta confiable si no existen modificaciones en la altura del líquido en el interior del tanque.

A su vez, se usa una cinta para medición a vacío en donde la plomada tiene forma rectangular y el gancho de unión cuenta con la marca CERO hallando la medida del producto de forma descendente (6).



**Figura 4. Medición al vacío**  
*Tomada de Medición de hidrocarburos, 2007, pág. 7*

### 2.2.1.3. Clasificación de reactivos químicos (Ver tabla 1)

De acuerdo a las normativas internas de almacenamiento de reactivos en el Instituto Nacional de Salud, se debe clasificar a las sustancias químicas potencialmente peligrosas por colores y grado de riesgo, según el sistema SAF-T-DATA se clasifican por:

- Categoría de riesgo: riesgo para la salud, flamabilidad, reactividad y riesgos de contacto.
- Grado de riesgo: peligros relativos del reactivo.
- Código de color para almacenaje: categorización y grado de riesgo.

**Tabla 1. Grado de riesgo,**

0	1	2	3	4
Nulo	Ligero	Moderado	Severo	Extremo

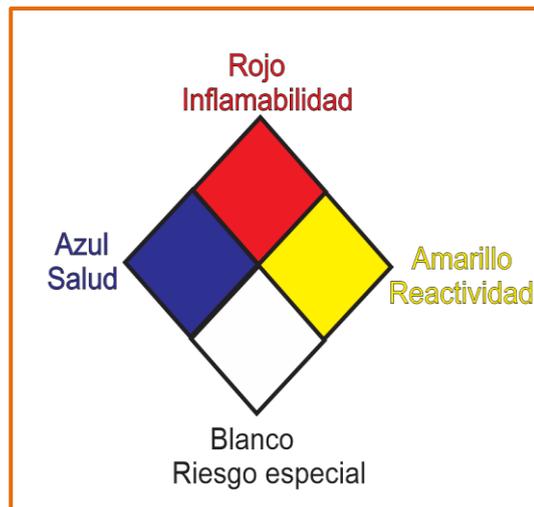
*Tomada de Reactivos químicos, 2016, pág. 10*

Nota: Representación de los niveles en reactivos químicos

### 2.2.1.4. Clasificación del sistema SAF-T-DATA

El almacenamiento, transporte y manejo de sustancias corrosivas debe ser con responsabilidad ya que su manipulación sin EPPS causa lesiones graves a los tejidos con los que entra en contacto. Por esta razón, el sistema SAF-T-DATA clasifica en colores para reconocerlos con mayor facilidad (véase fig. 5).

- a) Rombo azul: equivale al riesgo de salud, se almacena en un área segura y es especial para productos tóxicos. Para poder evitar problemas como inhalación, ingestión o absorción de la piel ya que es altamente irritantes en contacto con la piel (7).
- b) Rombo rojo: equivale al riesgo de inflamabilidad del material, se almacena en un área especial donde no exista materiales inflamables porque las sustancias químicas presentan riesgos de incendio (7).
- c) Rombo amarillo: equivale a la reactividad del material y se almacena en lugares alejados de productos inflamables o combustibles. Ya que, produce riesgos de oxidación y las sustancias químicas pueden reaccionar violentamente con el aire (7).
- d) Rombo blanco: equivale a cuidados especiales, es especial para productos corrosivos. Porque, con el contacto del producto con cualquier material producen deterioro o destrucción en la zona afectada (7).



*Figura 5. Clasificación del Sistema SAF-T-DATA*

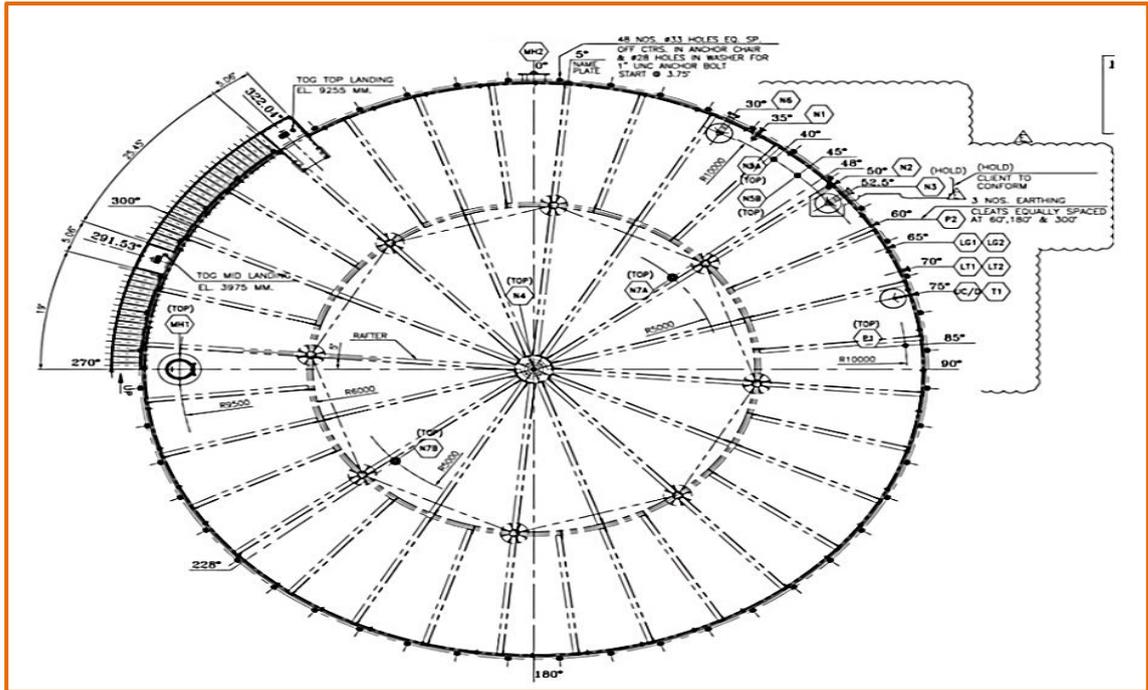
### **2.2.2. Norma API 650**

La norma conocida por sus siglas en inglés (American Petroleum Institute), cubre todo el diseño y cálculo de los diferentes tipos de tanques, construidos con láminas de acero soldado de varios tamaños y capacidades, con presiones internas pequeñas las cuales soportan presiones atmosféricas menores a 18 kPa y temperaturas no mayores a 260 °C (8).

La norma define los requisitos mínimos para los materiales, el diseño, la fabricación, el montaje y las pruebas de tanques cilíndricos verticales instalados sobre el suelo, con techo fijo y soldados, de variados tamaños y con presiones internas próximas a la atmosférica (8).

Su objetivo principal es proporcionar parámetros para la construcción y el diseño de tanques atmosféricos, brindando seguridad para poder soportar altas presiones en el interior del tanque estableciendo una serie fija de tamaños de tanques permitida (8). (ver fig. 6,7)





**Figura 7. Tanque atmosférico vista superior**  
**Tomada de Funsafe, pág. 9**

**a) Partes del código API-650**

La norma se estructura en diez secciones y veintisiete anexos, ofreciendo directrices fundamentales para el diseño y la construcción de tanques destinados al almacenamiento de petróleo y sus derivados. Su objetivo es asegurar una seguridad adecuada y una economía razonable para compradores y vendedores. Aunque no establece una serie específica de tamaños para los tanques, se aplica a tanques horizontales y verticales ensamblados en el sitio, que operen con presiones de vapor inferiores a 1.5 psi y temperaturas que no excedan los 121 °C. (8).

**b) Cuerpo principal**

La norma API 650 titulada: "Tanques soldados para almacenamiento de petróleo" establece los requisitos para el diseño, construcción y pruebas de tanques de almacenamiento de acero soldados (8).

Tabla 2. Secciones de la Norma API 650

<b>Sección 1 Alcance:</b>	Define los requisitos generales, las limitaciones, las responsabilidades y los requisitos de documentación.
<b>Sección 2 Referencias:</b>	Enumera las normativas, códigos y especificaciones citadas en el código. Se debe utilizar la última edición disponible, a menos que se indique lo contrario.
<b>Sección 3 Definiciones:</b>	Proporciona una lista de la terminología utilizada en el código, junto con su interpretación para cada término.
<b>Sección 4 Materiales:</b>	Esta sección establece los requisitos mínimos para chapas, barras, perfiles, tubos, bridas, pernos, consumibles de soldadura, y otros materiales.
<b>Sección 5 Diseño:</b>	Define los requisitos para uniones soldadas, consideraciones de diseño, chapas del fondo, chapas anulares, envolvente, anillos intermedios y superiores, techos, efectos del viento y el anclaje de los tanques.
<b>Sección 6 Fabricación:</b>	Detalla los requisitos generales para la fabricación y los procedimientos de inspección en el taller.
<b>Sección 7 Izaje:</b>	Incluye los requisitos para el izado de los tanques, abarcando detalles sobre soldaduras, ensayos, inspección y reparaciones, así como las tolerancias dimensionales necesarias.
<b>Sección 8 <u>Métodos de Inspección de Uniones:</u></b>	Incluye el examen radiográfico, la inspección mediante partículas magnéticas, ultrasonido, líquidos penetrantes, examen visual y prueba de vacío.
<b>Sección 9 Procedimientos y Calificación de Soldadores:</b>	Establece los requisitos mínimos para la elaboración y aprobación de procedimientos de soldadura, así como para la calificación de los soldadores.
<b>Sección 10 Identificación y Responsabilidad:</b>	Incluye la placa de características del equipo, la división de responsabilidades entre las partes involucradas y los requisitos de certificación.

Nota: Tabla que denota el índice de la norma

### c) Anexos

Los anexos de la norma API 650 proporcionan información adicional y detalles técnicos específicos que complementan los requisitos generales establecidos en las secciones principales del documento (8).

**Tabla 3. Anexos de la Norma API 650**

<b>Anexo A:</b>	Bases de diseño opcionales para tanques pequeños.
<b>Anexo AL:</b>	Tanques de almacenamiento de aluminio.
<b>Anexo B:</b>	Recomendaciones para el diseño y la construcción de fundaciones para tanques de almacenamiento de petróleo.
<b>Anexo C:</b>	Techos flotantes externos.
<b>Anexo D:</b>	Consultas técnicas.
<b>Anexo E:</b>	Diseño sísmico de tanques de almacenamiento.
<b>Anexo EC:</b>	Comentarios al Anexo E.
<b>Anexo F:</b>	Diseño de tanques para presiones de diseño internas pequeñas.
<b>Anexo G:</b>	Techos de aluminio estructuralmente soportados.
<b>Anexo H:</b>	Techos flotantes internos.
<b>Anexo I:</b>	Detección de pérdidas en el fondo y protección de camas.
<b>Anexo J:</b>	Tanques ensamblados en taller.
<b>Anexo K:</b>	Ejemplos de aplicación del método del punto variable para determinar el espesor de la envolvente.
<b>Anexo L:</b>	Hoja de datos de acuerdo a API 650.
<b>Anexo M:</b>	Requerimientos de tanques operando a elevada temperatura.
<b>Anexo N:</b>	Utilización de materiales nuevos no identificados.
<b>Anexo O:</b>	Recomendaciones para conexiones debajo del tanque.
<b>Anexo P:</b>	Cargas externas admisibles para conexiones en la envolvente.
<b>Anexo S:</b>	Tanques de almacenamiento fabricados con acero inoxidable austenítico.
<b>Anexo SC:</b>	Tanques de almacenamiento fabricados con acero inoxidable y acero al carbono.
<b>Anexo T:</b>	Sumario de requerimientos de ensayos no destructivos.
<b>Anexo U:</b>	Examen ultrasónico en lugar de examen radiográfico.
<b>Anexo V:</b>	Diseño de tanques de almacenamiento para presión exterior.
<b>Anexo W:</b>	Recomendaciones comerciales y de documentación.
<b>Anexo X:</b>	Tanques de almacenamiento fabricados con acero dúplex.
<b>Anexo Y:</b>	Nomograma API

Nota: Tabla que denota el índice de la norma

#### **d) Lineamientos según Instituto Americano del Petróleo API**

Los lineamientos de API 650 aseguran que los tanques estén diseñados para resistir las condiciones operativas esperadas, incluidas las presiones internas y externas, y las cargas ambientales como viento y sísmicas. Los materiales utilizados deben cumplir con especificaciones rigurosas para garantizar su durabilidad y resistencia a la corrosión (9).

**Tabla 4. Lineamientos de la Norma API 650**

<p><b>API 620:</b></p>	<p>Regula el diseño y la construcción de tanques de acero al carbono de gran tamaño, que operan a media presión, son verticales, están ubicados sobre la superficie y funcionan a temperaturas no superiores a 93°C. Este estándar permite un rango de presiones que es:</p> $18 \text{ kPa} < \text{Presión interna} \leq 103,4 \text{ kPa}$ <p>Del mismo modo, en el anexo "R" aplica a tanques operando entre 4,44°C y -51,1°C. El anexo "Q" aplica tanques para almacenamiento de gases licuados con temperaturas hasta -167,8°C.</p>
<p><b>ASME ANSI B96.1:</b></p>	<p>Requerimientos similares a los de la Norma del Instituto Americano de Petróleo API 650, pero para tanques fabricados en aluminio.</p>
<p><b>AWWA 1000:</b></p>	<p>"American Water Works Asociación", "Standard for Welded Steel Elevated Tanks, Stand Pipes and Reservoirs for Water Storage".</p> <p>Esta normativa no incluye fórmulas concretas para diseñar los diferentes componentes; en lugar de eso, define requisitos generales sobre cargas de diseño, esfuerzos permitidos, inspecciones radiográficas, entre otros aspectos. Además, el estándar permite la aplicación de los requisitos del API 650.</p>
<p><b>API 12D:</b></p>	<p>Regula el diseño, la fabricación y la instalación de tanques cilíndricos verticales, situados sobre la superficie, soldados y fabricados en acero, con capacidades nominales que van desde 79,5 m³ hasta 1590 m.</p>
<p><b>API 12F:</b></p>	<p>Es comparable al API 12D, pero se aplica a tanques diseñados en taller con capacidades que van desde 14,3 m³ hasta 119,25 m³.</p>

Nota: Tabla que denota el índice de la norma

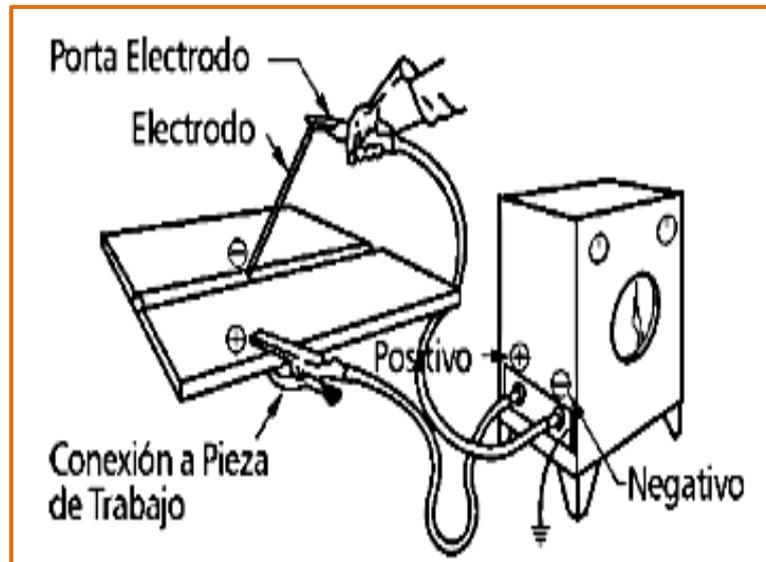
### 2.2.3. Procedimiento de soldadura

#### a) Soldadura manual por arco eléctrico con electrodo revestido (SMAW)

La soldadura distinguida por sus siglas en inglés (shielded metal arc welding, SMAW) es un proceso de unión por fusión de piezas metálicas utilizando un material de aporte denominado electrodo. Este electrodo está revestido con compuestos químicos que mejoran los resultados durante la fusión del material de aporte, como se muestra en la fig. 8 (10).

Todo el trabajo de fabricación se lleva a cabo de acuerdo con la sección 6 de la Norma API

650, 13th Edición, 2020 utilizando electrodos adecuados para las láminas de acero a soldar y siguiendo los procedimientos de fabricación establecidos (10).



*Figura 8. Soldadura SMAW  
Tomada de SOLDEXA, 1999, pág. 26*

#### **b) Soldadura por arco con núcleo fundente (FCAW)**

Este tipo de soldadura es conocida por aprovechar el arco eléctrico de manera continua o semiautomática. A su vez, necesita un material de aporte para continuar el cordón de soldadura, es un proceso muy conveniente para utilizarlo en exteriores, además que dicho procedimiento aumenta la tasa de depósito en el material y reduce desperdicio acumulado por la escoria, (ver fig. 9) (11).

También, denominado flux cored arc welding- Self shielded por sus siglas en inglés (FCAW) y regulado por la Sociedad Americana de Soldadura (AWS). (11).



*Figura 9. Soldadura FCAW  
Tomada de SOLDEXA, 1999, pág. 26*

### c) Procedimientos al soldar

Es necesario utilizar criterios al momento de soldar como el amperaje, voltaje, ángulo de inclinación, ver Tabla 5. Además, se deben cumplir normas técnicas para seleccionar adecuadamente las juntas, lo que garantiza un cordón de soldadura de calidad y optimiza las propiedades mecánicas del acero (12).

- **Juntas de fondo soldadas a traslape**

Es importante que la placa de acero tenga la forma rectangular o cuadrada. Las placas de fondo deben soldarse en la parte superior con un ángulo continuo a lo largo de todas sus costuras. Además, las placas de fondo situadas debajo de la envoltura deben estar alineadas en los extremos y soldadas con un recubrimiento adecuado para asegurar que queden lisas (12).

- **Juntas de fondo y placa anular soldadas a tope**

Este tipo de junta necesita que las placas de fondo tengan formas paralelas, adecuadas para ser soldadas a tope en forma de V. Se utilizan técnicas que garantizan una penetración adecuada en la raíz, y se aplican cordones de soldadura que no excedan 1/8 de pulgada (12).

- **Soldadura de filete para el fondo y envoltura**

Las uniones entre la superficie inferior de la envoltura y el plato se realizarán mediante soldadura angular continua en ambos lados de la placa. Si el espesor nominal es mayor, la soldadura en los refuerzos no deberá superar los límites establecidos (12).

Tabla 5. Procedimientos al soldar

Espesor nominal de la placa de la envoltura		Tamaño mínimo de la soldadura de filete	
mm	Dg.	mm	Dg.
5	0.1875	5	0.1875
> 5 a 20	>0.1875 a 0.75	6	0.25
>20 a 32	>75 a 1.25	8	0.3125
>32 a 45	>1.25 a 1.75	10	0.375

**Nota:** El código no se basa en tamaños estándar o predefinidos de tanques, por lo contrario, permite al diseñador seleccionar diferentes tamaños de la placa para la soldadura para su posterior fabricación.

- **Juntas de carcasa verticales**

Los tipos de soldadura en forma vertical para este tipo de juntas es indispensable que sean a tope con penetración completa y fusión a raíz cumpliendo normas específicas para obtener un cordón de calidad, depositando el material de aporte en forma hileras de cascos no alineados, sino que deben mantener una distancia mínima de  $5t$ , donde  $t$ : espesor de la placa se dividen en 5 tipos, (ver figura 10) (8).

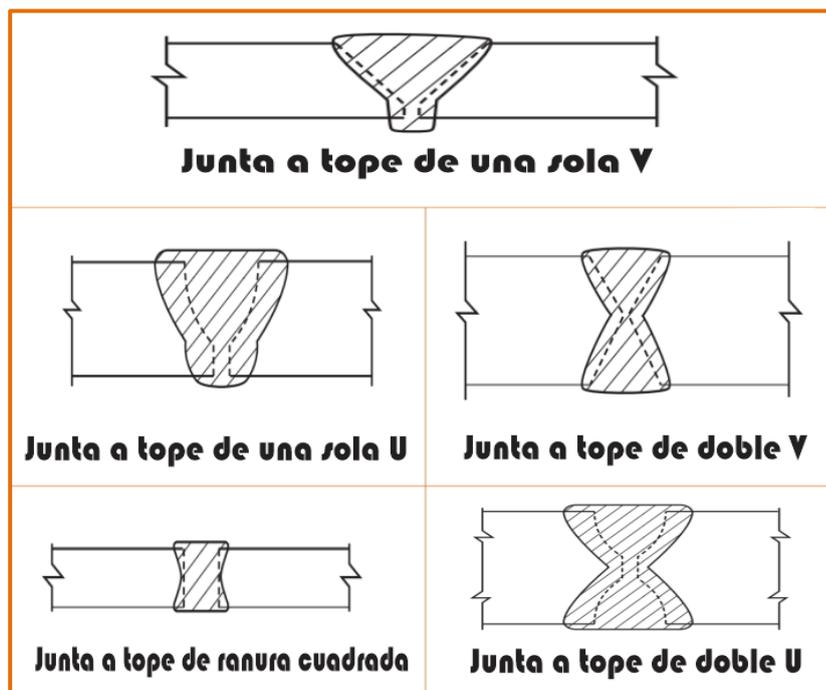
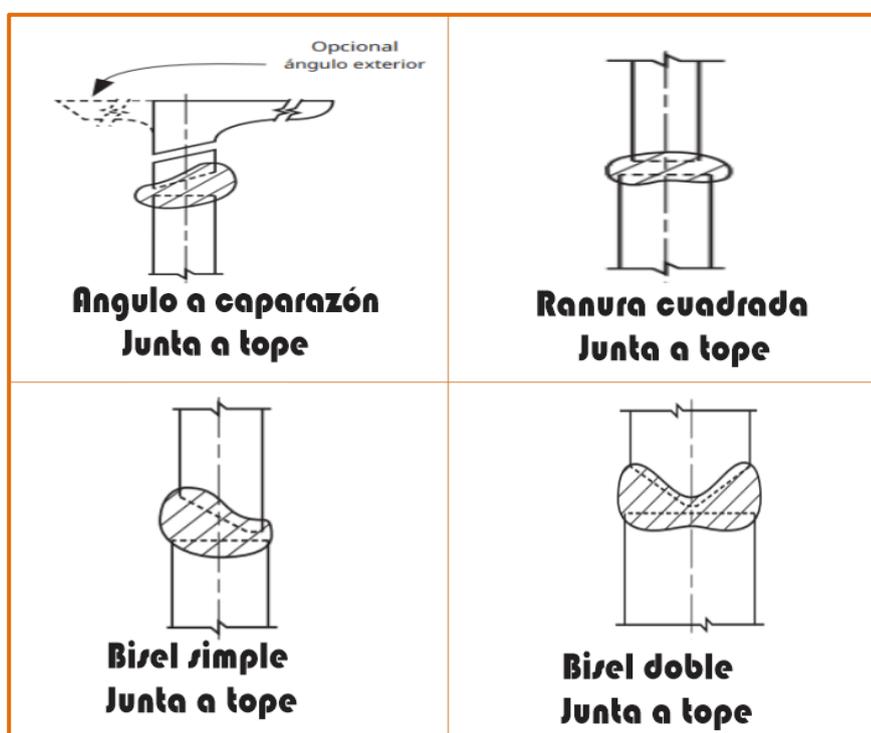


Figura 10. Juntas verticales  
Tomada de Norma API 650, 2020, pág. 53

#### d) Juntas de carcasa Horizontales

Las soldaduras de forma horizontal deben tener una fusión y penetración completa a raíz, también los ángulos superiores se pueden unir al armazón mediante una junta solapada de doble soldadura, según el procedimiento las placas de carcasa antiguas en las juntas horizontales deben contener una línea central vertical igual para que se reduzca la tendencia del líquido y no se acumule durante la extracción, (véase figura 11). (8)

- Angulo a caparazón
- Ranura cuadrada
- Bisel simple
- Bisel doble



*Figura 11. Juntas Horizontales  
Tomada de Norma API 650, 2020, pág. 54*

#### 2.2.4. Neopreno

La aplicación del neopreno (Polychloropreno) sirve para el control de vibración y aislamiento acústico en diferentes productos. Se utiliza para la aplicación de trajes de buceo, tuberías, recubrimiento de cables, estructuras metálicas, partes internas y externas de cilindros. Su proceso de transformación consta en tres partes.

Primero pasa por un tratamiento llamado emulsificación en donde se disuelve el azufre con cantidades apropiadas de cloropreno, convirtiéndose en una fase acuosa que contiene hidróxido de sodio y la sal del sodio. Después, la mezcla pasa por polimerización agitando la

solución acuosa de persulfonato de potasio a una temperatura de 40° C hasta quedar encaquetado por la velocidad de agitación a la que se somete. Por último, la Separación se da cuando pasa por un filtro de vapor para acopiar el monómero que no ha reaccionado y pasa a enfriar a 20°C, durando un promedio de 8 horas con el fin de estabilizar. Convirtiéndose el látex alcalino en un ácido Ph DE 5,5-5.8 para coagularse el polímero en forma de película (véase en la fig.12) (13)



**Figura 12. Interior del Tanque Atmosférico con Neopreno**

Convirtiendo el neopreno en un material resistente y eficaz para evitar corrosión y el aumento de calor en el interior de tanques en posición horizontal o vertical (ver tabla 6). De este modo, mejora sus propiedades mecánicas, físicas y químicas (12).

**Tabla 6. Propiedades del neopreno**

Propiedades mecánicas	Propiedades físicas	Propiedades químicas
Densidad: 1.35-1.5 g/c <sup>3</sup>	Temperatura Máxima: 100°C	Permeabilidad a gas: Buena
Dureza: 35-95	Temperatura Mínima: -30%	Resistencia a fenómenos ambientales: Buena
Tensión Máxima: 28 MPA	Resistencia a la abrasión: Buena	Resistencia al agua: Buena

Elongación: 100- 800%	Resistencia al calor: Buena	Resistencia al ozono: Buena
--------------------------	--------------------------------	--------------------------------

Nota: Resultados de elemento neopreno según sus propiedades mecánicas, físicas y químicas

- **Ventajas del revestimiento con neopreno.**

- Se mejora la protección contra la corrosión del tanque.
- La vida útil del revestimiento de neopreno es mayor que un recubrimiento de pintura.
- El costo de recubrimiento del neopreno es más accesible que el costo de recubrimiento con poliuretano.
- El mantenimiento del revestimiento con neopreno es de menor costo.
- Se mejora en la eficiencia térmica de los tanques.

### **2.2.5. Reactivo colector terciario (ácido xantogenformato de propilo y isobutilo XF-104)**

El reactivo que almacena el tanque atmosférico es un ácido Xantogeno formada de raíces griegas que significa color amarillo, Su estado físico es líquido, incoloro de olor característico, es altamente inflamable para mayor prevención el sistema tiene que estar cerrado y queda descartado el uso de aire comprimido para llenar, vaciar o manipular. Al igual que, sus peligros físicos es cuando el vapor se combina con el aire formándose mezclas explosivas. Existen cuidados especiales si se tiene contacto con la piel por eso es obligatorio el uso de EPPS (Equipo de protección personal) cuando se manipula el ácido como se aprecia en la tabla 7 (14).

De igual forma el reactivo colector terciario corre riesgos cuando reacciona con oxidantes, ácidos y bases fuertes generando una amenaza de incendio y explosión. También, es necesario poder identificar los procesos relevantes para poder establecer estrategias de adaptación que permitan mejorar el uso responsable del reactivo colector terciario. Al igual que, conocer la exposición y efectos del ácido sobre la salud del operario (13).

