UNIVERSIDAD MAYOR, REAL Y PONTIFICIA DE SAN FRANCISCO XAVIER DE CHUQUISACA

VICERRECTORADO

CENTRO DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

ESTUDIO TÉCNICO DE LA IMPLEMENTACION DE UN TANQUE VERTICAL DE TECHO CONICO PARA EL INCREMENTO DE CAPACIDAD DE JET FUEL EN LA AEROPLANTA CAPITAN NICOLAS ROJAS DE POTOSI

TRABAJO EN OPCIÓN A DIPLOMADO EN TRANSPORTE, ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN DE HIDROCARBUROS

ELIANA MICHAELLE MORALES ROJAS

Sucre – Bolivia

2023

CESIÓN DE DERECHOS

Al presentar este trabajo como requisito previo a la obtención del Diplomado en Transporte, Almacenamiento y Distribución de Hidrocarburos de la Universidad Mayor, Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca, autorizo al Centro de Estudios de Posgrado e Investigación o a la Biblioteca de la Universidad, para que se haga de este trabajo un documento disponible para su lectura, según normas de la Universidad.

También cedo a la Universidad Mayor, Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca, los derechos de publicación de este trabajo o parte de él, manteniendo mis derechos de autor hasta un periodo de 30 meses posterior a su aprobación.

Eliana Michaelle Morales Rojas

Sucre, 7 diciembre de 2023.

DEDICATORIA

A Dios por bendecirme y darme fuerza para superar obstáculos y dificultades.

A mis padres por su amor, apoyo y sacrificio. Ustedes son mi ejemplo a seguir. Son los padres más valientes y luchadores. Me han enseñado que con esfuerzo es posible todo.

A mi querido esposo y a mi hijita por su apoyo.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, agradecer a Dios por otorgarme salud y bienestar, en todo momento.

Agradecer a mis padres por ser el pilar de este gran logro, gracias por darme esa fortaleza y brindarme su apoyo en cada momento.

A mis queridos amigos de la carrera y trabajo por su amistad sincera, por haber compartido momentos inolvidables y brindarme su apoyo durante todo este tiempo.

A la universidad Mayor Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca, a los docentes de la carrera Ingeniería Gas y Petróleo por las enseñanzas brindadas, paciencia y dedicación, para formarnos como profesionales dedicados.

Finalmente agradecer a toda mi familia, hermanos, primos, tíos que siempre estuvieron ahí para apoyarme.

RESUMEN

El propósito de este estudio es la expansión de la aeroplanta Capitán Nicolás Rojas de Potosí, que implica la construcción de un tanque vertical de techo fijo de tipo cónico. Para ello, se ha evaluado la situación actual de la aeroplanta, caracterizada por vuelos exclusivamente chárter de aeronaves, con una demanda total para todas las aeronaves de 40,517 litros. Actualmente, la capacidad máxima existente es de 40,000 litros, generando una escases en el suministro de combustible JET FUEL, sin considerar la capacidad de aviones.

Se ha evaluado la capacidad requerida para la aeroplanta, tomando en cuenta las aeronaves HERCULES y BOEING, con capacidades de 24,000 litros y 26,020 litros, respectivamente. Considerando un stock de autonomía de 3 días y un crecimiento del 60%, la capacidad necesaria asciende a 434,577.6 litros, equivalente a 435 metros cúbicos. Con base en estos cálculos, se ha determinado la geometría óptima del tanque, con una altura de 9 metros y un diámetro de 8 metros. Al realizar el cálculo del cilindro, se ha obtenido una capacidad de 452 metros cúbicos, lo que asegura cubrir la demanda futura.

Para llevar a cabo el estudio técnico, se utilizó el software AMETANK, el cual sigue la normativa API 650 en su 13ª edición. Se optó por el material de placa A36 grupo I, dada su resistencia a las temperaturas extremas. Utilizando este material, se determinaron cuatro anillos en el cuerpo del tanque, compuestos por siete placas cada uno con sus respectivas longitudes y anchos. Además, se calculó el ángulo de construcción necesario, considerando la forma circular del tanque, y se determinó el espesor requerido para cada anillo. La configuración del techo y la base del tanque es asimétrica, ya que implica cortes específicos en las placas que se replican en la soldadura. En otras palabras, se emplean dos placas con dimensiones idénticas. Este análisis confirma que el tanque vertical representa una solución efectiva para abordar la escasez de suministro de jet fuel en la aeroplanta.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA ..... *i*

