

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA



TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

“DISEÑO DE UN TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE SULFHIDRATO DE SODIO (NAHS) PARA MEJORAR LA DISPONIBILIDAD DEL REACTIVO QUIMICO EN UNA OPERACIÓN MINERA”

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

ELABORADO POR:

MARCO ANTONIO CHAN CARDOSO

ID [0009-0005-7620-5904](#)

ASESOR

Dr. MANUEL VILLAVICENCIO CHAVEZ

ID [0000-0003-0142-7930](#)

**LIMA – PERÚ
2023**

RESUMEN

Este trabajo de investigación está orientado a diseñar un tanque de almacenamiento para NaHS al 42%, reactivo químico que se utiliza en el proceso de flotación de Molibdeno en plantas de procesamiento de minerales.

El NaHS es transportado mediante cisternas desde las localidades de almacenamiento alejadas de las operaciones mineras, y luego almacenado en un tanque para su posterior utilización. El reactivo se extrae desde el tanque de almacenamiento y se mezcla con agua, para obtener la concentración de trabajo que es de 30%.

La problemática planteada se enfoca en la falta de disponibilidad de este reactivo químico, que se constituye como un recurso limitante para realizar la producción. Las interrupciones de suministros debido a conflictos sociales influyen negativamente en la disponibilidad de este recurso. Por ello, el trabajo de investigación desarrolla la propuesta de diseñar un nuevo tanque con mayor capacidad de almacenamiento para mejorar la disponibilidad del insumo.

Para realizar el diseño de los componentes del tanque, esta investigación se basó en los fundamentos de cálculo desarrollados en la norma API 650, y complementado con el análisis de diversas alternativas de materiales y formatos disponibles localmente. Además, se ha tomado en cuenta el estándar NACE Standard MR0103-2012 para identificar las restricciones referidas a los efectos corrosivos sobre el acero de los compuestos basados en sulfuros de hidrogeno, principalmente el agrietamiento por corrosión bajo tensión (Stress Corrosion

Cracking o SCC). Finalmente, se verificó los resultados mediante la utilización de software de simulación por elementos finitos.

Palabras clave: Diseño, Tanque, almacenamiento de reactivos, sulfhidrato de sodio, disponibilidad, corrosión.

ABSTRACT

This research aims to design a storage tank for 42% NaHS, a chemical reagent used in the Molybdenum flotation process for mineral processing plants.

NaHS is transported by cisterns from remote storage locations far away from mining operations, and then stored in a tank for later use. From the storage tank, the reagent is extracted and mixed with water, to obtain 30% working concentration.

The problem raised focuses on the lack of availability of this chemical reagent, which constitutes a limiting resource for production. Supply interruptions due to social conflicts have negative influence on the availability of this reagent. For this reason, we developed the proposal to design a new tank with higher storage capacity to improve the availability of NaHS.

To carry out the design of the tank components, this research is based on the calculation fundamentals developed in the API 650 standard, and complemented with the analysis of alternative materials and sizes available in local market. In addition, from NACE Standard MR0103-2012 this research identifies the restrictions related to the corrosive effects on steel of compounds based on hydrogen sulfides, mainly stress corrosion cracking (Stress Corrosion Cracking or SCC). Then the results were verified by using finite element simulation software.

Keywords: Design, Tank, reagent storage, sodium hydrosulfide, availability, corrosion.

ÍNDICE

RESUMEN	ii
ABSTRACT	iv
PRÓLOGO	ix
ÍNDICE	v
CAPÍTULO I	1
1.1 Generalidades	1
1.2 Descripción del problema de investigación	2
1.3 Objetivo del estudio	5
1.3.1 Objetivo general	5
1.4 Antecedentes investigativos	5
1.4.1 Investigaciones internacionales	5
1.4.2 Investigaciones nacionales	7
CAPÍTULO II	10
2.1. Marco teórico	10
2.1.1. Tanques de almacenamiento	10
2.1.2. Fuerzas sobre superficies sumergidas	10
2.1.3. Esfuerzos de los materiales	11
2.1.4. Corrosión del acero	12
2.1.5. Método de 1 pie.	12
2.1.6. Techos cónicos auto soportados.	13
2.2. Marco conceptual	13
CAPÍTULO III	15
3.1. Hipótesis general	15
3.2. Operacionalización de Variables	15
3.2.1. Variable independiente: Diseño del Tanque de almacenamiento de NaHS	15
3.2.2. Variable dependiente: Disponibilidad de NaHS	15
CAPÍTULO IV	16
4.1. Tipo y diseño de la investigación	16
4.1.1. Tipo de investigación	16
4.1.2. Diseño de la investigación	17
4.2. Unidad de análisis	17
4.3. Matriz de consistencia	19

CAPÍTULO V	20
5.1. Datos recolectados	20
5.2. Procesamiento de la información.....	22
5.2.1. Materiales.....	22
5.2.2. Calculo del espesor de los anillos del cuerpo.....	24
5.2.3. Espesor del fondo.....	26
5.2.4. Placa anular del fondo.....	26
5.2.5. Anillos rigidizadores del cuerpo.....	27
5.2.6. Diseño del techo.....	29
5.2.7. Verificación de estabilidad al volcamiento por viento.....	31
5.2.8. Diseño sismico.....	36
5.2.9. Tubería de Rebose 8".....	50
5.2.10. Válvula de venteo 10".....	51
5.2.11. Válvula de venteo 3" hacia la cisterna de suministro.....	52
5.2.12. Válvula rompedora de Vacío	53
5.2.13. Diseño de las boquillas.....	53
CAPÍTULO VI.....	61
6.1. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	61
6.2. VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS	69
CONCLUSIONES.....	71
RECOMENDACIONES	72
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	74
ANEXOS	77

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 4.1 Ubicación Geográfica de la Compañía Minera Las Bambas	18
Figura 5.1 Cargas de Viento y Momentos de Volteo	35
Figura 5.2 Dimensiones para el diseño de silletas	46
Figura 5.3 Esquema de Tubería de Rebose	50
Figura 5.4 Distancias de las Conexiones relativas a las soldaduras	53
Figura 5.5 Dimensiones para el diseño de Manhole ubicado en el casco....	54
Figura 5.6 Detalles de Boquillas hasta 2"	57
Figura 5.7 Detalles de Boquillas mayores a 3"	57
Figura 5.8 Detalles de Boquillas Bridadas instaladas en techo	59
Figura 6.1 Resultados de tensiones sobre el modelo del casco.....	63
Figura 6.2 Resultados Von Mises – Condición de Casco Corroído.....	64
Figura 6.3 Esfuerzos máximos en el Techo	68
Figura 6.4 Esfuerzos máximos en el Techo condición Metal Corroído.....	69

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1 Operacionalizacion de Variables	15
Tabla 4.1 Matriz de Consistencia	19
Tabla 5.1 Espesores mínimos según el diámetro del tanque	25
Tabla 5.2 Grupos de Clasificación de Aceros.....	27
Tabla 5.3 Distancias recomendadas para ubicación de boquillas	54
Tabla 5.4 Diámetros del Circulo eje de Pernos D_b y Tapa D_c Manhole.....	55
Tabla 5.5 Espesor de la Tapa y espesor de la Brida de Manhole	55
Tabla 5.6 Espesor Mínimo del cuello para Manhole Lateral.....	56
Tabla 5.7 Dimensiones para boquillas ubicadas en el casco	58
Tabla 5.8 Espesor pared de boquillas, Diámetro de agujero y soldadura para boquillas ubicadas en el casco	58
Tabla 5.9 Dimensiones de bridas para boquillas ubicadas en el casco	58
Tabla 5.10 dimensiones para boquillas ubicadas en el techo	59
Tabla 5.11 Dimensiones para Manhole ubicado en el techo.....	60
Tabla 6.1 Resumen de espesores del casco.....	61
Tabla 6.2 Formulación del modelo de análisis del casco	62
Tabla 6.3 Reacciones sobre el fondo del tanque	62
Tabla 6.4 Detalles de la Carga hidrostática.....	63
Tabla 6.5 Información del modelo – Techo cónico	66
Tabla 6.6 Propiedades del Material del techo	66
Tabla 6.7 Sujeciones – Reacciones en techo cónico	67
Tabla 6.8 Cargas sobre el Techo	67

PRÓLOGO

El presente trabajo tiene como propósito mejorar la disponibilidad de este reactivo químico mediante el diseño de un nuevo tanque de almacenamiento para NaHS, que permitirá. Esta investigación consta de los siguientes capítulos:

En el capítulo 1, se plantea la situación problemática, mediante la descripción de situaciones que limitan la disponibilidad de materiales para las operaciones mineras, y la importancia de la utilización del NaHS en el proceso productivo. Se plantea el objetivo de la investigación, y se detallan antecedentes investigativos referentes a diseños de tanques de almacenamiento en diversos ámbitos como por ejemplo para agua y combustibles.

En el capítulo 2, se desarrolla el marco teórico y conceptual en el cual se incluyen los conceptos teóricos sobre los tanques de almacenamiento, los fenómenos relacionados a los esfuerzos relacionados a la presión hidrostática, los conceptos sobre esfuerzos en los materiales y la corrosión del acero, y las definiciones particulares consideradas en este trabajo.

En el capítulo 3, se plantea la hipótesis general, la cual será verificada en el capítulo 6, y se desarrolla la operacionalización de variables dependiente (disponibilidad del NaHS) y la variable independiente, diseño del tanque de almacenamiento. Se plantean asimismo los respectivos indicadores.

En el capítulo 4, se establece el tipo y diseño de la investigación, tomando en cuenta las características epistemológicas del trabajo. Se describe detalladamente la unidad de análisis la cual es una planta de procesamiento del sector minero, y se elabora la matriz de consistencia.

En el capítulo 5 se realiza el desarrollo de los cálculos para diseñar el tanque y sus componentes, utilizando la información consolidada en los anexos, que incluyen las condiciones de diseño, del fluido, los materiales, y normas técnicas.

En el capítulo 6 se efectuó el análisis y discusión de los resultados, y la contrastación de la hipótesis de la investigación.

Finalmente se desarrollan las conclusiones, recomendaciones, y se incluyen las referencias bibliográficas con sus respectivos anexos.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Generalidades

La disponibilidad de NaHS en una operación minera, es de suma importancia, pero hay contingencias que limitan la disponibilidad para las necesidades diarias del insumo, sobre todo ante otros eventos como bloqueo de accesos en las rutas utilizadas para trasladar insumos.

En el diseño original de un proyecto no se considera la magnitud de estas contingencias y la real necesidad futura de la operación. Esta situación, es el fundamento para la propuesta para mejorar la disponibilidad de NaHS mediante el diseño de un nuevo tanque de almacenamiento, sujeto a diversos conceptos teóricos y tecnológicos relacionados a la forma como se genera esfuerzos en la estructura de este tipo de depósitos, principalmente debido a la fuerza hidrostática que el fluido almacenado produce sobre las superficies internas a lo largo de la vida útil del tanque.

En un entorno industrial, es importante además considerar la influencia de fenómenos externos como el viento, la carga generada por posibles precipitaciones de nieve, y sobre todo el efecto de un evento sísmico, cuyos efectos en el caso del Perú son muy relevantes debido a las características telúricas del país. Todos estos fenómenos combinados al ser incluidos en los parámetros de diseño, permitirán que el tanque trabaje con un nivel de seguridad adecuado previniendo fallas estructurales que dañarían el equipo y cuyas consecuencias generarían daños ambientales y económicos importantes. Un aspecto que también se debe tener en cuenta, está relacionado a las

características corrosivas del fluido almacenado, y a lo que sucede durante la carga y descarga del fluido almacenado. Durante estas operaciones, se producen cambios en la presión interna del tanque que deben ser minimizados mediante un diseño adecuado de los sistemas de venteo, considerando además que el líquido que se almacena genera vapores de gas sulfhídrico, que es inflamable y peligroso.

Con todos estos factores en consideración se pretende obtener un diseño que asegure la confiabilidad estructural del tanque, con un adecuado factor de seguridad. Una vez efectuado los cálculos, se ha realizado la verificación de los resultados mediante software de elementos finitos, que ha permitido confirmar la determinación de los espesores de planchas de acero obtenidos de los cálculos, y elegidos finalmente base a los espesores comercialmente disponibles.

1.2 Descripción del problema de investigación

En el proceso de flotación selectiva de minerales, la disponibilidad de NaHS limita la producción, porque es el reactivo químico predominante para este proceso según Paye, J. (2018), produciendo partículas hidrofóbicas de sulfuro de Molibdeno que se adherirán a las burbujas durante la flotación, y partículas hidrofílicas de sulfuro de cobre que se decantarán, logrando separar ambos minerales. En la industria minera, con el objeto de mejorar el contenido de molibdeno en el concentrado producto de la separación, se emplea un exceso de este reactivo, lo cual incrementa aún más esta limitación.

Según Salcedo, R (2019) los reactivos alternativos que se emplean para este proceso tales como el Anamol-D un tipo de reactivo que es un derivado de arsénico y sulfuro de sodio, o el Cianuro de Sodio (NaCN) son menos eficientes, más costosos y peligrosos por lo que el NaHS se ha constituido como la opción más utilizada en el procesamiento de la molibdenita asociada a la producción de concentrados de Cobre. El estudio concluye que, mediante la utilización de este reactivo, se recupera 7.7% más de Molibdeno en comparación con las otras opciones, y recomienda realizar estudios para mejorar estos resultados reemplazando el aire utilizado para la formación de burbujas por Nitrógeno.

Este reactivo químico indispensable en el procesamiento del Cobre se consume en una proporción de 5kg por tonelada de mineral, lo cual implica un 20,04% del costo del proceso de flotación como lo indica Venegas, N. (2018), y un alto impacto en el costo de producción. Además, factores como el tamaño de las partículas, concentración de sólidos y el PH de la solución concentrada influyen en la ineficiencia de este proceso. Por ejemplo, un aumento de 6% en el contenido de granos finos en el material procesado incrementa el consumo de NaHS en 37%. Además, concluye que no utilizar Nitrógeno en complemento con el aire para realizar la flotación incrementa el consumo de NaHS en 5%.

El NaHS, se traslada en cisternas con capacidad de 23 metros cúbicos (Rosas, M., 2019) a través de la red vial nacional y privada, hacia los tanques de almacenamiento de las unidades mineras. La estructura de las cisternas mal diseñadas causa derrames que afectan el medioambiente y consecuentes pérdidas económicas por las penalidades que implican los contratos de suministro. Su investigación, concluye que un depósito de almacenamiento para

este reactivo construido con Acero inoxidable AISI 304 es efectivamente resistente a la corrosión.

Los conflictos sociales alrededor de las zonas mineras, particularmente el bloqueo de carreteras, realizado por los pobladores de la zona de influencia que utilizan esta forma de presión para la solución de sus problemas (Ponce, S y Viza, N., 2022) constituye una amenaza para el abastecimiento de insumos y reactivos y se contrapone a los planes de aumento de producción. Estas acciones se han intensificado y consecuentemente incrementado las pérdidas económicas a la operación minera. Aunque un sector de la población ubicada en la zona de influencia se ha beneficiado económicamente, otro sector se enfrenta a la actividad minera por su perspectiva de posibles daños ambientales, afectación de la disponibilidad de agua, y desconfianza en las autoridades del estado.

Según Flores, D., Holgino, H., Oropeza, P. y Rojas, M. (2020), entre los meses de abril y junio de 2019, la producción de Cobre de una unidad minera del sur del Perú, se redujo 17% respecto al trimestre anterior, debido al bloqueo de carreteras con la consecuente falta de suministros para la producción. Esta situación se ha repetido frecuentemente, llegándose a paralizar inclusive la operación minera de manera temporal, imposibilitando cumplir los planes de producción con impactos relevantes en los resultados del PBI nacional.

En base a las situaciones descritas anteriormente, se plantea la siguiente interrogante:

¿De qué manera los bloqueos de vías de acceso por conflictos sociales limitan la disponibilidad del reactivo NaHS?

1.3 Objetivo del estudio

1.3.1 Objetivo general

Diseñar un tanque de almacenamiento para NaHS basado en la norma API 650, que permitirá mejorar la disponibilidad del reactivo químico.

1.4 Antecedentes investigativos

1.4.1 Investigaciones internacionales

Checa, A. (2015), en su tesis "Ingeniería conceptual, básica y de detalle de un sistema de almacenamiento de agua de 790m³ según la norma API650 para el control de incendios en la planta de gas ubicada en bajo Alto-Machala para la empresa MATRYMEC/FHINGESERV", realizada en Ecuador, diseña un tanque de almacenamiento para Agua de 9.6 m de diámetro, y 10.96 m de altura, con techo cónico, tomando en cuenta los requerimientos del cliente, disponibilidad en el mercado local de materiales, cuyo cuerpo consta de 8 anillos fabricados con acero A36 de 6mm de espesor, techo cónico con estructura de soporte. El diseño basado en la norma API 650, concluye que el espesor del primer anillo tiene un factor de seguridad de 3.39 respecto al esfuerzo de fluencia del material, y el peso del tanque será es de 30 toneladas, con un costo de materia prima de US \$32,000.

Ferrando, P (2017), en su trabajo de investigación "Diseño, cálculo y construcción de un depósito industrial de chapa de acero para fluidos. (Derivados

del petróleo)” realizada en España, desarrolla el diseño de un depósito para almacenar Diésel, basado en la norma API 650. Los resultados obtenidos para un tanque de 19.3 metros de diámetro y 12 metros de altura, consisten en un cuerpo de 6 anillos, cuyo espesor mayor es de 9 mm y el espesor menor es de 6mm, sin anillo rigidizador. El techo con estructura de soporte, de 10 mm de espesor, y el piso de 8 mm con anillo perimetral. El acero considerado para el diseño es S-275 JR, resultando un peso de 76.74 Toneladas, y un costo de materia prima de 57,555 Euros.

Gonzalez, D., (2018) en su trabajo de investigación “Diseño y cálculo de un tanque de almacenamiento de un fluido de alta temperatura” desarrollado en Madrid, España diseña un tanque para almacenamiento de un fluido no volátil de transmisión térmica, cuya densidad relativa es de 1.8. El diámetro del depósito es de 45 metros, la altura de 17.6 metros, y el techo tipo casquete esférico. Para los cálculos se toma como base la norma API 650, y el material considerado para el análisis es el acero inoxidable AISI 347H. Los resultados obtenidos son un cuerpo de 6 anillos, el primer anillo de 41.64 mm, y el anillo superior de 7.93 milímetros de espesor. No requiere anillos rigidizadores intermedios y el techo tipo casquete resultante es de 13 mm de espesor. El análisis de las cargas de viento y sísmicas concluye que el tanque requiere anclajes mecánicos.

Sachidananda, H.K. et al (2018), en su trabajo de investigación “Design, analysis and fabrication of firewater storage tank”, realizado en Dubai, Emiratos Árabes Unidos, se enfocan en el diseño, fabricación y análisis de un tanque para almacenamiento de agua contra incendios, con el fin de asegurar la integridad estructural del tanque, en cumplimiento con las normas industriales y regulatorias. Para el desarrollo se consideró acero al carbono A36, y las dimensiones son 12.5 metros de diámetro, y 12 metros de altura, con techo cónico auto soportado. Los resultados fueron verificados con análisis computacional, y concluyeron que el diseño basado en el estándar utilizado cumple con los esfuerzos permisibles del acero. Los espesores de los anillos del cuerpo son entre 8 y 6 mm de espesor,

1.4.2 Investigaciones nacionales

Concha, F. (2018) en su trabajo de investigación “Diseño, fabricación y montaje de tanque de almacenamiento de diésel de 200,000 galones de capacidad, basado en la norma Api 650, para la unidad minera Toquepala, departamento de Tacna”, realizada en Lambayeque, elabora el diseño de un tanque de 35 pies de diámetro, 32 pies de altura. Los resultados del estudio determinan que el espesor del primer anillo debe ser 7.94 mm, con techo cónico soportado estructuralmente. El peso resultante del tanque es de 29,791.27 kg, y el costo de materiales, fabricación y montaje es \$269,884.92.

Quispe, N. y Aguilar, A. (2019), en su trabajo de investigación "*Diseño de un tanque de almacenamiento de petróleo de 10 000 galones según norma API 650 y su análisis empleando un programa CAD/CAE*", realizada en Lima, diseña un tanque para almacenamiento de combustible, de 3 m de diámetro, 5.4 m de altura; el estudio determina un diseño que considera el espesor del cuerpo en planchas de acero A131 de 6mm, y techo cónico auto soportado. Los resultados de los cálculos fueron finalmente verificados mediante software de elementos finitos, comprobando los resultados para el espesor del primer anillo con un factor de seguridad de 10.53 respecto al esfuerzo de diseño del acero.

Pejerrey, G (2019) en su tesis "Diseño y Cálculo de un Tanque de Almacenamiento Atmosférico de 60,000 Barriles para Almacenaje de Gasolina de 90 Octanos en la Selva" realizada en Lima, Perú, diseña un tanque de 30 metros de diámetro, 16.8 metros de altura con techo flotante. El cálculo está basado en la norma API 650, y los resultados obtenidos son un casco de 7 anillos, de 16 mm de espesor el primer anillo, y de 6 mm el último. El fondo con anillo perimetral de 8 mm de espesor, y de acuerdo al análisis de las cargas resultantes por efecto del viento, este tanque no requiere rigidizadores. El techo flotante diseñado es de tipo pontón, con un espesor de 5mm. El acero seleccionado para el cálculo es el acero estructural ASTM A36. Por la combinación de cargas de viento y sismo, la estabilidad del tanque diseñado ante la posibilidad de volteo se ha verificado que no requiere anclajes. El costo estimado de materiales es de S/. 763,372.61.