**Tabla 7. Ácido recolector terciario**

	<b>Síntomas</b>	<b>Prevención</b>	<b>Primeros Auxilios</b>
Inhalación	Tos, dolor de garganta y cabeza	Usar ventilación, extracción localizada o protección respiratoria	Aire limpio, reposo. Se debe proporcionar asistencia médica.
Piel	Piel seca	Guantes de protección	Quitar ropa contaminada, aclarar y lavar la piel con agua y jabón.
Ojos	Enrojecimiento	Gafas de protección	Enjuagar con abundante agua
Ingestión	Náuseas	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo	NO provocar vómito, enjuagar la boca con abundante agua.

Nota: Cuidados especiales al manipular el ácido recolector terciario y primeros auxilios.

## **2.3. Definición de términos básicos**

### **2.3.1. Mantenimiento preventivo**

Comprende con la implementación de medidas para prevenir fallas, mediante la programación de acciones que contribuyan a extender la vida útil de los equipos y reducir los períodos de inactividad. Así, el mantenimiento preventivo se basa en intervalos de tiempo establecidos, a diferencia del mantenimiento oportuno, que se realiza durante los períodos en que la máquina no está en uso, evitando interrupciones en la operatividad (14).

### **2.3.2. Diseño**

La creación y desarrollo para realizar una actividad utilizando elementos prácticos como la representación, siendo de manera realista o abstracta, luego el significado que da a entender el autor y poder realizar la función teniendo un determinado propósito. Actualmente, el diseño ha evolucionado para diferentes sectores con el propósito de planear e implementar nuevos sistemas a través de conocimientos y técnicas informáticas (15).

### **2.3.3. Cálculo**

El cálculo se aplica en diversos ámbitos profesionales estimando magnitudes de los cambios de las variables, así como para determina medidas, áreas, volúmenes, etc. Asimismo, es el procedimiento con pasos establecidos utilizando datos específicos llegando a un resultado final de la operación. La noción del cálculo implica al desarrollo de un estudio y análisis para llegar a un procedimiento lógico ofreciendo una información final (16).

#### **2.3.4. Ácido**

Es aquella sustancia que en disolución acuosa aporta iones  $H^+$  para poder medir la acidez de un medio se utiliza el concepto ph porque posee un sabor agrio en el caso que sea comestible. También existen ácidos corrosivos que pueden producir cambios en los materiales de contacto llevando una transformación y efectos irreversibles. Para el manejo de este tipo de sustancias es necesario usar la vestimenta apropiada o equipo de protección personal (EPPS) ya que tienen un ph extremo catalizando la hidrólisis de lípidos o la desnaturalización de proteínas, resultando además en una producción calórica destruyendo la superficie al mínimo contacto de la base. (17)

#### **2.3.5. Normas técnicas**

Organismos especializados en normalización desarrollan criterios de calidad basados en la evolución tecnológica y en las mejores prácticas. Estas normas son esenciales para garantizar la confiabilidad y consistencia de productos y servicios, a través de la implementación de métodos de inspección y muestreo rigurosos (18).

#### **2.3.6. Porosidades**

La porosidad es un defecto que perjudica la resistencia mecánica del material también puede aparecer en la estructura interna o en la superficie del material. Está relacionada con la densidad del material y con los compuestos permitiendo evaluar la porosidad de un material, estudiar la superficie, la distribución de capas en su estructura, en el caso que sea porosidad por soldadura es la contaminación del metal en forma de un gas atrapado no llegando al pozo de soldadura y el aire atmosférico estropea adversamente al cordón de soldadura (10).

#### **2.3.7. Resistencia mecánica**

Es la capacidad de resistir las fuerzas aplicadas, cíclicas y temperaturas, depende de su material y de su geometría para poder resistir límites su parámetro principal es el coeficiente de seguridad. Asimismo, aplica a las fuerzas distribuidas que actúan sobre la superficie, la tensión mecánica se expresa en unidades de presión (19).

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1. Metodología de investigación**

La metodología utilizada es de tipo bibliográfica y explicativa, ya que se utiliza los medios necesarios para la búsqueda de información sobre un tema determinado guardando relación en el tema con proyecciones futuras, es necesario establecer criterios con evidencia válida para poder demostrar una información real y de forma sistemática. Al igual que, se usa una metodología explicativa, porque una vez recopilada la información se responde interrogantes o causas de eventos, explicando la estructura del tema y el alcance de la indagación.

#### **3.2. Tipo de investigación**

El tipo de investigación utilizado es tecnológico, ya que es necesario un diseño para proporcionar información verídica, además un cálculo general del tanque atmosférico siguiendo especificaciones de la Norma API 650:2020. De esta manera, otorgar soluciones modernas con conocimiento científico para poder fabricar tanques atmosféricos cumpliendo con sistemas de gestión de calidad, medioambiental y seguridad.

Así como lo explica Yul; la Norma API 650 es una orientación para el diseño de tanques atmosféricos. A través del uso de herramientas tecnológicas como Excel y SolidWorks, es posible analizar problemas y proporcionar soluciones favorables de manera rápida, lo que permite satisfacer los requerimientos de calidad y los plazos de entrega de los clientes (21).

#### **3.3. Nivel de investigación**

Para el siguiente tema de indagación se utiliza un nivel aplicativo, porque una vez obtenido el diseño y el cálculo del tanque atmosférico a través de la Norma API 650:2020 se corrobora los cálculos en programas de ingeniería como SOLIDWORDS para obtener un diseño eficiente

y eficaz. Así también, utilizando un revestimiento de neopreno en el interior del tanque se optimiza el tiempo de vida útil del tanque.

### 3.4. Metodología del diseño

La metodología de diseño se refiere al enfoque sistemático y estructurado que se utiliza para planificar, organizar y llevar a cabo el proceso de diseño de un producto, sistema o solución. Estas metodologías proporcionan un marco de trabajo que guía al diseñador a través de todas las fases del proceso de diseño, iniciando con la conceptualización y la generación de ideas hasta la implementación y la evaluación.

De este modo, la metodología del diseño usada fue en base a la Norma Alemana de Ingenieros Profesionales VDI 2221 (verein deutscher ingenieure) ya que su uso no establece que el operador tenga experiencia previa para poder demostrar resultados finales si no, para utilizar criterios de evaluación que faciliten encontrar los resultados requeridos, en base a la caja negra con criterios establecidos se dividen en tres factores indispensables como señal, energía y materia, ver Fig. 13. De este modo, se dividen en cuatro fases para determinar datos. (22)

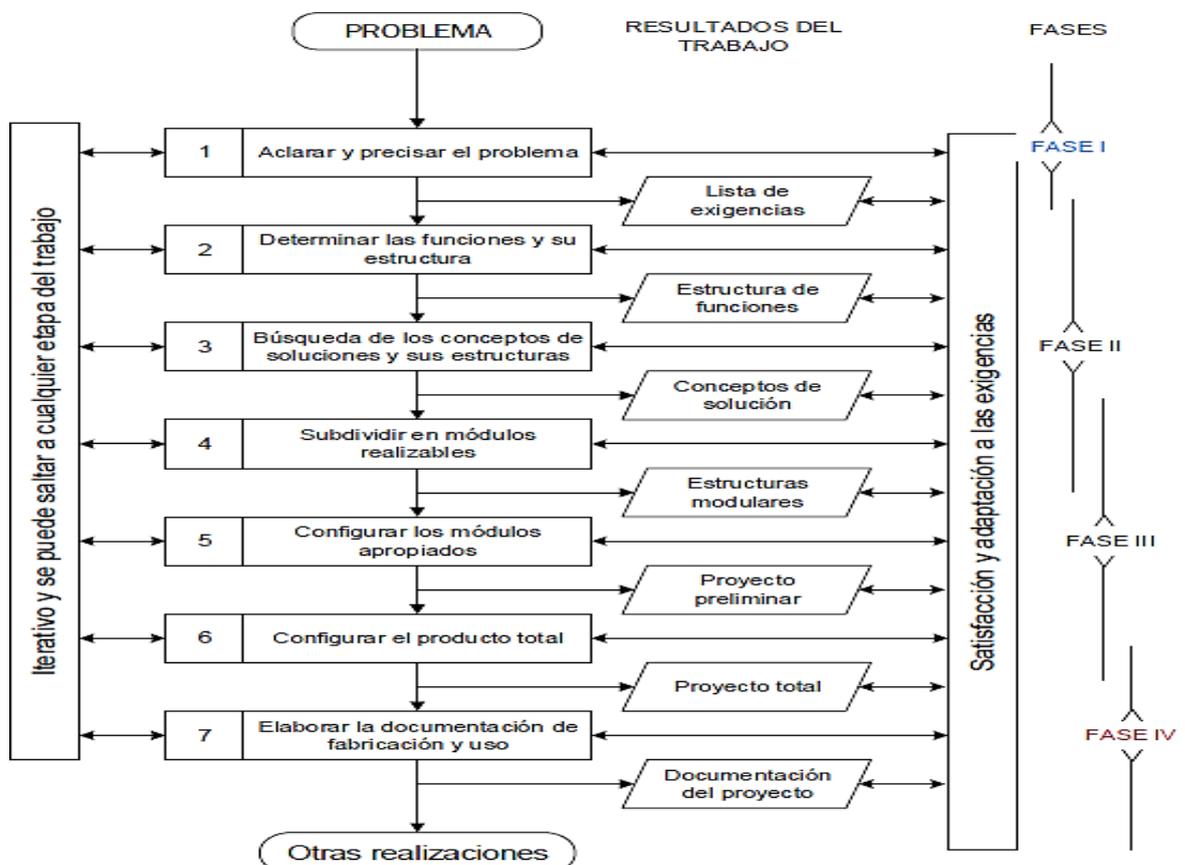


Figura 13. Metodología VDI 2221  
Tomada de Barriga Gamarra, 2016, pág. 86

- **Planificación**

Es el inicio del diseño describiendo el problema, aclarando las fallas encontradas, de modo que es necesario recopilar información para comprender el plan de trabajo determinando un tiempo y plazo para el desarrollo del proyecto (22).

- **Concepción**

Se define como la consecuencia del desarrollo en base al proyecto utilizando un método que esquematiza la secuencia del diseño por medio de caja negra teniendo tres magnitudes (materia, energía, señales) también denominado como proceso de abstracción. Luego, de definir sus funciones principales se subdivide en relación entrada y salida de las variables también llamado como caja blanca (22).

- **Proyecto**

Es también considerado como matriz morfológica en donde se determina el concepto de solución óptimo desarrollando la solución en posibles alternativas y evaluando en dos puntos como evaluación técnica y evaluación económica (22).

- **Desarrollo**

Una vez concluido los procesos anteriores se puede ejecutar el proyecto definitivo definiendo el material a utilizar, las tolerancias, ensamblaje de piezas y de la máquina. Así como, el diseño por medio de softwares, análisis dinámicos y planos de ensamble.

Como resultado, se realiza un organigrama sobre el tema abordado y su clasificación desde el inicio hasta la solución del problema siguiendo procesos como la estructura y pre – posproyecto (22).

### **3.4.1. Fase I: Información**

Se precisa el problema encontrado desarrollando el diseño y la planificación del proyecto dado como primera etapa. Primero el inicio del diseño refiere a la descripción y el problema principal realizando una solicitud previa, clasificando y aclarando puntos importantes.

Luego, asumir el problema explicando rasgos significantes evitando consecuencias legales y económicas. Después, el estado de la tecnología busca recopilar información desde libros, revistas, tesis, etc. No obstante, para obtener las prioridades, ordenarlas y cuantificarlas clasificando toda la información adquirida llenando listas de exigencias, como se observa en la Figura 14.

Por último, la programación del desarrollo del proyecto incluye la elaboración del plan de trabajo, estableciendo un cronograma con tiempos específicos para cada fase del proyecto.

<b>LISTA DE EXIGENCIAS</b>		<b>EDICIÓN:</b>	Página:
<b>PROYECTO:</b>		<b>CLIENTES:</b>	Fecha:
			Autor:
Características	Exigencia	Descripción	Responsable
-----	-----	-----	-----
-----	-----	-----	-----
-----	-----	-----	-----

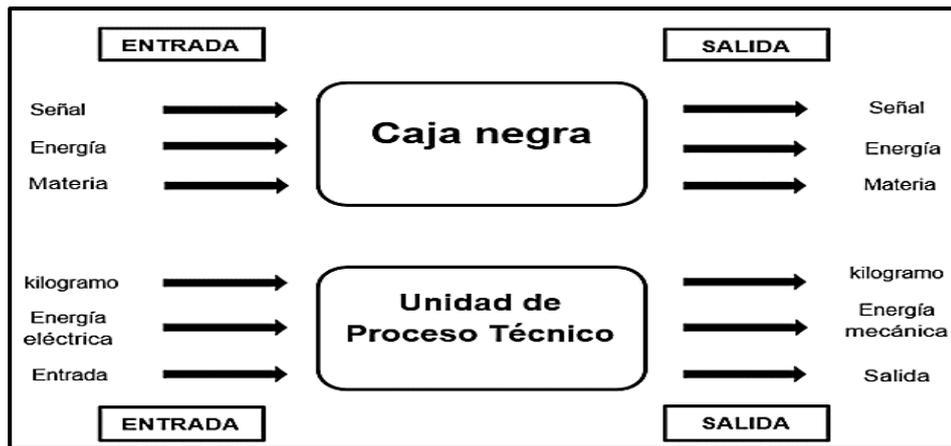
*Figura 14. Lista de exigencias  
Tomada de Barriga Gamarra, 2016. pág. 66*

La lista de exigencias incluye el alcance proporcionado por los usuarios. Para ello, es útil formular preguntas como: ¿qué necesidad debe cubrir la solución al problema? o ¿qué propiedades debe tener la solución? Es fundamental conocer y distinguir entre características de exigencias y deseos para realizar los requerimientos deseados de manera efectiva (22).

### **3.4.2. Fase II: Creación – concepto de solución**

En la etapa 2, se determinan las aplicaciones y la estructura utilizando el enfoque de caja negra (black box), que permite identificar las funciones principales representadas por la caja blanca, detallando las relaciones de entrada y salida en todos los procesos y actividades realizadas (ver figura 15). En la etapa 3, se procede con la indagación de conceptos de solución y su estructura, conocida como la matriz morfológica, evaluando estos conceptos mediante criterios económicos y técnicos para su aplicación.

Asimismo, en la etapa 4 se tiene la subdivisión en módulos realizables determinando la solución por la matriz morfológica y la lista de exigencias para luego ser evaluado en dos partes económica y técnica (22).



*Figura 15. Caja negra  
Tomada de Taipe, 2015, pág. 36*

### **3.4.3. Fase III Elaboración del proyecto**

Para la siguiente etapa 5, se busca configurar los módulos adecuados para el proyecto preliminar, teniendo en cuenta técnicas relacionadas con la construcción, acoplamiento, confiabilidad, tribología, mantenimiento, peso, volumen, seguridad contra accidentes y cuidado del medio ambiente. También, en la etapa 6 la memoria de cálculo utilizado se describe las simulaciones tentativas de cada elemento, así como también el funcionamiento de sistema por media de análisis (22).

### **3.4.4. Fase VI Elaboración de ingeniería de detalles**

Comprende la etapa 7 con la creación de documentos, planos, memoria de cálculos e instrucciones, tanto para la fabricación como para el montaje de piezas. El objetivo es asegurar una mayor calidad en el servicio y garantizar que el proyecto funcione correctamente, optimizando el desempeño de cada mecanismo instalado previamente (22).

## **3.5. Técnicas y recolección de datos**

### **3.5.1. Técnica**

Se utiliza la técnica del método Análisis de documentos ya que se maneja la Norma API 650:2020 como información primaria para poder encontrar cálculos necesarios en el proyecto o fabricación del tanque atmosférico, luego de un proceso es necesario una inspección ya sea en los cordones de soldadura, anclaje, etc. De este modo, se obtiene un registro de control en cada fase de fabricación, brindando confiabilidad y ofreciendo calidad en el tanque vertical.

## **CAPÍTULO IV**

### **ANÁLISIS Y DISEÑO DE LA SOLUCIÓN**

Se ha visto que los tanques existentes en la compañía minera han presentado problemas como oxidación temprana en la unión de soldadura, de esta manera, se busca evitar la corrosión utilizando el revestimiento con neopreno.

La norma API 650 contribuye en el desarrollo de diseño de tanques; es por esta razón que su estado de arte varía de acuerdo al material, capacidad y dimensiones del accesorio, El objetivo de este capítulo es implantar las bases del diseño mediante una metodología bibliográfica y explicativa. En el Capítulo IV se abordarán la identificación de requisitos, la determinación de la solución, el cálculo y la elección del tanque, y finalmente, la elaboración de los planos adecuados que definirán el diseño.

#### **4.1. Identificación de requerimientos**

##### **4.1.1. Lista de exigencias**

La lista de exigencias se ha desarrollado basándose en los precedentes del problema expuestos en los capítulos anteriores; del mismo modo, en las necesidades requeridas para el diseño actual. Esta lista servirá para proponer y determinar la solución de diseño óptima. (Ver tabla 8)

**Tabla 8. Lista de exigencias**

LISTA DE EXIGENCIAS		UNIVERSIDAD CONTINENTAL	Pág. 1 de 1
PROYECTO		Facultad de Ingeniería	
Diseño y cálculo de un Tanque con revestimiento de Neopreno según la Norma API 650 para el almacenamiento del reactivo colector terciario		EAP Ingeniería Mecánica	Fecha: 16/01/2023 Laura Autor: Pinares
Característica	Deseo o Exigencia	Descripción	Responsable
Función	E	Diseñar un tanque de capacidad de 36.3 m <sup>3</sup> volumen nominal	Laura Pinares
Función	E	Diseñar un tanque para el almacenamiento de colector terciario	Laura Pinares
Geometría	E	Las dimensiones, diámetro interior del tanque 3.40 m, altura tanque 4.00 m	Laura Pinares
Geometría	E	Selección del tipo de techo	Laura Pinares
Función	E	Selección de los espesores de las planchas de la pared del fondo	Laura Pinares
Función	E	Selección de los espesores de las planchas del casco	Laura Pinares
Función	E	Selección de los espesores de las planchas de techo	Laura Pinares
Función	E	Determinar si el tanque llevara anclajes	Laura Pinares
Material	E	Seleccionar el tipo de material a utilizar	Laura Pinares
Función	E	Calcular la estabilidad por efecto de viento	Laura Pinares
Función	E	El tanque debe resistir una corrosión de 2 mm	Laura Pinares
Fuerzas	E	Determinar los tipos de cargas aplicar en el tanque	Laura Pinares
Fabricación	E	Elaboración de planos de fabricación del tanque	Laura Pinares
Control de calidad	D	Elaboración de plan de puntos de inspección	Laura Pinares

Nota: Lista de exigencias o deseos para realizar el proyecto según planos.

#### 4.1.2. Estructura de funciones

Seguidamente, se desarrollará la abstracción de la caja negra, conocida también como "black-box", en la cual se identifican las entradas específicas. A través de fases aún desconocidos, estas entradas generarán las salidas esperadas.

##### a) Caja negra

Para poder determinar el resultado se debe tener en cuenta la entrada y salida en cada etapa del proceso, se hallan a través de cálculos manteniendo la Norma API 650, 13 edición año 2020. De esta manera los factores más determinantes son señal, materia, energía recopilando información para obtener resultados verídicos y satisfactorios, así lo demuestra la figura 16 (22).



Figura 16. Resultado caja negra

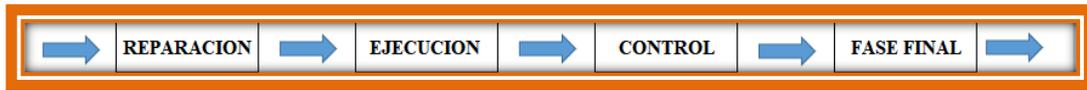
##### b) Secuencia de operaciones

Se comprueba que, con los datos establecidos en cada etapa del proceso, sirven para poder realizar los cálculos y de esta manera determinar espesores de materiales para fondo, casco y techo cónico auto soportado del tanque.

Teniendo cada dato geográfico y climático proporciona seguridad en la fabricación del tanque atmosférico cónico autosoportado ya que se determina la presión de viento y la volteo por sismo. Por lo tanto, se logra determinar los anclajes correspondientes en el diseño del tanque.

En resumen, la secuencia de operaciones es una herramienta importante para planificar y ejecutar actividades de manera eficiente y efectiva, ya que proporciona un instructivo claro de los pasos necesarios para lograr un objetivo específico en un entorno dado.

De modo que, se requiere una serie de fases para determinar el resultado final y se compone de 4 pilares reparación, ejecución, control, fase final. (Ver figura 17 y 18)



*Figura 17. Secuencia de operación*

- **Preparación**

- Calcular las dimensiones del tanque
- Determinar Cargas que actúan sobre el tanque
- Seleccionar formulas

- **Ejecución**

- Determinar el número de anillos
- Establecer espesores del material para anillos, fondo y techo del tanque
- Determinar anclajes y sillas de anclaje
- Precisar el peso del tanque autosoportado

- **Control**

- Comprobar la estabilidad del tanque ante fuerzas climatológicas
- Comprobar la estabilidad del tanque ante fuerzas geográficas

- **Etapa Final**

- Diseño de tanque terminado
- Desarrollo de planos de fabricación
- Elaboración de puntos de inspección de calidad (22)

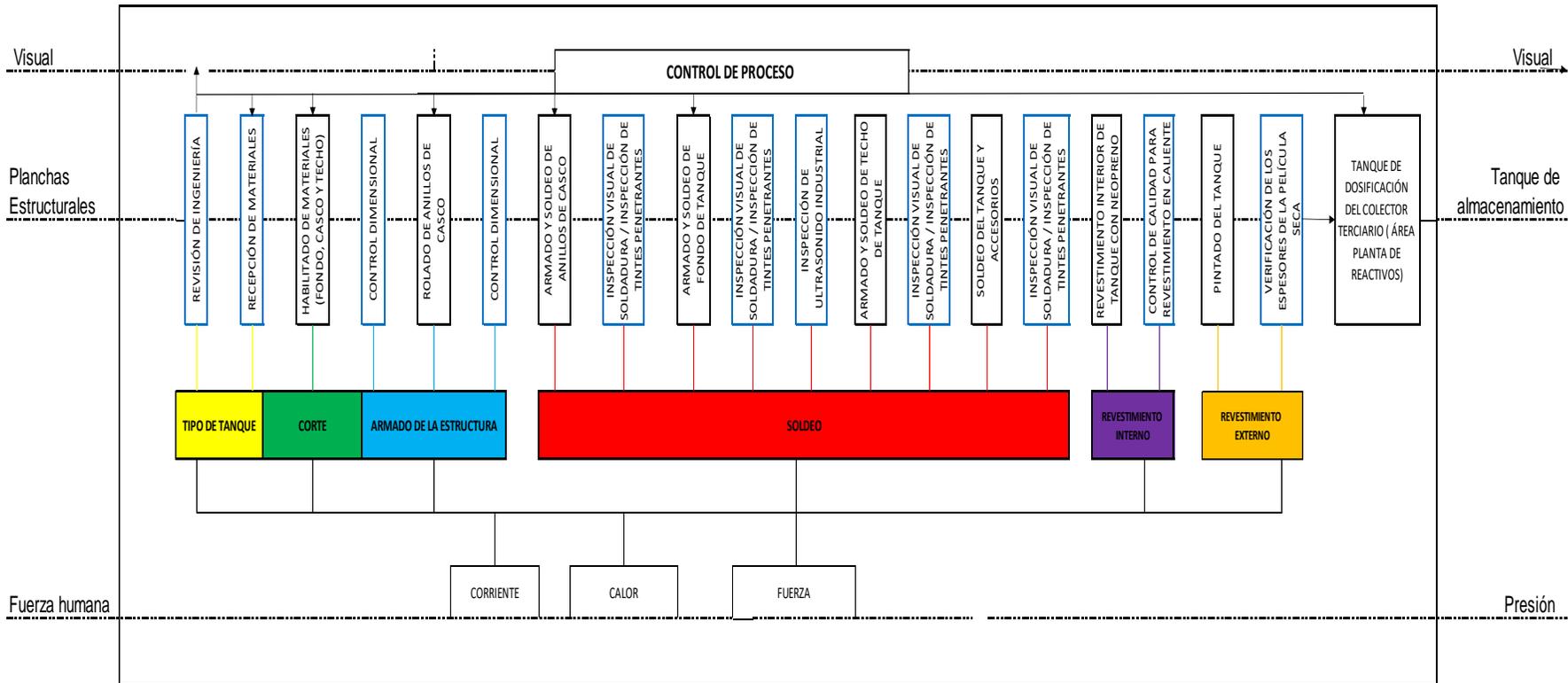


Figura 18. Control de proceso

## **4.2. Análisis de la solución**

### **4.2.1. Matriz morfológica**

Para tener una matriz morfológica se necesita una evaluación permitiendo identificar los recursos útiles y su disponibilidad, lo que ayuda a optimizar su uso y evitar desperdicios innecesarios. Esto es esencial para potenciar la eficiencia y mitigar los costos en cualquier proceso. Esta técnica permite explorar de manera sistemática y estructurada todas las posibles combinaciones de diferentes componentes o factores; de esta manera permite encontrar soluciones innovadoras a un problema dado.

Este proceso explica las tres alternativas que se pueden tomar para poder llegar al resultado final, demostrando cada etapa desde la adquisición del material, pasando por procesos como fabricación, reparación y acabados finales, aplicando la Norma API 650:2020 para determinar el proceso de solución óptima como lo demuestra la tabla 9. Además, considera realizar una evaluación de materiales y recursos, ya que es fundamental en cualquier proyecto o proceso, para proporcionar información valiosa y tomar decisiones eficientes (22).

**Tabla 9. Matriz morfológica**

N°	FUNCION	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3
1	TIPO DE TANQUE	CILINDRICO HORIZONTAL 	CILINDRICO VERTICAL 	ESFERA 
		2	ARMADO DE LA ESTRUCTURA	MONTACARGA 
4	CORTE	CNC PLASMA 	OXICORTE 	CNC LASER 
		3	SOLDEO	SMAW 
5	REVESTIMIENTO INTERNO	EPOXICA 	NEOPRENO 	POLIURETANO 
		6	REVESTIMIENTO EXTERNO	PISTOLA-COMPRESORA 

S1
  S2
  S3

**Nota:** Matriz morfológica aplicado tres posibles soluciones para llegar a un resultado.

#### 4.2.2. Determinación de proyecto preliminar

- **S1:** La solución uno consiste en el diseño de un tanque vertical fabricado a través de un camión grúa para el armado y fijación de tanque atmosférico. A su vez, es soldado con arco eléctrico con electrodo revestido SMAW utilizando electrodo E-6010 pase a raíz seguido de relleno con soldadura por arco con núcleo fundente utilizando alambre tubular E71T-1. Las piezas con espesor de 6mm a 12 mm fueron cortadas con máquina CNC laser para su precisión. Luego, el interior del tanque es revestido con neopreno, que tiene como composición química a un polímero sintético de cloropreno. Se fabrica mediante la polimerización del cloropreno y en su composición física el neopreno es conocido por su resistencia al calor, al frío, a los productos químicos y a la abrasión. Ya que alarga su vida útil y ofrece menor corrosión. Finalmente, el revestimiento externo del tanque fue pintado con pistola y compresora dando una base de anticorrosión para después darle acabado final.
- **S2:** La solución dos consiste en el diseño de un tanque de forma horizontal, fabricado con un puente grúa para el traslado de unión fondo, casco y techo. También, es soldado con soldadura por arco con núcleo fundente utilizando alambre tubular E71T-1. Las piezas con espesor de 8 mm a 12 mm se deben cortar con oxicorte por el espesor de la plancha. Luego el interior del tanque es revestido con recubrimiento epóxico ya que es un tipo de recubrimiento que ofrece una combinación de durabilidad, resistencia química, adherencia y facilidad de limpieza al igual que la resistencia a sustancias corrosivas como el agua y ácidos alargando su vida útil. Por último, el revestimiento externo del tanque fue pintado con pistola y compresora dando una base de anticorrosión para después darle acabado final.
- **S3:** La solución tres estriba en el diseño de un tanque con forma esférica, fabricado con un camión grúa para el traslado de unión fondo, casco y techo. Además, es soldado con soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido SMAW utilizando electrodo E-6010 con pase a raíz del material de acero. Las piezas con espesor de 8 mm a 12 mm se deben cortar con máquina plasma CNC por el espesor de la plancha. En seguida, el interior del tanque es revestido con poliuretano que tiene como composición química a un polímero termoplástico o elastomérico que se deriva de la reacción química entre un polioliol y un diisocianato; por otro lado, la composición física de este material es aislante, evitando el contacto de metal con el líquido, se utiliza por ser un material rígido o flexible. Finalmente, es pintado con pistola-compresora para acabados finales.