AGRADECIMIENTOS ..... *ii*

RESUMEN ..... *iii*

ÍNDICE DE CONTENIDO ..... *iv*

ÍNDICE DE FIGURA ..... *vii*

ÍNDICE DE TABLAS ..... *viii*

1 CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN 1

1.1 ANTECEDENTES 1

1.1.1 Planteamiento del Problema *1*

1.2 OBJETIVOS 2

1.2.1 Objetivo General *2*

1.2.2 Objetivos Específicos *2*

1.3 JUSTIFICACIÓN 3

1.3.1 Justificación Practica *3*

1.3.2 Justificación Teórica *4*

1.4 METODOLOGÍA 4

1.4.1 Técnicas de Investigación *4*

1.4.2 Instrumentos de Investigación *4*

2 CAPÍTULO II: DESARROLLO 5

2.1 MARCO TEORICO 5

2.1.1 Marco Conceptual *5*

2.1.1.1 Tanques de Almacenamiento 5

2.1.1.2 Normativa Aplicable 6

2.1.1.3 Otras Normas Aplicables 7

2.1.1.4 Normas de Seguridad 7

2.1.1.5 Ley 1333, Reglamentos Ambientales del Sector Hidrocarburifero 8

2.1.1.6 Tipos de Tanques de Almacenamiento 8

2.1.1.7 Accesorios de Tanques (American Petroleum Institute, API 2012) 10

2.1.1.8 Combustibles Almacenados 12

2.1.1.9 Jet Fuel 12

2.1.1.10 Demanda del Transporte Aéreo 17

2.1.1.11 Criterios de Diseño para un Tanque de Almacenamiento 19

2.1.1.12 Dimensionamiento del tanque 21

2.1.2 Marco Contextual *26*

2.1.2.1 Ubicación del Lugar de Aplicación 26

2.1.3 Características del tanque de almacenamiento *27*

2.1.4 Características del Entorno *29*

2.1.5 Determinación de la demanda de combustible en el aeropuerto *30*

2.2 INFORMACIÓN Y DATOS OBTENIDOS 31

2.2.1 Determinación geométrica del tanque vertical *31*

2.2.2 Información para el diseño del tanque *32*

2.2.3 Selección del tipo de acero estructural *32*

2.2.4 Dimensionamiento del cuerpo del tanque *33*

2.2.4.1 Determinación de la altura en cada anillo, espesor, y numero de placa 33

2.2.4.2 Cálculo de placas de fondo y techo 34

2.2.5 Diseño del tanque mediante el software AMETANK *36*

2.2.5.1 Diseño del cuerpo del tanque vertical 36

2.2.5.2 Diseño del techo del tanque 38

2.2.5.3 Diseño del fondo del tanque 40

2.2.5.4 Dimensionamiento de boquillas en el techo y cuerpo del tanque 41

2.2.5.5 Complementos 45

2.2.5.6 Análisis de costos 45

2.2.5.7 Costos de compra de placa en el montaje de fondo. 46

2.2.6 ANALISIS Y DATOS OBTENIDOS *46*

3 CAPÍTULO III: CONCLUSIONES 48

4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 49

***ANEXOS* 50**

ÍNDICE DE FIGURA

Figura 1: *Tanque vertical de tecno cónico.* 5

Figura 2: *Tanque de techo fijo cilíndrico, vertical y fondo plano.*.....9

Figura 3: *Tanques a Presión cilíndricos y esferas.*.....10

Figura 4: *Instalación de portcamp en el aeropuerto de Potosí.*.....12

Figura 5: *Transporte de JET FUEL mediante cisternas de almacenaje.*.....13

Figura 6: *Tanque Horizontal para almacenamiento de JET FUEL.*.....16

Figura 7: *Tanque vertical para almacenamiento de JET FUEL.*.....17

Figura 8: *Ubicación satelital del Aeropuerto Capitán Nicolas Rojas.* 27

Figura 9: *Tanque en construcción de una capacidad de 40.000litros.* 28

Figura 10: *Planta de almacenamiento de Jet Fuel en el aeropuerto de Potosí.* 28

Figura 11: *Diagrama de barras de las aeronaves en capacidad de almacenaje de jet fuel.*.....29

Figura 12: *Determinación del volumen del tanque*.....31

Figura 13: *Determinación de la capacidad de tanque, peso de fluido y tanque.* 36

Figura 14: *Esquema representativo de la placa del tanque vertical*.....37

Figura 15: *Determinación de la longitud y Angulo de cada placa en el anillo*.....38

Figura 16: *Determinación del espesor y peso del techo en la construcción del tanque.*.....39

Figura 17: *Diseño del fondo del tanque.*.....40

Figura 18: *Dimensionamiento de placa en la construcción de fondo del tanque.* 41

Figura 19: *Ubicación de las boquillas en el techo cónico*.....42

Figura 20: *Ubicación de boquillas en el cuerpo del tanque*.....44

Figura 21: *Esquema final del tanque esférico de techo cónico.*.....45

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: *Coordenadas de ubicación.*.....26

Tabla 2: *Características de las diferentes aeronaves.* 29

Tabla 3: *Capacidad de Aeronaves y aviones*.....30

Tabla 4: *Grupos de materiales de acero (I, II, III, IIIA).* 32

Tabla 5: *Dimensiones comerciales de placas de acero A36* 36

Tabla 6: *Resultados de la simulación en el cálculo de espesor, diámetro.* 42

Tabla 9: *Resultados obtenidos por el simulador AMETANK.*.....44

Tabla 10: *Costos en compra de material de construcción de placa para el cuerpo*. 65

Tabla 11: *Costos en compra de material de construcción de placa para el techo*.....65

Tabla 12: *Costos en compra de material de construcción de placa para el fondo* 66

Tabla 13: *Resultados obtenidos del diseño del tanque.* 46

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

Durante la revisión de Proyectos de Grado en la Biblioteca de la Facultad de Ciencias y Tecnología (USFX), no se encontraron investigaciones vinculadas al tema propuesto. No obstante, al ampliar la búsqueda a nivel nacional, se logró identificar estudios relacionados con la expansión de la capacidad de almacenamiento en Aero plantas. Es importante mencionar que en la Escuela Militar de Ingeniería Mcal. Antonio José de Sucre se llevó a cabo un Trabajo de Grado con título Reingeniería de la provisión de JET – A1 para ampliar la capacidad de almacenaje y compensar las necesidades de la Aero planta del trompillo en la ciudad de Santa Cruz. (Perez, 2014)

En la actualidad, el país cuenta con un total de 15 Aero plantas, y YPFB AVIACION asume la responsabilidad de la comercialización de combustibles de aviación (JET FUEL y AV GAS) en todo el territorio nacional. Destacamos este hecho porque en el año 2013, en la ciudad de El Alto, se llevó a cabo la construcción de un tanque vertical destinado al almacenamiento de combustible de aviación JET FUEL A-1, con una capacidad de 190 m^3. Este tanque fue construido siguiendo la normativa ESP-I-001M (Construcción de tanques verticales YPFB Aviación), la cual se fundamenta en el cumplimiento de la norma internacional API 650, y presenta dimensiones de 6000 mm de diámetro y 7000 mm de altura (YPFB AVIACION S.A., 2020).