Saldaña, Y. (2020) en su tesis "Diseño de tanques de agua con capacidad hasta 1200 m³ con techo cónico bajo norma API 650 con Excel y SolidWorks" realizada en Trujillo, Perú. Desarrolla un método de diseño para tanques entre 12 y 1200 metros cúbicos empleando algoritmos desarrollados en hojas de cálculo Excel en base a la norma API 650. Para comprobar los resultados de los algoritmos, aplicó los datos para tanques con techo cónico auto soportado de 12, 600 y 1200 metros cúbicos. Este trabajo está orientado a desarrollar una herramienta de calculo que automatiza el desarrollo de memorias de cálculo que sustentan el diseño de tanques.

CAPÍTULO II

MARCOS TEÓRICO Y CONCEPTUAL

2.1. Marco teórico

2.1.1. Tanques de almacenamiento.

León, J. (1994) *“Diseño y Cálculo de tanques de almacenamiento”*

Este libro desarrolla todas las etapas de diseño y Cálculo de tanques, y define los tanques de almacenamiento como depósitos cilíndricos, los cuales se utilizan para almacenar fluidos, usualmente a presión atmosférica. Los tanques son horizontales o Verticales. Los horizontales son adecuados para volúmenes menores. Por el contrario, los verticales, son más adecuados para grandes cantidades, tienen el fondo plano y son descubiertos sin techo, o tienen un techo flotante, o techo fijo. Este techo cuenta con estructura de soporte, o es auto soportante. En la mayoría de los países, el diseño está basado en normas publicadas por el Instituto Americano de petróleo (API), y para su construcción se utilizan planchas de acero al carbono.

2.1.2. Fuerzas sobre superficies sumergidas.

De las Heras, S. (2012). *“Mecánica de fluidos en ingeniería”*

La fuerza ejercida por un líquido, sobre el área de un determinado cuerpo sumergido es perpendicular a la misma, y está directamente relacionada a la altura de la superficie libre de dicho líquido, por lo que ésta aumenta con la profundidad. La presión atmosférica sobre el líquido no tiene efectos sobre la fuerza mencionada, porque ésta actúa sobre ambos lados de la superficie anulándose simétricamente.

Esta fuerza se calcula mediante la ecuación 2.1:

$$F_i = \int_{S_i} \rho g (H - z) dS_i \quad \text{Ecuación. 2.1}$$

Fuente: De las Heras, S (2012). "Mecánica de fluidos en ingeniería"

En esta fórmula, la altura H es la máxima altura del líquido sobre la altura z en la cual se evalúa la fuerza. Cuando se calcula esta fuerza en el fondo de una superficie como la de un tanque, $z=0$

2.1.3. Esfuerzos de los materiales.

Pytel, A. y Singer, F. (2008) "*Resistencia de Materiales*"

La relación entre el esfuerzo y la deformación de un material es rectilíneamente proporcional hasta cierto límite más allá del cual se pierde esta proporcionalidad. Este punto es de suma importancia para el diseño, porque para los cálculos, éste es el máximo esfuerzo del material. Más allá de este límite de elasticidad el material ya no recuperará su forma inicial una vez que se deja de aplicar una carga. Inmediatamente sobrepasado este límite, un material característico como el acero al carbono, sufrirá un alargamiento importante, determinándose de este modo el esfuerzo de fluencia. Superando este valor, se determina el esfuerzo límite de ruptura del material antes de romperse. En cualquier diseño, el esfuerzo de trabajo debe ser menor al esfuerzo admisible, el cual tiene que ser inferior al límite elástico, con un factor de seguridad adecuado.

2.1.4. Corrosión del acero.

Roberge, P. (2000) *"Handbook of Corrosion Engineering"*

Los aceros al carbono, que son los materiales utilizados en la fabricación de tanques, aunque se eligen considerando propiedades mecánicas como resistencia mecánica, facilidad para su procesamiento, y costo, éstos se corroen, y su resistencia a la corrosión debe ser considerada. El acero tiene una buena resistencia a los fluidos alcalinos, pero son susceptibles al fenómeno conocido como agrietamiento por corrosión bajo tensión en casos que estén inmersos en nitratos, hidróxidos, y sulfuros de hidrogeno.

2.1.5. Método de 1 pie.

León, J. (1994) *"Diseño y Calculo de tanques de almacenamiento"*.

Para calcular el espesor de la pared del cuerpo de un tanque, cuyo diámetro es menos de 60.96 metros, es aplicable el método de 1 pie. Este método considera que el máximo esfuerzo en un anillo, se produce a una altura de 0.3048 m. medida desde el fondo del mismo. En unidades correspondientes al sistema internacional, el espesor calculado mediante este modo, para un determinado anillo se determina mediante la ecuación 2.2:

$$td = \frac{0.0005D(H - 30.48)G}{Sd} + C \quad \text{Ecuación 2.2}$$

Fuente: León, S. (1994). "Diseño y Calculo de tanques de almacenamiento"

2.1.6. Techos cónicos auto soportados.

León, J. (1994) *“Diseño y Calculo de tanques de almacenamiento”*.

Los techos cónicos auto soportados se definen como aquellos cuyo diseño se aproxima a la superficie de un cono recto, soportado únicamente en su perímetro base. Para utilizar este tipo de techo, el diámetro del tanque debe ser inferior a 40 pies. El ángulo del cono, debe ser mayor a 9.5 grados, y menor a 37 grados, respecto a una superficie horizontal. El espesor mínimo de este cono, es de 4.76 mm, pero debe ser menor a 13 mm. Se calcula mediante la ecuación 2.3

$$T_i = \frac{D}{4800 \text{Sen} \theta} \quad \text{Ecuación 2.3}$$

Fuente: León, S. (1994). “Diseño y Calculo de tanques de almacenamiento”

2.2. Marco conceptual

Tanque: Depósito cilíndrico de eje vertical, construido con planchas de Acero, con una superficie de fondo plano y techo cónico también construidos con el mismo material. Las planchas de acero, conformadas para cada una de las secciones mencionadas, se unen mediante procesos de soldadura adecuados que aseguran la integridad estructural del depósito.

Diseño: Determinación de los espesores, materiales, dimensiones y características de los materiales, conexiones y uniones soldadas del tanque.

Soldadura: Procedimiento tecnológico utilizado para la unión de plancha de acero mediante electro fusión de un material de aporte y las zonas adyacentes para lo cual estas uniones se preparan adecuadamente siguiendo normas y prácticas técnicamente apropiadas.

Cuerpo: Conjunto metálico cilíndrico, el cual constituye la pared vertical del depósito. Este cuerpo consta además por varios anillos de eje vertical, colocados uno sobre otro, fabricados con planchas de acero conformados mediante un proceso de rolado para darle la forma, unidos mediante soldadura.

Piso: Superficie conformada por planchas de acero unidas mediante soldadura, que se ubica horizontalmente sobre la cual se erige el cuerpo.

Techo: Conjunto conformado por planchas de acero, conformadas de forma cónica, y ubicada sobre el cuerpo.

Boquillas: Conexión que consiste en una tubería de acero, que traspasa la pared del cuerpo desde el interior del tanque hacia el exterior, en cuyo extremo lleva una brida soldada para conectar una línea externa de tubería.

Silletas: Conjunto conformado por placas de acero soldadas entre si y unidas al cuerpo y perímetro del fondo del tanque, a través del cual los pernos de anclaje sujetan el tanque a la cimentación.

Manhole: Compuerta de acceso al tanque, que permite el ingreso de operarios de mantenimiento e inspección. Puede estar ubicada en el cuerpo en zona adyacente al fondo, y/o en el techo del tanque

CAPÍTULO III

HIPÓTESIS Y OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

3.1. Hipótesis general

El diseño de un nuevo tanque de almacenamiento para NaHS mejorará la disponibilidad del reactivo químico.

3.2. Operacionalización de Variables

3.2.1. Variable independiente: Diseño del Tanque de almacenamiento de NaHS

3.2.2. Variable dependiente: Disponibilidad de NaHS

Tabla 3.1 Operacionalización de Variables

VARIABLES	INDICADORES:
Variable Independiente: Diseño del Tanque de almacenamiento de NaHS	Numero de anillos del cuerpo (N) Espesor de los anillos del Cuerpo (mm) Espesor del piso (mm) Espesor del techo (mm) Dimensiones del anillo de refuerzo (mm) Peso del tanque (Kg)
Variable Dependiente: Disponibilidad de NaHS	Volumen de almacenamiento (m ³)

Fuente: Elaboración Propia

CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

4.1. Tipo y diseño de la investigación

4.1.1. Tipo de investigación

La presente investigación es de enfoque cuantitativo, lo cual se define analizando desde el punto de vista epistemológico que cumple los 5 criterios siguientes:

Desde el punto de vista de la percepción de la realidad es objetiva al buscar obtener resultados cuantificados de espesores, dimensiones, cantidades de las partes metálicas que conforman el tanque de almacenamiento.

Desde el punto de vista del razonamiento, es deductivo porque la hipótesis se contrastó analizando variables, condiciones de diseño relacionadas a la teoría empleada.

Desde el punto de vista de la finalidad de la investigación, ésta ha explorado la hipótesis en base a los resultados que se obtuvieron de forma particular al problema de investigación.

La investigación está orientada al resultado, el cual se analizó para comprobar la hipótesis.

Desde la perspectiva del investigador, el trabajo se realizó empleando los datos desde afuera, ya que la realidad se observó de manera externa.

El alcance de la presente investigación es de tipo correlacional, porque la investigación examinó la relación matemática y física entre las variables utilizando los datos para el diseño del tanque.

4.1.2. Diseño de la investigación

El diseño es no experimental, porque la investigación se realizó sin manipular las variables. En el caso de la variable independiente los datos utilizados han sido tomados en un único momento.

4.2. Unidad de análisis

La presente investigación utilizó como unidad de Análisis el Tanque de almacenamiento para NaHS para la compañía minera Las Bambas, ubicada en el departamento de Apurímac. Las Bambas produce concentrado de cobre y molibdeno. Como parte del proceso de producción de concentrado de Molibdeno se utiliza NaHS como reactivo principal para la depresión de cobre.

La planta de procesamiento está localizada a una altura de 4,300 metros sobre el nivel del mar, y la temperatura fluctúa entre $-9.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $22.0\text{ }^{\circ}\text{C}$, con una temperatura promedio en verano de $16.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $11.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ en invierno. En la figura 4.1 se muestra la ubicación geográfica de Las Bambas



Figura 4.1 Ubicación Geográfica de la Compañía Minera Las Bambas

Fuente: Barra, J (2017) "influencia de los factores de riesgo que provocan accidentes de trabajo, aplicación de la seguridad basada en el Comportamiento y evaluación de resultados Empresa Bouby S.A.C. Unidad Minera Las Bambas"

4.3. Matriz de consistencia

Título: “Diseño de un tanque de almacenamiento de sulfhidrato de sodio (NaHS) para mejorar la disponibilidad del reactivo químico una operación minera”

Tabla 4.1 Matriz de Consistencia

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES		INDICADORES	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCION DE DATOS
			DEPENDIENTE	INDEPENDIENTE		
¿De qué manera los bloqueos de vías de acceso por conflictos sociales limitan la disponibilidad del reactivo NaHS?	Diseñar un tanque de almacenamiento para NaHS basado en la norma API 650, que permitirá mejorar la disponibilidad del reactivo químico.	El diseño de un nuevo tanque de almacenamiento para NaHS mejorará la disponibilidad de este reactivo químico	Disponibilidad del reactivo NaHS	Diseño del tanque de almacenamiento de NaHS	Numero de anillos del cuerpo (N) Espesor de los anillos del Cuerpo (mm) Espesor del piso (mm) Espesor del techo (mm) Dimensiones del anillo de refuerzo (mm) Peso del tanque (Kg)	Tabla de datos del fluido NaHS. Tabla de datos condiciones de diseño. Tabla de datos de Conexiones requeridas. Especificaciones técnicas. Estándares del Proyecto Normas de diseño

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO V

DESARROLLO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

5.1. Datos recolectados

Para obtener los datos, se utilizaron los formatos incluidos en los anexos No.1, No.2 y No.3.

El Anexo No.1, contiene la información sobre las características del fluido almacenado. Durante el desarrollo del trabajo de investigación, se determinó que, para realizar los cálculos relacionados al venteo del tanque, se necesitaba contar con información sobre los flujos de carga y descarga del NaHS. Asimismo, el volumen actual de almacenamiento, y el consumo diario para verificar disponibilidad de NaHS según la capacidad de almacenamiento actual, por lo que el Anexo No. 01 fue ampliado para incluir estos datos.

El Anexo No.02, contiene los datos con las condiciones de diseño que son datos necesarios para efectuar los cálculos que determinaron los espesores del cuerpo, fondo y techo, así como los anillos rigidizadores y el anclaje del tanque. El siguiente es un resumen de los datos recolectados:

- Fluido almacenado: sulfhidrato de sodio – NaHS
- Temperatura del fluido: 28 grados centígrados
- Densidad: 1287 kg/m³
- PH: 11.5
- Flujo llenado NaHS : 40m³/hr
- Flujo de descarga NaHS : 10m³/hr

Condiciones iniciales de diseño datos recopilados en Anexo No. 2

- Diámetro: 9.0 m.
- Altura: 11.0 m.
- Tipo de techo: Cónico
- Altura de llenado: 10.5 m.
- Tolerancia por corrosión para cuerpo: 6 mm
- Tolerancia por corrosión para fondo: 6 mm
- Tolerancia por corrosión para techo: 3 mm
- Presión de diseño: Atmosférica (644 mbar en la zona de trabajo)
- Altura de los anillos: 2.4 m
- Numero de anillos: 5
- Coeficiente de presión viento dirección barlovento: 0.7
- Coeficiente de presión vertical: 0.7
- Periodo corto de aceleración espectral 0.2s (S_s): 1.16 %g
- Periodo largo de aceleración espectral 1.0s (S₁): 0.37 %g
- Tipo de suelo: S2
- Velocidad del viento: 97 km/hr
- Carga de nieve: 40 kg/m²
- Carga viva: : 1.0 KPa
- Conexiones requeridas, venteos, escaleras y plataformas de acceso y barandas (Anexo No3).

5.2. Procesamiento de la información

Para desarrollar el diseño del tanque, el trabajo se basa en el estándar API 650 para el cálculo de espesores del Cuerpo, fondo y techo.

Para la elección del material a utilizar, debido a las características del fluido que se almacenara en el tanque, la investigación se ha basado en la norma NACE MR103-2012 desarrollada por National Association of Corrosion Engineers (NACE), que establece los requerimientos de los materiales resistentes al stress cracking en contacto con líquidos basados en sulfuros de hidrogeno.

El diseño de las silletas para el anclaje del tanque, se diseñan en base a las fórmulas y especificaciones del manual del American Institute for Steel Construction (AISC) “Steel Plate Engineering Data” Volumen 1 – “Steel Tanks for liquid storage”

Para dimensionar las conexiones de venteo, el trabajo utiliza la norma API 2000 que establece los requerimientos de venteo para tanques atmosféricos.

Para dimensionar la tubería de rebose, se ha utilizado los conceptos de hidráulica relacionados al caudal que fluye por un vertedero circular.

5.2.1. Materiales.

Las recomendaciones de la Norma API 650 propone alternativas para la elección de los materiales para los componentes del tanque.

En el caso de materiales especificados con norma ASTM:

a) ASTM A36M/A36 para planchas con un espesor máximo 40 mm.

b) ASTM A131M/A131, Grado A, para planchas máximo 13 mm de espesor; Grado B para planchas de espesor menor a 25mm, y grado EH36 para planchas con un espesor máximo de 45 mm. Placas insertos y bridas no mayores de 50 mm.

c) ASTM A283M/A283, Grado C, para planchas con 25 mm de espesor máximo.

Para el caso de aceros suministrados con norma ISO:

a) Grade S275 calidades C y D menores de 40 mm de espesor.

b) Grade S355 calidades C y D con espesor menos de 45 mm, insertos no mayores de 50 mm.

Para la elección de los materiales, el estándar API 650 no define los criterios que permiten determinar el material adecuado para un depósito de almacenamiento de un fluido con las características del NaHS, por lo que nos el estudio se orienta a las recomendaciones desde el enfoque de la corrosión, sobre todo el SCC.

Para ello, las referencias de la norma NACE MR103-2012 establece las limitaciones para seleccionar aceros con el objeto de prevenir el SCC en el caso de aceros al carbono, la dureza máxima del material considerado en el diseño no excederá 200-235 HBW. El acero ASTM A36 cumple con esta restricción y existe disponibilidad de éste material en el mercado local.

5.2.2. Cálculo del espesor de los anillos del cuerpo.

Para realizar el diseño, tomando como base las fórmulas para el cálculo del espesor mínimo para las condiciones de diseño, y para la condición de prueba hidrostática.

Espesor mínimo requerido por condición de diseño

$$t_d = \frac{4.9D(H-0.3)G}{S_d} + CA \quad \text{Ecuación 5.1}$$

Espesor mínimo requerido por prueba hidrostática

$$t_d = \frac{4.9D(H-0.3)}{S_t} \quad \text{Ecuación 5.2}$$

Donde:

td: Espesor de pared de diseño (mm)

tt: Espesor de pared para prueba hidrostática (mm)

D: Diámetro nominal del tanque (m)

H: Nivel de líquido de diseño (m)

G: Gravedad específica del líquido en el tanque

Sd: Esfuerzo permisible de diseño (Mpa)

St: Esfuerzo permisible para prueba hidrostática (Mpa)

CA: Descuento por corrosión en el cuerpo del tanque.

Además, la norma API 650 establece valores para el espesor mínimo de las planchas que se utilizaran para fabricar el casco, según la tabla 5.1:

Tabla 5.1 Espesores mínimos según el diámetro del tanque

Diámetro nominal del Tanque(m)	Espesor nominal de la plancha (mm)
$D < 6$	5
$6 \leq D < 36$	6
$36 \leq D < 60$	8
$D > 60$	10

Fuente: American Petroleum Institute. Norma API 650

El material considerado para el diseño es el Acero Estructural A-36.

Esfuerzo permisible de diseño $S_d = 160$ Mpa

Esfuerzo permisible prueba hidrostática $S_t = 171$ MPa

Aplicando los datos de diseño en las ecuaciones 5.1 y 5.2

PRIMER ANILLO

Espesor de diseño (incluida corrosión) $t_d = 9.8$ mm

Espesor de prueba hidrostática $t_t = 2.76$ mm

Espesor seleccionado $t = 10.0$ mm

SEGUNDO ANILLO

Espesor de diseño (incluida corrosión) $t_d = 8.94$ mm

Espesor de prueba hidrostática $t_t = 2.14$ mm

Espesor seleccionado $t = 9.00$ mm

TERCER ANILLO

Espesor de diseño (incluida corrosión) $t_d = 8.09$ mm

Espesor de prueba hidrostática $t_t = 1.52$ mm

Espesor seleccionado $t = 9.00$ mm

CUARTO ANILLO

Espesor de diseño (incluida corrosión) $t_d = 7.24$ mm

Espesor de prueba hidrostática $t_t = 0.9$ mm

Espesor seleccionado $t = 8.00$ mm

QUINTO ANILLO

Espesor de diseño (incluida corrosión)	$t_d = 6.39$	mm
Espesor de prueba hidrostática	$t_t = 0.28$	mm
Espesor seleccionado	$t = 8$	mm

5.2.3. Espesor del fondo.

Para el diseño del fondo, se considerado las condiciones planteadas para el montaje del tanque sobre un suelo compactado de hormigón. En base a las recomendaciones de la norma API 650 (párrafo 5.4.1) el espesor de las planchas del fondo debe ser mayores o iguales a 6mm. Esta recomendación es pertinente, para prevenir deformaciones de las planchas durante la soldadura. A este espesor se añadirá la tolerancia por corrosión.

$$\text{Espesor del fondo} = 6 + 6 = 12\text{mm.}$$

El diámetro exterior del fondo, basándonos en las recomendaciones de la norma API 650, se dimensiona de tal manera que el fondo se proyecte por lo menos 50 mm al exterior del cuerpo. En el caso del presente diseño, el diámetro exterior del primer anillo es $9000 + 20 = 9020$. Con un diámetro exterior de 9146 mm del fondo, éste se proyecta 63 mm, con lo cual se cumple con la recomendación de la norma.

5.2.4. Placa anular del fondo.

El requerimiento para incluir una placa anular en el fondo del tanque, sobre la cual se apoyará y soldará el cuerpo del tanque, se define mediante la verificación de las condiciones de diseño, y las características mecánicas del acero que se utilizará.

Según las recomendaciones de la norma API 650, se debe utilizar una placa anular, en los casos en que el primer anillo del cuerpo se diseña considerando los esfuerzos permisibles para los materiales clasificados en los grupos IV, IVA, V o VI de la tabla 5.2:

Tabla 5.2 Grupos de Clasificación de Aceros

Grupo IV	Grupo IVA	Grupo V	Grupo VI
A573-65	A662 C	A573-70	A131 EH36
A573-70	A573-70	A516-65	A633 C
A516-65		A516-70	A633 D
A516-70			A537 Clase 1
A662 B			A537 Clase 2
			A737B
			A841Grado A1
			A841Grado B2

Fuente: American Institute Petroleum. Norma API 650 (2018)

En el presente diseño, el material considerado es el acero A36, cuyo esfuerzo permisible es menor que los materiales listados en la tabla 5.2.

Por este motivo, no es requerido el empleo de una placa anular de fondo.

5.2.5. Anillos rigidizadores del cuerpo.

- **Anillo rigidizador superior**

El anillo rigidizador superior del cuerpo considerando las cargas de viento se diseñan mediante la ecuación 5.3, consignada en el párrafo 5.9.5.3 de la norma API 650:

$$Z = D^2 * \frac{H}{17} * \left(\frac{V}{190} \right)^2 \quad \text{Ecuación 5.3}$$

En la cual:

Z es el módulo de sección mínimo para el anillo rigidizador.

D es el diámetro nominal del tanque, en cualquier caso, que sea menor 61m.

H es la altura del cuerpo del tanque en metros.