En resumen, el neopreno se aprovecha principalmente en la fabricación de productos que requieren flexibilidad y resistencia a la corrosión; en cambio, el recubrimiento epóxico se utiliza para superficies que requieren resistencia a la abrasión y los productos químicos y por último

el recubrimiento con poliuretano se utiliza para una variedad de superficies, proporcionando resistencia al desgaste, la abrasión y la intemperie.

#### **4.2.3. Determinación del proyecto (determinación del concepto de solución óptima)**

##### **a) Criterios de evaluación**

Analizando los criterios para diseños aplicado a la Norma API 650:2020, se redacta los criterios de evaluación que determinarán si el proyecto es viable para su uso continuo bajo condiciones climatológicas y geográficas.

Obtenidos por una puntuación y solución ideal se determina que solución es necesaria para la fabricación del tanque atmosférico en posición vertical con capacidad de soportar 36.3 m<sup>3</sup>.  
(22) (Ver tabla 10)

**Tabla 10. Criterios de evaluación**

DISEÑO MECÁNICO – EVALUACIÓN DE PROYECTOS	Área de Diseño
---	----------------

**Valor técnico (xi)**  
**Proyecto:** DISEÑO Y CALCULO DE UN TANQUE CON REVESTIMIENTO DE NEOPRENO SEGÚN LA NORMA API 650 PARA EL ALMACENAMIENTO DEL REACTIVO COLECTOR TERCIARIO

**p:** puntaje de 0 a 4 (Escala de valores según VDI 2225)  
 0 = No satisface, 1 = Aceptable a las justas, 2 = Suficiente, 3 = Bien, 4 = Muy bien (ideal)  
**g:** Es el peso ponderado y se da función de la importancia de los criterios de evaluación

Criterios de evaluación para diseños en fase de conceptos o proyectos

Variantes de Concepto / Proyecto			Solución 1		Solución 2		Solución 3		Sol. Ideal	
			S		S		S		S ideal	
			1		2		3			
Nº	Criterios de evaluación	g	p	gp	p	gp	p	gp	p	gp
1	Función	8	4	32	3	24	3	24	4	32
2	Geometría	8	3	24	3	24	2	16	4	32
3	Diseño	10	3	30	3	30	2	20	4	40
4	Ergonomía	7	4	28	3	21	3	21	4	28
5	Seguridad	8	4	32	3	24	3	24	4	32
6	Fabricación	8	4	32	3	24	2	16	4	32
7	Montaje	9	3	27	3	27	2	18	4	36
8	Costos	7	2	14	2	14	2	14	4	28
9	Plazos	7	3	21	2	14	2	14	4	28
10	Materia	8	2	16	2	16	2	16	4	32
11	Rapidez	8	3	24	3	24	2	16	4	32
12	Control de calidad	6	4	24	3	18	3	18	4	24
13	Mantenimiento	5	3	15	3	15	3	15	4	20
Puntaje máximo $\sum gp$			319		275		232		396	
Valor técnico xi			0.81		0.69		0.58		1.00	

Fórmula	$xi = \frac{g_1 \cdot p_1 + g_2 \cdot p_2 + \dots + g_n \cdot p_n}{(g_1 + g_2 + \dots + g_n) \cdot p_{max}} \leq 1$
---------	---

Nota: Criterios de evaluación tomando en cuenta factores como geográficos, climatológicos, costos de fabricación, inspección de calidad entre otros.

## b) Valor económico

Se determina las soluciones plasmadas y en particular los costos en cada una de ellas, desde el inicio del proyecto hasta culminarlo. En donde, intervienen varios factores como costo de material, mano de obra y mantenimiento, así lo define la tabla 11 (22).

**Tabla 11. Valor económico**

DISEÑO MECÁNICO – EVALUACIÓN DE PROYECTOS			Área de diseño							
Valor económico (yi)										
<b>Proyecto: DISEÑO Y CALCULO DE UN TANQUE CON REVESTIMIENTO DE NEOPRENO SEGÚN LA NORMA API 650 PARA EL ALMACENAMIENTO DEL REACTIVO- COLECTOR TERCIARIO</b>										
p: puntaje de 0 a 4 (Escala de valores según VDI 2225) 0 = No satisface, 1 = Aceptable a las justas, 2 = Suficiente, 3 = Bien, 4 = Muy bien (ideal) g: Es el peso ponderado y se da función de la importancia de los criterios de evaluación										
Criterios de evaluación para diseños en fase de conceptos o proyectos										
Variantes de Concepto / Proyecto			Solución 1		Solución 2		Solución 3		Sol. Ideal	
			S1		S2		S3		S ideal	
Nº	Criterios de evaluación	g	p	gp	p	gp	p	gp	p	gp
1	Costo de Material	8	3	24	2	16	2	16	4	32
2	Costo de fabricación	7	4	28	3	21	2	14	4	28
3	Costo de montaje	7	4	28	3	21	3	21	4	28
4	Costo de mantenimiento	5	3	15	3	15	3	15	4	20
Puntaje máximo $\sum gp$			95		73		66		108	
Valor técnico yi			0.87		0.67		0.61		1.00	
			$xi = \frac{g_1 \cdot p_1 + g_2 \cdot p_2 + \dots + g_n \cdot p_n}{(g_1 + g_2 + \dots + g_n) \cdot p_{max}} \leq 1$							

Nota: Valor económico tomando en cuenta costo de fabricación, reparación y mantenimiento para ofrecer un producto de calidad.

## c) Selección del diseño optimo

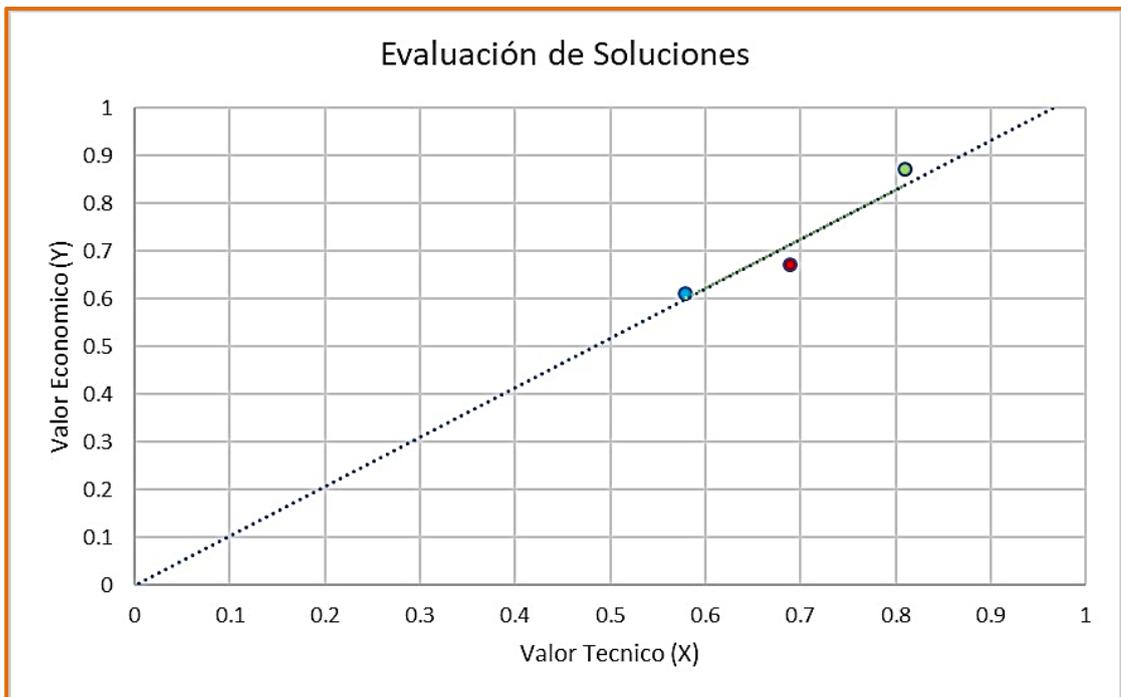
Después de realizar las evaluaciones técnicas (X) y económicas (Y) dio como resultado optar por la solución 1, ya que nos permitirá acercar más al objetivo según muestra el resumen de la tabla 12 (22).

**Tabla 12. Selección del diseño óptimo**

Valor Técnico (X)	Valor Económico (Y)
0.81	0.87
0.69	0.67
0.58	0.61

Nota: Solución 1 relleno verde, solución 2 relleno rojo, solución 3 relleno celeste; datos para encontrar el diagrama de evaluación técnica.

Por otro lado, se grafica el diagrama de evaluación técnico económico según el VDI 2225, lo demuestra por medio de una gráfica planteando posibles soluciones, tomando criterios de fabricación, reparación y mantenimiento, así lo demuestra la figura 19.



**Figura 19. Diagrama de evaluación técnico - económico**

### 4.3. Diseño

Es necesario obtener datos relevantes como el lugar geográfico, clima, temperatura, presión atmosférica, etc. De esta manera, diseñar y calcular el tanque atmosférico de forma vertical con capacidad de  $36.3 \text{ m}^3$  ó 9 589.45 galones el cual contiene revestimiento con neopreno para poder transportar reactivo colector terciario. Además, se utiliza una metodología aplicada en base a la Norma API 650, 13th Edición del año 2020, donde se tuvo diferentes parámetros y condiciones como:

- Capacidad del tanque: 9 589.45 galones =  $36.3 \text{ m}^3$
- Fluido: Ácido, densidad específica ( $0.934 \text{ kg/cm}^3$ )
- Temperatura de trabajo: - 4 °C a 19 °C
- Corrosión permisible: 2 milímetros
- Ubicación: Cusco – Perú
- Humedad Relativa: 83%
- Velocidad del viento: 1.3 m/s = 4.68 km/h
- Presión Atmosférica: 1.015 mb

#### 4.3.1. Delimitación de los parámetros para el diseño del tanque atmosférico

##### a) Elección del material o acero ASTM

El tipo de material para el tanque atmosférico se basaron bajo el cumplimiento de especificaciones de la ASTM (Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales) según Norma API 650 los tipos de aceros se clasifican en: (8)

Tabla 13. *Tipos de material ASTM*

<b>Acero ASTM A36:</b>	Se utiliza este tipo de acero para planchas con un espesor máximo de 40 mm o 1.5 pulgadas.
<b>Acero ASTM A131:</b>	Se utiliza este acero según se especifica a continuación: Grado A: Para planchas con un espesor máximo de 12.5 mm o 1/2 pulgada. Grado B: Para planchas con un espesor máximo de 25 mm o 1 pulgada. Grado CS: Para planchas con un espesor máximo de 40 mm o 1.5 pulgada. Grado EH36: Para planchas con un espesor máximo de 45 mm.
<b>Acero ASTM A283:</b>	Se utiliza este tipo de acero en Grado C para planchas de espesores no mayores a 25 mm o 1 pulgada.
<b>Acero ASTM A285:</b>	Se utiliza este tipo de acero en Grado C para planchas de espesores no mayores a 25 mm o 1 pulgada.
<b>Acero ASTM A516:</b>	Se utiliza este material en los Grados 380, 415, 450, 585/A, 516, Grados 55, 60, 65 y 70 para planchas de espesores no mayores a 40 mm o 1.5 pulgadas.
<b>Acero ASTM A537:</b>	Se utiliza este material en Clases 1 y 2, para planchas de espesores no mayores a 45 mm. (9)
<b>Acero ASTM A573:</b>	Se utiliza este material de Grados 400, 450, 485/A, 573, Grados 58, 65 y 70 para planchas de espesores no mayores a 40 mm.
<b>Acero ASTM A633:</b>	Se utiliza este material en Grados C y D, para planchas de espesores no mayores a 45 mm.
<b>Acero ASTM A662:</b>	Se utiliza este material en Grados B y C, para planchas de espesores no mayores a 40 mm.
<b>Acero ASTM A678:</b>	Se utiliza este material en Grado A para planchas de espesores máximos de 40 mm o 1.5 pulgadas, en Grado B para planchas de espesores máximos de 45 mm o 1.75 pulgadas.
<b>Acero ASTM A737:</b>	Se utiliza este material en Grado B para planchas de espesores máximos de 40 mm o 1.5 pulgadas.
<b>Acero ASTM A841:</b>	Se utiliza este material en Grado B para planchas de espesores máximos de 40 mm o 1.5 pulgadas.

De modo que, el acero estructural ASTM A36 es una opción popular en la construcción debido a su versatilidad, resistencia, facilidad de fabricación, disponibilidad y especial costo de operación. Es una opción confiable para una amplia variedad de aplicaciones estructurales donde se requiere resistencia y durabilidad. Sin embargo, es importante tener en cuenta que la selección del material sea el adecuado y también se debe tener en cuenta los requisitos específicos del proyecto y las condiciones de carga. El material empleado para la fabricación del tanque atmosférico es el acero estructural ASTM A36 para el cuerpo, fondo y techo del

tanque atmosférico tal como se ve en la Figura 20; brindando una larga vida útil al tanque atmosférico y revistiendo el interior con neopreno para evitar corrosión y variaciones de temperatura.

Grupo 1 Rolado Semicalmado		Grupo 2 Rolado Calmado y Semicalmado		Grupo 3 Rolado y Calmado Grano Fino	
Material	Notas	Material	Notas	Material	Notas
A-283-C	2	A-31-B	7	A-573-58	
A-285-C	2	A-36	2 y 6	A-516-55	
A-131-A	2	A-422-55		A-516-60	
A-36	2 y 3	A-422-60		G40.21-260W	9
Fe-42-B	4	G40.21-260W		Fe-42-D	4 y 9
Gdo. 37	3 y 5	Fe-42-C	4	Gdo. 41	5 y 9
Gdo. 41	6	Gdo. 41	5 y 8		

*Figura 20. Material ASTM  
Tomada de Norma API 650, 2020, pág. 21*

#### **4.3.2. Accesorios para el diseño del tanque atmosférico**

La norma API 650 - sección 4.5 señala que, las tuberías y acoples deben cumplir características determinadas según sea su funcionamiento, ya que en la industria es utilizada para transportar el agua y enfriar los molinos liberando vapores almacenados. En cambio, en la construcción es utilizada para estructuras brindando soporte el tubo de acero al carbono.

A diferencia de las bridas, son un accesorio tubular que conecta dos tubos o válvulas, en orificio en su interior brinda para conectar el perno y la junta de modo que quede sellada.

Por otro lado, los pernos cuentan con una cabeza hexagonal en uno de sus extremos y su longitud es corta para poder unir dos o más piezas, se fabrican con aleaciones de acero de mediano carbono, ofreciendo alta resistencia y durabilidad por su diseño.

Cada perno cuenta con una tuerca en la parte final del hilo, son tratadas térmicamente por enfriamiento con un líquido a temperaturas elevadas convirtiéndola en tuerca de grado C utilizada con tornillos estructural A 325.

En consecuencia, es necesario utilizar arandelas para poder sellar perno con tuerca, su uso es general y también estructural ya que cubre requisitos químicos y/o mecánicos porque son endurecidas en tratamiento térmicos, todos estos accesorios son necesarios para poder ensamblar el tanque de almacenamiento, ver fig. 21.

	NORMA	DESIGNACIÓN
NIPLES		ASTM A53
BRIDA		ASTM A105
PERNOS		ASTM A305
TUERCAS		ASTM A563
ARANDELAS		ASTM F436

Figura 21. Accesorios para el Tanque atmosférico

#### 4.3.3. Cálculo del tanque atmosférico

Para realizar el cálculo del tanque es necesario ver las tablas de la norma API 650. Luego, se selecciona el volumen del tanque atmosférico  $38 \text{ m}^3$  la capacidad del tanque será de  $36.3 \text{ m}^3$  ya que es sugerida según tablas y se encuentra dentro de los rangos establecidos en donde se considera la altura y diámetro ver Tabla 14: Tamaños típicos y capacidades nominales correspondientes ( $\text{m}^3$ ) para tanques con cursos de 1800mm (SI). (Ver figura 22)

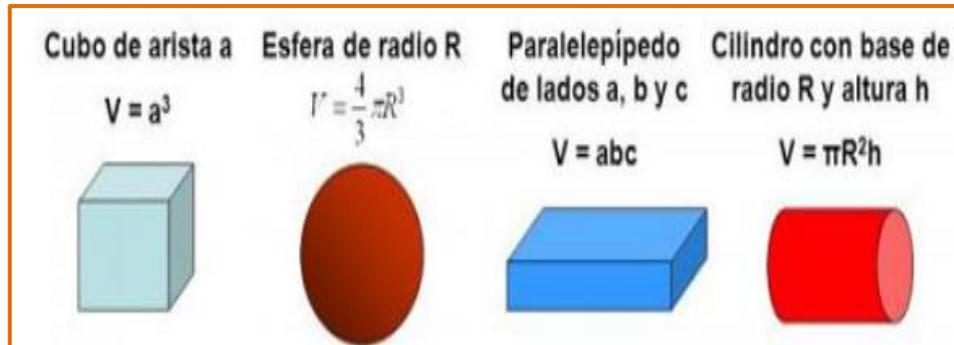
- Diámetro sugerido para el tanque: 3 m
- Altura sugerida para el tanque: 5.4 m
- Cantidad de anillos sugeridos para el tanque: 3

Columna 1	Columna 2	Columna 3	Columna 4	Columna 5	Columna 6	Columna 7	Columna 8	Columna 9	Columna 10	Columna 11
Tanque	Capacidad por m de	Altura del tanque (m) / Número de recorridos en el tanque completado								
Diámetro metro	Altura m3									
		3.6 / 2	5.4 / 3	7.2 / 4	9/5	10,8 / 6	12,6 / 7	14,4 / 8	16,2 / 9	18/10
3	7.07	25	38	51	64	76	-	-	-	-
4.5	15.9	57	86	115	143	172	-	-	-	-
6	28.3	102	153	204	254	305	356	407	-	-
7.5	44.2	159	239	318	398	477	557	636	716	795
9	63.6	229	344	458	573	687	802	916	1031	1145

Figura 22. Diámetro y altura sugerida  
Tomada de Norma API 650, 2020, pág. 43

a) **Volumen del tanque atmosférico (C):** es importante tener dicha magnitud para poder medir la capacidad en el tanque atmosférico. En matemáticas, el volumen se mide a partir de una distancia o tensor métrico o también es el que determina una región específica. Ahora,

en física está asociado a la propiedad de ocupar un cuerpo en el espacio, de este modo se puede medir de diferentes maneras dependiendo del cuerpo ya sea, cubo, esfera, caja, cilindro, etc. (ver fig. 23).



*Figura 23. Volumen del tanque atmosférico, Tomada de Definición de volumen, 2021, pág. 21*

- b) Nivel de llenado del tanque atmosférico (N):** para poder hacer una lectura correcta del nivel del tanque se puede realizar una medición con varilla, cinta o plomada. Este procedimiento se realiza para todo tipo de tanques, la norma API 650 indica que se debe tomar en cuenta la carga viva (1 kPa) y la carga muerta (1.76kPa) para poder encontrar el nivel máximo y nivel mínimo del tanque atmosférico.
- c) Altura efectiva del líquido ( $V_L$ ):** es la capacidad máxima del tanque atmosférica que va a alcanzar, siendo un cilindro se debe calcular el nivel para garantizar la seguridad en el exterior e interior del tanque, si la cota es aproximadamente igual o mayor a dos metros con respecto del plano horizontal inferior más cercano se debe aumentar el diámetro o altura sugerida en tablas.

#### 4.3.4. Datos y condiciones para el cálculo del tanque atmosférico

Para poder demostrar el espesor de los anillos se debe calcular en cada uno de los mismos mediante el método de un pie, se considera la sección transversal en la base del tanque a 304.8 mm o 1 pie por debajo de la unión de cada anillo.

También, este método se utiliza para tanques iguales o menores de 60.96 (200 pies), de acuerdo a la Norma API 650 se debe elegir el espesor mayor en el diseño del casco en cada etapa incluyendo cualquier tolerancia de corrosión en prueba hidrostática sin superar los valores establecidos, como se visualiza en la figura 24.

Especificación	Calificación	Espesor nominal de la plancha $t$ mm	Esfuerzo de fluencia mínima MPa	Resistencia mínima a la tracción MPa	Esfuerzo admisible para la condición de diseño $S_d$ MPa	Esfuerzo admisible para condiciones de prueba hidrostática $S_t$ MPa
<b>ASTM Especificaciones</b>						
A283M	C		205	380	137	154
A285M	C		205	380	137	154
A131M	A,B		235	400	157	171
A36	----		250	400	160	171

*Figura 24. Condiciones de los materiales  
Tomada de Norma API 650, 2020, pág. 21*

#### 4.4. Cálculo del espesor de paredes, fondo y techo del tanque atmosférico

El espesor de las planchas varía dependiendo de la zona en donde se dispone. La Norma API 650 establece criterios generales para la fabricación de tanques de almacenamiento con diferentes tamaños y capacidades, soportando presiones manométricas interna que no supere de 2.5 psi. Para espesores de placa del fondo el tamaño del cordón de soldadura no excederá de 12.7 mm (1/2”) la junta entre el fondo y el canto de las placas se realizará con un filete continuo de soldadura.

MÁXIMO ESPESOR DEL TANQUE (mm.)	DIMENSIÓN MÍNIMA DEL FILETE (mm.)
4.76	4.76
>4.76 - 19.05	6.35
> 19.05 - 31.75	7.93
> 31.75 - 44.45	9.52

*Figura 25. Espesor en paredes, fondo y techo  
Tomada de Norma API 650, 2020, pág. 17*

#### 4.5. Cálculo del anillo superior del tanque atmosférico

El procedimiento debe ser con control estricto del operario y utilizando las dimensiones especuladas, a fin de regular la expansión térmica al momento de la fusión del arco eléctrico, las pequeñas deformaciones en el primer anillo deben ser mínimas y dentro de las tolerancias permitidas por el estándar, de lo contrario resultará espejo para los demás anillos perjudicando la resistencia mecánica del acero.

A su vez, la junta de filete entre la placa de fondo y el primer anillo se deberán precalentar una longitud de 304.8 mm (12”) hacia arriba del primer anillo a una temperatura entre 100-150 °C, siguiendo la Norma API 650 se toma en cuenta diámetro, altura y número de anillos (Ver tabla 14).

**Tabla 14. Anillos en el tanque atmosférico**

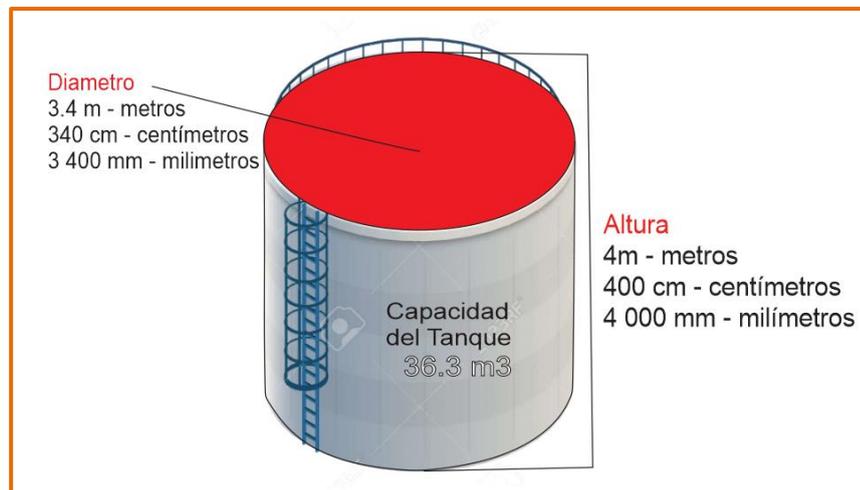
Diámetro (D)	Altura (H)	N° Anillos
3.4	4	3

**Nota:** Según Norma API 650 para el diámetro y altura (metros) se aplica 3 anillos, es verificado cada anillo por el método de un pie.

#### 4.6. Cálculo del peso del tanque atmosférico

En definitiva, hallar el peso total del tanque es necesario para poder otorgar confiabilidad al momento de transporte o anclarlo, la Norma API 650 aplica para tanques que almacenan fluidos líquidos soportando presiones en el interior y fuera del mismo. Además, que se encuentren contruidos de acero previamente elegido para mayor seguridad, deben contener en el fondo una cama de área, grava, concreto, asfalto, etc. (ver Fig. 26).

Asimismo, están diseñados para poder soportar presiones atmosféricas elevadas y temperaturas de fusión de 10°C, las cuales no excedan una temperatura de ebullición de 93°C (200°F). A temperaturas muy altas, el ácido puede experimentar descomposición térmica, lo que puede liberar vapores tóxicos y corrosivos. Por lo tanto, es importante evitar el calentamiento excesivo del ácido para prevenir accidentes y riesgos en la salud, de tal modo se evita realizar instalaciones de refrigeración en el tanque.



**Figura 26. Cálculo del peso del tanque**

#### 4.7. Estabilidad al volcamiento en el tanque atmosférico

El factor de estabilidad es importante desde el diseño del tanque atmosférico ya que si se realiza correctamente se evitará irregularidades en la fabricación, se utiliza anclas o bases metálicas para estabilizar el tanque y su base, respetando la carga máxima que se utiliza según la capacidad neta de operación, tal como se visualiza en la fig. 27.

La carga máxima está establecida en las tablas según Norma API 650 – sección 5.11, para tener un registro de calificación y poder tomar decisiones al momento de hacer el cálculo y diseño.