YPFB Aviación realiza ampliaciones y readecuaciones en sus plantas a nivel nacional, velando por las necesidades específicas de cada una. Sin embargo, para las ampliaciones de capacidad o la construcción de tanques, suele llevarse a cabo un proceso de licitación internacional.

1.1.1 Planteamiento del Problema

El Aeropuerto Capitán Nicolás Rojas, del departamento de Potosí, que tiene una operación de 12 años, según estadísticas se observa un aumento significativo en la demanda de turistas internacionales, pasando de 124.826 en 2015 a 154.918 en 2016, con un crecimiento anual del

22%. La población de Potosí también ha experimentado un aumento, alcanzando los 901.560 habitantes en 2020.

Este aeropuerto cuenta con almacenamiento de Jet Fuel de capacidad de 40.000 litros, si se toma en cuenta las aeronaves como el Boeing 737-800 de BOA, cuya capacidad de combustible es de 26.020 litros no estaría abasteciendo con la demanda de Jet Fuel A-1, porque con dos de estos aviones se presentaría unos escases de combustible.

Por esa razón la necesidad de ampliar la capacidad de almacenamiento es evidente, tomando en cuenta que hoy en día se viene realizando la ejecución del nuevo aeródromo que se encuentra en la fase seis de construcción, con la finalización de esta nueva pista albergará aviones de mayor capacidad. Cabe destacar que la construcción de este aeropuerto inició en 2018 y se proyecta su entrega para el 10 de noviembre de 2024, según lo informado por el periódico El Potosí en mayo de 2023.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo General

Realizar un estudio técnico de la implementación de un tanque vertical de techo cónico para el incremento de capacidad de jet fuel en la Aero planta capitán Nicolás rojas de Potosí.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Describir las condiciones actuales de la planta Capitán Nicolás Rojas.
- Estimar la demanda futura del combustible JET FUEL A-1, considerando el nuevo aeropuerto internacional.
- Describir toda la normativa legal vigente concerniente al diseño, construcción y ensamblaje a los tanques de almacenamiento.
- Realizar el dimensionamiento del tanque vertical con techo cónico en base a la normativa API 650 para su implementación.
- Realizar un estudio de la inversión que requiere la construcción del tanque vertical.

1.3 JUSTIFICACIÓN

1.3.1 Justificación Practica

La construcción de un tanque vertical con techo cónico reemplazará al tanque horizontal existente en el aeropuerto y permitirá expandir significativamente la capacidad de almacenamiento, para ofrecer una amplia gama de servicios de vuelos tanto a nivel nacional como internacional beneficiando la economía del departamento y del país.

Para cumplir con los objetivos establecidos en la investigación de la monografía, se llevará a cabo un análisis de la demanda. Este análisis nos permitirá evaluar el número de vuelos diarios y semanales, lo que a su vez nos proporcionará información crucial sobre el volumen óptimo requerido para suministrar combustible para aviones. A partir de esta información, se procederá a diseñar el tanque de acuerdo con las regulaciones establecidas en la normativa de construcción API 650.

En este proceso de diseño, se determinarán aspectos como el diámetro de las boquillas, que incluyen boquillas de alivio, despacho, recepción, venteo, testeo, drenaje, y el indicador de nivel. Además, se establecerá la altura y el diámetro del tanque, la altura de la boquilla de entrada y despacho de productos, el tipo de escalera a utilizar, y la altura de la baranda perimetral. Todos estos detalles se reflejarán en un plano y una planilla de datos de almacenamiento para el Jet Fuel. Adicionalmente, se creará un diagrama de instrumentación que identificará los instrumentos necesarios en el tanque de diseño. Este enfoque permitirá asegurar que se cumplan los objetivos planteados en la investigación de la monografía.

Por último, este tipo de ampliaciones que YPFB AVIACION realiza, son licitaciones internacionales para que empresas extranjeras realicen este tipo de proyectos, por lo cual pienso que es necesario que estudiantes de la Universidad San Francisco Xavier de Chuquisaca, estén involucrados en estos proyectos, y seamos nosotros en un futuro no muy lejano ganando estas licitaciones con nuestras Empresas y Profesionales Bolivianos.

1.3.2 Justificación Teórica

Para la elaboración de este trabajo, se aplicaron los conocimientos adquiridos durante el transcurso de la carrera de Ingeniería en Petróleo y Gas Natural, así como del diplomado. Estos conocimientos abarcan diversas áreas, entre las cuales se incluyen Almacenamiento, Transporte y Distribución de hidrocarburos, Ingeniería Económica, Elaboración y Evaluación de proyectos, y Legislación y Comercialización de hidrocarburos.

1.4 METODOLOGÍA

La presente monografía es una investigación propositiva, con un enfoque cuantitativo. (Hernandez Sampieri, 2014)

1.4.1 Técnicas de Investigación

Se llevará a cabo un exhaustivo análisis de la información con el fin de elaborar la presente monografía. Para ello, se procederá a obtener datos del "Documento Base de Contratación de Servicios de Consultoría para la Construcción del Aeropuerto Internacional Ciudad de Potosí". Además, se realizará la consulta de información secundaria mediante la visita a la página web, con el propósito de recabar datos históricos relevantes acerca del aeropuerto.