V es la velocidad del viento según las condiciones de diseño en Km/h

En el caso del presente diseño, el resultado de la ecuacion 5.3 es el siguiente:

$$Z= 18.52 \text{ cm}^3$$

Perfil seleccionado L 5" x 5" x 5/16" : Z= 3.65 pulg³ = 59.81 cm³ (Anexo No10)

- **Anillos rigidizadores Intermedios**

Para diseñar los anillos rigidizadores intermedios, se determina primero cual es la máxima altura del cuerpo sin refuerzos, de acuerdo a la siguiente ecuación consignada en el parrafo 5.9.6.1 de la norma API 650.

$$H_1 = 9.47 * t \sqrt{\frac{t^3}{D}} * \left(\frac{190}{V}\right)^2 \quad \text{Ecuacion 5.4}$$

En ésta ecuación:

H₁ es la maxima altura del casco sin refuerzos en metros

t es el espesor nominal del anillo mas delgado del cuerpo en milímetros

D es el diametro nominal del tanque en metros

V es la velocidad del viento según las condiciones de diseño en Km/h

Aplicando los datos, el resultado de la ecuacion 5.4 es H₁ = 138 m.

Por lo tanto, no se requieren anillos rigidizadores intermedios.

5.2.6. Diseño del techo.

Para diseñar el techo, de las condiciones de diseño se define como un techo cónico autosoportado, el trabajo hace el análisis para determinar el espesor de las planchas de acero que lo conformarán. Previamente se ha verificado si las características dimensionales del tanque permiten la utilización de este tipo de techo. Conforme a lo indicado por León, J (1994), este tipo de techo no requiere estructura adicional de soporte, y se apoya en el perímetro del anillo rigidizador, siempre que el diámetro del tanque sea inferior a 18.288 metros, aunque recomienda que no supere los 12.192 metros. Además, requiere que la pendiente de éste tenga un ángulo menor a 37° , pero mayor a 9.5° . En el caso del presente diseño, el ángulo es de 14° . Por lo tanto, el presente diseño para un diámetro del tanque de 9 metros cumple el requerimiento.

A continuación, se realiza el cálculo del espesor de las planchas para conformar el techo. Para este fin, la norma API 650 define en el párrafo 5.10.5.1 que el espesor mínimo debe ser el mayor valor entre los resultados de las siguientes ecuaciones:

$$e = \frac{2 \times 1000 D}{\sin \theta} x \sqrt{B / 1000 x E} + CA \quad \text{Ecuación 5.5}$$

$$e = \frac{2 \times 1000 D}{\sin \theta} x \sqrt{U / 1.33 \times 1000 x E} + CA \quad \text{Ecuación 5.6}$$

En estas ecuaciones:

e es el espesor mínimo

D es el diámetro nominal del tanque en metros

B es el resultado de la combinación de carga de mayor exigencia con carga de nieve balanceada en kPa

U es el resultado de la combinación de carga de mayor exigencia con carga de nieve desbalanceada en kPa

θ es el ángulo del techo cónico respecto a la horizontal en grados

CA es la corrosión permitida

Para definir B y U , se requieren analizar las combinaciones de carga.

$$B_1 = D_L + L_R + F_{pe} P_e \quad \text{Ecuación 5.7}$$

$$B_2 = D_L + S_B + F_{pe} P_e \quad \text{Ecuación 5.8}$$

$$B_3 = D_L + P_e + 0.4 S_b \quad \text{Ecuación 5.9}$$

$$U_1 = D_L + S_u + F_{pe} P_e \quad \text{Ecuación 5.10}$$

$$U_2 = D_L + P_e + 0.4 L_R \quad \text{Ecuación 5.11}$$

$$U_3 = D_L + P_e + 0.4 S_u \quad \text{Ecuación 5.12}$$

P_e : Presión externa de diseño en kPa

D_L : Carga muerta en kPa

L_R : Carga viga sobre el techo en kPa

F_{pe} : Factor de combinación de la presión externa, que es la relación entre la presión normal externa de operación y la presión externa de diseño.

S_b : Carga de nieve balanceada de diseño en kPa

S_u : Carga de nieve desbalanceada de diseño en kPa

Aplicando los datos de las condiciones de diseño, aplicando las ecuaciones 5.7, 5.8, 5.9, 5.10, 5.11 y 5.12 se obtienen los valores máximos para cada caso:

B_1	:	2.00	kPa
B_2	:	1.50	kPa
B_3	:	1.4	kPa
U_1	:	1.55	kPa
U_2	:	1.35	kPa
U_3	:	1.29	kPa

Aplicando la ecuaciones 5.5 y 5.6

Espesor mínimo B	t_B	:	10.26	mm
Espesor mínimo U	t_U	:	9.39	mm
Espesor considerado	t_{min}	:	10.26	mm
Espesor comercial seleccionado	t	:	12.00	mm

5.2.7. Verificación de estabilidad al volcamiento por viento.

Para verificar la estabilidad del tanque respecto al volcamiento por efectos del viento, se utiliza la siguiente información recopilada en el anexo 2:

Coeficiente de presión dirección barlovento/horizontal	C_{ph} :	0.7
Coeficiente de presión de cierre/vertical	C_{pv} :	0.7
Coeficiente de ráfaga	:	1,7
Velocidad del viento a 10 m de altura	V :	97 km/h
Velocidad del viento a la altura h	V_h :	101,19 km/h

Presión del viento en dirección horizontal P_{ws}

La presión horizontal se calcula mediante la ecuación 5.13

$$P_{ws} = 0.86 (V/190)^2 \quad \text{Ecuación 5.13}$$

$$P_{ws} = 0,24 \text{ kPa}$$

Presión del viento en dirección vertical P_{WR}

La Presión vertical se calcula mediante la ecuación 5.14

$$P_{WR} = 1.44(V/190)^2 \quad \text{Ecuación 5.14}$$

$$P_{WR} = 0.41 \text{ kPa}$$

Factor de presiones combinadas F_p .

En base a la norma API 650, párrafo 5.2.2, el valor mínimo es 0.4

$$F_p = 0,4$$

Momento de volteo debido a la presión interna M_{pi}

Este valor se calcula mediante la Ecuación 5.15

$$M_{pi} = P_i \times \text{Area lateral} \quad (\text{Ecuación 5.15})$$

En el caso del presente diseño, la presión interna es cero.

$$M_{pi} : \quad 0,0E+00 \quad \text{N x m}$$

Momento de volteo producido por el viento M_w

Este momento se calcula considerando la combinación de fuerzas horizontales y verticales debido a las presiones del viento.

$$M_w = M_{wh} + M_{wv} \quad \text{Ecuación 5.16}$$

El momento horizontal M_{wh} se calcula mediante la ecuación 5.17

$$M_{wh} = P_{wh} \times (D \times H) \times H/2 \quad \text{Ecuación 5.17}$$

$$M_{wh} = 1.33E+05 \text{ Nm}$$

El momento vertical M_{wv} se calcula mediante la ecuacion 5.18

$$M_{wv} = P_{wv} \times (3.14D^2/4) \times D/2 \quad \text{Ecuacion 5.18}$$

$$M_{wv} = 1.17E^{+05} \text{ Nm}$$

Aplicando la Ecuacion 5.16

$$M_w = 2.50E^{+05} \text{ Nm}$$

Momento de volteo producido por el peso del cuerpo M_{DL}

Se calcula mediante la ecuacion 5.19

$$M_{DL} = 9.81W_{sh} \times D/2 \quad \text{Ecuacion 5.19}$$

W_{sh} : Peso del cuerpo incluido anillo rigidizador

Aplicando la ecuacion 5.19

$$M_{DL} = 9.75E^{+05} \text{ Nm}$$

Momento de volteo producido por el fluido M_f

Se calcula mediante la ecuacion 5.20

$$M_f = W_w \times D/2 \quad \text{Ecuacion 5.20}$$

W_w es el peso del liquido, que se calcula mediante la ecuacion 5.21

$$W_w = W_L \times 3.1416 \times D \quad \text{Ecuacion 5.21}$$

W_L es el peso de liquido por unidad de longitud distribuida en el perimetro del cuerpo, considerando una gravedad especifica de 0.7 y a la mitad de la altura del liquido. Se calcula mediante la ecuacion 5.22

$$W_L = 59 \times t_f \times \sqrt{(F_{by} * \frac{H_w}{2})} \quad \text{Ecuacion 5.22}$$

En esta ecuacion t_f es el espesor del fondo, F_{by} es el limite elástico del fondo y H_w es la altura del liquido.

Aplicando las ecuaciones 5.20, 5.21 y 5.22 resulta:

$$M_f = 2.31E^{+06} \text{ Nm}$$

Momento de volteo producido por el techo M_{DLR}

Esta magnitud relacionada a peso nominal del techo se calcula mediante la ecuacion 5.23

$$M_{DLR} = 9.81 \times W_{\text{techo}} \times D/2 \quad \text{Ecuacion 5.23}$$

$$M_{DLR} = 2.77E^{+05} \text{ Nm}$$

Momento de volteo producido por el viento en direccion horizontal M_{ws}

Se calcula mediante la ecuacion 5.24

$$M_{ws} = 1000P_{ws} \times (D \times H) \times H/2 \quad \text{Ecuacion 5.24}$$

$$M_{ws} = 1.33E^{+05} \text{ Nm}$$

Considerando la figura 5.1, un tanque con techo autosoportado que no requiere anclaje debe cumplir con todos los siguientes requerimientos:

$$0.6 M_w + M_{Pi} < M_{DL}/1.5 + M_{DLR} \quad \text{Ecuacion 5.25}$$

$$M_w + F_p (M_{Pi}) < (M_{DL} + M_F)/2 + M_{DLR} \quad \text{Ecuacion 5.26}$$

$$M_{ws} + F_p(M_{Pi}) < M_{DL}/1.5 + M_{DLR} \quad \text{Ecuacion 5.27}$$

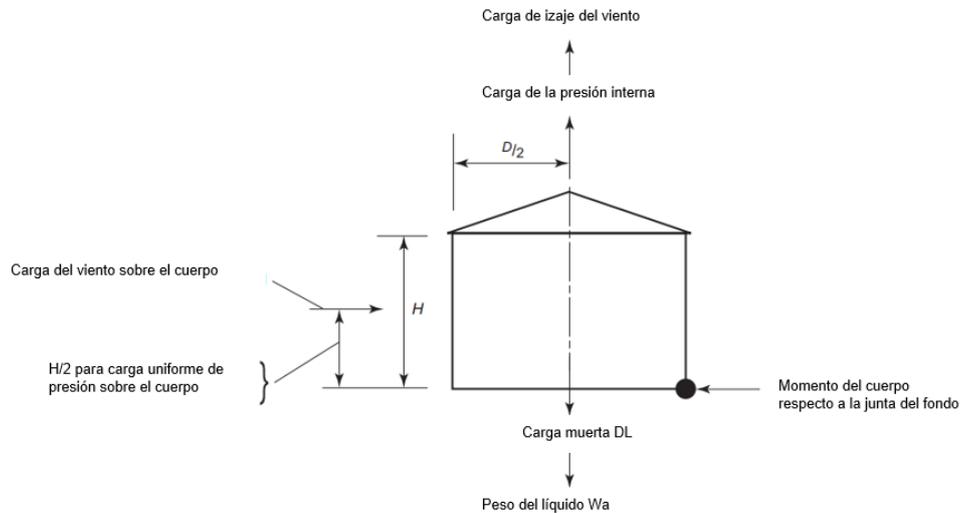


Figura 5.1 Cargas de Viento y Momentos de Volteo
Fuente: American Institute of Petroleum. Norma API 650 (2018)

F_P es el factor de combinacion de presion

M_{PI} es el momento del cuerpo respecto al fondo debido a la presion interna

M_W es el momento de volcado debido a presiones horizontales mas las presiones verticales del viento.

M_{DL} es el momento sobre el cuerpo debido al peso nominal del casco, y el techo, soportado por el cuerpo que no esta fijada a la placa del techo

M_F es el momento debido al peso del liquido

M_{DLR} es el momento debido al peso nominal del techo mas cualquier elemento estructural fijado al mismo.

M_{WS} es el momento de volcado debido a la presion horizontal del viento.

Aplicando los criterios para analizar la estabilidad al volcamiento debido al viento:

$$1.50E^{+05} < 9.27E^{+05} \dots\dots \text{Ecuacion 5.25:}$$

$$2.5E^{+05} < 1.92E^{+06} \dots\dots \text{Ecuacion 5.26}$$

$$1.3E^{+05} < 9.27E^{+05} \dots\dots \text{Ecuacion 5.27:}$$

Se ha verificado que el tanque cumple con los tres requisitos de estabilidad al volcamiento por viento.

En base a estos resultados, se concluye que no es necesario que el tanque sea anclado por la acción del viento.

5.2.8. Diseño sísmico

El análisis del tanque en base a sismo, se realiza siguiendo los criterios especificados en el apéndice E del estándar API 650

Parámetros de Diseño.

De los datos obtenidos en el Anexo No. 2

Diametro del tanque (D)	:	9	m
Maximo nivel del liquido (H)	:	11	m
Proporción D/H	:	0.82	
S_s	:	1.16	
S_o	:	0.48	
S_p	:	0.48	
S_1	:	0.37	

Para el diseño sísmico, se determinan previamente los valores necesarios para calcular el ratio de anclaje J que se relaciona a la resistencia al volteo.

Coeficiente de amplificación del terreno F_a

De la Tabla E-1 (Valor de F_a como función de la clase del Sitio), $S_s = 1.16$

$F_a = 1.05$ Anexo No 06 tabla E.1

Coefficiente de velocidad F_v

De la Tabla E-2 (Valor de F_v como función de la clase del Sitio), $S_1 = 0.37$

$$F_v = 1.4 \quad \text{Anexo No 06 tabla E.2}$$

Factor de Importancia I

Del Anexo No 07 - Tabla E-5 (Factor de importancia (I))

$$I = 1$$

Factor de reducción de fuerza para modo impulsivo R_{wi}

Del Anexo No 08 - la Tabla E-4 (Factores de respuesta modificados por los métodos ASD)

$$R_{wi} = 4$$

Factor de reducción de fuerza para modo convectivo R_{wc}

Del Anexo No 08 - la Tabla E-4 (Factores de respuesta modificados por los métodos ASD)

$$R_{wc} = 2$$

Aceleraciones de respuesta espectral amortiguada S_{ds} y S_{d1}

Se calcula estos valores mediante las ecuaciones 5.28 y 5.29 basadas en la norma ASCE 7

$$S_{ds} = Q \times F_a \times S_s : \quad \text{Ecuacion 5.28}$$

$$S_{ds} = 0.81$$

$$S_{d1} = Q \times F_v \times S_1 \quad \text{Ecuacion 5.29}$$

$$S_{d1} = 0.35$$

Coeficiente de periodo K_s

Este coeficiente se calcula mediante la ecuacion 5.30

$$K_s = \frac{0.578}{\sqrt{\tanh\left(3.68 \cdot \frac{H}{D}\right)}} \quad \text{Ecuacion 5.30}$$

Aplicando la ecuacion 5.30 se obtiene el valor de K_s

$$K_s = 0.58$$

Periodo de onda de Oscilacion del liquido T_c

Se calcula el período de onda de oscilacion del liquido T_c , en segundos, se debe calcular mediante la Ecuación 5.31

$$\text{Periodo} = T_c = 1.81 \times K_s \times D^{0.5} : \quad \text{Ecuacion 5.31}$$

$$T_c = 3.12 \quad \text{seg}$$

Aceleración Impulsiva A_i

Se calcula mediante la Ecuacion 5.32

$$A_i = S_{ds} * \left(\frac{I}{R_{wi}}\right) = 2.5 * Q * F_a * S_o * (I/R_{wi}) \quad \text{Ecuacion 5.32}$$

Aplicando la ecuacion 5.32, se obtiene

$$A_i = 0.21$$

Coeficiente para ajustar la aceleración espectral del 5 % al 0,5 % de amortiguamiento K

De acuerdo al Anexo E de la norma API 650

$$\text{Factor } K: \quad 1.5$$

Aceleración Convectiva A_c .

Verificando que $T_c \leq T_L$ ($T_L=4$), la aceleración convectiva se calcula mediante la ecuación 5.33

$$A_c = K * S_{D1} * (1/T_c)(I/R_{wi}) \quad \text{Ecuación 5.33}$$

Aplicando la ecuación 5.33:

$$A_c = 0.083$$

Efecto impulsivo debido al líquido W_i

De los resultados obtenidos en 5.2.2, se calcula los pesos de cada componente:

Peso del cuerpo:	W_s :	251912 N
Peso de Fondo	W_b :	60762 N
Peso del techo	W_r :	61450 N
Peso del contenido	W_p :	8835175 N

Se calcula el efecto impulsivo debido al líquido mediante la ecuación 5.34

$$W_i = \left[1.0 - 0.218 * \frac{D}{H} \right] W_p \quad \text{Ecuación 5.34}$$

$$W_i = 7259317.76 \text{ N}$$

Efecto convectivo debido al líquido W_c

Se calcula utilizando la ecuación 5.19

$$W_c = 0.230 * \frac{D}{H} * \tanh\left(\frac{3.67 * H}{D}\right) * W_p \quad \text{Ecuación 5.35}$$

Aplicando la ecuación 5.35:

$$W_c = 1662197 \text{ N}$$

Fuerza de corte en la base para la componente impulsiva del peso del tanque incluyendo su contenido (V_i)

Se calcula en base a los efectos convectivo e impulsivo del líquido, el peso del cuerpo y el peso del techo mediante la ecuación 5.36

$$V_i = A_i \cdot (W_s + W_r + W_f + W_i) \quad \text{Ecuación 5.36}$$

$$V_i = 1549426 \text{ N}$$

Fuerza de corte en la base para la componente convectiva de la carga efectiva del oleaje (V_c)

Se calcula mediante la ecuación 5.37

$$V_c = A_c \cdot W_c \quad \text{Ecuación 5.37}$$

Aplicando la ecuación 5.37:

$$V_c = 162541 \text{ N}$$

Fuerza de corte total en la base debido al sismo (V).

Se calcula mediante la ecuación 5.38

$$V = V_i + V_c \quad \text{Ecuación 5.38}$$

Aplicando la ecuación 5.38:

$$V = 1557928 \text{ N}$$

Altura del fondo del tanque hasta el punto de aplicación de la carga lateral producida por la fuerza sísmica impulsiva (X_i).

Este valor se utiliza para determinar el momento en el anillo de pared, y se calcula mediante la ecuación 5.39

$$X_i = \left[0.5 - 0.094 * \frac{D}{H} \right] * H \quad \text{Ecuación 5.39}$$

Aplicando la ecuación 5.39 se obtiene:

$$X_i: \quad 4.65 \quad \text{m}$$

Altura del fondo del tanque hasta el punto de aplicación de la carga lateral producida por la fuerza sísmica convectiva (X_c). Este valor se utiliza para determinar el momento en el anillo de pared y se calcula mediante la ecuación 5.40.

$$X_c = \left[1 - \frac{\cosh\left(3.67 * \frac{H}{D}\right) - 1}{3.67 * \frac{H}{D} * \sinh\left(3.67 * \frac{H}{D}\right)} \right] * H \quad \text{Ecuación 5.40}$$

Aplicando la ecuación 5.40 se obtiene

$$X_c: \quad 8.6 \quad \text{m}$$

Altura del fondo del tanque hasta el punto de aplicación de la carga lateral producida por la fuerza sísmica impulsiva (X_{is})

Este valor se calcula mediante la ecuación 5.41

$$X_{is} = \left[0.5 - 0.06 * \frac{D}{H} \right] * H \quad \text{Ecuación 5.41}$$

Aplicando la ecuación 5.41 se obtiene

$$X_{is}: \quad 6.04 \quad \text{m}$$

Altura del fondo del tanque hasta el punto de aplicación de la carga lateral producida por la fuerza sísmica impulsiva (X_{cs})

Este valor está relacionado a la fuerza del líquido para el momento aplicado en la base de cimentación y se calcula mediante la ecuación 5.42.

$$X_{cs} = \left[1 - \frac{\cosh\left(3.67 \cdot \frac{H}{D}\right) - 1.937}{3.67 \cdot \frac{H}{D} \cdot \sinh\left(3.67 \cdot \frac{H}{D}\right)} \right] * H_s \quad \text{Ecuación 5.42}$$

Aplicando la ecuación 5.42 se obtiene

$$X_{cs} = 8.65 \text{ m}$$

Altura del fondo del tanque al centro de gravedad del tanque (X_s)

Este valor se calcula mediante la ecuación 5.43

$$X_s = H/2 \quad \text{Ecuación 5.43}$$

$$X_s = 5.5 \text{ m}$$

Altura del fondo del tanque hasta el centro de gravedad del tanque considerando el techo y los accesorios (X_r).