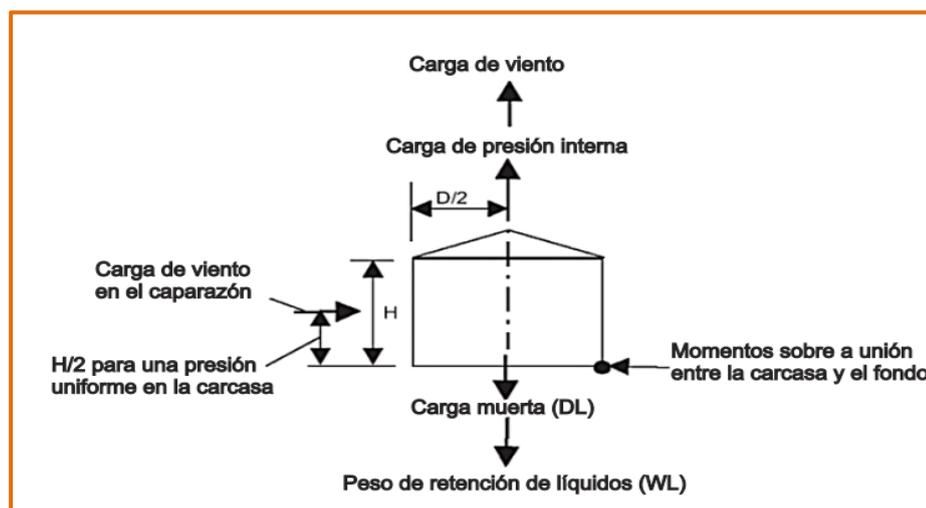


Figura 27. Estabilidad en el tanque atmosférico

## 4.8. Construcción del tanque atmosférico

### 4.8.1. Fabricación de las planchas

Según la Norma API 650, 13th Edición, año 2020, se establecen criterios para la conformación de las planchas que forman las paredes, fondo y techo del tanque atmosférico con capacidad de  $36.3 \text{ m}^3$ . También, se debe considerar la curvatura, filete, envolvente y ángulo de inclinación del tanque antes de poder realizar la fabricación e instalación (ver tabla 15).

Al igual que, se debe registrar todos los parámetros e indicaciones, evitando límites o excesos del tanque realizando un procedimiento continuo para cualquier diámetro determinado.

Tabla 15. Espesores nominales para placas

Espesor nominal de la placa de la carcasa		Tamaño mínimo de la soldadura de filete	
(mm)	(in)	(mm)	(pulg)
5	0.1875	5	3/16
>5 a 20	>0.1875 hasta 0.75	6	1/4
>20 a 32	>0.75 a 1.25	8	5/16
>32 a 45	>1.25 a 1.75	10	3/8

**Nota:** Correspondiente Norma API 650:2020 pág. 8, para unión con alma no es necesario que cumpla con los valores establecidos, queda a criterio del operador.

#### 4.8.2. Consideraciones de diseño e inspección

Conforme al punto 9.3 de la Norma API 650, 13th Edición, año 2020, es necesario cumplir con especificaciones e indicaciones de esta manera garantizar un cálculo determinado para tanques con techo cónico auto soportados.

Por otro lado, se debe realizar inspecciones en cada proceso, se considera que el ensayo de laminación de planchas es adecuado para justificar la calidad del acero provisto; en este sentido el tipo de acero estructural que se usará es ASTM A 36, cualquier material y/o mano de obra que no cumpla con lo estipulado por la Norma API 650:2020 puede ser rechazado por la inspección. Así como, se declinará el material que muestre defectos dañinos posteriores a su fabricación, también se puede realizar pruebas de ultrasonido en el área para evaluar la magnitud de las imperfecciones detectadas, si se detectan imperfecciones se solicita reparaciones o de lo contrario el rechazo de proceso involucrado así lo estipula el punto 6.2.4b de la Norma.

Para las laminaciones que no superen de 75 mm (3 pulgadas) de longitud o 25 mm (1 pulgada) de profundidad, las reparaciones se pueden llevar a cabo mediante un proceso de esmerilado de los bordes y posterior relleno para sellar la laminación. La resistencia del empotramiento en la cimentación del suelo debe ser suficientemente alta para desarrollar el límite elástico establecido, además la cimentación debe otorgar contrapeso para poder resistir cargas de levantamiento o venteos, por eso es necesario recopilar datos para las consideraciones de diseño, ver Tabla 16.

**Tabla 16. Consideraciones de diseño**

Eficiencia conjunta	Radiografía de concha
1	Se necesita radiografía para todas las articulaciones verticales
0.85	Se confirma los puntos aleatorios y se toma decisión
0.70	Si es menor a 0.70 no es necesaria radiografía

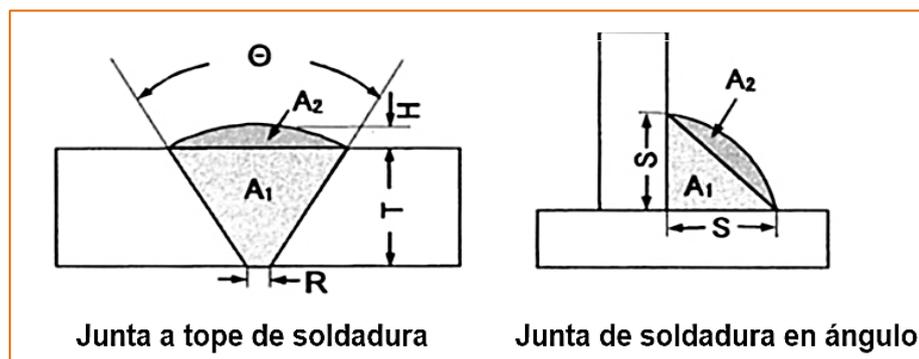
Nota: Según Norma API 650:2020 en la página 152, queda establecido los rangos para tener consideraciones de diseño en la concha del tanque atmosférico con capacidad de  $36.3 m^3$ .

#### 4.8.3. Métodos de soldadura

El código ASME en la sección IX establece que la soldadura debe llevarse a cabo de manera

que asegure una fusión completa con el metal base; por esta razón, se emplea el proceso de soldadura (Soldadura manual por arco eléctrico con electrodo revestido) ya que es utilizado mundialmente para la unión de dos piezas metálicas garantizando un pase a raíz y mejorando la resistencia estructural del acero, cumpliendo el ángulo de inclinación y sus parámetros establecidos (ver Fig. 28). Asimismo, no se permite el proceso de oxicomcombustible cuando se realizan pruebas de impacto en el material. Asimismo, es indispensable quitar irregularidades en el cordón de soldadura utilizando equipo de protección personal (EPPs) para maniobrar maquinas o herramientas.

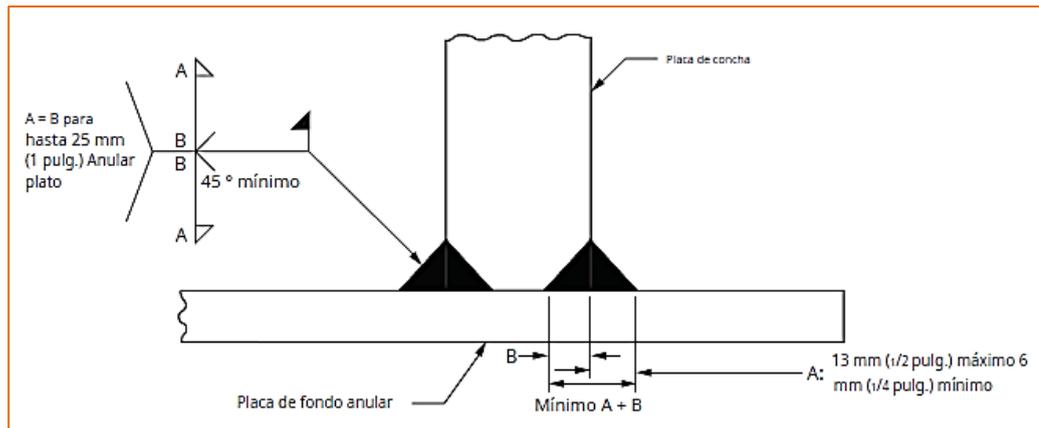
Por otro lado, no se deben realizar maniobras de soldadura cuando el suelo este mojado o exista lluvia, nieve o hielo. Además, se debe precalentar los electrodos con la temperatura adecuada que está inscrita en su manual de operación manteniendo 75mm de arco eléctrico con el material. Los bordes de todas las soldaduras deben fundirse de manera uniforme con la superficie, sin formar ángulos agudos. Además, cada capa o capa múltiple debe estar libre de depósitos y escorias antes de aplicar una nueva capa.



*Figura 28. Métodos de soldadura  
Tomada de Kobelco, 2022, pág. 2*

De modo que, la soldadura de doble ranura se refiere a un tipo de unión en la que se realiza una soldadura en dos ranuras o huecos separados que se encuentran en las piezas metálicas que se están uniendo. Esta técnica suele emplearse cuando se requiere una mayor penetración y resistencia en la unión de los metales, ver fig. 29.

Según la recomendación de la norma API 650:2020 para la soldadura de carcasa al fondo en el diseño se considera la sugerencia en la tabla 17.



**Figura 29. Detalle de soldadura de doble ranura de filete para placas de fondo**  
**Tomada de Norma API 650, 2020, pág. 49**

**Tabla 17. Soldaduras de filete de la carcasa al fondo**

Nominal Thickness of Shell Plate		Minimum Size of Fillet Weld	
(mm)	(in.)	(mm)	(in.)
5	0.1875	5	3/16
> 5 to 20	> 0.1875 to 0.75	6	1/4
> 20 to 32	> 0.75 to 1.25	8	5/16
> 32 to 45	> 1.25 to 1.75	10	3/8

Nota: Según Norma API 650:2020 en la página 156, se debe tener consideraciones de diseño en la carcasa del tanque atmosférico para almacenar 36.3m<sup>3</sup> de ácido recolector terciario.

#### 4.8.4. Pruebas y resultados

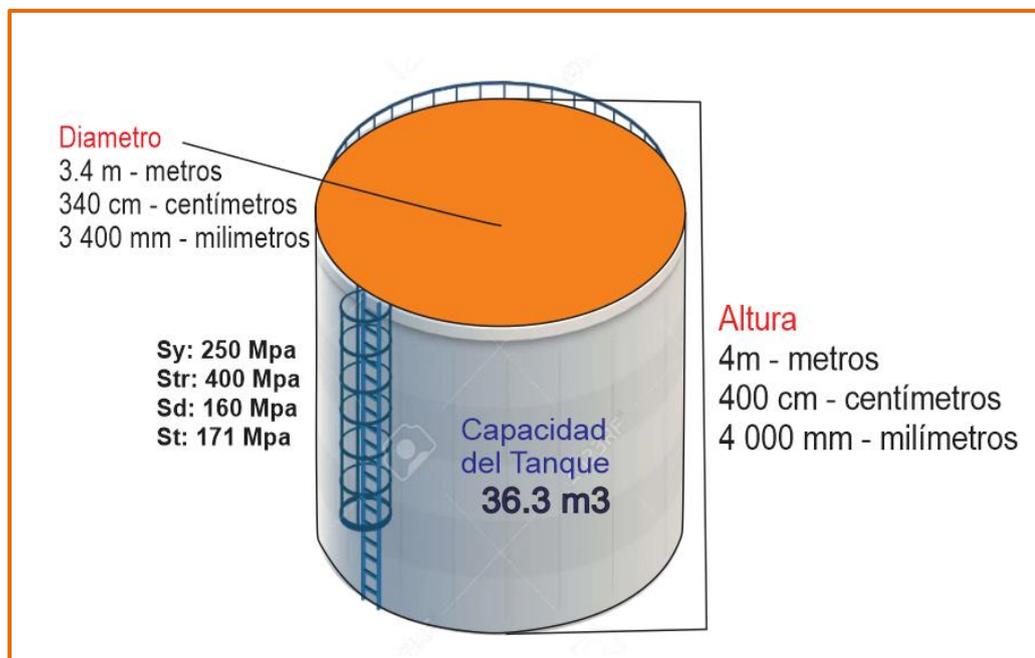
##### 4.8.4.1. Datos generales y condiciones para el cálculo del tanque atmosférico

Para el cálculo y diseño del tanque y sus accesorios se llevarán a cabo conforme a los planos previamente aprobados. Luego, se procederá con las etapas de corte, trazado, biselado, rolado, arenado y pintado del tanque.

El proceso de corte se realiza mediante la máquina oxicorte semiautomático, el corte de perfiles y puntos de descarga se realiza usando máquina amoladora.

Por último, el cálculo se realiza bajo condiciones climáticas y geográficas en donde será utilizado el tanque atmosférico considerando su resistencia y esfuerzo máximo, ver Fig. 30. Al igual que, para la fabricación del tanque el operador debe utilizar sus equipos de protección personal (EPPs) para evitar accidentes en el trabajo y obtener calidad en el resultado final, utilizando normas técnicas ya sea de las máquinas, accesorios, etc.

- Condiciones de diseño: Norma API 650
- Material para planchas del tanque: ASTM A 36
- Altura de diseño del líquido (H): 4m, Altura nominal (Hn): 5.4m
- Diámetro nominal del tanque (D): 3.4m
- Capacidad del tanque (C): 9 589.45 galones =  $36.3 \text{ m}^3$
- Espesor mínimo especificado (t): 6.35mm, Espesor a utilizar (t): 6.67mm
- Fluido: Acido, densidad especifica (G):  $0.934 \text{ kg/cm}^3$
- Densidad del acero ( $\rho$ ):  $7850 \text{ kg/m}^3$
- Temperatura de trabajo: - 4 °C a 19 °C
- Temperatura máxima de operación: 93 °C
- Corrosión permisible (CA): 2 mm
- Ubicación: Cusco – Perú
- Presión Atmosférica (Mpi): 1.015 mb
- Humedad Relativa: 83%
- Velocidad del viento (v): 1.3 m/s = 4.68 km/h
- Resistencia Mínima a la fluencia (Sy): 250 Mpa
- Resistencia Mínima a la tracción (Str): 400 Mpa
- Esfuerzo de diseño (Sd):  $1\ 630 \text{ kg/m}^3 = 23\ 184.05 \text{ psi} = 160 \text{ Mpa}$
- Esfuerzo de prueba Hidrostática (St):  $1\ 750 \text{ kg/m}^3 = 24\ 890.85 \text{ psi} = 171 \text{ Mpa}$



**Figura 30. Datos generales y condiciones para el tanque atmosférico,**

#### 4.8.4.2. Materiales para el diseño del tanque atmosférico

##### a) Dimensiones de la plancha a utilizar:

Se han considerado planchas del tipo comercial para los cálculos del tanque, constituyendo 3 anillos finales para la construcción y fabricación de este.

- Ancho de la plancha= 1.5 m, 1 500 mm
- Largo de la plancha= 6m, 6 000 mm

##### b) Accesorios para el tanque atmosférico

Los siguientes parámetros pertenecen a la Norma API 650:2020 para tanques con capacidad menores 11m, utilizando planchas con un espesor máximo de 40 mm o 1.5 pulgadas, seleccionando accesorios determinados para proporcionar seguridad al momento de ensamblar el tanque de almacenamiento (8).

	NORMA	DESIGNACIÓN	MODELO
NIPLES		ASTM A53	
BRIDA		ASTM A105	
PERNOS		ASTM A305	
TUERCAS		ASTM A563	
ARANDELAS		ASTM F436	

Figura 31. Accesorios para el tanque atmosférico

##### c) Espesor de las placas del tanque atmosférico

Una vez terminado el cálculo, se toma en consideración las planchas que se utilizan de manera comercial siguiendo los siguientes códigos y estándares, ver Tabla 18.

- Espesor de placas en paredes = 6 mm
- Espesor de placas en el fondo = 8 mm
- Espesor de placas en el techo = 4.5 mm

**Tabla 18. Códigos y estándares para el cálculo del tanque atmosférico**

E.2020	Cargas de estructuras, Reglamento nacional de edificaciones.
E.030	Diseño sismo resistente, Normas de estructuras, Reglamento nacional de edificaciones.
API Estándar 650:2020	Welded Tanks for Oil Storage
ACI-318	American Concrete Institute
AISI, Volumen 2, Parte 5	Steel Plate Engineering Data

**Nota:** Según Norma API 650:2020 para poder realizar cálculos en tanques atmosféricos con capacidades distantes se debe seguir códigos y estándares ya establecidos.

#### **4.8.4.3. Cálculo del tanque atmosférico**

##### **a) Volumen del tanque atmosférico (C):**

La capacidad del tanque se da por fórmula establecida en la Norma API 650- Anexo A en la base de la Tabla 3, en sistema internacional metros, ver Ecuación 1.

Donde el volumen total del tanque está dado por un factor multiplicado por el diámetro y la altura sugerida siendo efectivo y seguro para el diseño.

$$C = 0.785 \times D^2 \times H$$

$$C = 0.785 \times 3.4^2 m \times 4m$$

$$C = 36.29 m^2 = 36.3 m^3$$

**Ecuación 1. Volumen del tanque atmosférico**

Por consiguiente, el volumen del tanque atmosférico con una posición vertical que transportará reactivo recolector terciario tendrá una capacidad de  $36.3 m^3$  o 9 589.45 galones.

##### **b) Nivel de llenado del tanque atmosférico (N):**

Se ha considerado utilizar márgenes recomendados según Norma API 650, sección 5 para que el tanque atmosférico cuente con parámetros determinados desde el fondo hasta el límite de altura como la carga viva y muerta.

Carga viva: 1.6 Kpa

Carga muerta: 1 Kpa

$$B = C_v + C_m$$

$$B = 1.76 + 1 = 2.76 \text{ (Sugerido por Norma APA 650:2020)}$$

$$\text{Nivel máximo del líquido de diseño} = H_e + 0.5 = 4 + 0.5 = 4.5 \text{ m}$$

$$\text{Nivel mínimo del líquido de diseño} = 0.5 \text{ m}$$

Teniendo en cuenta estos parámetros se puede hallar espesores, presiones, fuerzas y momentos que son necesarios para poder brindar calidad en la construcción del tanque.

#### c) Altura efectiva del líquido ( $H_e$ ):

Se conoce que es un tanque de  $36.3 \text{ m}^3$  en posición vertical con capacidad de 9 589.45 galones con forma de cilindro, entonces su altura efectiva del líquido se calcula mediante el volumen dividido y multiplicado posteriormente con el diámetro y sus parámetros, así lo demuestra la ecuación 2.

**Donde:**

D: Diámetro del tanque (m)

$H_e$ : Altura del líquido (m)

VI: Volumen del líquido (m)

$$H_e = \frac{VI}{\left(\frac{\pi \times D^2}{4}\right)}$$

$$H_e = \frac{36.3 \text{ m}^3}{\left(\frac{\pi \times 3.4^2 \text{ m}}{4}\right)}$$

$$H_e = 3.998 \text{ m} = 4 \text{ m}$$

*Ecuación 2. Altura efectiva del líquido*

Conforme al resultado las primeras formulas se obtuvo el volumen del tanque, el nivel de llenado del tanque y la altura efectiva del mismo para luego poder continuar con el cálculo para un tanque atmosférico con capacidad de  $36.3 \text{ m}^3$  o 9 589.45 galones.

#### 4.8.4.4. Datos y condiciones para el cálculo del tanque atmosférico

##### a) Método de un pie para el primer anillo

Para poder hallar el espesor de la plancha para cada anillo se utilizó el método de un pie, según Norma API 650 tabla 5 indica que se deben tener parámetros para el acero estructural A 36 como la prueba de diseño ( $S_d$ ), prueba estática ( $S_t$ ), resistencia a la fluencia ( $S_y$ ) y la resistencia a la tracción ( $S_{tr}$ ); una vez recopilado los valores se puede reemplazar en la siguiente formula.

- **Prueba de diseño (Td1):** cálculo para primer anillo del tanque atmosférico con capacidad de  $36.3 \text{ m}^3$  o 9 589.45 galones (ver ecuación 3).

**Donde:**

D: Diámetro nominal del tanque (cm)	$td = \frac{0.0005 \times D(H - 30.48) \times G}{Sd} + CA$
H: Nivel máximo del líquido (cm)	$td$
G: Densidad relativa del líquido	$= \frac{0.0005 \times 340\text{cm}(400\text{cm} - 30.48) \times 0.934\text{kg}/\text{cm}^2}{1\ 630\text{kg}/\text{cm}^2}$
CA: Corrosión permisible (cm)	$+ 0.2\text{cm}$
Sd: Esfuerzo de diseño ( $1\ 630 \text{ kg}/\text{cm}^2$ )	$td = 0.2359\text{cm} = \mathbf{2.359\text{mm}}$

*Ecuación 3. Prueba de diseño para primer anillo*

- **Prueba hidrostática (Tt1):** cálculo para primer anillo del tanque atmosférico con capacidad de  $36.3 \text{ m}^3$  ó 9 589.45 galones (ver ecuación 4).

**Donde:**

D: Diámetro nominal del tanque (cm)	$tt = \frac{0.0005 \times D(H - 30.48)}{St}$
H: Nivel máximo del líquido (cm)	$tt = \frac{0.0005 \times 340\text{cm}(400\text{cm} - 30.48)}{1\ 750\text{kg}/\text{cm}^2}$
St: Esfuerzo hidrostática ( $1\ 750 \text{ kg}/\text{cm}^2$ )	$tt = 0.0358\text{cm} = \mathbf{0.358\text{mm}}$
	<i>Espesor de la placa a utilizar = Tr: 6.67mm</i>
	<b><i>Espesor de la placa sugerida = Tr: 6mm</i></b>

*Ecuación 4. Prueba hidrostática para primer anillo*

#### b) Método de un pie para el segundo anillo

De igual manera, se realiza el método de un pie con los parámetros establecidos previamente por API 650:2020 y condiciones como la densidad del líquido a transportar.

- **Prueba de diseño (Td2):** cálculo para segundo anillo del tanque atmosférico con capacidad de  $36.3 \text{ m}^3$  ó 9 589.45 galones (ver ecuación 5).

Donde:

D: Diámetro nominal del tanque (cm)

H: Nivel máximo del líquido - 74.79cm

G: Densidad relativa del líquido

CA: Corrosión permisible (cm)

Sd: Esfuerzo de diseño (1 630 kg/cm<sup>2</sup>)

$$td = \frac{0.0005 \times D(H - 30.48) \times G}{Sd} + CA$$

$$td = \frac{0.0005 \times 340cm(325.21cm - 30.48) \times 0.934kg/cm^2}{1\ 630kg/cm^2}$$

+ 0.2

$$td = 0.2287cm = 2.287mm$$

**Ecuación 5. Prueba de diseño para segundo anillo**

- **Prueba hidrostática (Tt2):** cálculo para el segundo anillo del tanque atmosférico con capacidad de 36.3 m<sup>3</sup> ó 9 589.45 galones (ver ecuación 6).

Donde:

D: Diámetro nominal del tanque (cm)

H: Nivel máximo del líquido (cm)

St: Esfuerzo hidrostática (1 750 kg/cm<sup>2</sup>)

Tr: Espesor mínimo – 0.79mm

$$tt = \frac{0.0005 \times D(H - 30.48)}{St}$$

$$tt = \frac{0.0005 \times 340cm(325.21cm - 30.48)}{1\ 750kg/cm^2}$$

$$tt = 0.0286cm = \mathbf{0.286mm}$$

Espesor de la placa a utilizar = Tr: 5.88mm

Espesor de la placa sugerida = Tr: 6mm

**Ecuación 6. Prueba hidrostática para segundo anillo**

**c) Método de un pie para el tercer anillo**

En definitiva, se utilizó el método de un pie para el tercer anillo y se observa una disminución para cada anillo dado que las presiones del acero alrededor del tanque varía por el peso del líquido.

- **Prueba de diseño (Td3):** cálculo para el tercer anillo del tanque atmosférico con capacidad de 36.3 m<sup>3</sup> o 9 589.45 galones (ver ecuación 7).

Donde:

D: Diámetro nominal del tanque (cm)

H: Nivel máximo del líquido - 74.79cm

G: Densidad relativa del líquido

CA: Corrosión permisible (cm)

Sd: Esfuerzo de diseño (1 630 kg/cm<sup>2</sup>)

$$td = \frac{0.0005 \times D(H - 30.48) \times G}{Sd} + CA$$

$$td = \frac{0.0005 \times 340cm(250.42cm - 30.48) \times 0.934kg/cm^2}{1\ 630kg/cm^2} + 0.2$$

$td = 0.2214cm = 2.214mm$

**Ecuación 7. Prueba de diseño para tercer anillo**

- **Prueba hidrostática (Tt3):** cálculo para el tercer anillo del tanque atmosférico con capacidad de 36.3 m<sup>3</sup> o 9 589.45 galones (ver ecuación 8).

Donde:

D: Diámetro nominal del tanque (cm)

H: Nivel máximo del líquido (cm)

St: Esfuerzo hidrostática (1 750 kg/cm<sup>2</sup>)

Tr: Espesor mínimo – 0.79mm

$$tt = \frac{0.0005 \times D(H - 30.48)}{St}$$

$$tt = \frac{0.0005 \times 340cm(250.42cm - 30.48)}{1\ 750kg/cm^2}$$

$tt = 0.0213cm = 0.213mm$

*Espesor de la placa a utilizar = Tr: 5.09mm*

*Espesor final 6mm NO ≤ 4.76mm*

**Ecuación 8. Prueba hidrostática para tercer anillo**

**d) Disposición de los anillos del cuerpo (d)**

Según la norma API 650:2020, sección 5.1.5.2, se establece que las soldaduras verticales deben colocarse a una distancia que sea al menos 5 veces el espesor del anillo más grueso. Por ende, se debe calcular la distancia mínima entre las uniones verticales en función de este criterio (ver ecuación 9).

$$d = 5 \times t$$

$$d = 5 \times 6mm$$

$$d = 30mm$$

**Ecuación 9. Disposición de los anillos**

**e) Dimensiones de las planchas en el cuerpo del tanque (Pt)**

Para calcular las planchas que se utilizarán en cada sección del anillo, es necesario determinar el perímetro del tanque (ver ecuación 10)

$$Pt = D \times \pi$$

$$Pt = 3.4m \times \pi$$

$$Pt = 10.68m$$

*Ecuación 10. Perímetro del yanque*

Por lo tanto, se obtiene el espesor de las placas, disposición entre anillos y el perímetro para el tanque atmosférico con capacidad de  $36.3 m^3$  o 9 589.45 galones.

En este sentido, para poder calcular los niveles máximos en un tanque atmosférico, se utilizan fórmulas y cálculos específicos basados en la geometría del tanque y las características del fluido depositado. Estos cálculos pueden incluir la consideración de la altura del fluido, la presión hidrostática, el volumen del tanque y otros factores relevantes.

#### 4.9. Cálculo del espesor de paredes, fondo y techo del tanque atmosférico

##### 4.9.1. Espesor de las paredes para el tanque atmosférico (tp)

Se considera planchas que se ubicarán en una base no anclada para su fácil transportación, las dimensiones nominales de las planchas serán de 1 500 x 6 000 milímetros, distribuidos de manera simétrica en relación con los ejes X y Y de la circunferencia de la base, permitiendo de esta manera una distribución del fluido uniforme, de esta manera se podrá hallar el espesor para las paredes del tanque mediante la siguiente formula (ecuación 11).

Donde:	$tp = \frac{0.005 \times D(H - 30.48) \times G}{E(1\ 476)} + CA$
tp: Espesor mínimo (cm)	
D: Diámetro nominal del tanque (cm)	$tp = \frac{0.005 \times 340cm(400cm - 30.48) \times 0.934kg/m^3}{0.85(1\ 476)}$
H: Nivel máximo del líquido (cm)	$+ 0.2cm$
G: Densidad relativa del líquido	$tp = 0.667cm = 6.67mm$
E: Eficacia de la junta (0.85-0.70)	Se recomienda espesor de plancha para paredes de 6mm
CA: Corrosión permisible (cm)	

*Ecuación 11. Espesor de placa para paredes*

##### 4.9.2. Espesor del fondo para el tanque atmosférico (tf)

Para la determinación del fondo del tanque se sigue la Norma API 650 sección 5.5 que establece que el espesor mínimo de la plancha no debe ser inferior a 6 mm (1/4 de pulgada) y no incluye tolerancias por corrosión. Así, es posible determinar el espesor utilizando la siguiente fórmula (ver ecuación 12).