1.4.2 Instrumentos de Investigación

Los instrumentos son las formas en las que se concretiza una técnica o hacen posible que la técnica obtenga los datos de campo. Para el presente trabajo se utilizará instrumentos como Microsoft Excel de gran importancia para el desarrollo del cálculos y obtención de resultados, el software AMETANK ayudará en el cálculo detallado de las dimensiones del tanque, abarcando el cuerpo, techo, fondo y las boquillas. Además, mediante la simulación, podremos anticipar la cantidad de placas necesarias en el diseño utilizando el método de un pie, calcular su peso, y determinar la capacidad en relación con la altura y el diámetro del tanque.

CAPÍTULO II: DESARROLLO

2.1 MARCO TEORICO

2.1.1 Marco Conceptual

2.1.1.1 Tanques de Almacenamiento

Según (Muñoz Marchena, 2021), el almacenamiento constituye un elemento de sumo valor en la explotación de los hidrocarburos debido a que:

- Actúa como un pulmón entre la producción y transporte para absorber las variaciones de consumo.
- Permite la sedimentación de agua y barros del crudo antes de despacharlo por oleoductos a destilación.
- Brinda flexibilidad operativa a las refinerías.
- Actúa como punto de referencia en la medición de despachos de producto.

Los tanques de almacenamiento se utilizan como depósitos para contener una reserva suficiente de algún producto para su uso posterior y/o comercialización.

Figura 1: *Tanque vertical de tecno cónico***.**

Fuente: Imagen Obtenida de (Nina Ochoa, 2018).

Para un almacenaje optimo, es necesario conocer los diferentes tipos de almacenamiento y su rango de aplicabilidad. Por ello, se clasifican los taques según su diseño, forma y uso, puntualizando las ventajas y desventajas de cada una de las diferentes formas de almacenaje. (Muñoz Marchena, 2021)

2.1.1.2 Normativa Aplicable

El diseño de un tanque de almacenamiento debe ser llevado a cabo en base a un conjunto de normas de diferentes entes. Las cuales poseen el fin de fijar parámetros para la selección de materiales, ensamblaje de partes, soldaduras y otros aspectos que se consideran importantes. Este conjunto de normas hace posible que las operaciones de diseño sean las mismas a nivel internacional. (Carreño Vazquez & Hernandez Luna, 2008)

- **API Standard 620;** Es aplicables a grandes tanques horizontales o verticales soldados en el campo, aéreos que operan a presiones en el espacio vapor menores a 2.5 psi y a temperaturas no superiores a 93ºC.
- **API Standard 650;** Es aplicable a grandes tanques horizontales o verticales soldados en el campo, aéreos que operan a presiones en el espacio vapor menores a 1.5 psi y a temperaturas no superiores a 121ºC.
- **API Specification 12D;** Es aplicable a tanques horizontales o verticales soldados en el campo para almacenaje de líquidos de producción y con capacidades estandarizadas entre 75 y 1500 metros cúbicos.
- **API Specification 12F;** Es aplicable a tanques horizontales o verticales soldados en taller para almacenaje de líquidos de producción y con capacidades estandarizadas entre 13.5 y 75 metros cúbicos.
- **API Standard 653;** Es aplicable a la inspección, reparación, alteración desmontaje y reconstrucción de tanques horizontales o verticales, basándose en las recomendaciones del STD API 650, Recomienda también la aplicación de las técnicas de ensayos no destructivos aplicables.

2.1.1.3 Otras Normas Aplicables

Además de las normas y códigos mencionados anteriormente existen algunas otras que las respaldan, complementan y ayudan cuando se requieren variaciones o cambios mínimos en las consideraciones de diseño. Estas normas son:

- **ASME, Boiler and Pressure Vessel Code, Section VIII y X;** Es aplicable para el diseño de diferentes recipientes y tanques tanto cilíndricos, esféricos como de sección rectangular. Se trata de los estándares más reconocidos mundialmente en este campo de aplicación. El código ASME sección IX, establece que toda junta soldada deberá realizarse mediante un procedimiento de soldadura de acuerdo a la clasificación de la junta y que, además, el operador deberá contar con un certificado que lo acredite como soldador calificado. Una vez realizadas las soldaduras estas deberán ser sometidas a un proceso de inspección y prueba como: ultrasonido, radiografiado, liquido penetrante, dureza, etc.
- **Underwriters Laboratories (UL) Standard UL 142;** Es aplicable a tanques de acero de diferentes diseños soldados en taller para almacenaje de líquidos inflamables y combustibles.
- **British Standard (BS) 2594;** Es aplicable a tanques cilíndricos horizontales de acero al carbono soldados.
- **BS 4994;** Comprende las especificaciones para el diseño y construcción de recipientes y tanques en plásticos reforzados. (Carreño Vazquez & Hernandez Luna, 2008)

2.1.1.4 Normas de Seguridad

Las normas de seguridad empleadas en la construcción y operación de los tanques de almacenaje deben ser bastante rígidas, puesto que se trabaja con productos derivados de petróleo que pueden ser altamente contaminantes y explosivos, estas son las normas que son utilizadas para el control de dichos fluidos.

a) BS EN 1127-1: Atmosferas explosivas, prevención y protección
b) BS 5908: Código de prácticas para precaución de fuego en la industria química
c) BS 6713, parte 4: Sistema de protección contra explosiones

d) BS 6759: Válvulas de seguridad
e) API STD 2000: Venteo atmosférico
f) API RP 520: Selección, dimensionado e instalación de dispositivos de alivio de presión en refinerías
g) API RP 526: Válvulas de seguridad y alivio bridadas
h) API RP 527: Tensión de asiento para válvulas de seguridad

2.1.1.5 Ley 1333, Reglamentos Ambientales del Sector Hidrocarburifero

El reglamento tiene por objeto regular y establecer los límites y procedimientos para las actividades del sector de hidrocarburos que se lleven a cabo en todo el sector nacional relativas a toda la cadena de hidrocarburos. Actividades que cuyas operaciones produzcan impactos ambientales y/o sociales en el medio ambiente y en la organización socioeconómica de las poblaciones asentadas en su área de influencia.