En base a las dimensiones del tanque, se determina

$$X_r = 11.675 \text{ m}$$

Momento en el anillo base (M_{rw})

Este valor se calcula mediante la ecuación 5.27

$$M_{rw} = \sqrt{[A_i * (W_i * X_i + W_s * X_s + W_r * X_r)]^2 + [A_c * (W_c * X_c)]^2} \quad \text{Ecuación 5.27}$$

Aplicando la ecuación 5.27 se obtiene

$$M_{rw} = 7623173 \text{ Nm}$$

Momento aplicado en la base de cimentación (Ms)

Este valor se calcula mediante la ecuacion 5.28

$$M_s = \sqrt{[A_i * (W_i * X_{is} + W_s * X_s + W_r * X_r)]^2 + [A_c * (W_c * X_{cs})]^2} \quad \text{Ecuacion 5.28}$$

Aplicando la ecuacion 5.28 se obtiene

$$M_s = 9722799 \text{ Nm}$$

La porción del contenido que puede ser considerado para resistir momento de vuelco (wa)

Este valor se obtiene evaluando las ecuaciones 5.29, 5.30 y 5.31

$$w_a = 99 * t_a \sqrt{F_y * H * G_e} \quad \text{Ecuacion 5.29}$$

$$w_a = 201.1 * H * D * G_e \quad \text{Ecuacion 5.30}$$

$$w_a = 99 * t_a \sqrt{F_y * H * G_e} \leq 201.1 * H * D * G_e \quad \text{Ecuacion 5.31}$$

t_a = espesor del fondo bajo el primer anillo sin considerar la tolerancia por corrosion

G_e = Gravedad especifica incluyendo los efectos sismicos verticales. Se calcula mediante la ecuacion 5.32

$$G_e = G(1 - 0.4A_v) \quad \text{Ecuacion 5.32}$$

A_v : Parametro de aceleracion vertical. Se calcula mediante la ecuacion 5.33

$$A_v = \frac{2}{3} * 0.7 * S_{DS} \quad \text{ecuacion 5.33:}$$

Aplicando la ecuación 5.33 se obtiene

$$A_v = 0.37889544$$

Aplicando la ecuacion 5.32 se obtiene:

$$G_e = 1.09$$

Para evaluar w_a aplicando la ecuacion 5.29 se obtiene

$$w_a = 32550 \text{ N/m}$$

Aplicando la ecuacion 5.30 se obtiene

$$w_a = 21739 \text{ N/m}$$

De acuerdo a API650 6.2.1.1, se debe efectuar la comparacion mediante la ecuacion 5.31. Por los resultados de las ecuaciones 5.29 y 5.30, no se cumple la condicion desarrollada en la ecuacion 5.31, por lo tanto, en este caso w_a se calcula mediante la ecuacion 5.34

$$w_a = 5742 * H * G_e * L_s \quad \text{ecuacion 5.34}$$

L_s es el ancho del anillo que proporciona la fuerza resistente al volteo, se calcula mediante la ecuacion 5.35

$$L_s = 0.035 * D \quad \text{ecuacion 5.35}$$

Aplicando las ecuaciones 5.34 y 5.35 se obtiene w_a

$$w_a = 20738 \text{ N/m}$$

Peso del tanque y el techo que actua sobre la base del casco (w_t)

Se calcula mediante la ecuacion 5.36:

$$w_t = (W_s + W_r) / D \cdot \pi \quad \text{Ecuacion 5.36}$$

Aplicando la ecuación 5.30 se obtiene

$$w_t = 11083 \text{ N/m}$$

Carga de elevacion debido a la presion interna por unidad de longitud circunferencial (w_{int})

La presion interna de trabajo es atmosférica, por lo tanto $w_{int} = 0$

Ratio de anclaje J

Se calcula mediante la ecuacion 5.37

$$J = M_{rw} / (D^2 [w_t(1 - 0.4A_v) + w_a - F_p w_{int}]) \quad \text{Ecuacion 5.37}$$

Aplicando la ecuacion 5.37 se obtiene

$$J=3.12$$

Aplicando el criterio descrito en el anexo No 09, la tabla E-6

$J = 3.12 \geq 1.54$, el tanque requiere pernos de anclajes en la base.

DISEÑO DE PERNO DE ANCLAJE PARA EL TANQUE

Se asume preliminarmente el número de pernos N : 16und

Diámetro del perno preseleccionado $d : 44.45 \text{ mm (1-3/4")}$

Se calcula W_{ab} la fuerza actuante sobre los anclajes por unidad de longitud de circunferencia según la ecuacion 5.38

$$W_{ab} = \left(1.273 * \frac{M_{rw}}{D^2} - W_t * (1 - 0.4 * A_v) \right) \quad \text{Ecuacion 5.38}$$

$$W_{ab} = 109,166 \quad \text{N/m}$$

En base a este resultado se calcula la carga en cada perno P_{ab} según la ecuacion 5.39

$$P_{ab} = W_{ab} * \pi * \frac{D}{N} \quad \text{Ecuacion 5.39}$$

$$P_{ab} = 192913 \text{ N}$$

El área del perno preseleccionado:

$$A: 0.0011497 \text{ m}^2$$

Esfuerzo sobre el perno $f : P_{ab}/A = 168 \text{ MPa}$

Pernos A307 esfuerzo maximo = $0.8 F_y : 200.0 \text{ MPa} > 168 \text{ Mpa}$

Por lo tanto se utilizaran pernos de $d = 1 \frac{3}{4}$ pulg

CÁLCULO DE SILLETAS

El cálculo considera el diseño de silletas para que el perno tenga un comportamiento ductil se realiza según el reglamento del American Concrete Institute ACI 318-19 Seccion (17.10.5).

Material del perno : ASTM A307

Esfuerzo de rotura S_t : 415 Mpa

Área raiz del perno A_r : $1.1E-03 \text{ m}^2$

Carga máxima aplicada sobre la silleta según ACI 318-19.

$$P_s = 1.2 * S_t * A_r \quad \text{Ecuacion 5.40}$$

$$P_s = 572550 \text{ N}$$

DISEÑO DE SILLETAS

El diseño de las silletas se realiza en base a las recomendaciones del manual AISC, con los datos según la figura 5.2

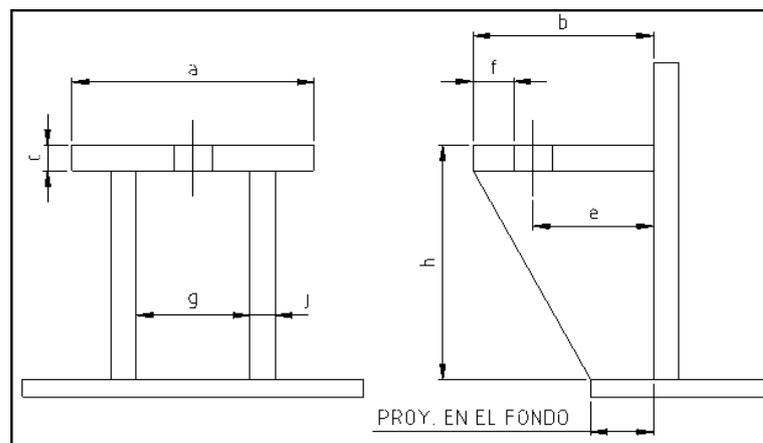


Figura 5.2 Dimensiones para el diseño de silletas
Fuente: Elaboracion Propia

Material Silleta	:	ASTM A36
Ancho de la plancha superior	a :	220 mm
Largo de la plancha superior	b :	200 mm
Espesor plancha superior	c :	38 mm
Altura de la silleta	h :	440 mm
Espaciamiento entre planchas verticales	g :	80 mm
Espesor de planchas verticales	j :	38 mm
Distancia de exterior tanque a centro anclaje	e :	100 mm
Diámetro anclaje	d :	44.5 mm
Agujero anclaje (d+6)	d1 :	50.5 mm
Distancia exterior plancha a borde agujero	f:	74.8 mm

a) Determinación de la placa vertical.

Para calcular el espesor de la placa vertical, se analiza el comportamiento como una columna a compresión.

Radio de giro

$$r_1 = 0.2887*j \quad \text{Ecuacion 5.41}$$

$$r_1 : 10.97 \text{ mm}$$

Longitud efectiva I . Se determina mediante la ecuacion 5.42

$$I = h - c \quad \text{Ecuacion 5.42}$$

$$I = 402 \text{ mm}$$

Factor de uso C_c Debido a que $l/r_1 < 86.6$, C_c se determina mediante la ecuación 5.43

$$C_c = \sqrt{2 * \pi^2 * E / F_y} \quad \text{Ecuación 5.43}$$

$$C_c = 126$$

Esfuerzo máximo soportado por la placa vertical S1

Se calcula la ecuación 5.44

$$S1 = 1.33 * \frac{\left[\frac{\left(1 - \left(\frac{l}{r_1} \right)^2 \right)}{2 * C_c^2} \right] * \frac{F_y}{\left(\frac{5}{3} + 3 * \frac{\left(\frac{1}{r_1} \right)}{8 * C_c} - \frac{\left(\frac{1}{r_1} \right)^3}{8 * C_c^3} \right)}}{\left[1.6 - \frac{l}{200 * r_1} \right]}$$

Ecuación 5.44

$$S1 = 126.75 \text{ Mpa}$$

Proyección del fondo = 50 mm

Ancho promedio $k = 125 \text{ mm}$

$$j_{\text{mín1}} = 0.04 * (h - c) \quad j_{\text{mín1}} = 16 \text{ mm}$$

$$j_{\text{mín2}} = P_s / (S1 * k) \quad j_{\text{mín2}} = 36 \text{ mm}$$

$$j = \text{máx}(j_{\text{mín1}}, j_{\text{mín2}}) \quad j = 36 \text{ mm}$$

Se confirma el espesor de la plancha vertical $j = 38 \text{ mm}$ (1-1/2")

Determinación de la altura de la silleta (h)

Altura de la silleta	h	:	440	mm
Plancha refuerzo	trp	:	10	mm
Plancha cuerpo	ts	:	10	mm
Total refuerzo	tre	:	20	
Espesor fondo	m	:	12	

Para este calculo en bases a AISI E.1 Se calcula el factor de reducción Z según la ecuacion 5.44

$$Z = \frac{25.4}{(0.177*a*m)*\frac{\left(\frac{m}{t_{re}}\right)^2}{\sqrt{R*t_{re}}}} + 25.4 \quad \text{Ecuacion 5.44}$$

Aplicando la ecuacion 5.44 se obtiene Z

$$Z = 0.98$$

Esfuerzo S sobre la placa vertical j.

Para verificar la altura de la placa vertical, en base a AISI E.1 se calcula el esfuerzo S mediante la ecuacion 5.45

$$S = \left[P * \frac{e}{t_{re}^2} \right] * \left[1.32 * \frac{Z}{1.43*a*\frac{h^2}{R*t_{re}} + (4*a*h^2)^{0.333}} + \frac{0.031}{\sqrt{R*t_{re}}} \right] \quad \text{Ecuacion 5.45}$$

$$S = 164.57 \text{ Mpa}$$

Según AISI E.1, esfuerzo no debe exceder 170Mpa.

$S < 170 \text{ Mpa}$, entonces altura considerada para la silleta es la correcta.

Verificación del espesor de la plancha superior (c)

Espesor de la plancha superior $c = 38 \text{ mm}$

$P = 572550 \text{ N}$

El esfuerzo sobre la placa superior S2 se calcula en base a AISI E.1 mediante la ecuación 5.46

$$S2 = \left[\frac{P}{f \cdot c^2} \right] * (0.375 * g - 0.22 * d) \quad \text{Ecuacion 5.46}$$

$S2 = 107 \text{ Mpa}$

$S2 < 170 \text{ Mpa}$, entonces el espesor considerado para la placa superior es adecuado.

5.2.9. Tubería de Rebose 8"

Datos del Anexo No 02

Caudal de alimentación (Qd): $40 \text{ m}^3/\text{h} = 0.0111 \text{ m}^3/\text{s}$

Diámetro tubería de rebose = $7.981 \text{ pulg.} = 0.2027174 \text{ m}$

Considerando la altura del fluido según la figura 5.3

Altura (H) = $6.000 \text{ pulg} = 0.1524 \text{ m}$

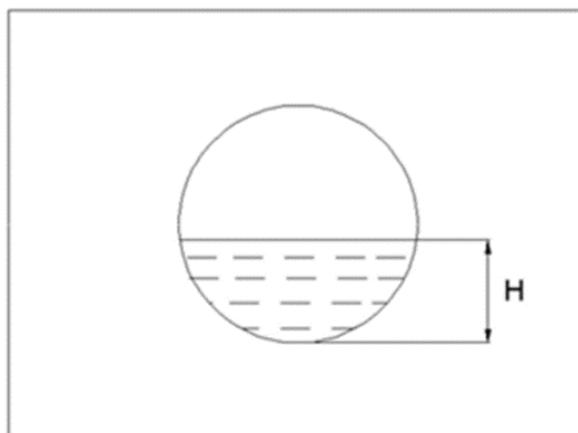


Figura 5.3 Esquema de Tubería de Rebose
Fuente: Elaboración propia

El caudal que fluje por un drenaje se calcula mediante la ecuacion 5.47

$$Q_r = 1.518 * D^{0.693} * H^{1.807} \quad \text{Ecuacion 5.47}$$

$$Q_r = 0.0168 \text{ m}^3/\text{s} > Q_d = 0.0111$$

Por lo tanto la tubería de 8" cumple con el requerimiento.

5.2.10. Válvula de venteo 10"

Según los datos del anexo No 2

Flujo llenado NaHS : 40 m³/h

Flujo de descarga NaHS : 10 m³/h

Requerimiento de venteo Normal Anexo No 11 - (Tabla A1)

Inhalación: : 0.94 x 10 = 9.4 m³/h

Exhalación: : 1.01 x 40 = 40.4 m³/h

Requerimiento por Venteo Termico Anexo No 12 - (Tabla A3)

Inhalación: : 118 Nm³/hr - 135.3 m³/h

Exhalación: : 70.8Nm³/hr – 80.3 m³/h

Total: Inhalación: : 144.7 m³/h

Exhalación: : 120.7 m³/h

Considerando válvula arrestallamas en línea Protego FA-E-IIA P1,2 10" o similar, sin sensores (Ver Anexo No 13)

El flujo volumétrico con una caída de presión de 2mbar es de 1000 m³/h por lo que la válvula de venteo en línea con arrestallamas Protego FA-E-IIA P1,2 10" o similar cumple con lo requerido.

5.2.11. Válvula de venteo 3" hacia la cisterna de suministro

Se comprueba la selección de la válvula de venteo considerando los mismos valores para el caudal de Inhalación y exhalación del párrafo 5.2.10.

La valvula venteo con arrestallamas detonación 3" Protego DR/ES-80-IIB3 o similar (Ver Anexo No 14).

Para una caída de presión de 10 mbar permite un flujo volumétrico de 200 m³/h, por lo tanto esta valvula cumple con lo requerido.

5.2.12. Válvula rompedora de Vacío

Se analiza si el NaHS es un líquido volátil, para lo cual de acuerdo a API2000,

La presión de vapor límite: 5 kpa (50 mbar)

El NaHS tiene una presión de vapor de 14 mbar a 20°C y 43 mbar a 50°C

Por lo tanto se considera como producto no volátil

Considerando una válvula 6" Protego VD/TS-150-IIb3 o similar (Ver Anexo No 15).

En exhalación, la válvula permite un flujo de 500 m³/h a 4 mbar.

En inhalación, la válvula permite un flujo de 600 m³/h a 4 mbar vacío.

La válvula rompedora de vacío con arrestallama integrado Protego VD/TS-IIb3 de 6" de diámetro cumple con lo requerido.

5.2.13. Diseño de las boquillas.

Distancias relativas a juntas soldadas.

La ubicación de las boquillas, se ajustan respecto a las juntas soldadas del casco y unión entre casco y fondo, según las recomendaciones de la tabla

5.3 referidas a la figura 5.4

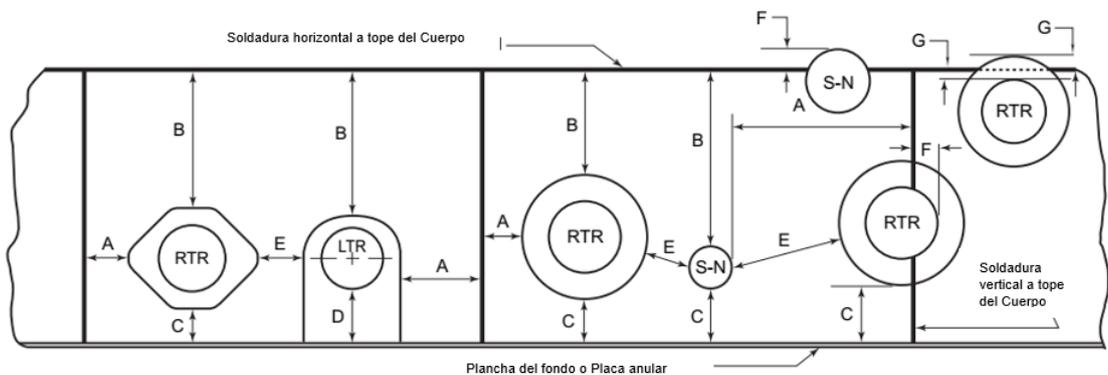


Figura 5.4 Distancias de las Conexiones relativas a las soldaduras
Fuente: American Petroleum Institute (2018)

Tabla 5.3 Distancias recomendadas para ubicación de boquillas

Variables		Dimensión mínima entre puntas de soldadura o línea central de soldadura						
Esesor de Cuerpo	Condición	A	B	C	D	E	F	G
T < 13mm	Como soldado o Post Tratamiento térmico de Soldadura	150 mm	75 mm	75 mm	Tabla 5.6a y 5.6b	75 mm	Menor a 8t o 0.5r	8t

Fuente: American Petroleum Institute (2018)

Manhole ubicado en el cuerpo.

El diseño del Manhole lateral, se desarrolla en base a las dimensiones recomendadas por API650, referenciadas en la Figura 5.5

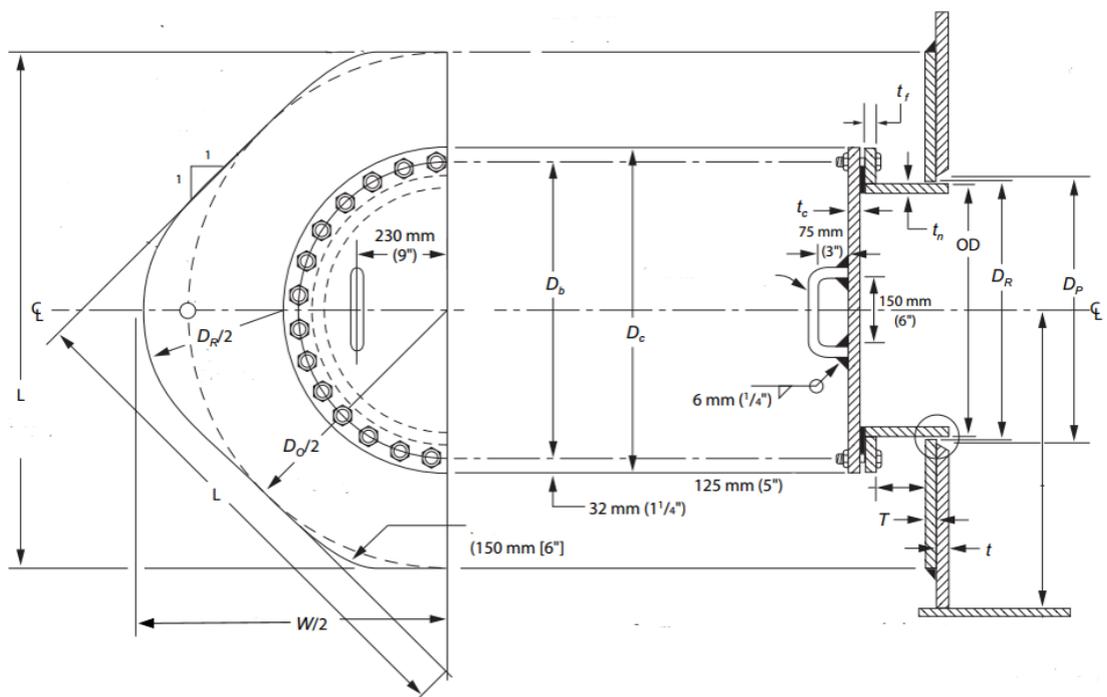


Figura 5.5 Dimensiones para el diseño de Manhole ubicado en el casco
Fuente: American Petroleum Institute (2018)

Espesores de la Tapa t_c y brida t_f de compuerta

El espesor de la tapa t_c se calcula mediante la ecuación 5.48

$$t_c = D_b * \sqrt{C * \gamma * H * \frac{G}{S_d}} + CA \quad \text{Ecuación 5.48}$$

D_b es el diámetro del Diámetro del eje de círculos. Según determinado en

Tabla 5.4 = 768

Tabla 5.4 Diámetros del Circulo eje de Pernos D_b y Tapa D_c Manhole

Diámetro de la compuerta	Diámetro circulo de eje de pernos D_b	Diámetro de la tapa D_c
500	667	730
600	768	832
750	921	984
900	1073	1137

Fuente: American Petroleum Institute (2018)

γ es el factor de densidad del agua 0.00981 Mpa/m

G es la gravedad especifica del fluido

C es el coeficiente para placas circulares igual a 0.3

Aplicando la ecuación 5.48 se obtiene

$$t_c = 15.7$$

En la tabla 5.5 se indica los espesores mínimos de la plancha para la tapa y la brida empernada del Manhole.