**Donde:**

tf: Espesor del fondo del tanque (mm)

t: Espesor mínimo (cm)

D: Diámetro nominal del tanque (cm)

H: Nivel máximo del líquido (cm)

G: Densidad relativa del líquido

$$tf = \frac{0.005 \times D(H - 30.48)}{t} \times G$$

$$tf = \frac{0.005 \times 340 \text{cm}(400 \text{cm} - 30.48) \times 0.934 \text{kg/cm}^2}{6.67}$$

$$Sh = 87.96 \text{cm} = 8.796 \text{mm}$$

Se recomienda espesor de plancha para fondo de 8mm

*Ecuación 12. Espesor de placas para fondo*

### 4.9.3. Espesor del techo para el tanque atmosférico

Para poder obtener el espesor de la placa para el techo del tanque atmosférico se debe, primero, calcular varios factores que intervienen como el tipo de techo, ángulo de inclinación, elemento estructural, etc.

Teniendo en cuenta que el tanque tiene un techo cónico del tipo autosoportado usados para tanques relativamente pequeños y que no es necesario columnas ni largueros en su interior, primero se halla el área total del cono.

#### a) Cálculo del área total del cono (Atc)

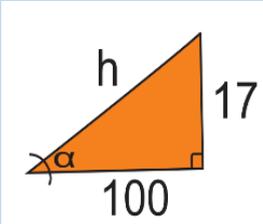
El área total del cono está conformada por el radio nominal del tanque por la generatriz del cono, la altura y el ángulo de inclinación del techo ver ecuación 13.

$$Atc = \pi \times r \times Ge + \pi \times r^2$$
$$Atc = \pi \times 1.7 \times 1.96 + \pi \times 1.7^2$$
$$Atc = 16.49 \text{m}^2$$
$$Ge = \sqrt{h^2 + r^2}$$
$$Ge = \sqrt{0.98^2 + 1.7^2}$$
$$Ge = 1.96 \text{m}$$

$$\alpha = \text{tang}^{-1} \left( \frac{17}{100} \right)$$
$$\alpha = 9.648 = 9.65^\circ$$

---

$$h = \sqrt{0.17^2 + 1.7^2}$$
$$h = 101.43 = \text{sen}(101.43)$$
$$= 0.98 \text{m}$$



*Ecuación 13. Área total del arco*

- Cálculo del área total del techo (Att)

Para el cálculo del área se necesita el área de entrada y está dado por el radio del hombre a operar según Norma API 650:2020 consigna que es 0.38 m o 38 cm así lo demuestra la siguiente formula (ecuación 14).

$$Att = A_{tc} - A_{entrada}$$

$$Att = 16.49m^2 - 0.4536$$

$$Att = 16.03m^2$$

$$A_{entrada} = \pi \times r^2$$

$$A_{entrada} = \pi \times 0.38^2m$$

$$A_{entrada} = 0.4536m^2$$

Donde:

r: Radio nominal del hombre según Norma API 650

*Ecuación 14. Área total del techo*

#### b) Cálculo del volumen del techo (Vtecho)

El cálculo del volumen del techo está conformado por el área total del techo y su factor de consistencia, ver ecuación 15. De este modo, su respuesta final está representado en unidades de medida (metro).

$$V_{techo} = Att \times 0.006$$

$$V_{techo} = 16.03m^2 \times 0.006$$

$$V_{techo} = 0.09618m^3$$

*Ecuación 15. Cálculo del volumen del techo*

#### c) Cálculo del peso del techo (W)

El cálculo del peso del techo está reunido por la densidad del acero por el volumen del techo y la gravedad específica simbolizado el resultado en Newton (ver ecuación 16).

$$W = \rho \times V_{techo} \times g$$

$$W = 7850 \text{ kg/cm}^2 \times 0.09618m^3 \\ \times 9.81m/s^2$$

$$W = 7406.67N$$

g: Gravedad específica ( $m/s^2$ )

$\rho$ (ac): Densidad específica del acero  $kg/cm^2$

*Ecuación 16. Cálculo del peso del techo*

#### d) Cálculo de la carga muerta (DI)

La carga muerta está conformada por el peso del techo dividido entre el área total del techo ver Ecuación 17. Y su respuesta representada en unidades de medida kilo-pascales.

$$DI = \frac{W}{Att}$$

$$DI = \frac{7406.67N}{16.03m^2}$$

$$DI = 462.01Pa = 0.462kpa$$

*Ecuación 17. Cálculo de la carga muerta*

#### e) Cálculo del espesor mínimo del diseño para el techo del tanque ( $e$ )

Para obtener el espesor del techo del tanque se necesita hallar la carga total ( $B$ ) representada en kilo-pascales, de modo que el espesor mínimo de diseño para el techo del tanque será el diámetro dividido entre el seno del ángulo de inclinación por la raíz de la carga total dividido entre datos específicos. (Ecuación 18)

$$e = \frac{D}{4.8 \times \text{sen}\alpha} \sqrt{\frac{1+B}{2.2}}$$
$$e = \frac{3.4}{4.8 \times \text{sen}(9.65)} \sqrt{\frac{1+1.462}{2.2}}$$
$$e = 4.47\text{mm}$$
$$B = Dl + Cv$$
$$B = 0.462\text{kpa} + 1\text{kpa}$$
$$B = 1.462\text{ kpa}$$

Se recomienda espesor de plancha para techo de 4.5 mm

*Ecuación 18. Espesor de placas para techo*

#### f) Cálculo del ángulo de corte para el techo cónico ( $\alpha 1$ )

Para el techo cónico se determina un ángulo de corte hallándolo por medio de fórmula, en donde el radio del tanque es dividido entre el coseno del ángulo de pendiente en unidades de medida metro (m) así lo demuestra la ecuación 19.

$$\alpha 1 = 360 - 360 \frac{r}{R}$$
$$\alpha 1 = 360 - 360 \frac{1.7}{1.7244}$$
$$\alpha 1 = 5.0939 = 5.09^\circ$$
$$R = \frac{r}{\cos\alpha}$$
$$R = \frac{1.7}{\cos(9.65)}$$
$$R = 1.7244\text{m}$$

*Ecuación 19. Cálculo del ángulo de corte*

Por lo tanto, se utilizarán espesores de placas en las paredes de 6 mm, en el fondo del tanque placas de 8 mm de espesor y por último en el techo placas con espesores de 4.5mm garantizando una buena calidad en el tanque atmosférico cumpliendo la Normas API 650:2020.

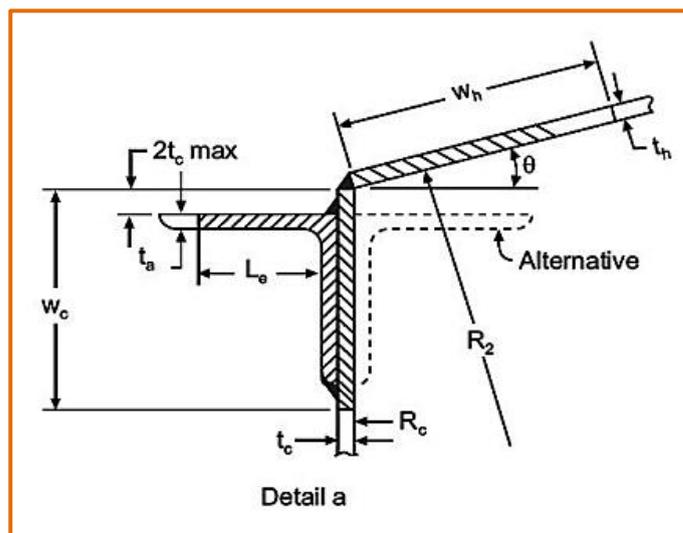
#### 4.10. Cálculo del anillo superior del tanque atmosférico

Según Norma API 650, la tabla 9 indica que se debe contar con un tamaño mínimo del anillo superior de acuerdo con el diámetro del tanque, porque se utilizan laminas en el techo de manera plana para facilitar el soldado en las juntas, donde el angular de coronación tiene un grado de 90 para poder quedar rígida la estructura del tanque (ver figura 32).

Diámetro del tanque	Tamaño mínimo del anillo superior	Tamaño mínimo del anillo superior
(D)	(mm)	(in.)
D < 11M, (D < 35ft)	50 x 50 x 5	2 x 2 x 3/16
11 m < D ≤ 18 m, (35 ft < D ≤ 60 ft)	50 x 50 x 6	2 x 2 x 1/4
D > 18 m, (D > 60 ft)	75 x 75 x 10	3 x 3 x 3/8

*Figura 32. Anillo superior del tanque  
Tomada de Norma API 650, 2020, Tabla 5.5a.*

Teniendo un diámetro de 3.4 m se selecciona el casillero del perfil tipo L 50 x 50 x 5mm, según Norma API 650 apéndice F se debe tener consideración la manera de realizar el cordón de soldadura con ángulo de inclinación para poder ser soldado a la envolvente del tanque y de esta manera ser efectivo, así lo especifica la figura 33.



*Figura 33. Anillo superior del tanque atmosférico*

Por lo tanto, se tiene que tener consideración con el detalle A para poder obtener una buena fundición al momento de soldar con arco eléctrico y en especial el ángulo de coronación de la parte superior de la envolvente.

#### 4.11. Cálculo del peso del tanque atmosférico

Dimensiones planchas

Largo: 6 m = 600 cm = 6 000 mm

Ancho: 1.5 m = 150 cm = 1 500 mm

### a) Peso de la envolvente (Pte)

Para determinar el peso de la envolvente en el primer anillo se debe multiplicar las dimensiones de la plancha a utilizar por el espesor y por la densidad del acero, luego se multiplica por el número de anillos que tiene el tanque, así lo define la siguiente ecuación 20.

$$\begin{aligned} Pte &= P1a \times 3 \text{ anillos} && \text{Peso en el primer anillo} \\ Pte &= 2\,543.4 \text{ kg} && P1a = Lp \times Ap \times \text{Esp. plancha} \times \rho(\text{ac}) \\ &&& P1a = 6\text{m} \times 1.5\text{m} \times 6\text{mm} \times 7.85 \\ &&& P1a = 423.8 \text{ kg} \times 2 \text{ planchas a utilizar} \\ &&& P1a = 847.8 \text{ kg} \end{aligned}$$

*Ecuación 20. Peso de la envolvente*

### b) Peso del fondo (Wf)

Para calcular el peso del fondo, se debe determinar el área total del tanque, multiplicarla por el espesor del fondo y por el peso específico del acero, que es de 7.85 t/m<sup>3</sup>, como se detalla en la ecuación 21. Esto proporcionará la suma del peso del anillo perimetral y el peso del resto del fondo

$$\begin{aligned} W_{\text{fondo}} &= A_{\text{tt}} \times \text{Espesor}(\text{fondo}) \times 7.85 \\ W_{\text{fondo}} &= 16.03\text{m}^2 \times 8\text{mm} \times 7.85 \\ W_{\text{fondo}} &= 1\,006.68 \text{ kg} \end{aligned}$$

*Ecuación 21. Peso del fondo*

### c) Peso de techo (Wt)

Del mismo modo, para hallar el peso se multiplica el área total por el espesor del techo y el peso específico del acero el cual es 7.85t/m<sup>3</sup> obteniendo el resultado en unidades de medida kilogramo, así lo describe la ecuación 22.

$$\begin{aligned} W_{\text{techo}} &= A_{\text{total}} \times \text{Espesor}(\text{techo}) \times 7.85 \\ W_{\text{techo}} &= 16.03\text{m}^2 \times 4.5\text{mm} \times 7.85 \\ W_{\text{techo}} &= 566.26 \text{ kg} \end{aligned}$$

*Ecuación 22. Peso del techo*

#### d) **Peso total del tanque (Wtt)**

Es necesario sumar el peso total de la envolvente, el peso del fondo y el peso del techo para obtener el peso total del tanque, expresado en unidades de medida en kilogramos (ver ecuación 23).

$$\begin{aligned}Wtt &= Pte + Wfondo + Wtecho \\Wtt &= 2\,543.4kg + 1\,006.68kg + 566.26kg \\Wtt &= 4\,116.34kg\end{aligned}$$

*Ecuación 23. Peso total del tanque*

Por consiguiente, las medidas de las planchas del tipo comercial a utilizar serán de largo 6 m x 1.5 m de ancho obteniendo un peso total en el tanque de 4 116.34 kg siendo un peso menor al equivalente establecido y aprobando la presión atmosférica que soportará el tanque atmosférico en posición vertical con capacidad de 36.3m<sup>3</sup>.

#### **4.12. Estabilidad al volcamiento en el tanque atmosférico**

- Altura de diseño del líquido (H): 4 m, altura nominal (Hn): 5.4 m
- Diámetro nominal del tanque (D): 3.4 m
- Capacidad del tanque (C): 9 589.45 galones = 36.3 m<sup>3</sup>
- Fluido: Acido, densidad especifica (G): 0.934 kg/cm<sup>3</sup>
- Densidad del acero (ρ): 7850 kg/m<sup>3</sup>
- Presión Atmosférica (Mpi): 1.015 mb
- Velocidad del viento (v): 1.3 m/s = 4.68 km/h
- Resistencia Mínima a la fluencia (Sy): 250 Mpa
- Resistencia Mínima a la tracción (Str): 400 Mpa
- Esfuerzo de diseño (Sd): 1 630kg/m<sup>3</sup> = 23 184.05psi = 160 Mpa
- Esfuerzo de prueba Hidrostática (St): 1 750kg/m<sup>3</sup> = 24 890.85psi = 171 Mpa

##### **4.12.1. Cálculo de cargas y momento de vuelco**

Se debe considerar la velocidad del viento como factor climático y la conversión de unidades de medida que afectan el cálculo del tanque atmosférico, conforme a la Norma API 650 sección 5.11.2.1. Se deben determinar ocho parámetros para realizar el cálculo de las cargas y el momento de vuelco.

#### a) **Presión estática sobre el envolvente (Pee)**

Para obtener la presión estática que interviene en la envolvente del tanque se debe considerar

la sección 5.2.1 de la Norma API 650:2020 expresado en unidades de medida newton sobre metro cuadrado, así lo detalla la ecuación 24.

$$P_{ee} = 860 \times \left(\frac{V}{190}\right)^2$$

$$P_{ee} = 860 \times \left(\frac{4.68 \text{ km/h}}{190}\right)^2$$

$$P_{ee} = 0.52 \text{ N/m}^2$$

*Ecuación 24. Presión estática sobre la envolvente*

**b) Área expuesta de la envolvente (A<sub>exp</sub>)**

Para el área visible es necesario determinar el área total y el área de los accesorios a utilizar, luego se suman ambos factores con sus unidades de medida en metro cuadrado. (Ver ecuación 25)

$$A_{exp} = A_{tt} + A_{acc} \quad A_{total} = D \times H \quad A_{accesorios} = A_{total} \times 10\%$$

$$A_{exp} = 13.6 \text{ m}^2 + 1.36 \text{ m}^2 \quad A_{tt} = 3.4 \text{ m} \times 4 \text{ m} \quad A_{acc} = 13.6 \text{ m}^2 \times 10\%$$

$$A_{exp} = 14.96 \text{ m}^2 \quad A_{tt} = 13.6 \text{ m}^2 \quad A_{acc} = 1.36 \text{ m}^2$$

*Ecuación 25. Área expuesta de la envolvente*

**c) Carga del viento sobre la envolvente (C<sub>viento</sub>)**

Ahora bien, teniendo el área expuesta de la envolvente se multiplica por la presión estática de la envolvente para hallar la carga del viento sobre la envolvente así lo demuestra la siguiente formula ecuación 26.

$$C_{viento} = A_{exp} \times P_e$$

$$C_{viento} = 14.96 \text{ m}^2 \times 0.52 \text{ N/m}^2$$

$$C_{viento} = 7.78 \text{ N}$$

*Ecuación 26. Carga del viento sobre la envolvente*

**d) Momento de vuelco por carga sobre la envolvente (M<sub>ws</sub>)**

Se aplica altitud y se refiere a la carga del viento por la altura del tanque dividido en dos, ver ecuación 27. Por otro lado, el resultado queda representado en unidades de medida newton-metro de esta manera se halla el momento de vuelco por carga sobre la envolvente.

$$M_{ws} = C_{viento} \times \frac{H}{2}$$

$$M_{ws} = 7.78 \text{ N} \times \frac{4\text{m}}{2}$$

$$M_{ws} = 15.56 \text{ Nm}$$

*Ecuación 27. Momento de vuelco por carga sobre envolvente*

**e) Presión por succión del techo (Ps)**

Con una velocidad del viento de 4.68 km/h y un diseño de ráfaga de 3 segundos, conforme a la ASCE 7-05, la Norma API 650, sección 5.2.1, establece el cálculo mediante la siguiente ecuación 28.

$$P_s = 1\,440 \times \left(\frac{V}{190}\right)^2$$

$$P_s = 1\,440 \times \left(\frac{4.68 \text{ km/h}}{190}\right)^2$$

$$P_s = 0.8736 \text{ N/m}^2$$

*Ecuación 28. Presión por succión del techo*

**f) Fuerza de levantamiento del techo por succión (Flts)**

En relación con la fuerza de levantamiento del techo, se refiere a la presión generada al abrir válvulas, la cual se multiplica por el área del tanque y por la presión de succión del techo, ver ecuación 29.

$$Flts = A_{tanque} \times P_s$$

$$Flts = \left(\frac{\pi \times 3.4^2}{4}\right) \times 0.8736 \text{ N/m}^2$$

$$Flts = 7.93 \text{ N}$$

*Ecuación 29. Fuerza de levantamiento del techo por succión*

**g) Momento de vuelco por succión en el techo (Mwr)**

Para calcular el momento de vuelco, es necesario conocer que se genera por la fuerza aplicada en el centro del tanque y la succión del techo. Se determina multiplicando la fuerza de levantamiento del techo por el radio del tanque atmosférico, expresando el resultado en Newton-metros (ver ecuación 30).

$$M_{wr} = Flts \times R_{tanque}$$

$$M_{wr} = 7.93 \text{ N} \times 1.7 \text{ m}$$

$$M_{wr} = 13.481 \text{ Nm}$$

*Ecuación 30. Momento de vuelco por succión en el techo*

#### **h) Momento total de vuelco por viento (Mw)**

Por último, el momento total de vuelco da referencia a la fórmula momento de vuelco de carga sobre la envolvente más el momento de vuelco por succión del techo así lo expresa la siguiente ecuación 31.

$$\begin{aligned}M_w &= M_{ws} + M_{wr} \\M_w &= 15.56 \text{ Nm} + 13.481 \text{ Nm} \\M_w &= \mathbf{29.041 \text{ Nm}}\end{aligned}$$

*Ecuación 31. Momento total de vuelco por viento*

#### **4.12.2. Cálculo de estabilidad del tanque frente al viento**

En la presente sección, se determinan todos los parámetros necesarios relacionados con la estabilidad frente al viento, conforme a la Norma API 650, sección 5.11. Esto garantiza los cálculos adecuados en el diseño del tanque atmosférico de 36.3 m<sup>3</sup>, el cual se utiliza para transportar reactivo recolector terciario.

#### **a) Momento resistente por peso de envolvente y estructura (Mdl)**

Primero se debe realizar el cálculo del peso total de la envolvente y luego multiplicarlo por el diámetro del tanque ver ecuación 32, también es denominado el proceso como el momento generado en el tanque sin considerar el techo ya que se considera una parte independiente.

$$\begin{aligned}M_{dl} &= W_{envol.} \times D && \text{Peso total de la envolvente (Pee): } 2\,543.4 \text{ kg a N} \\M_{dl} &= \sum(P_{ee} + W_{envol.}) \times D && = 24\,942.23 \text{ N} \\M_{dl} &= (24\,942.43 \text{ N} && W_{envol.} = 24\,942.23 \text{ N} \times 5\% \\&+ 1\,247.11 \text{ N} \times 3.4 && W_{envol.} = 1\,247.11 \text{ N} \\M_{dl} &= \mathbf{89\,043.756 \text{ Nm}}\end{aligned}$$

*Ecuación 32. Momento resistente por peso de envolvente y estructura*

#### **b) Momento resistente por peso de planchas de techo y accesorios (Mdlr)**

Después, se calcula el momento generado en el tanque y se debe al peso del techo convirtiendo de kilogramos en Newton, para luego multiplicarlo al 5 % considerando sus accesorios, unidades de medida en Newton-metro, así lo define la ecuación 33.

$$\begin{aligned}
 Mdlr &= W_{techo} \times D & \text{Peso del techo } (W_{techo}): & 566.26 \text{ kg a N} \\
 Mdlr &= \sum (W_{techo} + W_{envol}) \times D & & = 5\,553.11 \text{ N} \\
 Mdlr &= (5\,553.11 \text{ N} + 277.65 \text{ N} \times 3.4) & W_{envol} &= 5\,553.11 \text{ N} \times 5\% \\
 Mdlr &= \mathbf{19\,824.58 \text{ Nm}} & W_{envol} &= 277.65 \text{ N}
 \end{aligned}$$

*Ecuación 33. Momento resistente por peso de planchas de techo y accesorios*

**c) Peso líquido por metro lineal (Wl)**

Para hallar el peso del líquido, se debe multiplicar el dato específico por el espesor del fondo. Luego, se multiplica este resultado por la raíz de (Fby), que es el límite elástico de la plancha de fondo, por la gravedad específica y la altura del tanque. El resultado se expresa en Newton-metros., ver ecuación 34.

$$\begin{aligned}
 Wl &= 70 \times Tb \sqrt{(Fby) \times G \times H} \\
 Wl &= 70 \times 6 \sqrt{(250 \text{ Mpa}) \times 0.934 \text{ kg/cm}^2 \times 4 \text{ m}} \\
 Wl &= \mathbf{12\,835.79 \text{ N/m}}
 \end{aligned}$$

*Ecuación 34. Peso del líquido por metro lineal*

**d) Peso total del líquido resistente (Wtl)**

Ahora bien, para el peso del líquido total (ecuación 35) se multiplica el peso del líquido lineal por diámetro y pi (3,1416), también se le considera resistencia total del peso almacenado a este proceso.

$$\begin{aligned}
 Wtl &= Wl \times \pi \times D \\
 Wtl &= 12\,835.79 \text{ N} \times \pi \times 3.4 \text{ m} \\
 Wtl &= \mathbf{137\,104.40 \text{ N}}
 \end{aligned}$$

*Ecuación 35. Peso total del líquido resistente*

**e) Momento resistente por peso del líquido (Mf)**

Para hallar el momento resistente por peso del líquido se debe multiplicar el peso total por el radio del tanque atmosférico que viene hacer el diámetro dividido entre dos (ecuación 36), unidades de medida en newton-metro.

$$Wf = Wtl \times r$$

$$Wf = 137\,104.40\,N \times 1.7m$$

$$Wf = 225\,977.056\,Nm$$

*Ecuación 36. Peso total del líquido resistente*

**f) Momento de vuelco por presión inferior (Mpi)**

De igual manera, el momento de vuelco es un factor importante ya que es necesario determinar la presión atmosférica tanto en el interior como en el exterior del tanque, tomando en cuenta los factores climáticos y geográficos del lugar donde estará instalado.

- Presión atmosférica en el exterior: 1.015 Nm
- Presión atmosférica en el interior: 0 Nm

**g) Factor de presión para combinación de cargas**

Según Norma API 650 sección 5.11.2.1 se realiza la comparación de presión interna de funcionamiento normal y la presión interna de diseño en donde la presión mínima (Fp) es 0.4 estableciendo condiciones para la estabilidad frente al viento.

$$0.6 \times Mw + Mpi < \frac{Mdl}{1.5} + Mdlr$$

$$0.6 \times 29.041Nm + 1.015Nm < \frac{89\,043.756Nm}{1.5} + 19\,824.58Nm$$

$$18.44\,Nm < 79\,187.08\,Nm$$

$$Mw + Fp \times Mpi < \frac{(Mdl + Mf)}{2} + Mdlr$$

$$29.041Nm + 0.4 \times 1.015Nm < \frac{89\,043.756Nm + 225\,977.056Nm}{2} + 19\,824.58Nm$$

$$29.447\,Nm < 177\,334.98\,Nm$$

$$Mws + Fp \times Mpi < \frac{Mdl}{1.5} + Mdlr$$

$$15.56 + 0.4 \times 1.015Nm < \frac{89\,043.756Nm}{1.5} + 19\,824.58Nm$$

$$15.96Nm < 79\,187.08\,Nm$$

Finalmente, para el cálculo de estabilidad del tanque frente al viento se consideraron factores climatológicos, así como geográficos, demostrando que las presiones en el tanque en posición vertical son capaces de afrontar la estabilidad frente al viento y no necesita ser anclado a una base o enterrarlo con hormigón. De esta manera, podrá ser transportado con mayor facilidad y el revestimiento del interior con neopreno será necesario para evitar corrosión en las placas y mejorará la vida útil del tanque atmosférico con capacidad de 36.3 m<sup>3</sup>.

## **CAPÍTULO V**

### **CONSTRUCCIÓN**

#### **5.1. Diseño del tanque atmosférico**

##### **a) Modelado y simulación para el diseño del techo del tanque atmosférico**

Este método se emplea con el objetivo de analizar su comportamiento aplicando presión al tanque. La simulación y modelado se realiza mediante el programa SolidWorks y de esta manera se obtiene resultados como presión del viento y cargas de velocidad.