2.1.1.6 Tipos de Tanques de Almacenamiento

Hoy en día la selección del tipo y tamaño de tanques de almacenamiento, está regida por la relación producción-consumo, las condiciones ambientales, la localización del tanque y el tipo de fluido a almacenar. Según (RIOS LINO, 2016), "Todos los tanques antes de ser utilizados, sean fabricados en taller o en campo, deberán ser probados antes de que sean puestos en servicio y regidos según la norma de la que fueron fabricados."

A continuación, describiremos los diferentes tipos de tanques de almacenamiento comúnmente usados en la industria.

2.1.1.6.1 Tanque Atmosférico

Ha sido fabricado para operar a presiones desde la atmósfera hasta presiones de 1,0 psig (de 760 mm Hg hasta 812 mm Hg) medidos en el tope del tanque, los tanques atmosféricos no podrán ser utilizados para el almacenamiento de líquidos a temperaturas iguales o mayores a su punto de ebullición. Los tanques atmosféricos deben ser usados para líquidos que tienen hasta una máxima presión de vapor de 0.914 kg/cm2 abs (13psia) a nivel del mar y por cada 300 metros de elevación la máxima presión de vapor deberá ser reducida en 0.035 kg/cm2 abs (0.5 psia),

entre los principales tanques atmosféricos están los de techo flotante y de techo fijo. (RIOS LINO, 2016)

a) Tanque Atmosférico de Techo Fijo

Son los tanques que pueden tener techo auto soportado o por columnas, la superficie del techo tiene la forma de un cono, el tanque opera con un espacio para los vapores, el cual cambia cuando varía el nivel de los líquidos. Es utilizado generalmente para almacenar líquidos, posee ventilaciones en su techo el cual permite la emisión de vapores y que el interior se mantenga aproximadamente igual a la presión atmosférica, pero produciéndose pérdidas de respiración. (RIOS LINO, 2016)

b) Tanque Atmosférico de Techo Flotante

Estos tanques reducen las pérdidas por llenado y vaciado, lo cual se logra eliminando o manteniendo constante el espacio destinado a vapores, arriba del nivel del líquido. La pared y el techo están construidos de acero y es semejante a los tanques ya mencionados. En estos tanques el techo flota sobre el líquido eliminándose el espacio para los vapores, los tanques de pontones anulares y el techo de doble capa, son algunas variantes de este tipo de tanques. El sello entre la pared y el techo móvil se logra por medio de zapatas que están presionadas contra la pared por medio de resortes o contrapesos con una membrana flexible atada entre la zapata y la cubierta del techo, cabe destacar que existen otros tipos de tanques de techo flotantes, pero son menos empleados en esta gran industria. (RIOS LINO, 2016)

Figura 2: *Tanque de techo fijo cilíndrico, vertical y fondo plano.*

Fuente: Imagen Obtenida de (Nina Ochoa, 2018)

2.1.1.6.2 Tanque a Presión

Son utilizados para líquidos con presión de vapor mayor o igual a 0.914 kg/cm abs (13 psia) a nivel del mar, los principales tipos de tanques a presión son los recipientes cilíndricos y de esferas. Son diseñados para almacenar líquidos volátiles como gasolina y gases licuados de petróleo, que generan altas presiones internas.

Figura 3: *Tanques a Presión cilíndricos y esferas.*

Fuente: Imagen Obtenida de (Nina Ochoa, 2018)

2.1.1.6.3 Tanques Refrigerados

Son utilizados para almacenar gases licuados en rangos del etileno al butano. Los recipientes a presión refrigerados se utilizan para almacenar gases a alta presión como GLN u otros gases criogénicos para los que el almacenamiento a presión, a temperatura ambiente, no es factible. Los límites máximos de estos recipientes son de 4.5 metros de diámetro. Los principales tipos de tanques de refrigeración son recipientes a presión, esferas a presión y tanques cilíndricos verticales. (RIOS LINO, 2016)

2.1.1.7 Accesorios de Tanques (American Petroleum Institute, API 2012)

- **Venteo de relevo de emergencia;** Abertura, método de construcción o dispositivo que automáticamente alivia el exceso de presión interna causada por la exposición a un incendio.