Tabla 5.5 Espesor de la Tapa y espesor de la Brida de Manhole

Nivel de liquido H	Presion equivalente kPa	Espesor mínimo tapa t_c (mm)				Espesor Mínimo de la brida empernada t_f (mm)		
		Diámetro 500 mm	Diámetro 600 mm	Diámetro 750 mm	Diámetro 500 mm	Diámetro 600 mm	Diámetro 750 mm	
6.5	64	10	11	13	7	8	10	
8	78	11	12	14	8	9	11	
9.5	93	12	13	16	9	10	13	
11	108	12	14	17	9	11	14	
13	128	13	15	18	10	12	15	
16	157	15	17	20	12	14	17	

Fuente: American Petroleum Institute (2018)

En base al resultado del cálculo y la tabla 5.5 se determina $t_c = 16 \text{ mm}$

El espesor de la brida empernada se calcula mediante la ecuación 5.49

$$t_f = t_c - 3 \quad \text{Ecuación 5.49}$$

Aplicando la ecuación 5.49 se obtiene

$$t_f = 12.7 \text{ mm}$$

De la tabla 5.5 se indica el espesor mínimo de la brida empernada

Espesor mínimo de la brida empernada $t_f = 12 \text{ mm}$

Por lo tanto, se determina $t_f = 12.7 \text{ mm}$

Diseño del cuello del Manhole t_n

Para diseñar el espesor del cuello del Manhole, se utiliza la tabla 5.6

Tabla 5.6 Espesor Mínimo del cuello para Manhole Lateral

Espesor del cuerpo t	Espesor mínimo cuello t_n (mm)			
	Diámetro compuerta 500 mm	Diámetro compuerta 600 mm	Diámetro compuerta 750 mm	Diámetro compuerta 900 mm
6	5	5	5	5
8	6	6	6	6
10	6	6	8	8
11	6	6	8	10
12.5	6	6	8	10

Fuente: American Petroleum Institute (2018)

Para 10 mm de espesor del cuerpo t y un tamaño de compuerta de 600 mm

se obtiene un espesor de cuello $t_n = 6 \text{ mm}$

Espesor de la plancha de refuerzo T

En base a las recomendaciones de la norma API 650, el mínimo espesor del refuerzo para la conexión de la abertura de inspección es igual al espesor del cuerpo. Por lo tanto, se determina $T = 10 \text{ mm}$

Boquillas (conexiones) en el cuerpo del tanque

De acuerdo a los datos del Anexo No. 3, en el cuerpo se instalarán las siguientes boquillas:

2" – 5 boquillas

8" – 4 boquillas

El diseño de las boquillas se realiza en base a los detalles mostrados en las figuras 5.6 y 5.7

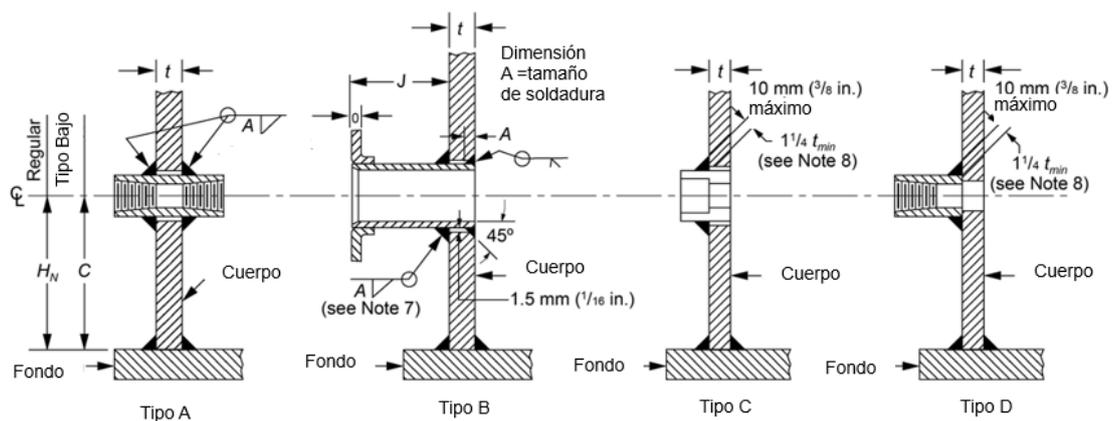


Figura 5.6 Detalles de Boquillas hasta 2"
Fuente: American Petroleum Institute (2018)

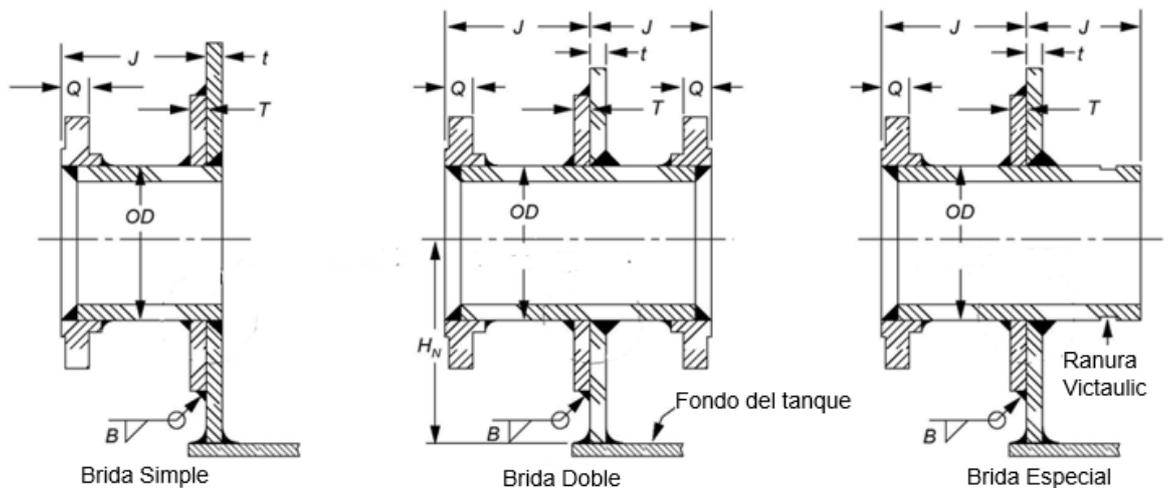


Figura 5.7 Detalles de Boquillas mayores a 3"
Fuente: American Petroleum Institute (2018)

Las dimensiones de los detalles indicados en las figuras 5.6 y 5.7 se especifican en la tabla 5.7, 5.8 y 5.9

Tabla 5.7 Dimensiones para boquillas ubicadas en el casco

Tamaño de la boquilla	Diámetro exterior OD	Espesor nominal de la tubería embreadada t_n	Diámetro de agujeros en la placa de refuerzo D_R	Longitud del lado de la placa de refuerzo o Diámetro $L = D_O$	Ancho de la placa de refuerzo W	Distancia mínima desde el cuerpo a la cara de la brida J	Distancia mínima del fondo del tanque al centro de la boquilla	
							Tipo Regular H_N	Tipo Bajo C
8	219.1	12.7	222	485	590	200	349	240
2	60.3	5.54	63	—	—	150	175	h

Fuente: American Petroleum Institute (2018)

Tabla 5.8 Espesor pared de boquillas, Diámetro de agujero y soldadura para boquillas ubicadas en el casco

Espesor del Casco y Placa de refuerzo t y T	Espesor mínimo de la pared de boquillas embreadadas t_n	Diámetro máximo del agujero en la placa del cuerpo (D_p) igual al diámetro exterior del tubo	Tamaño del filete de soldadura B	Tamaño de la soldadura filete A	
				Boquilla mayores a NPS 2	Boquillas hasta 2"
8	12.7	16	8	6	6
10	12.7	16	10	6	6
11	12.7	16	11	6	6

Fuente: American Petroleum Institute (2018)

Tabla 5.9 Dimensiones de bridas para boquillas ubicadas en el casco

Tamaño de la Boquilla	Espesor mínimo de la brida Q	Diámetro exterior de la brida A	Diámetro de la cara sobresalida D	Diámetro del eje de agujeros C	Número de agujeros	Diámetro de los agujeros	Diámetro de los pernos	Diámetro del agujero		Diámetro mínimo del alojamiento en la zona de soldadura	
								Tipo Slip-On	Tipo Welding Neck	Tipo Slip-On	Tipo Welding Neck
								Diámetro exterior de la tubería más B	B_1	E	E_1
8	28	34	270	298	8	23	20	3.2	a	b	c
2	20	15	92	121	4	19	16	1.6	a	b	c

Fuente: American Petroleum Institute (2018)

a: B_1 = diámetro interior de la tubería

b: E = diámetro exterior de la tubería + $2t_n$.

c: E_1 = diámetro exterior de la tubería.

Boquillas en el techo del tanque

En el techo se instalan las siguientes boquillas

2" – 1 boquilla

3" – 1 boquilla

4" – 5 boquillas

6" – 1 boquilla

10" – 1 boquilla

El diseño de las boquillas ubicadas en el techo se realiza en base a las dimensiones mostradas en la figura 5.8 y especificadas en la tabla 5.10

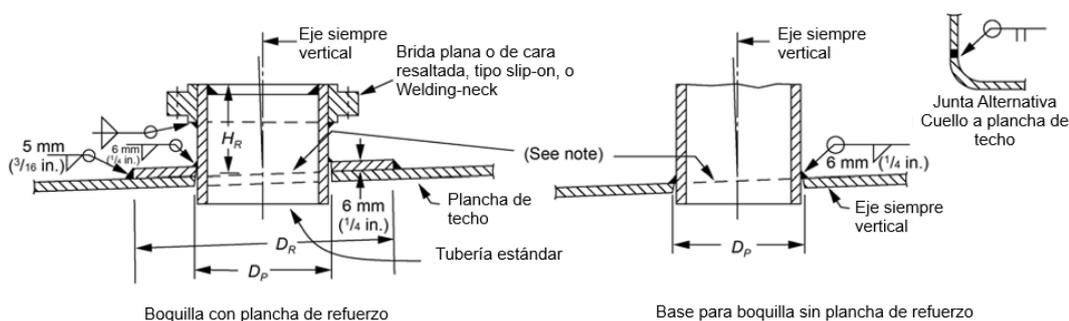


Figura 5.8 Detalles de Boquillas Bridadas instaladas en techo
Fuente: American Petroleum Institute (2018)

Tabla 5.10 dimensiones para boquillas ubicadas en el techo

Tamaño de Boquilla	Diámetro exterior del cuello de la tubería	Diámetro del agujeros en la placa del techo o placa de refuerzo D_P	Altura mínima de la boquilla H_R	Diámetro exterior de la placa de refuerzo D_R
2	2 ³ / ₈	2 ¹ / ₂	6	7
3	3 ¹ / ₂	3 ⁵ / ₈	6	9
4	4 ¹ / ₂	4 ⁵ / ₈	6	11
6	6 ⁵ / ₈	6 ³ / ₄	6	15
10	10 ³ / ₄	11	8	22

Fuente: American Petroleum Institute (2018)

Manhole ubicado en el techo

El diseño de la compuerta de inspección ubicada en el techo se basa en los detalles mostrados en la figura 5.9

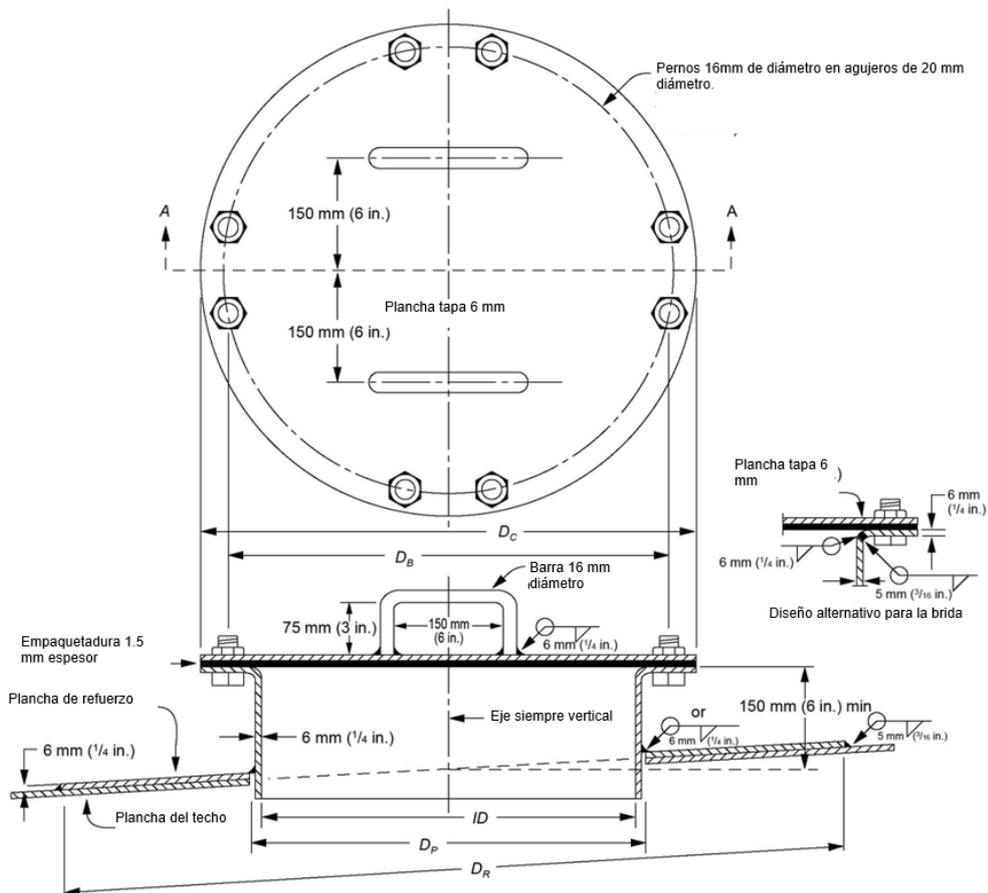


Figura 5.9 Detalles para Diseño de Manholes ubicadas en el techo
Fuente: American Petroleum Institute (2018)

Las dimensiones correspondientes se muestran en la tabla 5.11 extraída de la norma API 650

Tabla 5.11 Dimensiones para Manhole ubicado en el techo

Tamaño de Manhole	Diámetro del Cuello ID	Diámetro de la tapa DC	Diámetro del eje de agujeros DB	Numero de agujeros	Diámetro de la empaquetadura		Diámetro del agujero en la placa de refuerzo DP	Diámetro exterior de la placa de refuerzo DR
					Interior	Exteri or		
600	600	762	699	20	600	762	625	1150

Fuente: American Petroleum Institute (2018)

CAPÍTULO VI

6.1. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Cuerpo del tanque

El resumen de espesores de cada anillo del cuerpo, obtenidos en el capítulo V, se muestra en la tabla 6.1

Tabla 6.1 Resumen de espesores del casco

Altura acumulada (m)	Espesor calculado (mm)	Espesor diseñado (mm)
2.4	9.80	10.0
4.8	8.94	9.0
7.2	8.09	9.0
9.6	7.24	8.0
11	6.39	8.0

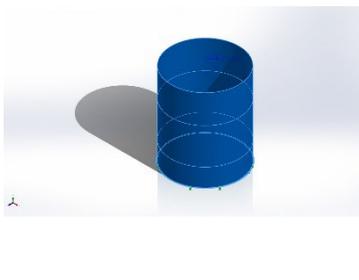
Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a esta distribución, el peso del cuerpo es 21,662.71 Kg.

Para analizar estos resultados, en este trabajo de investigación la verificación se ha efectuado realizando el análisis esfuerzos en el casco mediante software de elementos finitos SolidWorks. En primer lugar, se ha analizado los resultados considerando los espesores totales incluida la tolerancia por Corrosión, para las condiciones de diseño.

La tabla 6.2 contiene la información sobre el modelo formulado para el análisis.

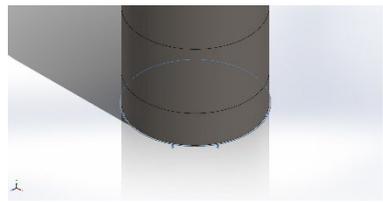
Tabla 6.2 Formulación del modelo de análisis del casco

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	Nombre: ASTM A36 Steel Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Desconocido Límite elástico: 2.5e+08 N/m² Límite de tracción: 4e+08 N/m² Módulo elástico: 2e+11 N/m² Coeficiente de Poisson: 0.26 Densidad: 7,850 kg/m³ Módulo cortante: 7.93e+10 N/m²	Sólido 1(Cilindro tanque Nahs.stp<1>)(Cilindro tanque Nahs)

Fuente: Elaboración Propia

La tabla 6.3, contiene los resultados de la reacción sobre el fondo del tanque

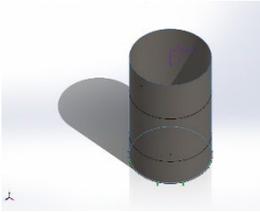
Tabla 6.3 Reacciones sobre el fondo del tanque

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Geometría fija		
Fuerzas resultantes				
Componentes	X	Y	Z	
Fuerza de reacción(N)	-0.124023	9.23679e+06	-4.02783	
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	

Fuente: Elaboración Propia

La tabla 6.4, contiene los detalles de la carga estática aplicada, que es la presión hidrostática del fluido almacenado.

Tabla 6.4 Detalles de la Carga hidrostática

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Presión-1		Entidades: 2 cara(s) Tipo: Normal a cara seleccionada Valor: 12,625.5 Unidades: N/m ² Ecuación: 0*"x" + 1*"y" + 0*"z" (m) Sist. de coord. de ref.: Coordinate System1 Tipo de sist. de coord.: Cartesiano Unidades: Grados

Fuente: Elaboración Propia

Los resultados del análisis por elementos finitos, para el criterio de Von

Mises son los mostrados en la figura 6.1

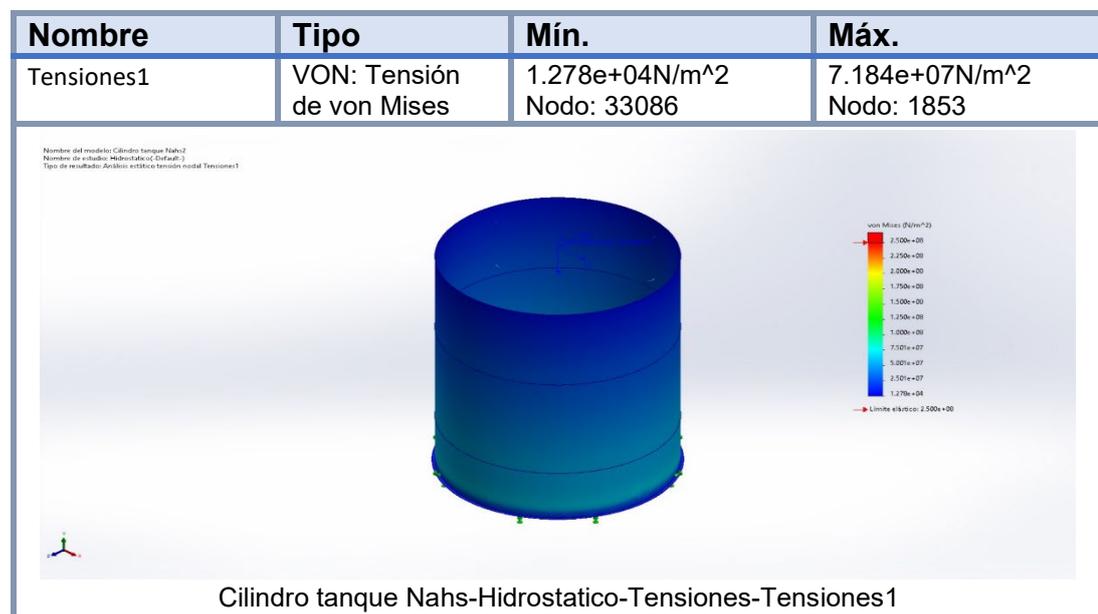


Figura 6.1 Resultados de tensiones sobre el modelo del casco

Fuente: Elaboración Propia

El esfuerzo máximo en el casco, es de $7.187e+7$ N/m².

Teniendo en cuenta que el límite elástico del acero A-36 es de $2.5e+8$ N/m²,

significa que el diseño realizado mediante cálculos tiene un factor de

seguridad de 3.48 respecto al límite elástico. Por lo tanto, los espesores de las planchas de acero para el casco cumplirán con exceso los requerimientos de las condiciones de diseño.

De manera similar, se analiza los resultados del cálculo, para la condición de metal corroído, que será la condición futura más crítica. Según el análisis, cuyos resultados se muestran en la figura 6.2, el esfuerzo máximo en el casco, es de $1.419e+8$ N/m².

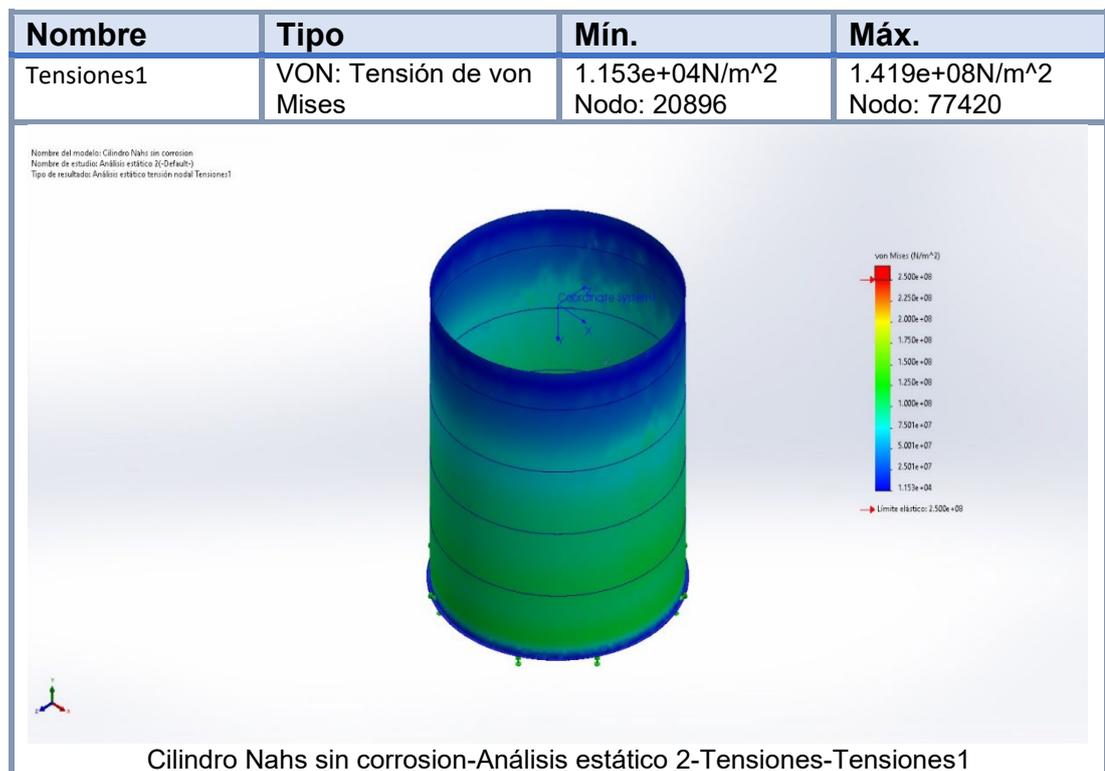


Figura 6.2 Resultados Von Mises – Condición de Casco Corroído
Fuente: Elaboración Propia

Teniendo en cuenta que el límite elástico del acero A-36 es de $2.5e+8$ N/m², significa que, cuando se evalúa los esfuerzos en la condición de metal corroído, el diseño realizado mediante cálculos tiene un factor de seguridad de 1.76 respecto al límite elástico. Por lo tanto, inclusive en esta condición, los

espesores de las planchas de acero para el casco cumplirán con exceso los requerimientos de las condiciones de diseño.