Para simular el comportamiento del tanque, se utilizan los planos de fabricación que permiten almacenar el reactivo colector terciario y soportar una capacidad de 36.3 m<sup>3</sup>. Dado que el diseño es cilíndrico, es crucial que el modelado con tipo malla sea adecuado. Se utilizan comandos de curvatura para mejorar la calidad del mallado, resultando en un total de 79,600 nodos y 39,893 elementos en la sección mallada. (Ver fig. 34)

**Mesh information - Details**

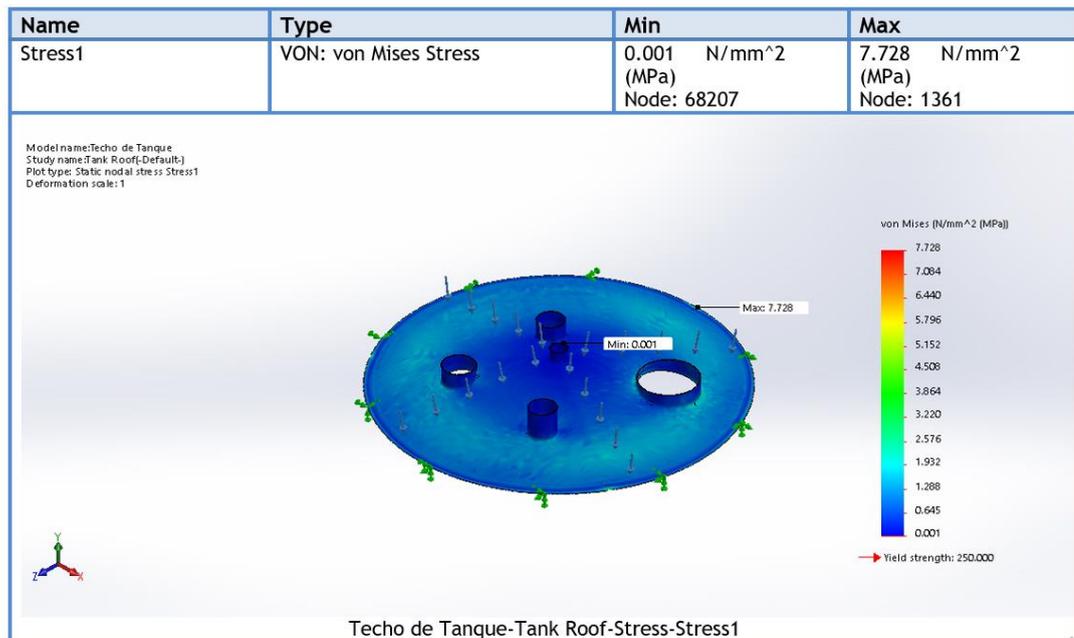
<b>Total Nodes</b>	79600
<b>Total Elements</b>	39893
<b>Maximum Aspect Ratio</b>	501.61
<b>% of elements with Aspect Ratio &lt; 3</b>	11.9
<b>% of elements with Aspect Ratio &gt; 10</b>	37
<b>% of distorted elements(Jacobian)</b>	0
<b>Time to complete mesh(hh:mm:ss):</b>	00:01:02
<b>Computer name:</b>	

Model name: Techo de Tanque  
Study name: Tank Roof-(Default)  
Mesh type: Solid Mesh



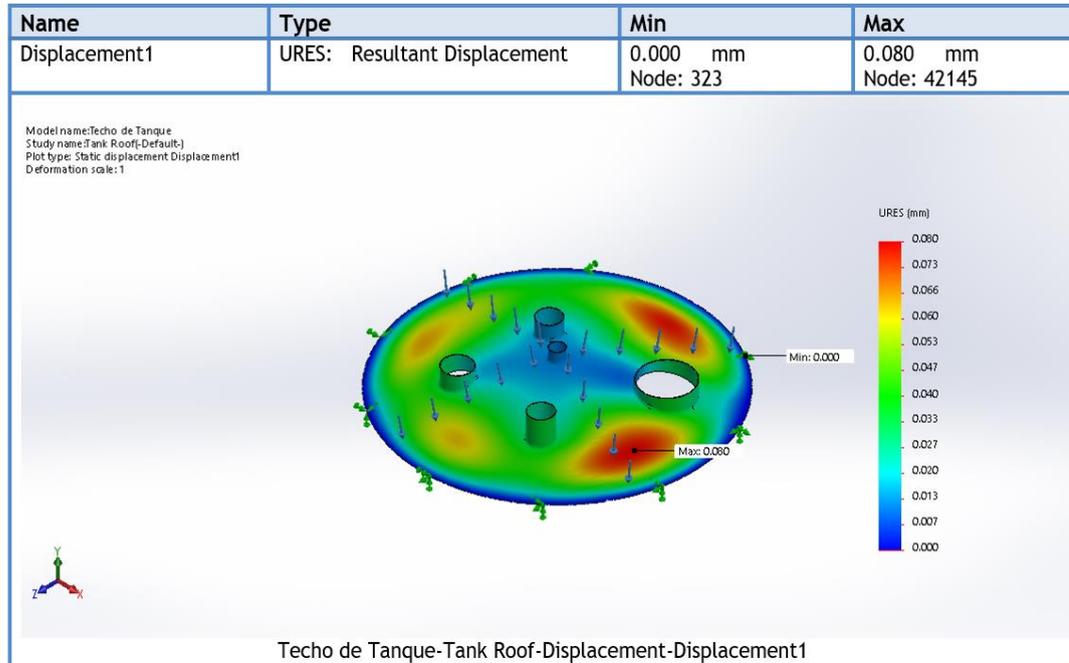
*Figura 34. Simulación tipo malla en programa SolidWorks*

Luego de la fase inicial, se aplica tensión a la superficie o techo del tanque dando un resultado de 7.728 Mpa como tensión máxima y 0.001Mpa como tensión mínima en la superficie del techo (ver fig. 35); es aquí en donde influye el factor climático para que el material utilizar sea el adecuado y pueda soportar la abrasión, como también temperaturas elevadas o bajo cero.



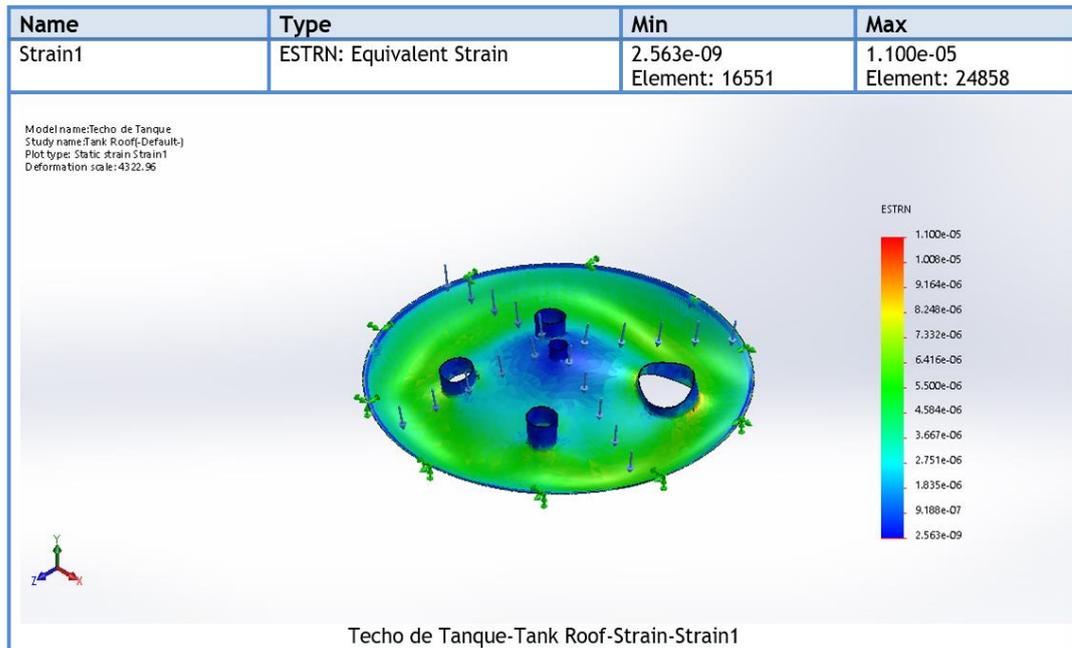
*Figura 35. Tensión en el techo del tanque,*

Después, el desplazamiento del techo del tanque se halla considerando condiciones máximas especificadas por Norma API 650:2020, se encuentran defectos o imperfecciones en las que están expuestas a la fuerza aplicada en el techo del tanque, ya que toda el área cónica del techo está distribuida a la función de la carga, encontrando como máximo un desplazamiento de 0.08 mm.



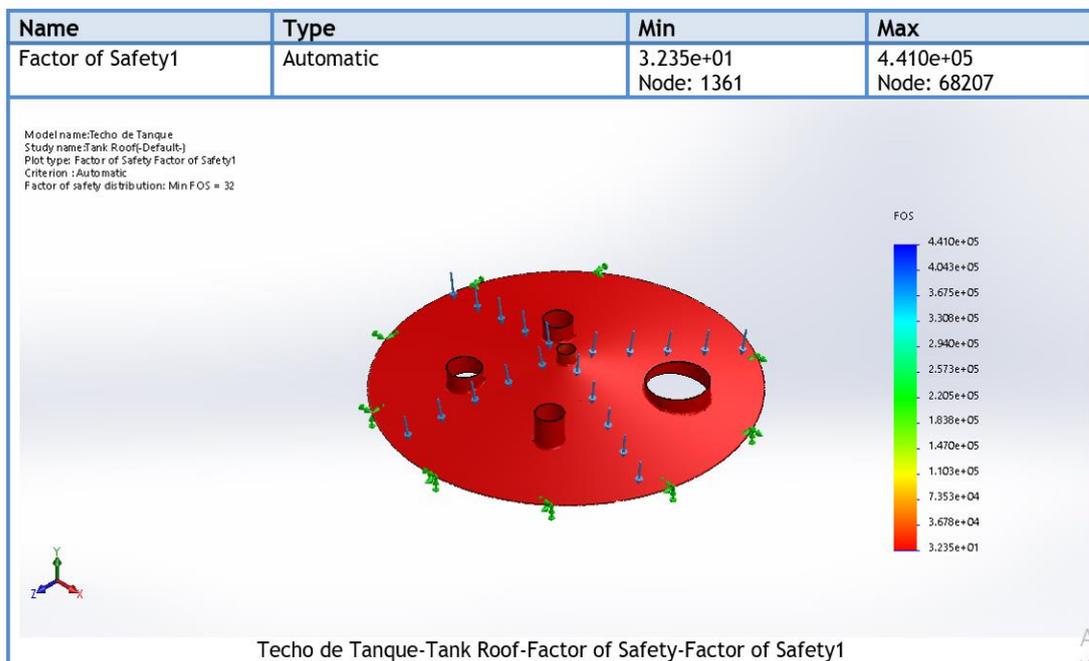
**Figura 36. Desplazamiento del techo del tanque**

Como tercer punto, es necesario encontrar la deformación en el techo del tanque, simulando soportar altas temperaturas y presión al techo del tanque atmosférico con la capacidad de almacenar 36.3 m<sup>3</sup>, demostrando que la máxima deformación es de 1.100e-05 y mínima de 2.56e-09 como valor aplicado a la fuerza generada por la presión en la simulación del tanque, quedando en un rango aceptable ofreciendo alta resistencia en el techo del tanque (ver fig. 37).



**Figura 37. Deformación en el techo del tanque**

Como ultima simulación en el programa SolidWorks, se busca la seguridad en el techo del tanque, teniendo los datos anteriores se puede determinar el factor de seguridad mínimo de 32, con dicho dato se concluye que el diseño con espesor de 4.5 mm para el techo del tanque es apto para su fabricación (ver fig. 38).



**Figura 38. Seguridad en el techo del tanque**

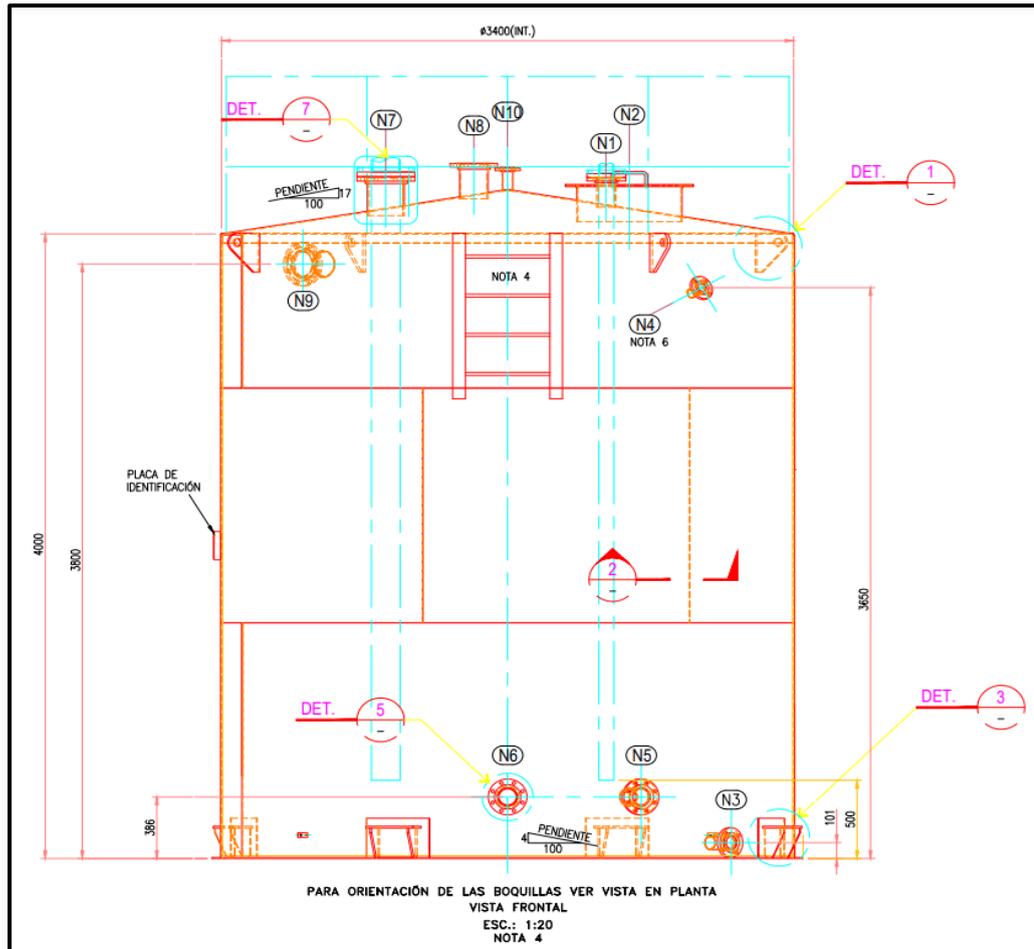
Así como para el diseño del tanque se considera una relación 7:100, para el techo cónico autoportado se debe considerar un grado de inclinación de  $9.65^\circ$  permitiendo que sea

aerodinámico, soportando cambios climáticos y niveles máximos en el fluido del reactivo recolector terciario, además cuenta con 10 boquillas, así lo demuestra la figura 39.

TABLA CONEXIÓN DE BOQUILLAS						
BOQUILLA N°	DESCRIPCIÓN	TAMAÑO	CLASIFICACIÓN	ESTANDAR	PROYECCIÓN	REVEST, e=
N1	RECIRCULACIÓN	4"	CL 150 RF	ASME B16.5	175	-
N2	MANHOLE	24"	-	ASME B16.5	150	-
N3	DRENAJE	3"	CL 150 RF	ASME B16.5	175	6mm
N4	SENSOR NIVEL ALTO	2"	CL 150 RF	ASME B16.5	150	-
N5	SUCCIÓN 0392-PPC-1002	4"	CL 150 RF	ASME B16.5	175	6mm
N6	SUCCIÓN 0392-PPC-1003	4"	CL 150 RF	ASME B16.5	175	6mm
N7	INGRESO DEL PRODUCTO	8"	CL 150 RF	ASME B16.5	200	-
N8	TRANSMISOR DE NIVEL	6"	CL 150 RF	ASME B16.5	200	-
N9	REBOSE	6"	CL 150 RF	ASME B16.5	200	6mm
N10	FLAME ARRESTER	2"	CL 150 RF	ASME B16.5	150	-

*Figura 39. Numero de boquillas para el tanque atmosférico*

Si el espesor del primer anillo, expresado en pulgadas, es superior al espesor requerido en la prueba hidrostática, tendrá que ser incrementando la misma cantidad para poder resistir el momento de volcadura por sismo. De esta manera, se demuestra los aportes necesarios para el diseño del techo cónico del tipo autosoportado para el tanque atmosférico en posición vertical con capacidad de 36.3m<sup>3</sup>, graficado también en programa software AutoCAD con los datos establecidos y el cálculo realizado, ver Fig. 40.

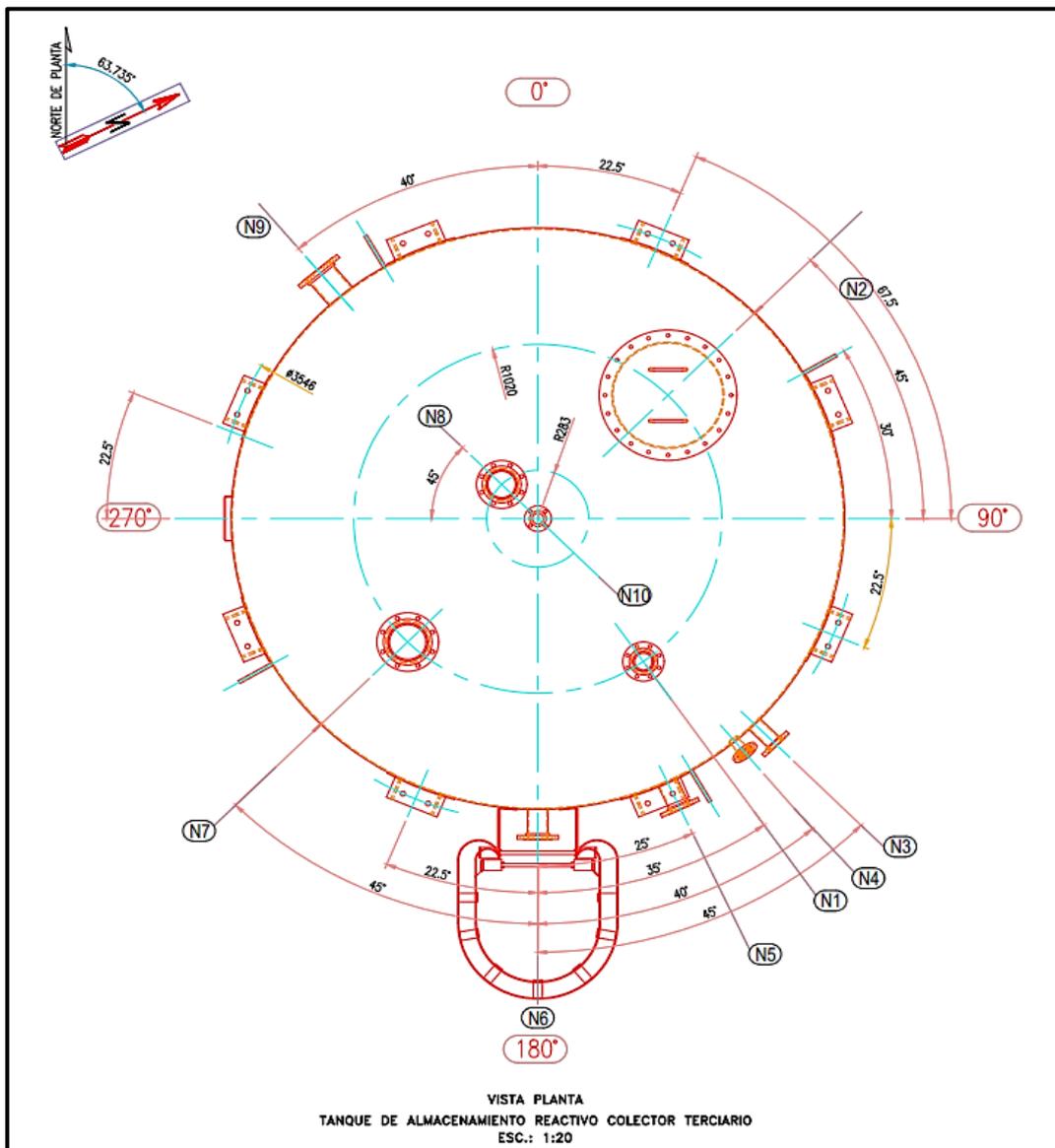


**Figura 40. Diseño del techo cónico autoportado**

### b) Base del tanque atmosférico

De igual modo, para poder hallar los cálculos para el espesor de la base del tanque y primer anillo se utilizó el método por un pie siendo eficiente y una manera precisa de calcular espesores de placas y uniones mediante la soldadura manual por arco eléctrico con electrodo revestido (SMAW). La Norma API 650:2020 indica que para tanques que estén anclados el diámetro mínimo será de 25.4 m y el esfuerzo máximo permisible no debe exceder 0.8 veces mayor y el esfuerzo de cedencia para anclas será multiplicado por 1.33, dado que no es el caso por ser un tanque relativamente de tamaño mediano-pequeño no es necesario su anclaje y su esfuerzo de cedencia está dado por 0.6.

De este modo, el diseño se realiza en el software AutoCAD como se muestra en la fig. 41. El diseño de las juntas de soldadura incluirá el cuerpo y el techo del tanque, utilizando soldadura a tope de doble cara con penetración completa hasta la raíz, empleando electrodos E 6010. Para el acabado final, se utilizarán electrodos E 71T-1, asegurando la estructura del tanque atmosférico con una capacidad de 36.3 m<sup>3</sup> para el transporte de reactivo recolector terciario.

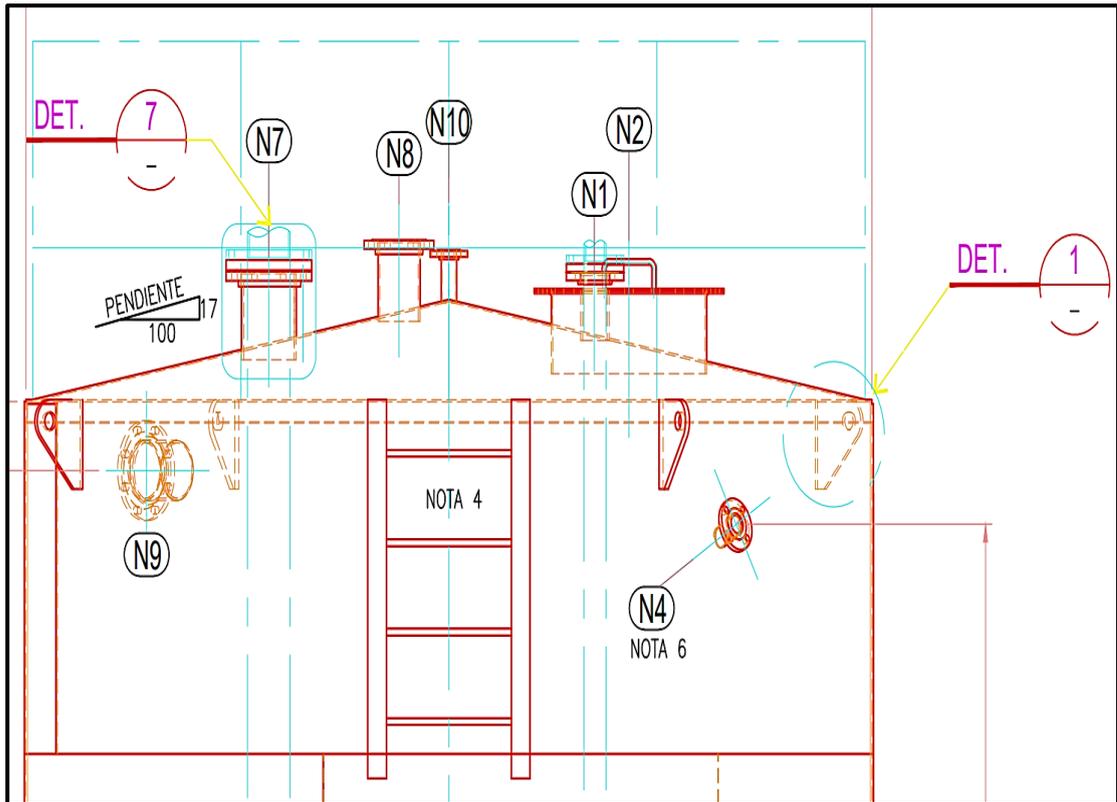


*Figura 41. Base del tanque atmosférico*

Se ha considerado planchas de uso comercial de dimensiones 1.5 x 6 metros y sus anillos que constituyen el tanque atmosférico serán tres para poder realizar la estructura de las paredes, también para el cálculo de las paredes se utilizó el anexo K de la norma API 650 (método variable punto de diseño).

### c) Compuerta de sedimentos y acceso de limpieza

También llamado como compuerta tipo lapida, esta es la entrada para el mantenimiento y la limpieza de sedimentos. La abertura debe tener una forma rectangular en la base, con un radio en las esquinas igual a la mitad de la altura. Se considera que el refuerzo y el cuello del acceso para limpieza tendrán el mismo espesor que el primer anillo, así lo detalla la figura 42 diseñada en programa AutoCAD.



**Figura 42. Acceso de limpieza**

De este modo, el acceso al interior del tanque atmosférico para poder realizar cualquier mantenimiento será de fácil acceso; el ancho mínimo de las escaleras es de 610 mm (24 in), el ancho mínimo de los peldaños 203 mm (8 pulg) y la distancia mínima entre los postes es de 2 438 mm (96 in), donde el mínimo ancho de la placa de refuerzo del fondo ubicada en el centro debe ser de 250 mm más la combinación del primer anillo y la placa que tiene de refuerzo el acceso de limpieza, así lo describe la figura 43.

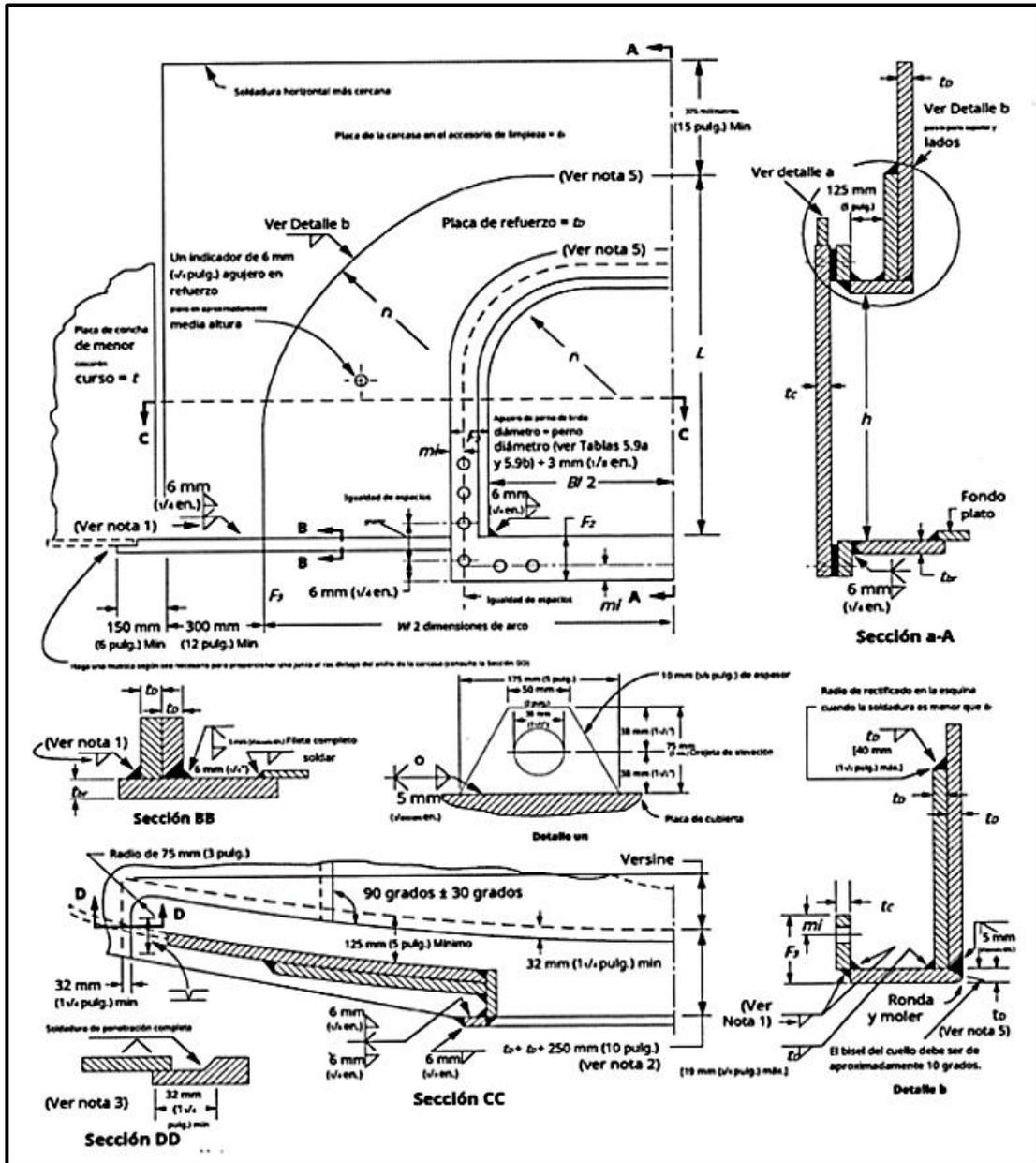


Figura 43. Compuerta de sedimentos  
Tomada de Norma API 650, 2020, figura 5.14.