- **Venteo normal;** Abertura, método de construcción o dispositivo que permite el alivio de presión interna excesiva o vacío durante almacenamiento y operaciones normales.
- **Techo de junta frágil;** Se le denomina bajo este nombre a todo techo cónico de tanque vertical metálico que posee la característica de tener el cordón de soldadura más débil de todo el tanque en la unión del techo y el casco. Esta característica permitiría que en caso de una sobrepresión se produzca una falla justamente es esta zona ya determinada. Antiguamente se utilizaba hasta que fue reemplazado por las válvulas de venteo de emergencia. (Catari Cahuaya , 2021, pág. 30)
- **Abertura del techo o pared (Manhole);** Abertura, agujero en la zona del casco y/o techo del tanque, de dimensión tal que pueda ingresar una persona al tanque junto con sus herramientas. Por lo general son de 24 pulgadas de diámetro o mayores. Su objetivo es facilitar el ingreso de personal y recursos para inspecciones y/o mantenimientos. (Catari Cahuaya , 2021, pág. 30)
- **Escaleras y plataformas;** Las escaleras, plataformas y barandales tienen la finalidad de situar al personal que así lo requiera en una zona del tanque que necesite de constante mantenimiento y supervisión, generalmente en el techo donde se localizan diversas boquillas y la entrada hombre, además de brindar protección y seguridad al personal. (Paniagua Paulsen, 2020)
- **Elemento receptor de rayo;** La API 2003 y la NFPA 780 especifican que un tanque de almacenamiento de hidrocarburos puede ser utilizado como elemento receptor de rayos cuando el tenga un espesor mínimo de 5mm. Siempre y cuando no exista corrosión, fisuras o debilitamiento del espesor que pueda ante la circulación de la corriente del rayo, permitir la penetración del arco eléctrico producido por el rayo al momento de golpear los tanques de almacenamiento. (Paniagua Paulsen, 2020)
- **Porta camp;** Los Porta Camps son módulos habitacionales completamente nuevos fabricados según las altas exigencias del Rubro Petrolero. Su uso generalmente va para oficinas, dormitorios, Baños generales, Comedores, salas, laboratorios. Estos ambientes con construidos mediante licitaciones, en el departamento de Potosí se construyó una porta camp para el aeropuerto, el trabajo final de este proyecto se puede observar en la siguiente imagen.

Figura 4: *Instalación de portcamp en el aeropuerto de Potosí***.**

Fuente: Imagen Obtenida de (AIR BP BOLIVIA S.A., 2022).

2.1.1.8 Combustibles Almacenados

Los tanques de almacenamiento están construidos de materiales resistentes de acuerdo a la normativa, para poder manipular y usar correctamente estos elementos. Entre los combustibles que más se almacenan son:

- Gasolina Especial
- Gasolina Especial Plus
- Diesel Oíl
- Gasolina Super Etanol 92
- Keroseno
- Gas Licuado de Petróleo
- Jet Fuel

2.1.1.9 Jet Fuel

Según (Rogel Soliz, 2015), el Jet Fuel "Es un destilado de petróleo, mezcla de fracciones de Keroseno producto de la destilación primaria del petróleo, de especial características" (pág. 7). El Jet Fuel es el combustible utilizado para aviones con turbinas tipo propulsión o jet.

La producción de Jet Fuel (combustible para aviones) en el país se incrementó en un 7% en los últimos meses, pasando de 2.833 Bbl/día a 3.290 Bbl/día, que son procesados en las refinerías de la estatal petrolera para su comercialización en el mercado interno.

El Jet Fuel es el tercer combustible más producido en Bolivia, su obtención es exclusiva de las refinerías de YPFB Refinación S.A., que procesan a su máxima capacidad el crudo y condensado nacional para obtener combustibles de uso final.

Los mayores niveles de comercialización de Jet Fuel se producen en los aeropuertos del eje troncal nacional donde opera YPFB Aviación. El expendio interno de este combustible facilita los vuelos dentro del territorio nacional con una tarifa menor a la de los vuelos internacionales.

2.1.1.9.1 Obtención del Jet fuel

El combustible de aviación principalmente contiene tres compuestos químicos: Parafina, naftenos o ciclo parafina y aromáticos. La proporción de cada uno depende del petróleo crudo que se emplea como materia prima y del proceso de destilado. El Jet Fuel es un hidrocarburo que, al igual que otros combustibles fósiles, debe seguir un proceso desde la obtención del petróleo crudo hasta el producto final. El proceso para la obtención del jet fuel se puede dividir en tres etapas. La primera es la destilación, proceso en el cual se pueden separar diferentes tipos de derivados del petróleo dependiendo de su temperatura de ebullición. Los primeros derivados en elevarse son gases como el propano y butano, a los que les siguen las gasolinas o nafta y luego los kerosenos, los cuales son el destilado del cual se obtiene el Jet Fuel. Su función principal es suministrar potencia al avión, siendo parámetros clave su contenido energético y su calidad de combustión. (Rogel Soliz, 2015, pág. 9)

Figura 5: *Transporte de JET FUEL mediante cisternas de almacenaje*.

Fuente: Imagen obtenida de (YPFB AVIACION S.A., 2020).

2.1.1.9.2 Propiedades del Jet Fuel

De acuerdo con Hemighaus G. (2006), en la caracterización de los combustibles de aviación tipo Jet se pueden diferenciar cinco familias de propiedades fisicoquímicas:

a) Propiedades de Composición

En el combustible de aviación se debe controlar el contenido de aromáticos, azufre y la acidez total.

- **Contenido de aromáticos:** La cantidad de aromáticos tiene que ser limitada ya que estos hidrocarburos tienen dificultad para realizar combustión total y generan humo y depósitos de carbono, principalmente por su acción disolvente sobre los elastómeros.
- **Presencia de azufre:** El contenido de azufre no debe exceder los límites especificados en la normatividad legal (máximo 0.3% masa de azufre total), ya que este compuesto afecta las cámaras de combustión por su alta corrosividad. Además, varios compuestos de azufre (mercaptanos, tioles, carbonilos) tienen un efecto adverso sobre ciertos elastómeros de la nave.
- **Acidez total:** La capacidad del combustible para separar el agua se ve afectada por la presencia de compuestos ácidos como los fenoles y los ácidos nafténicos, con los cuales el combustible puede formar fácilmente emulsiones coloidales, ocasionando problemas en los filtros y deteriorando la calidad el producto.

b) Propiedades de Volatilidad

La atomización, la facilidad de encendido, la estabilidad de la llama y la eficiencia de la combustión, dependen principalmente de la volatilidad del combustible. Las dos propiedades físicas usadas para caracterizar la volatilidad del combustible Jet son la presión de vapor y el perfil de destilación. Un combustible más volátil que otro, presenta una presión de vapor más alta y temperaturas iniciales de destilación más bajas.