En base a estas verificaciones, se demuestra que el tanque construido en base al diseño realizado mediante cálculos, soporta los esfuerzos de trabajo con un factor mínimo de seguridad de 1.76 en condiciones de metal corroído al valor especificado en las condiciones de diseño, y de 3.48 en las condiciones de fabricación.

Fondo del tanque

El fondo del tanque, de acuerdo al diseño, es de 12 mm incluida la tolerancia por Corrosion de 6.0 mm. El peso de este componente es de 6188.8 kg.

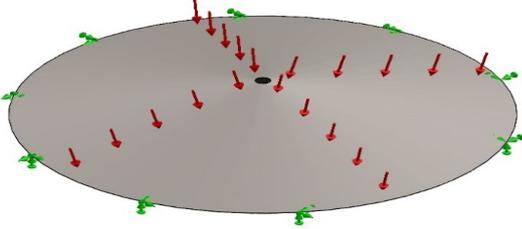
Considerando que el tanque va apoyado sobre suelo compactado, no ha requerido verificación de esfuerzos, por lo que su determinación en base a la recomendación de la norma API 650.

Techo del tanque

El resultado obtenido para el espesor del techo es 12 mm. En base a este resultado, el peso del techo es de 6,264 kg.

El análisis de este resultado, se analizó mediante el software de elementos finitos SolidWorks. La tabla 6.5 contiene la información del modelo desarrollado:

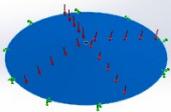
Tabla 6.5 Información del modelo – Techo cónico

			
Nombre del modelo: Techo conico Configuración actual: Predeterminado			
Sólidos			
Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
Techo conico.stp <1>	Sólido	Masa:6,270.65 kg Volumen:0.798809 m ³ Densidad:7,850 kg/m ³ Peso:61,452.4 N	

Fuente: Elaboración Propia

La tabla 6.6, contiene la información sobre las propiedades mecánicas del modelo

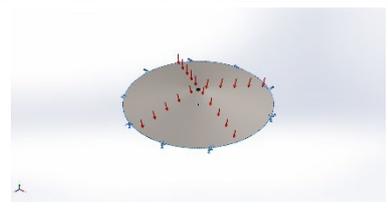
Tabla 6.6 Propiedades del Material del techo

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	Nombre: ASTM A36 Acero Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx. Límite elástico: 2.5e+08 N/m² Límite de tracción: 4e+08 N/m² Módulo elástico: 2e+11 N/m² Coeficiente de Poisson: 0.26 Densidad: 7,850 kg/m³ Módulo cortante: 7.93e+10 N/m²	Sólido 1(Techo conico.stp<1>)(Techo conico)

Fuente: Elaboración propia

La tabla 6.7 muestra las reacciones en el apoyo del techo sobre el tanque

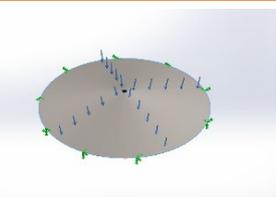
Tabla 6.7 Sujeciones – Reacciones en techo cónico

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-1		Entidades: 1 arista(s) Tipo: Geometría fija		
Fuerzas resultantes				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	0.00427246	161,543	-0.0299072	161,543
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0

Fuente: Elaboración propia

La tabla 6.8, contiene los valores de la carga aplicada en el modelo, que es la carga debido a nieve y la carga viga según las condiciones de diseño.

Tabla 6.8 Cargas sobre el Techo

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga	
Presión-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Normal a cara seleccionada Valor: 2,000 Unidades: N/m ² Ángulo de fase: 0 Unidades: deg	

Fuente: Elaboración Propia

La figura 6.3 muestra los resultados de esfuerzos según el criterio de Von Mises. En este caso, es de $3.107e^{+6}$ N/m².

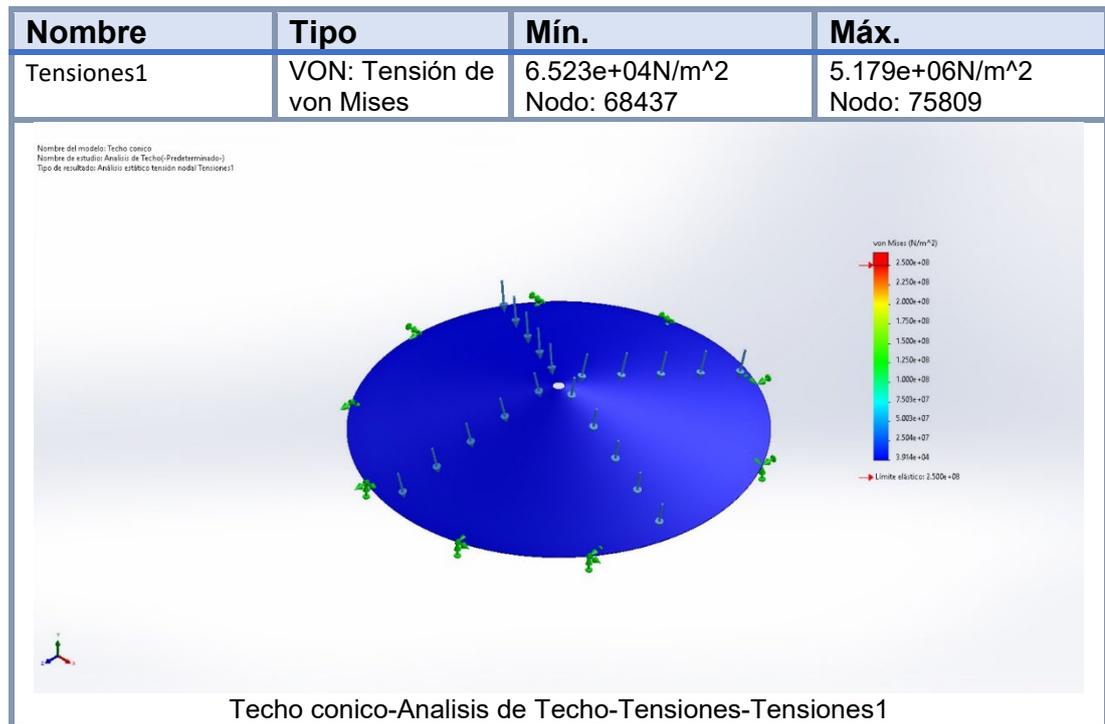


Figura 6.3 Esfuerzos máximos en el Techo
Fuente: Elaboración Propia

Teniendo en cuenta que el Limite elástico del acero A-36 es de $2.5e^{+8}$ N/m², significa que el diseño realizado mediante cálculos tiene un factor de seguridad de 48.27 respecto al límite elástico. Por lo tanto, los espesores de las planchas de acero para el techo cumplirán con exceso los requerimientos de las condiciones de diseño.

De manera similar, se analiza los resultados del cálculo, para la condición de metal corroído, que será la condición futura más crítica.

Los resultados mostrados en la figura 6.4 indican un esfuerzo máximo de $3.992e^{+6}$ N/mm²

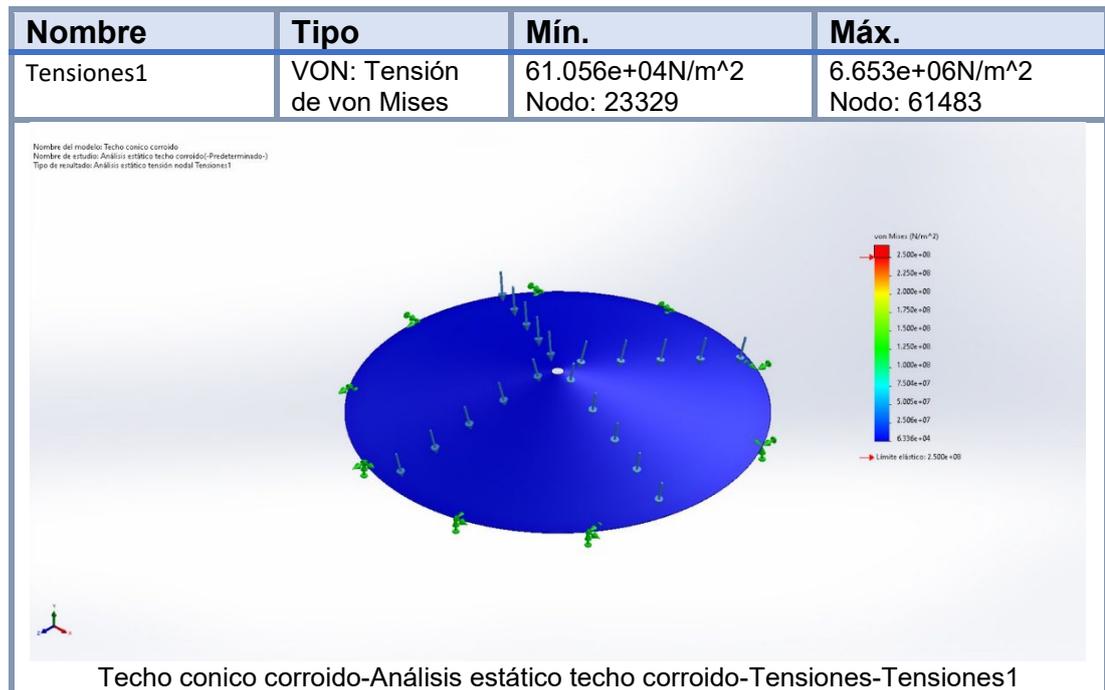


Figura 6.4 Esfuerzos máximos en el Techo condición Metal Corroído
Fuente: Elaboración Propia

Considerando que el límite elástico del acero A-36 es de $2.5e+8$ N/m², significa que el diseño realizado mediante cálculos tiene un factor de seguridad de 35.56 respecto al límite elástico

En base a estas verificaciones, se demuestra que el tanque construido en base al diseño realizado mediante cálculos, soporta los esfuerzos de trabajo con un factor mínimo de seguridad de 35.56 en condiciones de metal corroído al valor especificado en las condiciones de diseño, y de 48.27 en las condiciones de fabricación.

6.2. VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS

El volumen de almacenamiento del tanque diseñado es de 667 m³. Considerando los datos de diseño recolectados en el Anexo 1, para un consumo de 43.8 m³ diarios, este nuevo tanque permite una autonomía de

producción de 15 días adicionales a la capacidad actual que es de 7 días. Con lo cual, la disponibilidad de NaHS para la producción triplica la capacidad inicial. Con este resultado se ha verificado la hipótesis que plantea el trabajo de investigación.

CONCLUSIONES

1. El diseño realizado mediante cálculos basado en las ecuaciones indicadas en la norma API 650, asegura que la construcción del tanque cumple con los requerimientos de las condiciones de diseño. Esto ha sido comprobado evaluando los factores de seguridad respecto al esfuerzo de fluencia, mediante modelos de análisis de elementos finitos.
2. En cuanto al techo, los resultados verificados de manera similar al casco, permiten establecer un sobredimensionamiento en el espesor con factores de seguridad muy elevados.
3. La verificación de las dimensiones de la tubería de rebose mediante cálculos basados en hidráulica, permite determinar de manera sencilla si ésta tubería permite el drenaje del fluido almacenado en caso que ocurriese un sobrellenado por alguna falla en los sistemas de control.
4. Como resultado del diseño, el peso del tanque considerando piso, casco y techo es de 34,115.50 Kg. Es razonable que el diseño tenga mayores espesores y por lo tanto mayor peso que un tanque de dimensiones similares que puede almacenar petróleo o agua, debido a la densidad del NaHS, y a las tolerancias por corrosión que han sido consideradas en el diseño.
5. El tanque diseñado con un volumen de 667 m³ triplica la disponibilidad del reactivo NaHS. Esto evidencia que se ha verificado la hipótesis planteada en el presente trabajo de investigación.

RECOMENDACIONES

1. Debido a que los efectos corrosivos del NaHS sobre el acero al carbono no han sido estudiados previamente, se recomienda investigar este fenómeno para determinar con mayor aproximación estos efectos. Esto puede permitir que futuros diseños, posiblemente considerando menores espesores por corrosión, obtenga reducciones en los costos de fabricación y montaje.
2. Asimismo, el fenómeno de agrietamiento por tensión requiere también ser estudiado, para permitir el diseño considerando aceros con mayor resistencia mecánica, cuyos resultados permitirán utilizar materiales con menores espesores y peso, por ejemplo, aceros disponibles localmente como el ASTM A572-Grado 50.
3. En los casos que la evaluación de la estabilidad al volteo debido a los efectos del viento, en los resultados de las ecuaciones comparativas 5.25, 5.26 y 5.27, utilizando los valores de presión horizontal y vertical obtenidos en base a las recomendaciones de la norma API650, no sean concluyentes por obtenerse valores muy cercanos, para una mayor seguridad en el diseño recomendamos complementar la evaluación calculando las presiones en base a la norma ASCE 7-16 que considera aspectos relacionados a la configuración del terreno y zonas adyacentes.
4. Debido a que el cálculo del espesor para el techo de un tanque cónico auto soportado está más relacionado al concepto de deflexión que a la resistencia mecánica, y esto tiene como resultado que en la verificación

de esfuerzos mediante el análisis por software de elementos finitos, los factores de seguridad resultan muy elevados, recomendamos estudiar alternativas de diseño que reduzcan este sobredimensionamiento, teniendo en cuenta que un parámetro que influye de manera significativa en el resultado es el ángulo de la pendiente del techo. Aumentando este ángulo a valores cercanos al límite máximo de 37 grados, se puede reducir considerablemente el espesor diseñado.

5. Aunque el objetivo de este trabajo de investigación se ha enfocado en mejorar la disponibilidad del reactivo químico mediante el diseño de un nuevo tanque, con un mayor volumen de almacenamiento, recomendamos investigar mejoras en el proceso de flotación, que optimicen la cantidad de reactivo utilizado por tonelada de mineral procesado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- American Concrete Institute ACI – Capitulo Ecuador (2019). *Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318-19)* Ecuador
- American Iron and Steel Institute AISI (1992) – *Steel Tanks for Liquid Storage (AISI E.1)* Washington DC, Estados Unidos de América
- American Petroleum Institute API (2018). *Welded Tanks for Oil Storage*. Washington DC, Estados Unidos de América
- American Petroleum Institute API (2020). *Venting Atmospheric and Low-pressure Storage Tanks (API 2000)*. Washington DC, Estados Unidos de América
- American Society of Civil Engineers ASCE (2017). *Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures (ASCE 7-16)*. Reston, Virginia, Estados Unidos de América
- Checa, A (2015). *Ingeniería conceptual, básica y de detalle de un sistema de almacenamiento de agua de 790m³ según la norma API650 para el control de incendios en la planta de gas ubicada en bajo Alto-Machala para la empresa MATRYMEC/FHINGESERV*. (Tesis de Grado). Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Ecuador. Recuperado de: <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/10402>
- Concha, F (2018). *Diseño, fabricación y montaje de tanque de almacenamiento de diésel de 200,000 galones de capacidad, basado en la norma Api 650, para la unidad minera Toquepala, departamento de Tacna*. (Tesis). Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. Lambayeque, Perú. Recuperado de: <https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/2112>
- De las Heras, S (2012). *Mecánica de fluidos en ingeniería*. Editorial Iniciativa Digital Politécnica. Barcelona, España
- Ferrando, P (2017) *Diseño, cálculo y construcción de un depósito industrial de chapa de acero para fluidos (Derivados del petróleo)*. Universitat Politècnica de València. España. Recuperado de: <https://riunet.upv.es/handle/10251/74580?show=full>
- Flores, D, Holgino, H, Oropeza, P y Rojas, M (2020). *Planeamiento Estratégico de Minera Las Bambas S.A*. Tesis de Maestría. Pontificia Universidad Católica del Perú. Escuela de posgrado. Recuperado de <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/17634>

- León, J (1994). *Diseño y Calculo de tanques de almacenamiento*. México, DF.
- North American Corrosion Association - NACE (2012). *Standard Material Requirements – Materials Resistant to Sulfide Stress Cracking in Corrosive Petroleum Refining*. Houston, TX Estados Unidos de América.
- Paye, R (2018). *Efecto de los insolubles en la recuperación de molibdeno*. (Tesis). Universidad Nacional San Agustín. Arequipa, Perú.
Recuperado de: <https://repositorio.unsa.edu.pe/items/3a3752c9-e53b-4d6c-820c-2737c2e02545>
- Pejerrey, G (2017). *Diseño y Cálculo de un Tanque de Almacenamiento Atmosférico de 60,000 Barriles para Almacenaje de Gasolina de 90 Octanos en la Selva*. Tesis. Universidad Tecnológica del Peru.
Recuperado de: <https://repositorio.utp.edu.pe/handle/20.500.12867/912>
- Ponce, S y Viza, N (2022). *Contaminación de Suelos por la Minera MMG Las Bambas y los Derechos al Ambiente Saludable en Challhuahuacho*. (Tesis). Universidad Cesar Vallejo. Trujillo, Perú.
Recuperado de:
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/104501>
- Pytel, A y Singer, F (2008). *Resistencia de Materiales*. Editorial Alfaomega. 4ta Edición. México.
- Quispe, N y Aguilar, E (2019). *Diseño de un tanque de almacenamiento de petróleo de 10 000 galones según norma API 650 y su análisis empleando un programa CAD/CAE*. (Tesis). Universidad Tecnológica del Peru. Lima, Perú. Recuperado de:
<https://repositorio.utp.edu.pe/handle/20.500.12867/2362>
- Rosas, M (2019). *Construcción, mantenimiento y estimación del tiempo de vida de un cisterna construido de planchas de acero inoxidable AISI 304 para transportar hidro sulfuro de sodio (NaSH)*. (Tesis). Universidad Nacional San Agustín. Arequipa, Perú. Recuperado de:
<https://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/11244>
- Sachidananda, H.K., Dubey, S. & Veera Kumar, M. (2019) *Design, analysis and fabrication of firewater storage tank*. SN Appl. Sci. 1, 81 (2019).
Recuperado de:
<https://link.springer.com/article/10.1007/s42452-018-0071-2>

Salcedo, R. (2018). *Evaluación del reactivo Sulfhidrato de Sodio (NaHS) en la flotación de Mo de la minera Chinalco - Morococha, 2019*. (Tesis). Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión. Recuperado de: <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/1610>

Saldaña, Y. (2020). *Diseño de tanques de agua con capacidad hasta 1200 m³ con techo cónico bajo norma API 650 con Excel y SolidWorks*. (Tesis). Universidad Cesar Vallejo. Recuperado de: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/45389>

Venegas, N (2018). *Optimización consumo de NaHS, planta de flotación selectiva minera los pelambres*. (Tesis). Universidad de Concepción. Chile. Recuperado de: <http://repositorio.udec.cl/xmlui/handle/11594/2972>

ANEXOS**ANEXO No. 01**

Hoja de datos del producto almacenado

CARACTERISTICAS DEL FLUIDO	
Fluido almacenado	NaHS
Temperatura del fluido	28°C
Densidad	1287 kg/m ³
Ph	11.5
Flujo llenado nahs	40 m ³ /h
Flujo de descarga NaHS :	10 m ³ /h
Consumo de NaHS	43.76 m ³ /mes
Capacidad de almacenamiento actual	320 m ³

Fuente: elaboración propia

ANEXO No. 02

Hoja de datos parámetros de diseño

PARAMETROS DE DISEÑO	
diámetro	9.0 m
Altura	11.0 m
Tipo de techo	Cónico auto soportado
Altura de llenado	10.5 m
Tolerancia por corrosión para cuerpo	6.0 mm
Tolerancia por corrosión para fondo	6.0 mm
Tolerancia por corrosión para techo	3.0 mm
Presión de diseño	Atmosférica
Altura de los anillos	2.4 m
Numero de anillos	5
Coefficiente de presión viento dirección barlovento	0.7
Coefficiente de presión vertical	0.7
Aceleración Máxima horizontal del suelo (So)	0.48
Periodo corto de aceleración espectral 0.2s (Ss)	1.16 %g
Periodo largo de aceleración espectral 1.0s (S1)	0.37 %g
Tipo de suelo	S2
Velocidad del viento	97.8 Km/h
Carga de nieve	40 Kg/m ²
Carga viva	1.0 Kpa

Fuente: elaboración propia

ANEXO No. 03

Hoja de datos de boquillas y conexiones requeridas

Boquillas y conexiones	
Boquilla No 1	Descarga – 2”
Boquilla No 2	Drenaje – 3”
Boquilla No 3	Sensor temperatura – 2”
Boquilla No 4	Rebose – 8”
Boquilla No 5	Interruptor de nivel – 2”
Boquilla No 6	Alimentación – 4”
Boquilla No 7	Recirculación – 2”
Boquilla No 8	Venteo hacia cisterna – 3”
Boquilla No 9	Venteo con filtro – 10”
Boquilla No 10	Venteo hacia lavador gases – 4”
Boquilla No 11	Conexión sensor de nivel – 4”
Boquilla No 12	Válvula rompedora de vacío – 6”
Boquilla No 13	Retorno de sumidero – 4”
Boquilla No 14	Sensor de nivel – 4”
Boquilla No 15	Resistencia de inmersión – 8”
Boquilla No 16	Resistencia de inmersión – 8”
Boquilla No 17	Resistencia de inmersión – 8”
Boquilla No 18	Sensor de temperatura – 2”
Boquilla No 19	Sensor de temperatura – 2”
Puerta de Mantenimiento No. 1	Manhole de casco 24”
Puerta de Mantenimiento No 2	Manhole de techo 24”

Fuente: elaboración propia

Anexo No 04

Tabla 5.2a—Materiales de placa permitidos y tensiones permitidas (SI)

Lámina Especificación	Calificación	placa nominal Espesor t	Mínimo Límite elástico MPa	Mínimo Resistencia a la tracción MPa	Producto Estrés de diseño Sd MPa	Hidrostático Estrés de prueba St MPa
Especificaciones ASTM						
A283M	C		205	380	137	154
A285M	C		205	380	137	154
A131M	un, b		235	400	157	171
A36M	—		250	400	160	171
A131M	EH 36		360	490a	196	210
A573M	400		220	400	147	165
A573M	450		240	450	160	180
A573M	485		290	485a	193	208
A516M	380		205	380	137	154
A516M	415		220	415	147	165
A516M	450		240	450	160	180
A516M	485		260	485	173	195
A662M	B		275	450	180	193
A662M	C		295	485a	194	208
A537M	1	t ≤ 65	345	485a	194	208
		65 < t ≤ 100	310	450b	180	193

Fuente: American Petroleum Institute. Norma API 650 - 2013

Anexo No 05

Tabla 5.2a—Materiales de placa permitidos y tensiones permitidas (SI) (continuación)

Lámina Especificación	Calificación	placa nominal Espesor t mm	Mínimo Límite elástico MPa	Mínimo Resistencia a la tracción MPa	Producto Estrés de diseño Sd MPa	Hidrostático Estrés de prueba St MPa
A537M	2	t ≤ 65	415	550a	220	236
		65 < t ≤ 100	380	515b	206	221
A633M	CD	t ≤ 65	345	485a	194	208
		65 < t ≤ 100	315	450b	180	193
A737M	B		345	485a	194	208
A841M	Clase 1		345	485a	194	208
A841M	Clase 2		415	550a	220	236
Especificaciones CSA						
G40.21M	260W		260	410	164	176
G40.21M	260 PESO		260	410	164	176
G40.21M	300W		300	440	176	189
G40.21M 300WT			300	440	176	189
G40.21M	350W		350	450	180	193
G40.21M 350WT		t ≤ 65	350	450a	180	193
		65 < t ≤ 100	320	450a	180	193
Estándares Nacionales						
	235		235	365	137	154
	250		250	400	157	171
	275		275	430	167	184

Fuente: American Petroleum Institute. Norma API 650 - 2013

Anexo No 06

Tabla E.1—Valor de Fa en función de la clase del sitio

Clase de sitio	Aceleraciones de respuesta espectral de MCER mapeadas en períodos cortos				
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,50$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s \geq 1,25$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
D	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
mi	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9
F	un aa un				a

Se requiere una investigación geotécnica específica del sitio y un análisis de respuesta dinámica del sitio.