Por lo tanto, la placa de refuerzo del caparazón es proporcional al refuerzo, los espesores de las placas en las paredes son proporcional a los de la capa más baja de la carcasa. La longitud del cuello de la placa es igual al espesor nominal de la placa de refuerzo. Por último, el área de refuerzo debe ser la adecuada para los requisitos de diseño e hidrostática.

#### d) Modelado y simulación para el diseño del tanque atmosférico

Para el diseño del tanque es necesario simular mediante el programa SolidWorks ya que permite observar su comportamiento al momento de aplicar fuerzas sobre el material proporcionando valores y poder determinar si es apto para su fabricación. De modo que, los parámetros utilizados para simular el comportamiento del tanque, son los planos y diseño

inscritos para su fabricación, dado que el diseño del tanque es cilíndrico, es obligatorio que el modelado sea del tipo malla para que se ajuste a los comandos de curvatura, aumentando la calidad en el mallado obteniendo un total de 52 589 nudos y 26 192 elementos en la sección mallada (ver fig. 44)

#### Mesh information - Details

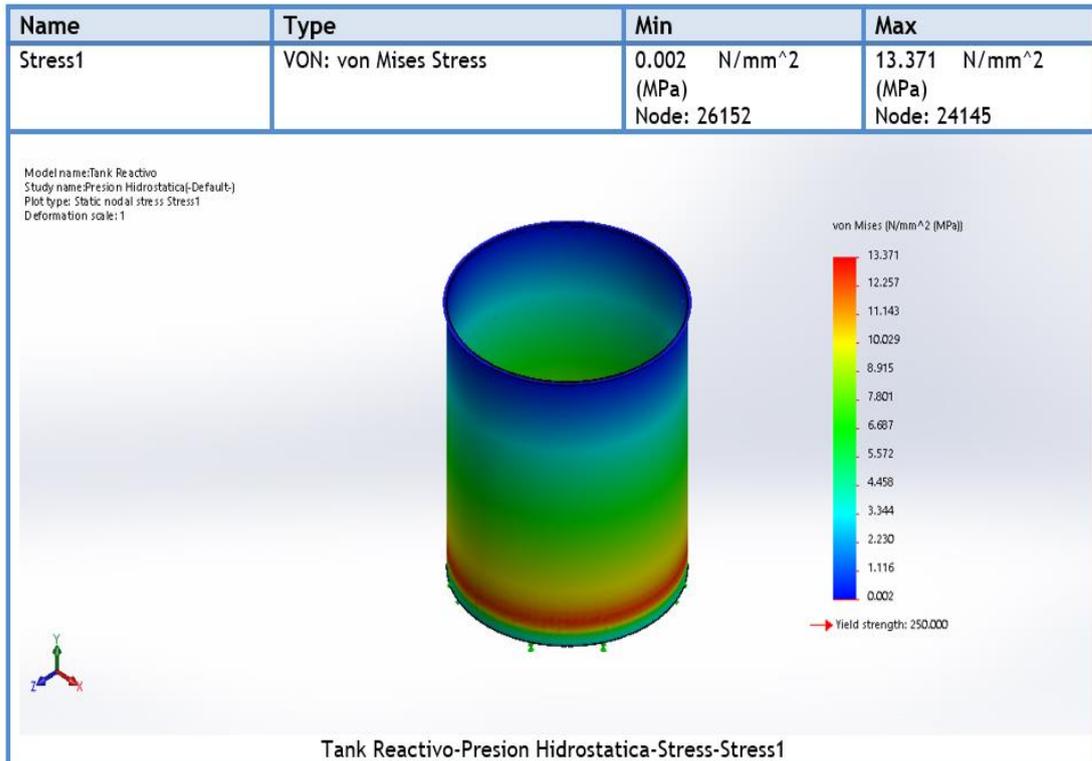
<b>Total Nodes</b>	52589
<b>Total Elements</b>	26192
<b>Maximum Aspect Ratio</b>	50.083
<b>% of elements with Aspect Ratio &lt; 3</b>	0
<b>% of elements with Aspect Ratio &gt; 10</b>	98.3
<b>% of distorted elements(Jacobian)</b>	0
<b>Time to complete mesh(hh:mm:ss):</b>	00:00:32
<b>Computer name:</b>	

Model name: Tank\_Reactivo  
 Study name: Presion Hidrostatica(Default)  
 Mesh type: Solid Mesh



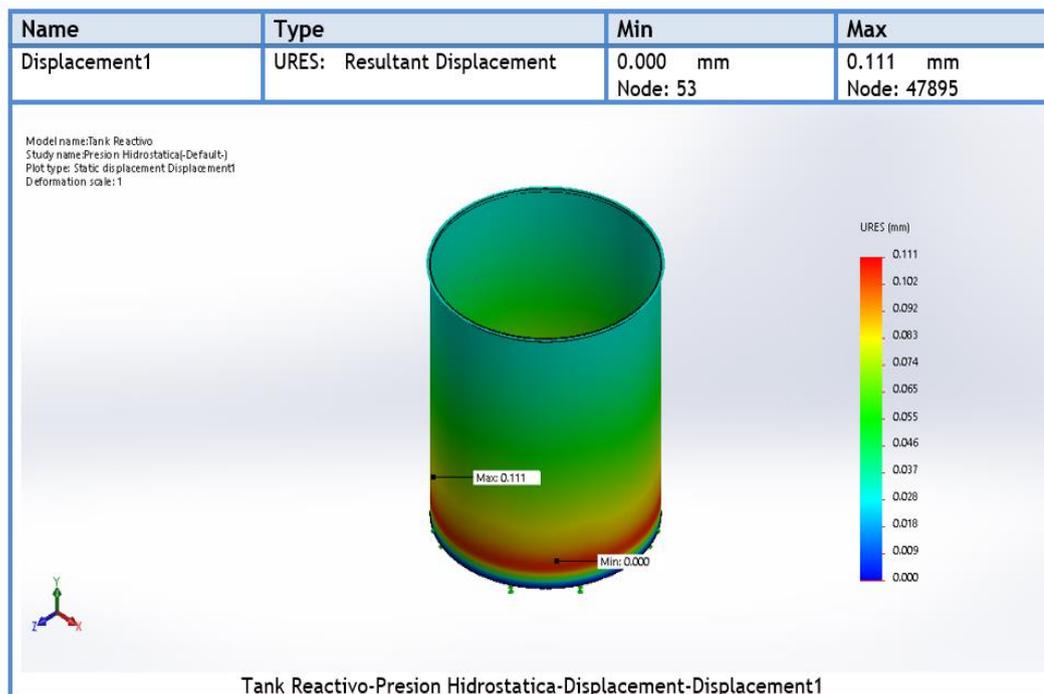
*Figura 44. Mallado del tanque atmosférico*

Entonces, como fase inicial se aplica tensión a la base y cuerpo del tanque mediante la presión hidrostática generada en el tanque, dando un resultado de 0.002 Mpa como mínimo y con un máximo de 13.371 Mpa (ver Fig. 45); es aquí en donde influye el factor climático para que el material ASTM A36 sea el apropiado y pueda soportar la abrasión y resistencia a la corrosión.



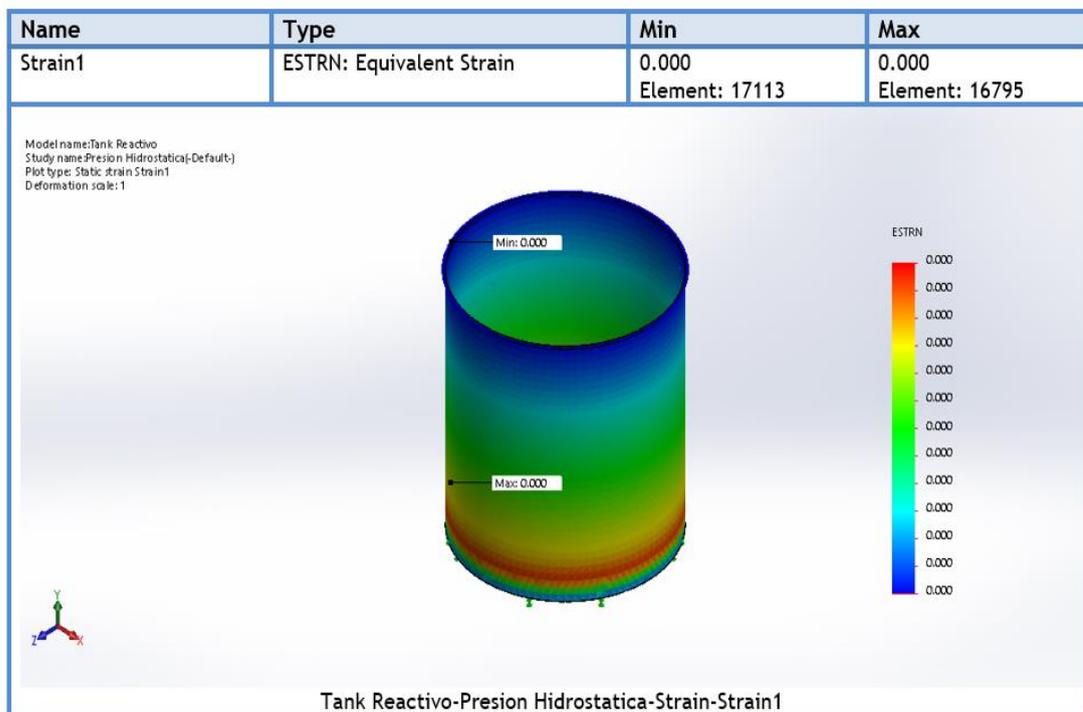
**Figura 45. Tensión en el cuerpo tanque atmosférico,**

Luego, es necesario determinar la simulación del desplazamiento del cuerpo del tanque para encontrar defectos o imperfecciones, por esta razón se debe aplicar cálculos bajo la Norma API 650:2020 y evitar zonas expuestas para la presión hidrostática, Se registró una deformación máxima de 0.11 mm, esto significa que se encuentra en el límite establecido garantizando la fabricación del tanque.



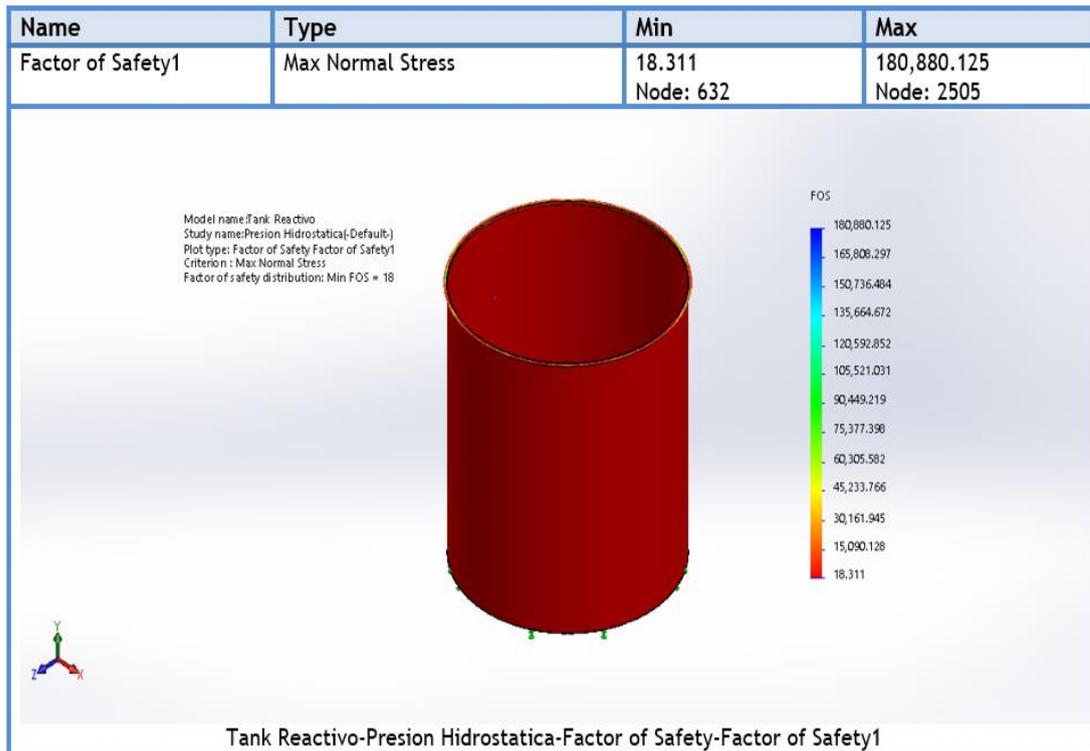
**Figura 46. Desplazamiento del cuerpo del tanque**

Para poder determinar la deformación en el cuerpo del tanque es necesario aplicar fuerzas externas al tanque atmosférico almacenando 36.3 m<sup>3</sup> de reactivo recolector terciario, demostrando que obtiene 0.000 como máximo y 0.000 como mínimo. ver Fig. 47.



**Figura 47.** Tensión en el cuerpo del tanque, elaboración propia, 2023

Como ultima simulación se busca alcanzar la seguridad en el tanque atmosférico por eso se utiliza el programa SolidWorks para determinar el factor de seguridad de 18 como mínimo. Se resuelve que, el diseño del fondo del tanque con espesor de 8 mm y el espesor de 6 mm para el cuerpo del tanque es apto para su fabricación. Ver Fig. 48.



**Figura 48.** Factor de Seguridad en el cuerpo del tanque, elaboración propia, 2023

Para poder realizar el diseño en programa AutoCAD se tuvo que obtener todo el cálculo del tanque con capacidad de 36.3 m<sup>3</sup> siguiendo la Norma API 650:2020 y todos sus derivados, Las dimensiones del tanque se determinaron en función del volumen, diámetro y altura.

Luego se eligió el tipo de material A-36 que se usará para la construcción de las planchas y boquillas, así como los accesorios para poder ensamblar el tanque ya sea pernos, tuercas, bridas, volandas, etc.

De igual manera, las planchas utilizadas para el cuerpo y la base del tanque de almacenamiento de reactivo recolector terciario cumplieron con las especificaciones por la ASTM inscrita en la Norma API 650:2020, tomando en cuenta factores como climáticos y geográficos para garantizar un diseño efectivo en el tanque atmosférico en posición vertical, así lo detalla la Figura 49.

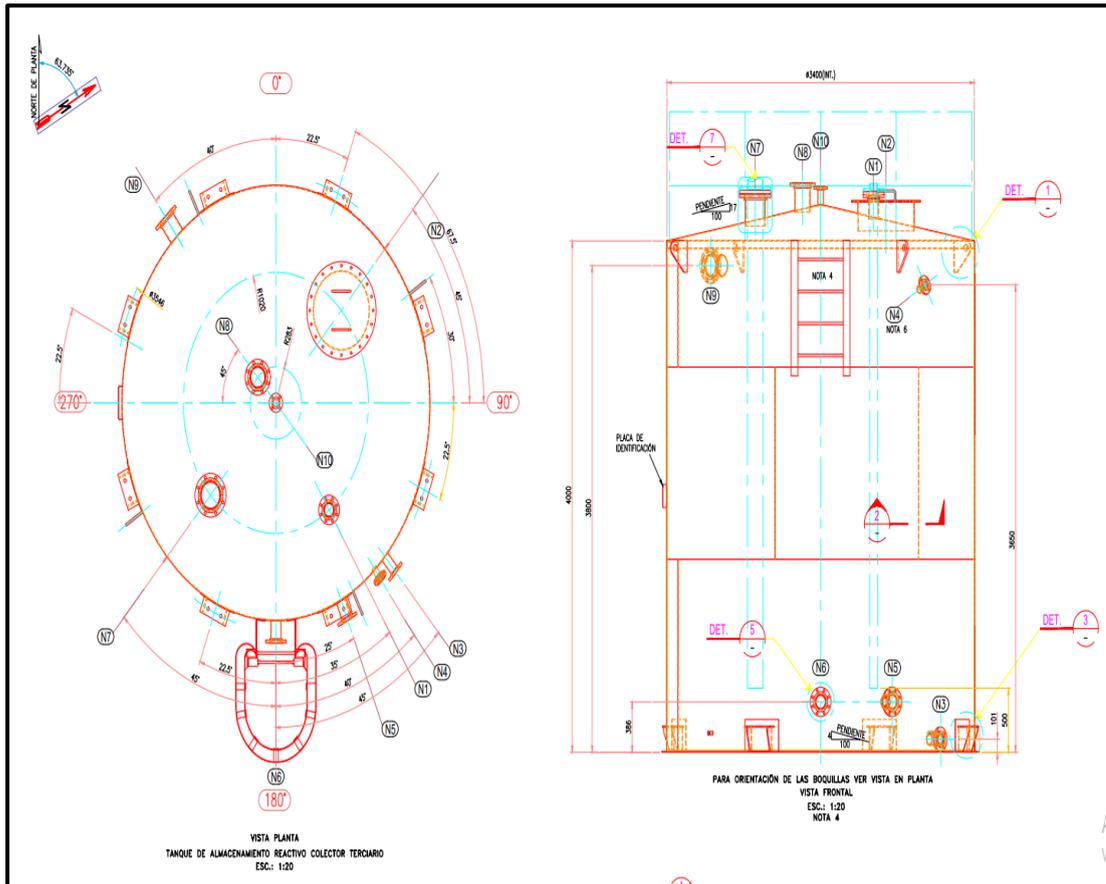


Figura 49. Diseño del tanque atmosférico,

#### e) Datos de soldadura en el diseño del tanque atmosférico

La soldadura es la unión de piezas con el uso de corriente eléctrica formando el arco eléctrico, además los electrones circulan por un conductor en circuito cerrado, se debe realizar trabajos con personal calificado para garantizar calidad en el producto final.

Se utilizó soldadura eléctrica con electrodo revestido (SMAW) ya que el pase a raíz debe estar definido y cumpliendo normas o estándares ya sea del electrodo o de la máquina, luego es necesario utilizar soldadura por arco con núcleo fundente (FCAW) para el acabado final del cordón de soldadura.

- **Electrodo E 6010**

Es utilizado para unir piezas con pase a raíz en estructuras, tanques, laminas y planchas gruesas porque su revestimiento es adecuado para generar alta energía en el arco eléctrico gracias a sus composiciones químicas que contiene el revestimiento del electrodo, así lo demuestra la norma técnica del electrodo (ver fig. 50).

El depósito que deja el arco eléctrico queda libre de imperfecciones como los poros y escoria entre capas, garantizando seguridad en el cordón de soldadura.

Su encendido del arco es fácil de hacerlo y mantener la antorcha igual, conservando un arco estable con intensidad de salpicaduras moderada.

POSICIONES DE SOLDADURA		<b>LINCOLN</b> <b>ELECTRIC</b>		NORMAS	
Todas.				AWS A5.1:	E6010
		ASME SFA 5.1:	E6010		
DIÁMETROS / EMPAQUE					
Diámetro		Longitud (mm)	Caja Auto Armable 5 kg. Caja Master 20 kg.		
(mm)	(pulg)		E6010-33220	E6010-180020	E6010-53220
2,50	3/32	350	E6010-33220	E6010-180020	E6010-53220
3,25	1/8	350	E6010-33220	E6010-180020	E6010-53220
4,00	5/32	350	E6010-33220	E6010-180020	E6010-53220
5,00	3/16	350	E6010-33220	E6010-180020	E6010-53220
PROPIEDADES MECÁNICAS. [VALORES TÍPICOS]					
	Esfuerzo de Fluencia	Resistencia a la Tracción	Alargamiento	Impacto	
Requerimientos AWS E6010	455 N/mm2 [63 ksi]	590 N/mm2 [84 ksi]	27%	70 J a - 30°C	
COMPOSICIÓN QUÍMICA. [VALORES TÍPICOS]					
	%C	%Mn	%Si	%S	
Requerimientos AWS E6010	0,09%	0,44%	0,18%	0,02%	
PROCEDIMIENTOS TÍPICOS DE OPERACIÓN					
Polaridad	Corriente (Amps)				
	2,50 mm	3,25 mm	4,00 mm	5,00 mm	
C.C (+)	50-80	75-120	110-160	140-200	

Figura 50. Norma Técnica electrodo E 6010 (SMAW)  
Tomada de Lincoln Electric, pag.1.

De este modo, se utiliza el electrodo E 6010 para unir dos piezas desde la raíz cumpliendo normas técnicas establecidas ya sean del electrodo o de la maquina eléctrica de esta manera se brinda un cordón de soldadura con calidad, mejorando las propiedades mecánicas del acero.

- **Electrodo E 71T-1**

Está elaborado para soldar aceros de alta resistencia con soldadura por arco con núcleo fundente (FCAW) ya que la norma técnica del electrodo indica que posee bajos niveles de salpicaduras, menor escoria en el cordón y amplios rangos de operación (ver figura 51).

Es utilizada para todo tipo de equipos ya sean maquinaria pesada, construcción naval, tanques de almacenamiento, etc. Su diseño es para otorgar calidad radiográfica, baja salpicadura y cordón visualmente atractivo.

INDURA®		Posición de Soldadura			
Tecnología a su Servicio					
Análisis Típico del metal depositado (% en peso)					
Gas	C	Mn	Si	P	S
CO <sub>2</sub>	0.05	1.37	0.37	0.018	0.005
Propiedades Mecánicas Típicas del Metal Depositado:					
Gas	Esf. Fluencia en 0.2%, MPa	Esf. Máx. de Tracción, MPa	Elongación (L=4d), %	E. Absorbida Ch-v	
CO <sub>2</sub>	493	574	26	80J a -20°C	
Parámetros de Soldadura y Datos					
Diámetro, mm	1.2		1.6		
Int. de Corr., A	140 - 320		200 - 380		
Voltaje, Volts	22 - 35		25 - 36		
Stickout, mm	15 - 25		15 - 25		

*Figura 51. Norma Técnica alambre tubular E 71TI-1 (FCAW)  
Tomada de Indura, pag.1.*

Por consiguiente, el uso de este electrodo es indispensable para el acabo del cordón de soldadura otorgando resistencia mecánica y mejorando sus propiedades del acero, garantizando la unión de piezas en la construcción del tanque atmosférico con capacidad de 36.3 m<sup>3</sup> utilizando normas técnicas del electrodo y la máquina para ofrecer mayor seguridad en el trabajo.

## 5.2. Programa de puntos de inspección

Los programas de puntos de inspección (PPI) son formatos de registro empleados en diversos sectores, comúnmente utilizados en proyectos, obras o actividades y abarca diferentes materias como la calidad, medioambiental seguridad, prevención de riesgos, etc.

El objetivo es realizar un documento legal escrito en donde se enumera las actividades en cada fase a realizarse, es necesario un monitoreo para el área destinada utilizando indicadores en cada fase de la inspección. De este modo, es una herramienta

de comunicación que brinda al inspector una evidencia de un documento confiable para trasladar criterios.

En cambio, los registros de control es el proceso constructivo formando evidencias realizadas por medio de sistema de gestión de calidad. Se realiza las tareas en una fila y las columnas van a la derecha para una correcta ejecución de los puntos de inspección. Se realizaron 13 puntos de inspección para verificar la calidad en la fabricación del tanque atmosférico con capacidad de 36.3 m<sup>3</sup> revestido el interior con neopreno para poder trasladar reactivo recolector terciario (ver tabla 19). Asimismo, se evalúa las posibles fugas en el tanque, como también la manipulación del personal, acabados y discontinuidades en las placas del techo, cuerpo o base del tanque. Como también, la inspección visual en el cordón de soldadura de cada unión que se realizó con soldadura con electrodo revestido (SMAW) para pase a raíz y soldadura por arco con núcleo fundente (FCAW) para acabado final, de este modo optimiza las propiedades mecánicas del acero.

Tabla 19. Plan de puntos inspección

PLAN DE INSPECCIÓN Y ENSAYO										CONTRATO No.:			
PROYECTO:						REVISIÓN No.:				FECHA:			
No.	DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES	REQUERIMIENTOS DE INSPECCIÓN Y/O ENSAYO	CRITERIO DE ACEPTACIÓN	TIPO DE SUPERV.			DOCUMENTOS DE REFERENCIA	FRECUENCIA	RESPONSABLES			REGISTROS DE LA CALIDAD	EQUIPO DE PRUEBA
				IV	RD	OE			QA/QC	ING. RES.	SUP. CAMP.		
1	Revisión de Ingeniería	Revisión de planos de fabricación o planos de taller. Revisión de listas materiales.	-Según Planos de Ingeniería de Detalle aprobado, Criterios de Diseño	X	X		-Planos de construcción -Especificaciones	Cada vez que se requiera la ejecución de los trabajos	A	A	V	Registro de trazo y replanteo topográfico	-
2	Recepción de Materiales	- Revisión documental de suministro.	- Certificado de calidad de los materiales. - Certificados de calidad de consumibles - Certificados de calidad de soldadura - Certificado de calidad de pintura	X	X		Procedimiento de recepción y codificación de Material	Cada vez que se requiera la ejecución de los trabajos	A	A	V	- Registro de Recepción de material - Certificados de calidad	Cinta Métrica, nivel, plomada, escuadra.
3	Habilitado de Estructuras	<ul style="list-style-type: none"> <li>Inspección visual</li> <li>Recepción y habilitado de materiales</li> <li>Dimensión del material, medidas, puntos de concurrencia, perpendicularidad</li> </ul>	-Correcto dimensionamiento de material habilitado -Planos de Fabricación.	X	X		-Procedimiento de Habilitado -NORMA API 650	Cada vez que se requiera la ejecución de los trabajos	A	A	V	Registro de Control en el Habilitado	Cinta Métrica, nivel, plomada, escuadra.
4	Armado del Fondo	<ul style="list-style-type: none"> <li>Inspección visual de armado</li> <li>Control dimensional</li> <li>Control de nivelación</li> <li>Inspección de juntas de soldadura a traslape y a tope</li> </ul>	-Planos de Fabricación -Especificaciones técnicas -API 650 – Sección 5.5	X	X	X	-Planos aprobados de construcción. Norma API 650 -Procedimiento de armado	Cada vez que se requiera la ejecución de los trabajos	E	V	A	Registro de Control Dimensional en Armado	Cinta Métrica, nivel, escuadra.