La volatilidad es importante debido a que el combustible debe ser vaporizado antes de ser quemado, sin embargo, una volatilidad alta puede resultar en pérdidas por evaporación.

c) Propiedades de Fluidez

La fluidez es un término general que se refiere a la capacidad de una sustancia para fluir, sin embargo, esta no es una propiedad física definida, por eso es importante tener en cuenta otras propiedades físicas que, sí lo son, como lo es el caso del punto de congelamiento y la viscosidad.

El combustible Jet es expuesto a bajas temperaturas, especialmente en rutas polares en invierno y en lugares sometidos a climas fríos extremos. El combustible debe tener la capacidad de fluir a bajas temperaturas de lo contrario el flujo de combustible hacia el motor se puede ver afectado.

d) Propiedades de Combustión

La principal diferencia entre un motor de pistón y una turbina es la forma intermitente en que trabaja el motor de pistón y la forma continua en que trabaja la turbina. Como resultado de esto, el motor tiene diferentes requerimientos de calidad de combustión del combustible. Por ejemplo, en un motor de pistón, la sincronización de la combustión es crítica para un buen desempeño, pero cuando la combustión es continua, no es tan importante.

En el quemador de una turbina se pueden formar partículas carbonáceas pequeñas al inicio de la combustión. Si estas partículas carbonáceas no son consumidas completamente por la llama pueden causar erosión en los alabes y los estatores de la turbina.

Los combustibles con alto contenido de aromáticos y especialmente aquellos con alto contenido de naftalenos tienden a formar más partículas carbonáceas. Por consiguiente, el contenido de aromáticos y el contenido de naftalenos del combustible Jet son controlados.

e) Otras Propiedades

Los contaminantes en cualquier combustible son indeseables puesto que genera deterioro en el sistema de combustión y además de eso pueden causar una menor eficiencia durante la combustión.

- **Contaminación Química:** Es el resultado de la mezcla de dos combustibles o del contacto de otros productos químicos con él, y que afecta sus propiedades físicas y químicas.

- **Contaminación Biológica:** Es el resultado del desarrollo de bacterias y hongos, estos microorganismos se desarrollan en interfaces agua – combustible. El desarrollo de estos microorganismos llega a alcanzar una consistencia que es detectable en forma visual.
- **Contaminación Material:** La contaminación material, consiste generalmente de agua o sedimentos. El agua puede entrar al tanque durante la operación de recepción del combustible y los sedimentos aparecen en el combustible como polvo, suciedad, granos y escamas.

2.1.1.9.3 Características de un Tanque para JET FUEL

Se utilizan tanques de los siguientes tipos:

- Vertical Techo Cónico (Fijo, en aeropuertos)
- Horizontal (Solamente en aeropuertos)

Consta de un fondo cónico con pendiente hacia el centro, mínimo 3%, recomendable 15%, poceta central de drenaje, dos drenajes:

- Drenaje 2” a 4”, para retirar cantidades grandes de agua
- Drenaje 1”, drenaje de punto bajo

Además de estos el drenaje se realiza desde la parte superior del nivel de líquido, con un brazo de succión con flotador.

Recubrimiento interior, se recomienda pintura epòxica que cumpla las especificaciones correspondientes. (Rogel Soliz, 2015, pág. 47)

Figura 6: *Tanque Horizontal para almacenamiento de JET FUEL.*

Fuente: Imagen obtenida de (YPFB AVIACION S.A., 2020).

El almacenamiento de jet fuel no solo se almacena en tanque horizontal, sino que también se diseña tanques verticales con todas las especificaciones requeridas mediante normativa.

Estos tanques suelen construirse con materiales resistentes y duraderos, como acero al carbono o aleaciones de aluminio, para garantizar la integridad estructural y la seguridad del almacenamiento del combustible. También suelen incluir sistemas de protección contra incendios y medidas de seguridad adicionales para prevenir riesgos.

La ubicación estratégica y el diseño de estos tanques están sujetos a regulaciones y normativas estrictas para garantizar la seguridad operativa y ambiental. Además, se implementan medidas para evitar la contaminación del combustible y prevenir fugas.

Figura 7: *Tanque vertical para almacenamiento de JET FUEL.*

Fuente: Imagen obtenida de (YPFB AVIACION S.A., 2020).

2.1.1.10 Demanda del Transporte Aéreo

Los Transportes Aéreos Bolivianos desempeñan un papel crucial en la reactivación económica al facilitar el transporte de una amplia variedad de insumos, desde tecnología hasta suministros médicos. Destacan especialmente las exportaciones de piezas de madera, insumos alimenticios y material petrolero, productos de alta demanda que se benefician de la eficiencia del transporte aéreo.

Esto garantiza que lleguen de manera oportuna a su destino, haciéndolos más competitivos en el mercado. En lo que va del año, se ha exportado un total de 720.000 kilogramos, una cifra que duplica la cantidad de carga exportada en comparación del año 2022.

Este tipo de transporte se ha convertido en un pilar fundamental para la industria nacional, acercando una amplia variedad de productos, desde cargas voluminosas hasta tecnología de vanguardia, contribuyendo así al desarrollo de las actividades cotidianas de la sociedad boliviana.

Es importante destacar que todos los aeropuertos de Bolivia cuentan con aeronaves de mayor capacidad, como los aviones tipo Boeing 737-300, Boeing 737-800, Hércules C-130 y Boeing 757-200. En este contexto, el nuevo aeropuerto en construcción en el Departamento de Potosí tiene como objetivo albergar este tipo de aviones, lo que permitirá la realización de vuelos tanto a nivel nacional como internacional.