Tabla E.2—Valor de Fv en función de la clase del sitio

Clase de sitio	Aceleraciones de respuesta espectral de MCER asignadas en períodos de 1 segundo				
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 \geq 0,5$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
D	2.4	2.0	1.8	1.6	1.5
mi	3.5	3.2	2.8	2.4	2.4
F	un aa un				a

Se requiere una investigación geotécnica específica del sitio y un análisis de respuesta dinámica del sitio.

Fuente: American Petroleum Institute. Norma API 650 – 2013

ANEXO No 07

Tabla E.5—Factor de Importancia (I) y Clasificación de Grupo de Uso Sísmico

Grupo de Uso Sísmico	I
I	1.0
II	1.25
---	1.5

Fuente: American Petroleum Institute. Norma API 650 – 2013

Anexo No 08

Tabla E.4—Factores de modificación de respuesta para métodos ASD

Sistema de anclaje	Rwi, (impulsivo)	Rwc, (convectivo)
Auto-anclado	3.5	2
Anclado mecánicamente	4	2

Fuente: American Petroleum Institute. Norma API 650 – 2013

Anexo No 09

Tabla E.6—Criterios de relación de anclaje

Relación de anclaje J	Criterios
$J \leq 0,785$	Sin levantamiento calculado bajo el momento de vuelco sísmico de diseño. El tanque es auto-anclado.
$0,785 < J \leq 1,54$	El tanque está levantando, pero el tanque es estable para la carga de diseño siempre que se cumplan los requisitos de compresión de la carcasa. El tanque se ancla por sí mismo.
$J > 1,54$	El tanque no es estable y no puede anclarse por sí mismo para la carga de diseño. Modifique el anillo anular si $L < 0.035D$ no controla o agregue anclaje mecánico.

Fuente: American Petroleum Institute. Norma API 650 – 2013

Anexo No 10

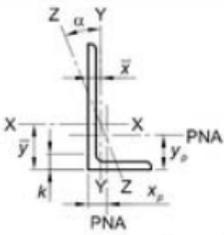


Tabla 1 - 7
Angulos
Propiedades

Forma	k	Wt.	Area, A	Eje X - X						Propiedades Flexional-Torsional			
				I	S	r	ȳ	Z	y _p	J	C _w	r̄ _o	
													in. ⁴
L12x12x1 ³ / ₈	2 ¹ / ₁₆	105	31.1	413	48.6	3.64	3.50	88.1	1.30	19.9	211	6.51	
	x1 ¹ / ₄	1 ¹⁵ / ₁₆	96.4	28.4	381	44.6	3.66	3.45	80.7	1.18	14.9	6.54	
	x1 ¹³ / ₁₆	87.2	25.8	350	40.7	3.68	3.41	73.7	1.08	11.1	120	6.58	
	x1	1 ¹¹ / ₁₆	77.8	23.0	315	36.5	3.70	3.36	65.9	0.958	7.80	84.5	6.61
L10x10x1 ³ / ₈	2 ³ / ₁₆	87.1	25.6	231	33.0	3.00	3.00	59.9	1.28	16.4	118	5.36	
	x1 ¹ / ₄	2 ¹ / ₁₆	79.9	23.4	213	30.2	3.02	2.95	54.9	1.17	12.3	89.4	5.39
	x1 ¹ / ₈	1 ¹⁵ / ₁₆	72.3	21.3	196	27.6	3.03	2.90	50.2	1.07	9.21	67.3	5.41
	x1	1 ¹³ / ₁₆	64.7	19.0	177	24.8	3.05	2.86	45.0	0.950	6.46	47.6	5.46
	x7 ¹ / ₈	1 ¹¹ / ₁₆	56.9	16.8	158	21.9	3.07	2.80	39.9	0.840	4.39	32.5	5.47
	x3 ¹ / ₄	1 ⁹ / ₁₆	49.1	14.5	139	19.2	3.10	2.76	34.6	0.725	2.80	20.9	5.53
L8x8x1 ¹ / ₈	1 ³ / ₄	56.9	16.8	98.1	17.5	2.41	2.40	31.6	1.05	7.13	32.5	4.29	
	x1	1 ⁵ / ₈	51.0	15.1	89.1	15.8	2.43	2.36	28.5	0.944	5.08	23.4	4.32
	x7 ¹ / ₈	1 ¹ / ₂	45.0	13.3	79.7	14.0	2.45	2.31	25.3	0.831	3.46	16.1	4.36
	x3 ¹ / ₄	1 ³ / ₈	38.9	11.5	69.9	12.2	2.46	2.26	22.0	0.719	2.21	10.4	4.39
	x5 ¹ / ₈	1 ¹ / ₄	32.7	9.69	59.6	10.3	2.48	2.21	18.6	0.606	1.30	6.16	4.42
	x9 ¹ / ₁₆	1 ³ / ₁₆	29.6	8.77	54.2	9.33	2.49	2.19	16.8	0.548	0.961	4.55	4.43
	x1 ¹ / ₂	1 ¹ / ₈	26.4	7.84	48.8	8.36	2.49	2.17	15.1	0.490	0.683	3.23	4.45
	L8x6x1	1 ¹ / ₂	44.2	13.1	80.9	15.1	2.49	2.65	27.3	1.45	4.34	16.3	3.88
x7 ¹ / ₈		1 ³ / ₈	39.1	11.5	72.4	13.4	2.50	2.60	24.3	1.43	2.96	11.3	3.92
x3 ¹ / ₄		1 ¹ / ₄	33.8	9.99	63.5	11.7	2.52	2.55	21.1	1.34	1.90	7.28	3.95
x5 ¹ / ₈		1 ¹ / ₈	28.5	8.41	54.2	9.86	2.54	2.50	17.9	1.27	1.12	4.33	3.98
x9 ¹ / ₁₆		1 ¹ / ₁₆	25.7	7.61	49.4	8.94	2.55	2.48	16.2	1.24	0.823	3.20	3.99
x1 ¹ / ₂		1	23.0	6.80	44.4	8.01	2.55	2.46	14.6	1.20	0.584	2.28	4.01
x7 ¹ / ₁₆		1 ⁵ / ₁₆	20.2	5.99	39.3	7.06	2.56	2.43	12.9	1.15	0.396	1.55	4.02
L8x4x1		1 ¹ / ₂	37.4	11.1	69.7	14.0	2.51	3.03	24.3	2.45	3.68	12.9	3.75
	x7 ¹ / ₈	1 ³ / ₈	33.1	9.79	62.6	12.5	2.53	2.99	21.7	2.41	2.51	8.89	3.78
	x3 ¹ / ₄	1 ¹ / ₄	28.7	8.49	55.0	10.9	2.55	2.94	18.9	2.34	1.61	5.75	3.80
	x5 ¹ / ₈	1 ¹ / ₈	24.2	7.16	47.0	9.20	2.56	2.89	16.1	2.27	0.955	3.42	3.83
	x9 ¹ / ₁₆	1 ¹ / ₁₆	21.9	6.49	42.9	8.34	2.57	2.86	14.6	2.23	0.704	2.53	3.84
	x1 ¹ / ₂	1	19.6	5.80	38.6	7.48	2.58	2.84	13.1	2.20	0.501	1.80	3.86
	x7 ¹ / ₁₆	1 ⁵ / ₁₆	17.2	5.11	34.2	6.59	2.59	2.81	11.6	2.16	0.340	1.22	3.87
	L7x4x3 ¹ / ₄	1 ¹ / ₄	26.2	7.74	37.8	8.39	2.21	2.50	14.8	1.84	1.47	3.97	3.31
x5 ¹ / ₈		1 ¹ / ₈	22.1	6.50	32.4	7.12	2.23	2.45	12.5	1.80	0.868	2.37	3.34
x1 ¹ / ₂		1	17.9	5.26	26.6	5.79	2.25	2.40	10.2	1.74	0.456	1.25	3.37
x7 ¹ / ₁₆		1 ⁵ / ₁₆	15.7	4.63	23.6	5.11	2.26	2.38	9.03	1.71	0.310	0.851	3.38
x3 ¹ / ₈		7 ¹ / ₈	13.6	4.00	20.5	4.42	2.27	2.35	7.81	1.67	0.198	0.544	3.40

Fuente: American Institute of Steel Construction (2017)

Anexo No 11

Tabla A.1—Requisitos de ventilación normal (expresados en unidades SI)

Dimensiones en Nm³/h de aire por m³/h de caudal de líquido

Punto de inflamación/ punto de ebullición a °C	inhalando		exhalando	
	Salida de movimiento de líquido	Térmico	Movimiento de líquidos en	Térmico
Punto de inflamación ≥ 38	0.94	b	1.01	b
Punto de ebullición ≥ 150	0.94	b	1.01	b
Punto de inflamación < 38	0.94	b	2.02	b
Punto de ebullición < 150	0.94	b	2.02	b

a Se pueden utilizar datos sobre el punto de inflamación o el punto de ebullición. Cuando ambos estén disponibles, utilice el punto de inflamación.

b Ver Tabla A.3.

Fuente: American Institute of Petroleum. Norma API 2000 (2020)

Anexo No 12

Tabla A.3—Requisitos de ventilación normal para efectos térmicos
(expresados en unidades SI)

Capacidad del tanque columna 1a	inhalando columna 2b	exhalando	
		columna 3c	Columna 4d
		Punto de inflamación $\geq 37,8$ °C o Punto de ebullición normal ≥ 149 °C Nm ³ /h de aire	Punto de inflamación $< 37,8$ °C o Punto de ebullición normal < 149 °C Nm ³ /h de aire
10	1.69	1.01	1.69
20	3.38	2.02	3.38
100	16.9	10.1	16.9
200	33.8	20.3	33.8
300	50.4	30.4	50.4
500	84.5	50.7	84.5
700	118	71.0	118
1,000	169	101	169
1,500	254	152	254
2,000	338	203	338
3,000	507	304	507
3,180	537	322	537
4,000	647	388	647
5,000	787	472	787
6,000	896	538	896
7,000	1,003	602	1,003
8,000	1,077	646	1,077
9,000	1,136	682	1,136
10,000	1,210	726	1,210
12,000	1,345	807	1,345
14,000	1,480	888	1,480
16,000	1,615	969	1,615
18,000	1,750	1,047	1,750
20,000	1,877	1,126	1,877
25,000	2,179	1,307	2,179
30.000	2,495	1,497	2,495

^a Se permite la interpolación para las capacidades de los tanques intermedios. Los tanques con una capacidad superior a 30.000 m³ no están cubiertos por este anexo. La práctica de la industria ha sido usar el volumen máximo de líquido (volumen excluyendo el techo del tanque) para determinar la respiración de entrada/salida térmica. Los valores de esta columna no se derivan de la conversión de la Tabla A.4; en cambio, se eligen para estar cerca de los volúmenes en la Tabla A.4 y los requisitos de ventilación se basan en cálculos directos utilizando los volúmenes elegidos.

^b Para obtener información sobre la base de estos cálculos, consulte A.3.3.

^c Para las existencias con un punto de inflamación de 37,8 °C o superior, se ha supuesto que el requisito de exhalación es el 60 % de la inhalación requisito. Para obtener información sobre la base de estos cálculos, consulte A.3.3. d

Para las existencias con un punto de inflamación por debajo de 37,8 °C, se ha supuesto que el requisito de exhalación es igual al requisito de inhalación para permitir la vaporización en la superficie del líquido y la mayor gravedad específica de los vapores del tanque. Para obtener información sobre la base de estos cálculos, consulte A.3.3.

Fuente: American Institute of Petroleum. Norma API 2000 (2020)

Anexo No 13

Características Válvula de venteo con arresta llamas Protego FA-E-IIA P1,2

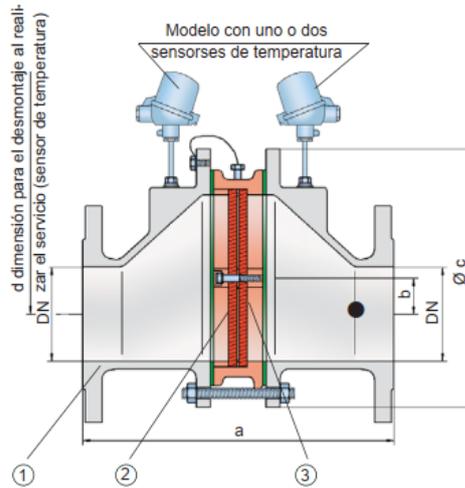
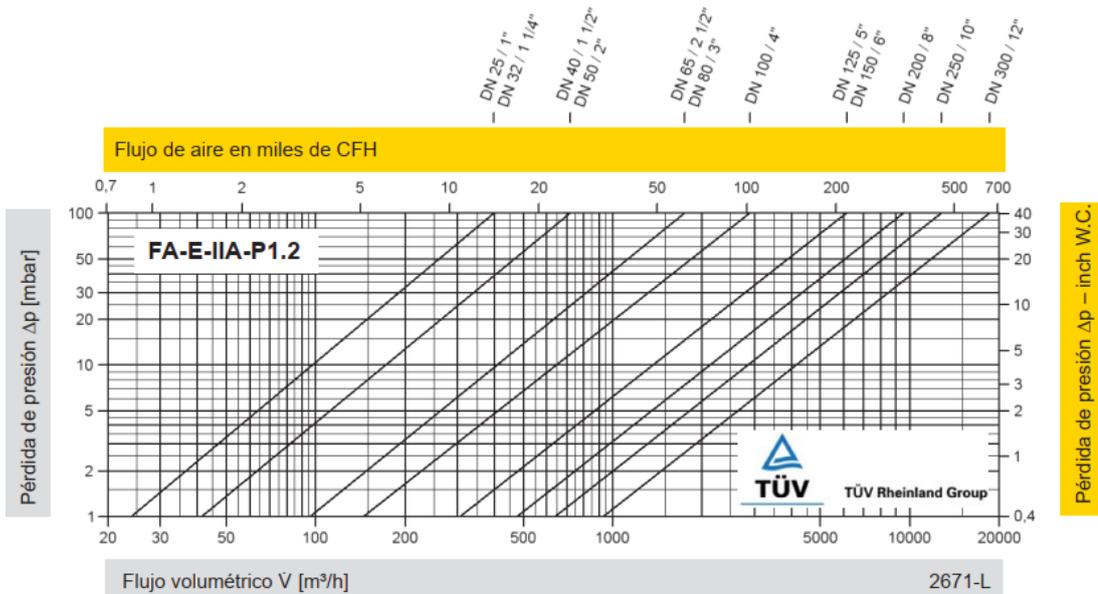


Tabla 1: Dimensiones Dimensiones en mm / pulgada

Para seleccionar el tamaño nominal (DN), rogamos usar el diagrama de flujo volumétrico en las páginas siguientes

Gr. Expl.	DN	25 / 1"	32 / 1¼"	40 / 1½"	50 / 2"	65 / 2½"	80 / 3"	100 / 4"	125 / 5"	150 / 6"	200 / 8"	250 / 10"	300 / 12"
IIA	a	304 / 11.97	304 / 11.97	310 / 12.20	314 / 12.36	360 / 14.17	364 / 14.33	370 / 14.57	434 / 17.09	440 / 17.32	450 / 17.72	480 / 18.90	500 / 19.69



2671-L

Anexo No 14

Características Válvula de Venteo con arresta llamas detonación Protego DR/ES-80-IIB3

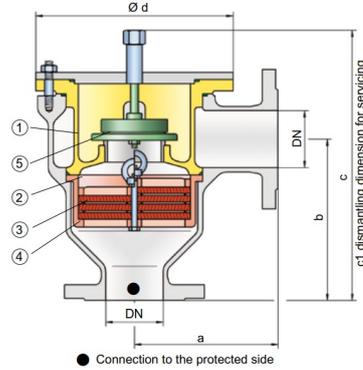


Table 1: Dimensions Dimensions in mm / inches

To select the nominal size (DN), please use the flow capacity charts on the following pages.

DN	25 / 1 / 32 / 1 1/4"	40 / 1 1/2"	50 / 2"	65 / 2 1/2"	80 / 3"	100 / 4"	125 / 5"	150 / 6"	200 / 8"
a	125 / 4.92	153 / 6.02	155 / 6.10	198 / 7.80	200 / 7.87	250 / 9.84	332 / 13.07	335 / 13.19	425 / 16.73
b	140 / 5.51	183 / 7.20	185 / 7.28	223 / 8.78	225 / 8.86	290 / 11.42	357 / 14.06	360 / 14.17	505 / 19.88
c	237 / 9.33	305 / 12.01	305 / 12.01	395 / 15.55	395 / 15.55	460 / 18.11	575 / 22.64	575 / 22.64	863 / 33.98
c1	345 / 13.58	410 / 16.14	410 / 16.14	530 / 20.87	530 / 20.87	615 / 24.21	790 / 31.10	790 / 31.10	1295 / 50.98
d	149 / 5.87	210 / 8.27	210 / 8.27	275 / 10.83	275 / 10.83	325 / 12.80	460 / 18.11	460 / 18.11	620 / 24.41

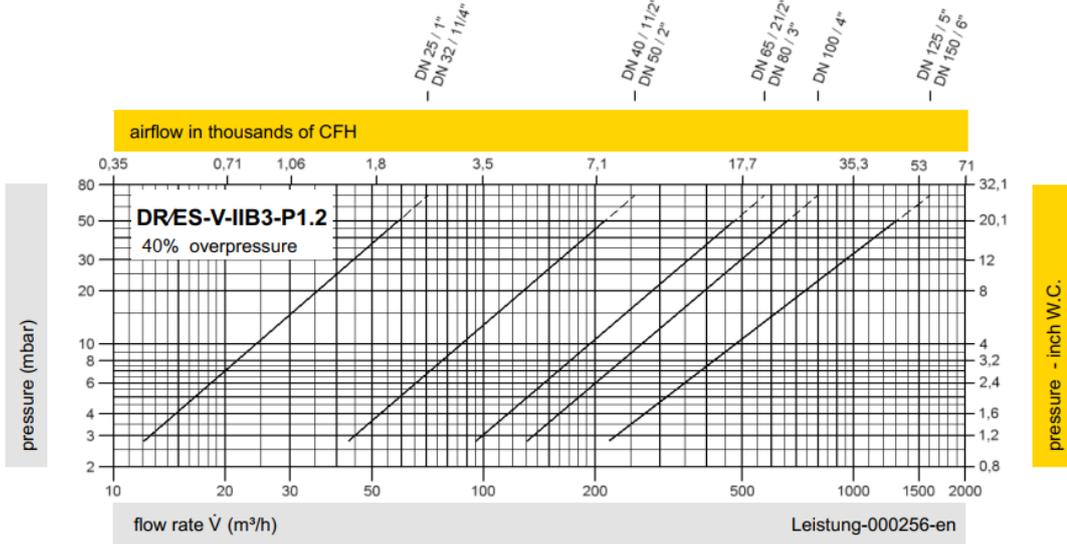


Table 3: Selection of max. operating pressure

Expl. Gr.	DN	25 / 1	32 / 1 1/4"	40 / 1 1/2"	50 / 2"	65 / 2 1/2"	80 / 3"	100 / 4"	125 / 5"	150 / 6"	200 / 8"
IIA	P _{max}	4.0/58.0	4.0/58.0	4.0/58.0	4.0/58.0	2.9/42.1	2.9/42.1	2.0/29.0	2.0/29.0	2.0/29.0	1.2/17.4
IIB3	P _{max}	3.0/43.5	3.0/43.5	2.0/29.0	2.0/29.0	2.0/29.0	2.0/29.0	1.5/21.7	1.4/20.3	1.4/20.3	1.1/15.9