5	Montaje del Casco y Accesorios	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Armado de anillos: redondez</li> <li>• Inspección de Juntas y uniones a traslape y a tope.</li> <li>• Ubicación de accesorios: entación y Elevación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Medidas de acuerdo Según API 650 sección 5.5</li> <li>- Verticalidad.</li> <li>- Redondez,</li> <li>- Deformación.</li> </ul>	X	X	X	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Planos aprobados de construcción. NORMA API 650</li> <li>- Procedimiento de armado</li> </ul>	Por cada anillo	V	A	A	Registro de Control Dimensional en Armado	Cinta Métrica, Nivel, Escuadra, Vernier, Plomada.
6	Montaje del Techo y Accesorios	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Armado de anillos: redondez</li> <li>• Inspección de Juntas y uniones a traslape y a tope.</li> <li>• Ubicación de accesorios: entación y Elevación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Medidas de acuerdo a planos de construcción Según API 650 sección 5.5</li> </ul>	X	X	X	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Planos aprobados de construcción. NORMA API 650</li> <li>- Procedimiento de armado</li> </ul>	Por cada anillo	V	A	A	Registro de Control Dimensional en Armado	Cinta Métrica, nivel, escuadra, vernier, espejo, galga, linterna
7	Soldadura de paredes.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Calificación del personal, calificación del procedimiento, certificación de los equipos a ser utilizados.</li> <li>• condiciones ambientales (lluvia, viento fuerte, exceso de humedad, polvo),</li> <li>• parámetros de soldadura</li> <li>• Acabados y discontinuidades</li> <li>• Inspección visual de juntas a tope.</li> <li>• Cumplimiento del procedimiento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Especificaciones del proyecto</li> <li>- NORMA: API 650</li> <li>- Resultados de END y Ultrasonido</li> <li>- Código API 650</li> </ul>	X	X	X	<ul style="list-style-type: none"> <li>Planos de construcción</li> <li>NORMA: API 650</li> <li>Procedimiento de soldadura</li> </ul>	<p>Cada vez que se requiera la ejecución de los trabajos.</p> <p>Inspección visual al 100%</p>	A	A	V	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Soldadores Calificados</li> <li>- Registro de Inspección Visual</li> </ul>	Cinta Métrica, nivel, escuadra, vernier, espejo, galga, linterna
8	Inspección por tintes penetrantes	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Calificación del personal</li> <li>• Cumplimiento del procedimiento</li> <li>• Pases de soldadura y juntas de unión a tope, file</li> </ul>	Según API 650 (ítem 8.5) AWS D1.1	X	X	X	<ul style="list-style-type: none"> <li>Especificaciones de planos de fabricación</li> <li>Procedimientos de soldadura. Según API 650 (ítem 8.5)</li> </ul>	Al 100% de las juntas	E	V	A	Registro de aplicación de tintes penetrantes.	Kit de tintes penetrantes
9	Inspección por ultrasonido	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Calificación del personal</li> <li>• Cumplimiento del procedimiento</li> <li>Pases de soldadura y juntas de unión a tope</li> <li>• Revisión del equipo UT</li> </ul>	Según API 650 Sección 6.1	X	X	X	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Planos de Fabricación</li> <li>- Procedimiento de ensayo UT</li> <li>- Norma API 650</li> </ul>	30% de toda la longitud soldada.	E	V	A	Registro de ensayo UT	Equipo UT
10	Prueba de Vacío	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Evaluación y detección de posibles fugas.</li> <li>• Cumplimiento del procedimiento</li> <li>• Inspección en base y casco del tanque</li> </ul>	- Según API 650 Sección 6	X	X	X	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Planos de fabricación</li> <li>- Procedimiento de prueba en vacío.</li> <li>- Norma API 650</li> </ul>	2 pruebas en el casco y base.	E	V	A	Registro de pruebas en vacío	Caja de vacío Espuma

11	Limpieza y Preparación superficial	Personal calificado, equipos de inspección y medición calibrados, certificados de calidad, limpieza, granulometría, perfil de anclaje, humedad relativa, temperatura, dimensiones.	-Especificaciones del proyecto -NORMAS SPC-SP-8 -Certificado de calidad del material.	X	X	X	-Planos de construcción -NORMAS SPC-SP-8 – Granallado comercial -Procedimiento de acabados	Cada vez que se requiera la ejecución de los trabajos	A	A	V	Registro de Preparación Superficial	Cinta Métrica, vernier, medidor de perfil de anclaje, termómetro, hidrómetro.
12	Aplicación de pintura	Personal calificado, equipos de inspección y medición calibrados, certificados de calidad, limpieza, granulometría, perfil de anclaje, humedad relativa, temperatura, dimensiones. Inspección visual	<ul style="list-style-type: none"> <li>SSPC PA2 ASTM 3359</li> <li>Procedimiento de acabados</li> </ul>	X	X	X	SSPC PA2 ASTM 3359 Procedimiento de acabados	Cada vez que se requiera la ejecución de los trabajos	A	A	V	Registro de Aplicación de Pintura Registro de Evaluación de Pintura	Medidor de espesor de pintura en seco
13	Inspección de revestimiento de estructuras	Calibración, certificación, condiciones físicas y funcionamiento del equipo a utilizar, espesor, fisuras, adherencia, quemaduras, ensayo de dureza.	Especificaciones del proyecto Procedimiento de acabados	X	X	X	Planos de construcción Procedimiento de acabados	Cada vez que se requiera la ejecución de los trabajos	A	A	V	Registro de Aplicación de Pintura Registro de Evaluación de Pintura	Medidor de espesor de pintura en seco

		ELABORADO POR						REVISADO POR						APROBADO POR :				
NOMBRE / FIRMA		FECHA:						FECHA:						FECHA:				
TIPOS DE INSPECCIÓN:	IV	INSPECCIÓN VISUAL	RD	Revisión Doc	O	OTRO E	A	APROBAR	N	NOTIFICAR	V	VERIFICAR	M	MONITOREAR	E	EJECUTAR	N/A	NO APLICA

**Nota:** Cada etapa del plan de puntos de inspección se realizó por medio de un registro de calificación para mayor exactitud, tomando en cuenta parámetros y especificaciones realizadas pre y post fabricación del tanque atmosférico con capacidad de almacenar 36.3m3 revestido en su interior con neopreno para poder transportar reactivo recolector terciario.

## CONCLUSIONES

1. Se ha demostrado que la Norma API 650:2020 es una herramienta fundamental para seleccionar el espesor de las planchas, se utilizó espesor de placa para paredes de 6 mm, luego se escogió espesor de placa para el fondo del tanque de 8 mm y por último espesor de placa para el techo de 4.5 mm. Además, se seleccionó como acero estructural de material ferroso ASTM A 36 por su eficacia en la fabricación de tanques atmosféricos. Por lo tanto, resulta adecuado para la fabricación del tanque atmosférico con capacidad de  $36.3 \text{ m}^3$  revestido en el interior con neopreno ofreciendo alta resistencia a temperaturas elevadas, optimizando el tiempo de vida útil y evitando la corrosión prematura.
2. Se determina las consideraciones del diseño del tanque según la norma API 650:2020 como la sección de la altura y diámetro del tanque en posición vertical, contando con 3 anillos calculado por método de un pie. También se unen las piezas metálicas con electrodo E 6010 para el pase a raíz con soldadura manual por arco eléctrico con electrodo revestido (SMAW) y alambre de aporte tubular E 71T-1 para el acabado final del cordón de soldadura con soldadura por arco con núcleo fundente (FCAW), garantizando las propiedades mecánicas, físicas y químicas del acero.
3. Se determinó que el tipo de prueba que se realizará para el control de calidad en el tanque de almacenamiento con capacidad de  $36.3 \text{ m}^3$  es la prueba de ultrasonido dado que permite obtener un registro de calificación tomados en tres puntos de referencia en el material base, emitiendo ondas de alta frecuencia con el fin de encontrar porosidades en el interior del cordón de soldadura y estructura del acero ASTM A 36. En el caso que se encuentre imperfecciones perjudica a la resistencia mecánica del acero.
4. El tanque es capaz de soportar el volumen de  $36.3 \text{ m}^3$  con un factor de seguridad de 18, de acuerdo a los resultados de la simulación de prueba hidrostática, que nos garantizara a mejorar la rigidez, evitar deformaciones y cumplir con los requisitos de control de calidad, según la norma API 650, la norma API 650 no pone ningún requisito en el factor de seguridad del diseño de tanque.

## RECOMENDACIONES

1. Se recomienda emplear la Norma API 650:2020 para diseñar tanques atmosféricos de diferentes capacidades, así, se cumplen parámetros para factores climáticos o geográficos de mayor intensidad.
2. Se recomienda aplicar los cálculos correctivos, porque así, se podrán optimizar las propiedades mecánicas, físicas y químicas de la estructura del acero ferroso A 36.
3. Utilizar el diseño correcto para el tanque atmosférico, esto ofrecerá alta resistencia a temperaturas elevadas optimizando la vida útil del tanque y evitando la corrosión prematura.
4. Se recomienda utilizar el tanque atmosférico con capacidad de 36.3 m<sup>3</sup> en diferentes sectores como metal mecánico, minería, químico industrial.
5. Utilizar electrodos E 6010 para pase a raíz con soldadura manual por arco eléctrico con electrodo revestido (SMAW) y soldadura por arco con núcleo fundente (FCAW) por medio de alambre tubular E71T-1 para el acabado del cordón de soldadura, ya que, es un método que brinda soluciones de fabricación, reparación y mantenimiento.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AMERICA MINING, Su mejor herramienta de negocios en América. [en línea]. 2019, [Fecha de consulta: 10 de setiembre del 2022]. Disponible en: <https://www.rumbominero.com/revista/informes/automatizacion-en-mineria-control-eficiencia-e-integracion-en-operacion>
2. GONZA, V. Diseño y cálculo de un tanque para almacenamiento de petróleo para 3000 bbls. Tesis (Título de Ingeniero Mecánico). Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2014 [Fecha de consulta: 10 de setiembre del 2022]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/3711/1/15T00581.pdf>
3. DAVINIA, D. Diseño y cálculo de un tanque de almacenamiento de un fluido de alta temperatura (Tesis) España: Universidad Politécnica de Madrid, 2018 [Fecha de consulta: 09 de setiembre del 2022]. Disponible en: [https://oa.upm.es/51986/1/TFG\\_DAVINIA\\_GONZALEZ\\_DORTA.pdf](https://oa.upm.es/51986/1/TFG_DAVINIA_GONZALEZ_DORTA.pdf)
4. MARIN, W. Diseño, fabricación y montaje de depósito de agua de 380 m<sup>3</sup> para operación en condiciones ambientales de -7°C para estación de transferencia Pillones Perú Rail. Tesis (Título de Ingeniero Mecánico). Perú: Universidad de San Agustín de Arequipa, 2018, 147 pp. [Fecha de consulta: 10 de setiembre del 2022]. Disponible en: <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/6842/MCmaanw.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
5. SALDAÑA, Y. Diseño de tanques de agua con capacidad hasta 1200m<sup>3</sup> con techo cónico bajo la norma API 650 con Excel y solidworks. Tesis (Título de Ingeniero Mecánico Electricista). Perú: Universidad Cesar Vallejo, 2020 [Fecha de consulta: 09 de setiembre del 2022]. Disponible en: [file:///C:/Users/Usuario/Downloads/Salda%C3%B1a\\_DYE-SD.pdf](file:///C:/Users/Usuario/Downloads/Salda%C3%B1a_DYE-SD.pdf)
6. MANUAL DE MEDICION DE HIDROCARBUROS, PDF COFEE [en línea]. 2007, [Fecha de consulta: 10 de setiembre del 2022]. Disponible en: <https://pdfcoffee.com/norma-api-medicion-estatica-de-tanques-capitulo-3-5-pdf-free.html>
7. MARTINEZ, A. Slideshare [en línea]. 2016, [Fecha de consulta: 10 de setiembre del 2022]. Disponible en: <https://es.slideshare.net/CastoOR1/identifica-y-clasifica-reactivos-quimicos>

8. AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE API, Tanques soldados para almacenamiento de aceite [en línea]. 2020, 13ava, [Fecha de consulta: 10 de setiembre del 2022]. Disponible en: <https://www.yumpu.com/en/document/read/64162102/api-650-2020>
  
9. FUNSAFE, Tanques de almacenamiento [en línea]. 2020, [Fecha de consulta: 10 de setiembre del 2022]. Disponible en: <https://etcfunsafe.com/descargas/STI-NOTAS-DE-ESTUDIO-PRUEBA-1.pdf>
  
10. SOLDEXA, Conceptos generales de soldadura y procesos [en línea]. 1999, [Fecha de consulta: 10 de setiembre del 2022]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/339017095/Concepto-Generales-de-Soldadura-y-Procesos>
  
11. PARRALES, J. Prevención de incendios en tanques de almacenamiento de petróleo crudo. Tesis (Título de Ingeniero de Petróleo). México: Universidad Nacional Autónoma de México, 2011 [Fecha de consulta: 10 de setiembre del 2022]. Disponible en: <https://es.slideshare.net/anoniimooo/tesis-sobre-clase-de-tanques-de-almacenamiento>
  
12. VALENCIA, J. Ficha técnica neopreno [en línea]. 2022, [Fecha de consulta: 10 de setiembre del 2022]. Disponible en: <https://repository.eia.edu.co/flip/index.jsp?pdf=/bitstream/handle/11190/4476/11.%20Juan%20Valencia.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
  
13. ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD, Acetato de isobutilo [en línea]. 2003, [Fecha de consulta: 09 de setiembre del 2022]. Disponible en: [https://www.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p\\_lang=es&p\\_card\\_id=0494&p\\_version=2](https://www.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p_lang=es&p_card_id=0494&p_version=2)
  
14. GARCIA, S. *Organización y gestión integral de mantenimiento*. [en línea]. Díaz de santos, 2003 [Fecha de consulta: 09 de setiembre del 2022]. Disponible en: [https://www.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p\\_lang=es&p\\_card\\_id=0494&p\\_version=2](https://www.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p_lang=es&p_card_id=0494&p_version=2)
  
15. SANCHEZ, A. Fundamentos del diseño. [en línea]. 1995, [Fecha de consulta: 10 de setiembre del 2022]. Disponible en: [https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/44834281/fundamentos\\_-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1662324831&Signature=bZe2hYZpLADTQaI7viIVb~0OV0Ldr0jAUOeeEUJUXgLfPjr~0vkbQehhpXns5D7Fba2KOJjRUA-nUNAH4Y3EyH278AEztXtJJoovF55sEax3iZtwOrmxLMTC-8IRgcMox9OCOi27Mrr9sM](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/44834281/fundamentos_-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1662324831&Signature=bZe2hYZpLADTQaI7viIVb~0OV0Ldr0jAUOeeEUJUXgLfPjr~0vkbQehhpXns5D7Fba2KOJjRUA-nUNAH4Y3EyH278AEztXtJJoovF55sEax3iZtwOrmxLMTC-8IRgcMox9OCOi27Mrr9sM)

16. WESTREICHER, G. Economipedia. [en línea]. 2021, [Fecha de consulta: 10 de setiembre del 2022]. Disponible en: <https://economipedia.com/definiciones/calculo.html>
17. HIDRONOR, Gestión y tratamiento de residuos. [en línea]. 2017, [Fecha de consulta: 10 de setiembre del 2022]. Disponible en: <https://www.hidronor.cl/las-sustancias-corrosivas/>
18. GRUPO EPM, Normas y especificaciones técnicas. [en línea]. 2013, [Fecha de consulta: 10 de setiembre del 2022]. Disponible en: <https://www.epm.com.co/site/proveedoresycontratistas/proveedores-y-contratistas/normas-tecnicas/normas-t%C3%A9cnicas>
19. ENCICLOPEDIA VIRTUAL DE INGENIERIA MECANICA, Mecapedia. [en línea]. 2014, [Fecha de consulta: 10 de setiembre del 2022]. Disponible en: [http://www.mecapedia.uji.es/resistencia\\_mecanica.htm](http://www.mecapedia.uji.es/resistencia_mecanica.htm)
20. SLIDEPLAYER, Medición estática balance de volúmenes. [en línea]. 2022, [Fecha de consulta: 03 de octubre del 2022]. Disponible en: <https://slideplayer.es/slide/17986778/>
21. SANCHEZ, J. Tanques de almacenamiento. [en línea]. 2018, [Fecha de consulta: 03 de octubre del 2022]. Disponible en: [https://es.slideshare.net/JoseGregorioFajardo/tanques-de-almacenamiento-jesus-sanchez?next\\_slideshow=117563260](https://es.slideshare.net/JoseGregorioFajardo/tanques-de-almacenamiento-jesus-sanchez?next_slideshow=117563260)
22. SANCHEZ, F. Diseño y construcción de un robot para inspección visual de tubería operado remotamente para la empresa FSB recubrimientos industriales. [en línea]. SF, [Fecha de consulta: 03 de octubre del 2022]. Disponible en: <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/9590/3/AC-MCT-ESPE-048539.pdf>
23. ALVAREZ, A. Método para el diseño conceptual mecánico en la trazabilidad de los requerimientos funcionales. [en línea]. 2022, [Fecha de consulta: 03 de octubre del 2022]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/figure/Figura-31-Proceso-de-evaluacion-de-conceptos-a-partir-de-la-trazabilidad-de-los\\_fig5\\_312489625](https://www.researchgate.net/figure/Figura-31-Proceso-de-evaluacion-de-conceptos-a-partir-de-la-trazabilidad-de-los_fig5_312489625)
24. CARHUALLANQUI et al., Caracterización del Tarwi y diseño de un prototipo de desamargador para la reducción de alcaloides. [en línea]. Vol.1 No. 1, [Fecha de consulta: 03 de octubre del 2022]. Disponible en: [file:///C:/Users/Usuario/Downloads/admin,+Art07-CARACTERIZACI%C3%93N+DEL+TARWI+\(Lupinus+mutabilis\)%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Usuario/Downloads/admin,+Art07-CARACTERIZACI%C3%93N+DEL+TARWI+(Lupinus+mutabilis)%20(1).pdf)

25. JHUSBEL, F, PACCORI, R, Diseño y fabricación de una maquina evisceradora de truchas para mejorar la producción en la provincia de Huancayo. Tesis (Título de Ingeniero Mecánico). Perú: Universidad Continental, 2020, 268 pp. [Fecha de consulta: 03 de octubre del 2022]. Disponible en: <https://drive.google.com/drive/u/0/folders/1B3e8ZyIqeGxzuQrWa9MqFAh4Eb1sLYLk>
26. CABEZAS, R, NUÑEZ, W, Diseño y simulación de un tanque de techo fijo para almacenar petróleo de 3.000bls de capacidad en la plataforma del pozo sachá 192, ubicada en la provincia de Orellana. Tesis (Título de Ingeniero Mecánico). Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana, 2011 [Fecha de consulta: 03 de octubre del 2022]. Disponible en: <https://es.slideshare.net/FrancoCerdenlago/diseo-de-tanque-metalico>
27. CONOVO, Tanques atmosféricos Ecotaos. [en línea]. 2022, [Fecha de consulta: 03 de octubre del 2022]. Disponible en: <https://www.econovo.com.ar/portfolio-view/2815-2/>
28. TECPIPE, Revestimiento en HDPE. [en línea]. 2022, [Fecha de consulta: 03 de octubre del 2022]. Disponible en: <https://www.tecpipe.com/revestimiento-en-hdpe>
29. SLIDE TO DOC, Tipos de soldadura. [en línea]. 2022, [Fecha de consulta: 03 de octubre del 2022]. Disponible en: <https://slidetodoc.com/soldaduras-a-tope-se-utilizan-fundamentalmente-para-unir/>
30. TEMAS PARA LA EDUCACION. Tipos de uniones soldadas. [en línea]. 2010, No.6, Federación de enseñanza de CC.OO de Andalucía, [Fecha de consulta: 03 de octubre del 2022]. Disponible en: <https://www.feandalucia.ccoo.es/docu/p5sd6731.pdf>
31. INGLESA. Diseño y cálculo de tanques de almacenamiento. [en línea]. 2022, No. 1, [Fecha de consulta: 03 de octubre del 2022]. Disponible en: <https://www.fnmt.es/documents/10179/10666378/Dise%C3%B1o+y+c%C3%A1lculo+de+tanques+de+almacenamiento.pdf/cf73a420-13f2-248f-034a-d413cb8a3924>
32. LINCOLN ELECTRIC, Electrodo revestido E 6010. [en línea]. 2022, [Fecha de consulta: 03 de octubre del 2022]. Disponible en: [file:///C:/Users/Usuario/Downloads/E6010\\_es-co.pdf](file:///C:/Users/Usuario/Downloads/E6010_es-co.pdf)
33. INDURA, Alambre tubular con protección gaseosa externa para aceros al carbono E 71T-1. [en línea]. 2022, [Fecha de consulta: 03 de octubre del 2022]. Disponible en: <file:///C:/Users/Usuario/Downloads/e71t1.pdf>

## **ANEXOS**

## Anexo 1

### Electrodo E 6010

ELECTRODO REVESTIDO (SMAW)																										
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <h2 style="color: #c00000; margin: 0;">E 6010</h2> <p style="margin: 0;">Acero Dulce, Celulósico · AWS E6010</p> </div> <div style="width: 50%;"></div> </div>																										
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 48%;"> <h4 style="color: #c00000; margin: 0;">CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES</h4> <ul style="list-style-type: none"> <li>Revestimiento celulósico que genera alta energía en el arco.</li> <li>Sus depósitos están libres de poros e inclusiones de escoria, lo cual proporciona seguridad en la inspección radiográfica.</li> <li>Presenta arco estable con moderada densidad de salpicaduras, de fácil encendido y reencendido.</li> </ul> </div> <div style="width: 48%;"> <h4 style="color: #c00000; margin: 0;">APLICACIONES TÍPICAS</h4> <ul style="list-style-type: none"> <li>Adecuado para los cordones de raíz en estructuras, tanques, soldaduras de planchas pesadas y láminas gruesas.</li> <li>Tipos de tuberías tales como API 5LX Gr. X42, X46, X52, X56, y ASTM: A53 Gr. A, B; A105; A106 Gr. A, B; A134; A 135 Gr. A, ; A 139 Gr. A, B, C y D.</li> <li>Combinando pase de raíz con GRICON 29 más relleno con GRICON 15.</li> </ul> </div> </div>																										
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 48%;"> <h4 style="color: #c00000; margin: 0;">POSICIONES DE SOLDADURA</h4> <p style="margin: 0;">Todas.</p> </div> <div style="width: 48%;"> <h4 style="color: #c00000; margin: 0;">NORMAS</h4> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="border: none;">AWS A5.1:</td> <td style="border: none; text-align: right;">E6010</td> </tr> <tr> <td style="border: none;">ASME SFA 5.1:</td> <td style="border: none; text-align: right;">E6010</td> </tr> </table> </div> </div>					AWS A5.1:	E6010	ASME SFA 5.1:	E6010																		
AWS A5.1:	E6010																									
ASME SFA 5.1:	E6010																									
<h4 style="color: #c00000; margin: 0;">DIÁMETROS / EMPAQUE</h4> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr style="background-color: #cccccc;"> <th colspan="2" style="text-align: left;">Diámetro</th> <th rowspan="2">Longitud (mm)</th> <th rowspan="2">Caja Auto Armable 5 kg. Caja Master 20 kg.</th> </tr> <tr style="background-color: #cccccc;"> <th>(mm)</th> <th>(pulg)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2,50</td> <td>3/32</td> <td>350</td> <td>E6010-33220</td> </tr> <tr> <td>3,25</td> <td>1/8</td> <td>350</td> <td>E6010-180020</td> </tr> <tr> <td>4,00</td> <td>5/32</td> <td>350</td> <td>E6010-53220</td> </tr> <tr> <td>5,00</td> <td>3/16</td> <td>350</td> <td>E6010-31620</td> </tr> </tbody> </table>					Diámetro		Longitud (mm)	Caja Auto Armable 5 kg. Caja Master 20 kg.	(mm)	(pulg)	2,50	3/32	350	E6010-33220	3,25	1/8	350	E6010-180020	4,00	5/32	350	E6010-53220	5,00	3/16	350	E6010-31620
Diámetro		Longitud (mm)	Caja Auto Armable 5 kg. Caja Master 20 kg.																							
(mm)	(pulg)																									
2,50	3/32	350	E6010-33220																							
3,25	1/8	350	E6010-180020																							
4,00	5/32	350	E6010-53220																							
5,00	3/16	350	E6010-31620																							
<h4 style="color: #c00000; margin: 0;">PROPIEDADES MECÁNICAS. (VALORES TÍPICOS)</h4> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr style="background-color: #cccccc;"> <th></th> <th>Esfuerzo de Fluencia</th> <th>Resistencia a la Tracción</th> <th>Alargamiento</th> <th>Impacto</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: left;">Requerimientos AWS E6010</td> <td>455 N/mm2 (63 ksi)</td> <td>590 N/mm2 (84 ksi)</td> <td>27%</td> <td>70 J a - 30°C</td> </tr> </tbody> </table>						Esfuerzo de Fluencia	Resistencia a la Tracción	Alargamiento	Impacto	Requerimientos AWS E6010	455 N/mm2 (63 ksi)	590 N/mm2 (84 ksi)	27%	70 J a - 30°C												
	Esfuerzo de Fluencia	Resistencia a la Tracción	Alargamiento	Impacto																						
Requerimientos AWS E6010	455 N/mm2 (63 ksi)	590 N/mm2 (84 ksi)	27%	70 J a - 30°C																						
<h4 style="color: #c00000; margin: 0;">COMPOSICIÓN QUÍMICA. (VALORES TÍPICOS)</h4> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr style="background-color: #cccccc;"> <th></th> <th>%C</th> <th>%Mn</th> <th>%Si</th> <th>%S</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: left;">Requerimientos AWS E6010</td> <td>0,09%</td> <td>0,44%</td> <td>0,18%</td> <td>0,02%</td> </tr> </tbody> </table>						%C	%Mn	%Si	%S	Requerimientos AWS E6010	0,09%	0,44%	0,18%	0,02%												
	%C	%Mn	%Si	%S																						
Requerimientos AWS E6010	0,09%	0,44%	0,18%	0,02%																						
<h4 style="color: #c00000; margin: 0;">PROCEDIMIENTOS TÍPICOS DE OPERACIÓN</h4> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr style="background-color: #cccccc;"> <th rowspan="2">Polaridad</th> <th colspan="4">Corriente (Amps)</th> </tr> <tr style="background-color: #cccccc;"> <th>2,50 mm</th> <th>3,25 mm</th> <th>4,00 mm</th> <th>5,00 mm</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: left;">C.C (+)</td> <td>50-80</td> <td>75-120</td> <td>110-160</td> <td>140-200</td> </tr> </tbody> </table>					Polaridad	Corriente (Amps)				2,50 mm	3,25 mm	4,00 mm	5,00 mm	C.C (+)	50-80	75-120	110-160	140-200								
Polaridad	Corriente (Amps)																									
	2,50 mm	3,25 mm	4,00 mm	5,00 mm																						
C.C (+)	50-80	75-120	110-160	140-200																						

*Tomada de Norma Técnica, 2022, Lincoln Electric*

## Anexo 2

### Alambre Tubular E 71T-1

Clasificación:					
<b>ASME IIC SFA 5.20 /AWS A5.20</b> <b>E 71T-1C / E 491T-1C</b>					
Características y Campos de usos:					
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Está diseñado para soldar aceros de alta resistencia.</li> <li>- Posee un amplio rango de parámetros de operación, bajos niveles de salpicaduras y fácil remoción de escoria, lo que permite minimizar la operación de limpieza después de soldar.</li> <li>- Están diseñados para simple o multi pasada. Se caracterizan por alta velocidad de deposición, calidad radiográfica, baja pérdida por salpicadura y cordón plano a levemente convexo.</li> <li>- Extremadamente versátil para una gran variedad de aplicaciones, tales como equipos para movimiento de tierra, maquinaria pesada, construcción naval, estanques de almacenamiento, puentes y fabricación en general de aceros estructurales.</li> </ul>					
Análisis Típico del metal depositado (% en peso)					
Gas	C	Mn	Si	P	S
CO <sub>2</sub>	0.05	1.37	0.37	0.018	0.005
Propiedades Mecánicas Típicas del Metal Depositado:					
Gas	Esf. Fluencia en 0.2%, MPa	Esf. Máx. de Tracción, MPa	Elongación (L=4d), %	E. Absorbida Ch-v	
CO <sub>2</sub>	493	574	26	80J a -20°C	
Parámetros de Soldadura y Datos					
Diámetro, mm	1.2		1.6		
Int.. de Corr., A	140 - 320		200 - 380		
Voltaje, Volts	22 - 35		25 - 36		
Stickout, mm	15 - 25		15 - 25		
Posición de Soldadura					CCEP

*Tomada de Norma Técnica, 2022, Indura.*

## Anexo 3

### Plano tanque de almacenamiento