Anexo No 15

Características Válvula Rompedora de Vacío Protego VD/TS-150-IIB3

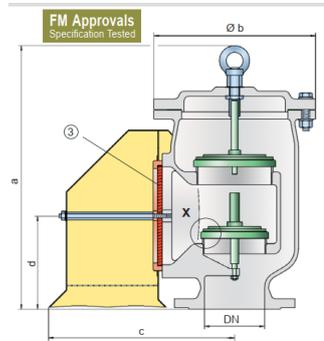
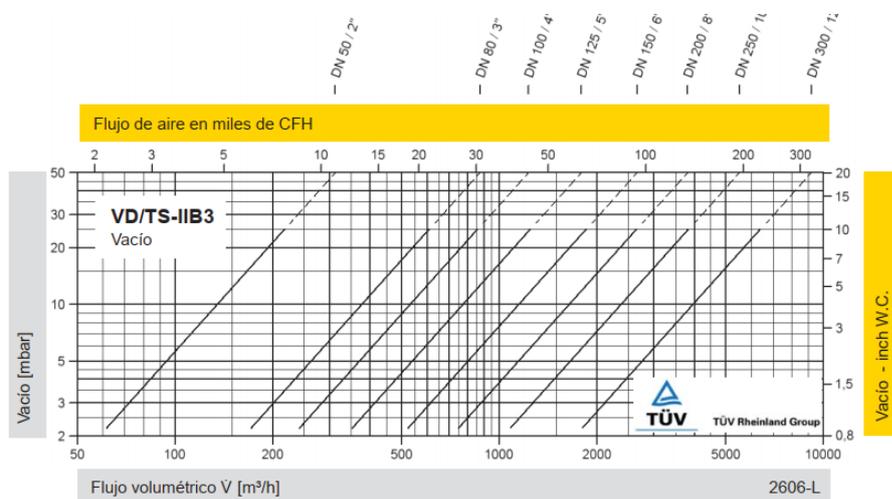
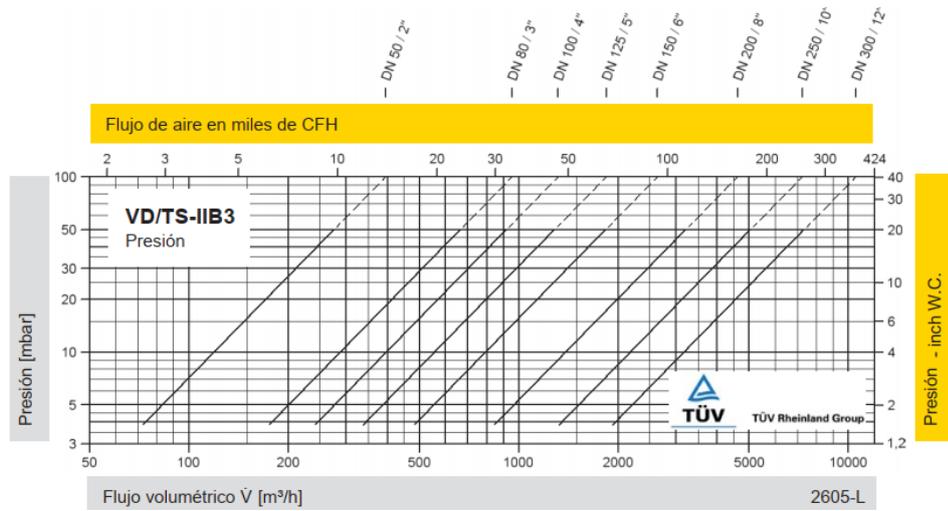


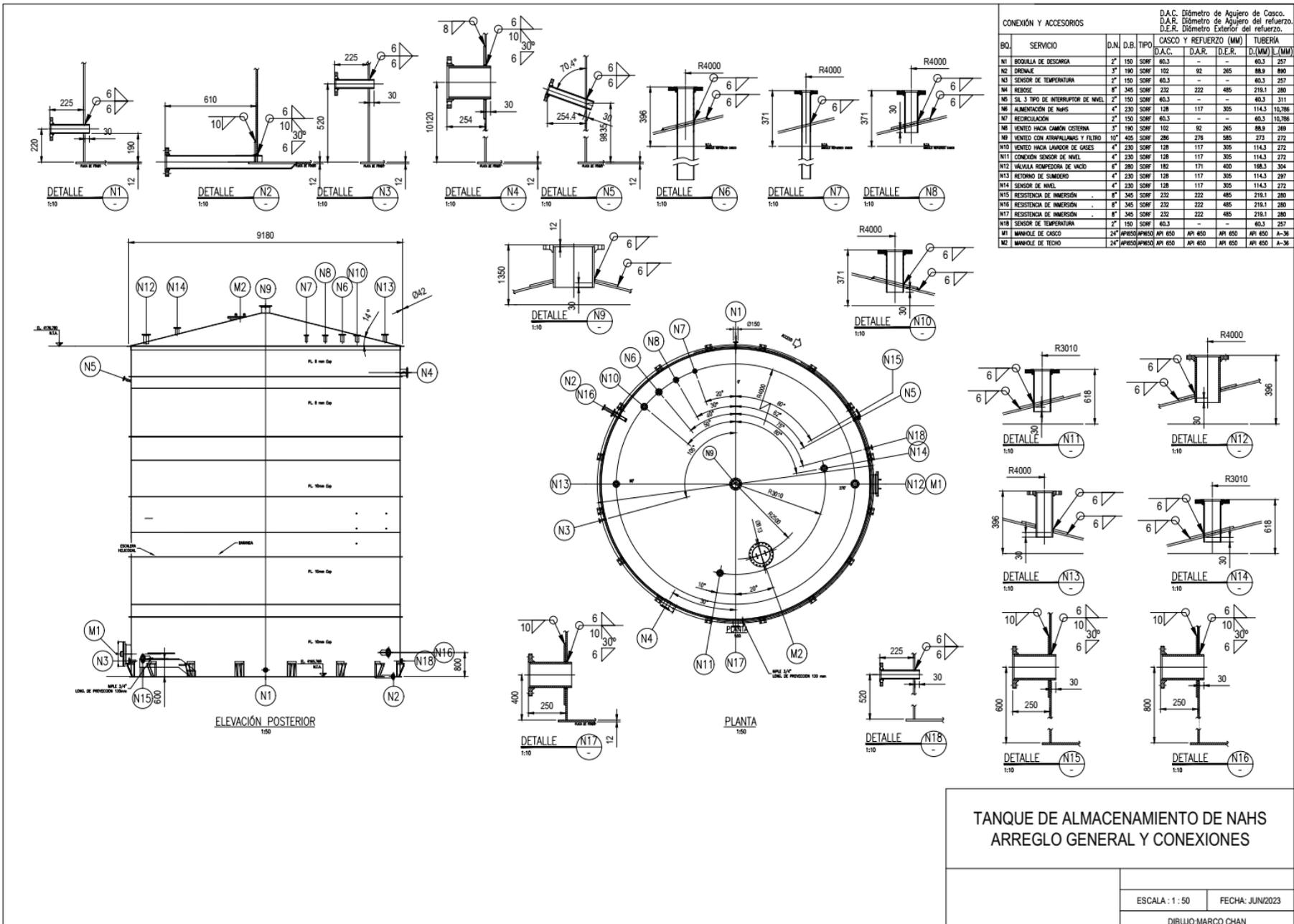
Tabla 1: Dimensiones Dimensiones en mm / pulgadas

Para seleccionar el tamaño nominal (DN), utilícese los diagramas de flujo volumétrico abajo indicados

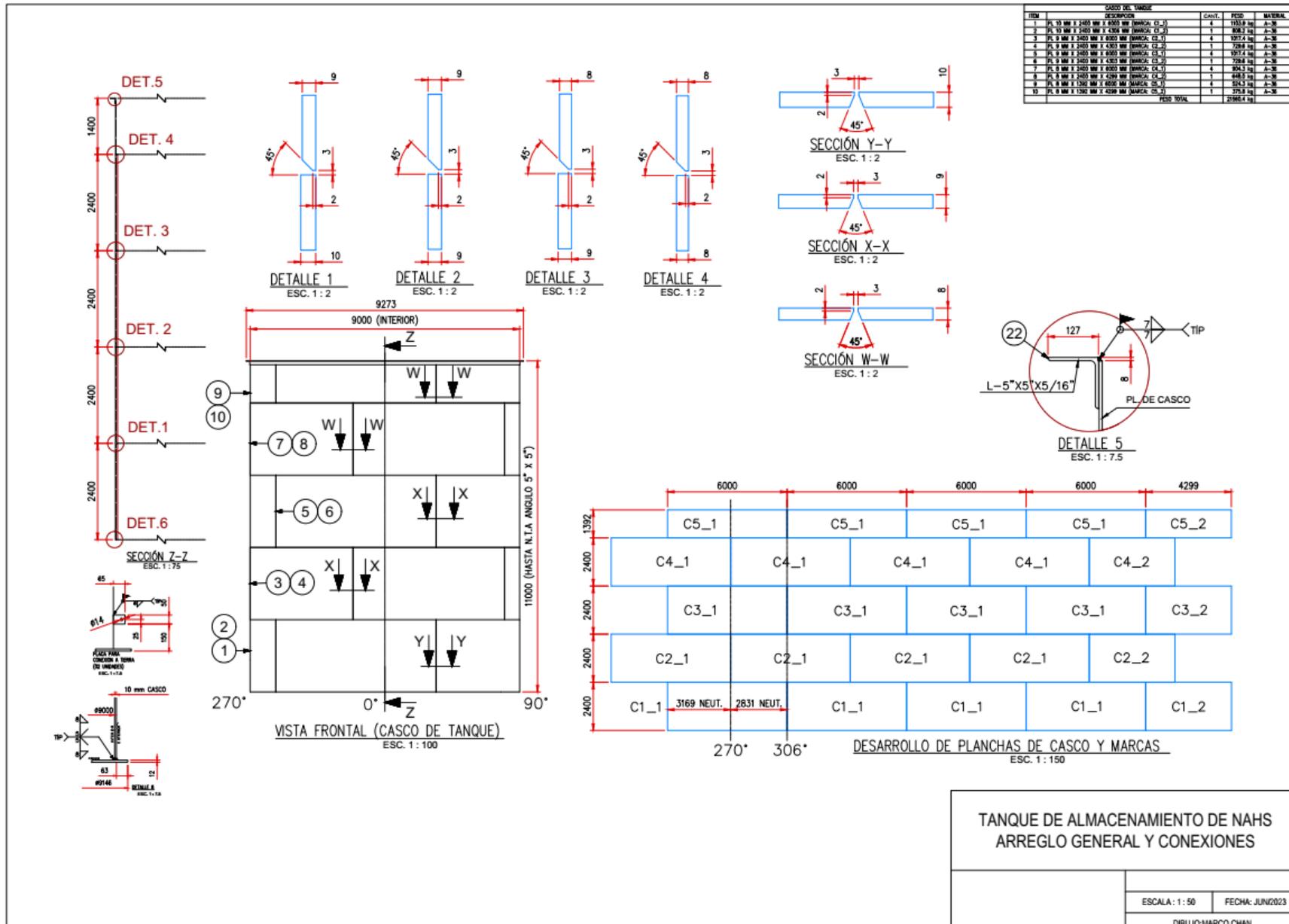
DN	50 / 2"	80 / 3"	100 / 4"	125 / 5"	150 / 6"	200 / 8"	250 / 10"	300 / 12"
a	340 / 13.39	430 / 16.93	490 / 19.29	610 / 24.02	610 / 24.02	705 / 27.76	765 / 30.12	930 / 36.61
b	210 / 8.27	280 / 11.02	310 / 12.20	390 / 15.35	390 / 15.35	445 / 17.52	505 / 19.88	560 / 22.05
c	206 / 8.11	277 / 10.91	347 / 13.66	427 / 16.81	427 / 16.81	534 / 21.02	604 / 23.78	823 / 32.40
d	125 / 4.92	150 / 5.91	180 / 7.09	230 / 9.06	230 / 9.06	270 / 10.63	310 / 12.20	445 / 17.52



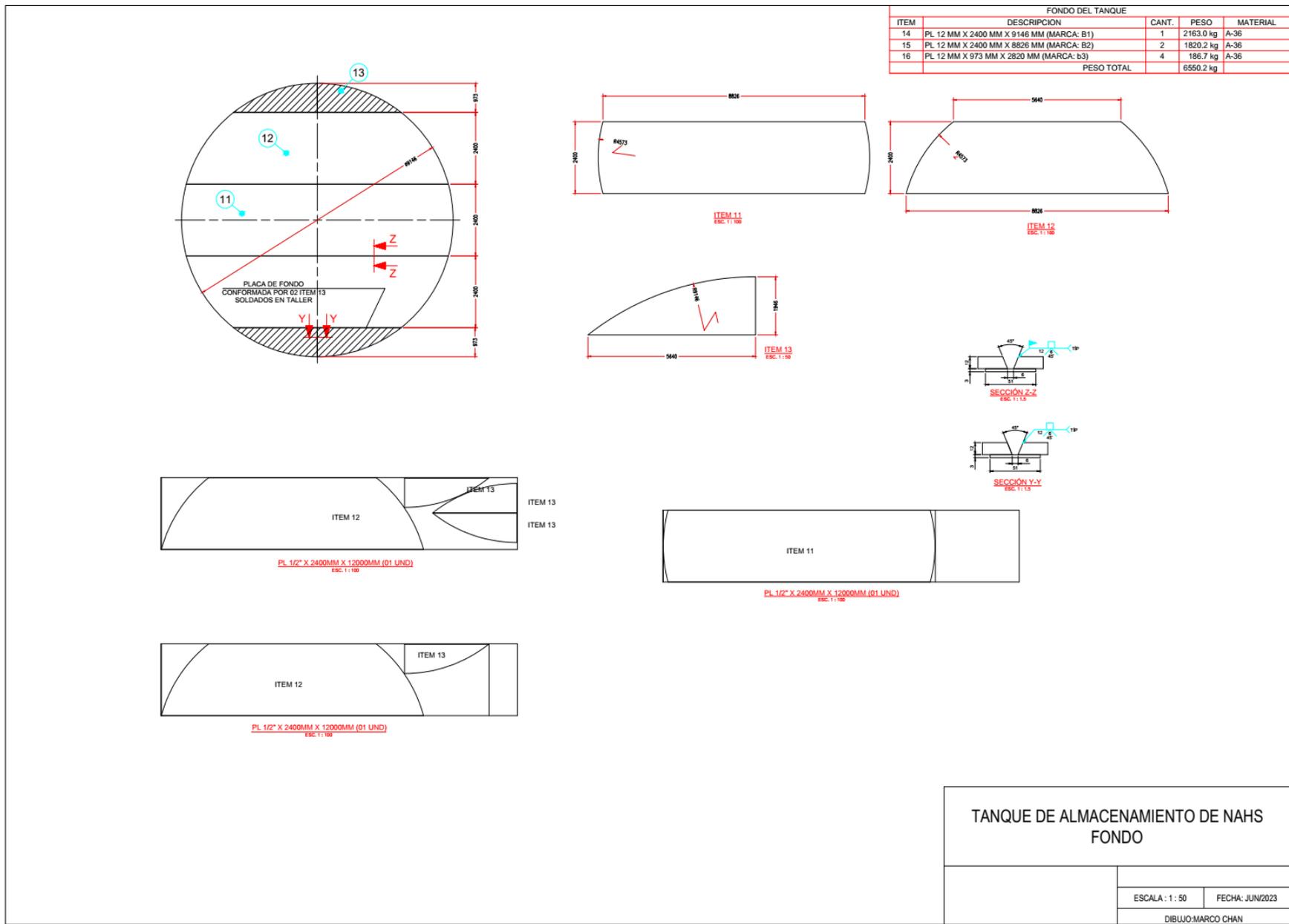
Anexo No 16 Plano Arreglo general del tanque



Anexo No 17 Plano desarrollo del Casco



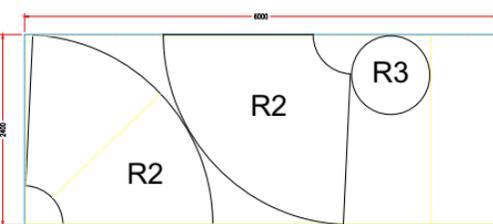
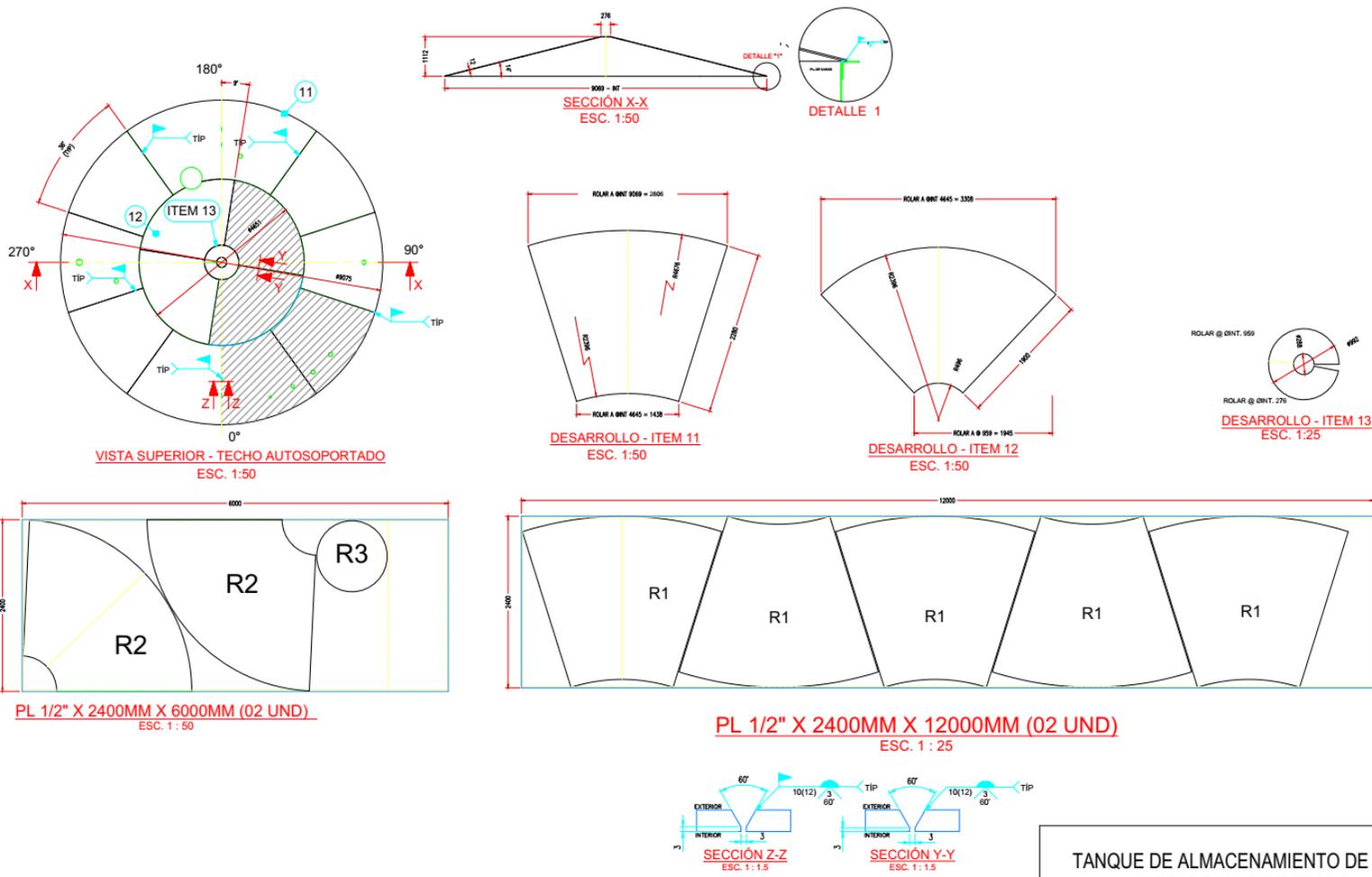
Anexo No 18 Plano desarrollo del Fondo



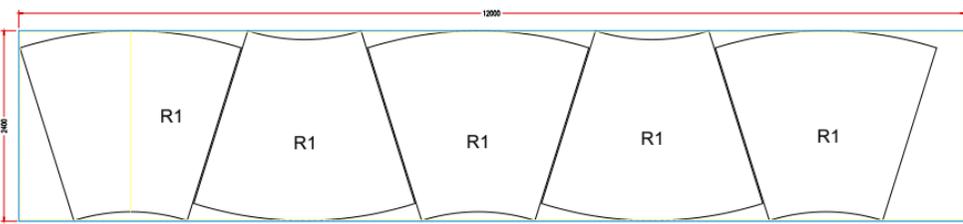
Fuente: Elaboración Propia

Anexo No 19 Plano desarrollo del Techo

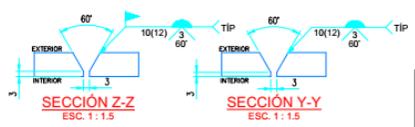
TECHO DEL TANQUE				
ITEM	DESCRIPCION	CANT.	PESO	MATERIAL
11	PL 12 MM X 2390 MM X 2806 MM (MARCA: r1)	10	459.6 kg	A-36
12	PL 12 MM X 2037 MM X 3308MM (MARCA: r2)	4	434.4 kg	A-36
13	PL 12 MM X Ø992 (MARCA: R3)	1	64.6 kg	A-36
TOTAL			6398.2 kg	



PL 1/2" X 2400MM X 6000MM (02 UND)
ESC. 1 : 50



PL 1/2" X 2400MM X 12000MM (02 UND)
ESC. 1 : 25



**TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE NAHS
DESARROLLO DE TECHO**

ESCALA : 1 : 50	FECHA: JUN/2023
DIBUJO: MARCO CHAN	