Esta iniciativa respalda el crecimiento y la expansión del transporte aéreo en la región, fortaleciendo aún más su papel crucial en la conectividad y el desarrollo económico.

A continuación, se describirá las características de cada uno de los aviones.

- **Boeing 737-800;** La capacidad típica de combustible para este tipo de aviones es de aproximadamente 26,020 litros o alrededor de 6,875 galones estadounidenses.
- **Boeing 737-300;** En términos generales, la capacidad típica de combustible para este tipo de aviones es de alrededor de 18,500 litros o aproximadamente 4,900 galones estadounidenses.
- **Hércules C-130;** La capacidad de combustible del Lockheed Martin C-130 Hércules puede variar según la variante específica y la configuración de la aeronave. Sin embargo, en términos generales, la capacidad típica de combustible para un C-130H, una de las variantes comunes, es de alrededor de 40,000 libras de combustible. Esto equivale a aproximadamente 18,144 kilogramos o alrededor de 24,000 litros.
- **Boeing 757-200;** La capacidad típica de combustible para este tipo de aviones es de aproximadamente 11,489 galones estadounidenses o alrededor de 43,490 litros.

2.1.1.11 Criterios de Diseño para un Tanque de Almacenamiento

2.1.1.11.1 Cargas

Para el diseño de un tanque de almacenamiento se considera lo siguiente:

- Carga Muerta (DL)
- Presión interna de diseño (Pi)
- Prueba hidrostática (Hi)
- Cargas de techo Flotante Interno (Di, Li, L12)
- Carga viva mínima en el techo (Li)
- Sismo
- Nieve (S)
- Liquido Almacenado (F)
- Prueba de presión (P1)
- Viento (W)

2.1.1.11.2 Factores de Diseño

Se debe establecer los siguientes factores de diseño

- Temperatura de diseño (basado en condiciones ambientales)
- La máxima temperatura de diseño
- La gravedad especifica de diseño
- La tolerancia por corrosión (de haber alguna)
- Factores sísmicos

2.1.1.11.3 Medidas de Protección

Se debe considerar la tolerancia por corrosión, test de dureza u otras medidas de protección que considere necesarias.

2.1.1.11.4 Capacidad del Tanque

Se debe especificar:

- La máxima capacidad y su requerimiento de protección de sobrellenado.
- La capacidad neta del tanque
- La capacidad mínima operativa

2.1.1.11.5 Descripción de las boquillas en el techo cónico

- **Venteo;** La boquilla de venteo en un tanque vertical de techo cónico desempeña un papel esencial al permitir la liberación controlada de presión y gases del tanque hacia la atmósfera, evitando la acumulación peligrosa de presión.
- **Boca de medición;** La boquilla de boca de medición en el techo de un tanque vertical de techo cónico cumple la función de proporcionar acceso al interior del tanque para llevar a cabo mediciones y análisis. Esta boquilla permite la introducción de instrumentos de medición, como sondas o dispositivos de muestreo, para obtener datos sobre el contenido del tanque, como nivel, temperatura, densidad, presión u otros parámetros relevantes.
- **Entrada de hombre superior;** La boquilla de entrada de hombre es esencial para mantener y operar un tanque de manera segura y eficiente al proporcionar acceso controlado al interior del mismo para fines de inspección y trabajo humano.
- **Indicador de nivel;** Esta boquilla permite monitorear y mantener el nivel del producto almacenado, lo que es esencial para la gestión segura y eficiente del tanque, asegurando que se mantenga dentro de los límites operativos y de seguridad requeridos.
- **Alarma de Nivel;** Esta boquilla permite monitorear y mantener el nivel del producto almacenado, lo que es esencial para la gestión segura y eficiente del tanque, asegurando que se mantenga dentro de los límites operativos y de seguridad requeridos.
- **Testeo de succión;** Esta boquilla permite inspeccionar y evaluar el funcionamiento de los dispositivos de succión flotante que se utilizan para extraer el producto almacenado de manera controlada, garantizando un flujo seguro y eficiente desde el tanque.

2.1.1.11.6 Descripción de la boquilla en el cuerpo del tanque

- **Entrada de hombre lateral;** Esta boquilla permite al personal ingresar al tanque de manera segura y realizar diversas actividades esenciales para garantizar el funcionamiento adecuado del tanque y la calidad del producto almacenado.
- **Salida de producto;** Cumple la función de permitir la extracción controlada del producto almacenado en el tanque para su distribución y suministro. Esta boquilla sirve como punto de acceso para conectar tuberías o dispositivos que transportan el Jet Fuel desde el tanque hacia los sistemas de distribución y suministro, asegurando un flujo controlado y eficiente del combustible hacia su destino final.

- **Entrada de producto;** Cumple la función de permitir la introducción controlada del combustible Jet Fuel en el tanque durante el proceso de llenado. Esta boquilla proporciona un punto de acceso para la conexión de las tuberías de carga que permiten el ingreso seguro del producto al tanque, asegurando que el proceso se realice de manera controlada y eficiente sin derrames ni sobrepresión, lo que es fundamental para garantizar la seguridad y la integridad del tanque y su contenido.
- **Alarma de nivel bajo/temperatura;** Esta boquilla permite monitorear y controlar el nivel y la temperatura del combustible almacenado, garantizando que se mantengan dentro de límites seguros y óptimos, y advirtiendo cuando es necesario tomar acciones para evitar situaciones no deseadas, como niveles bajos o temperaturas inadecuadas.
- **Conexión cámara generadora de espuma; c**umple la función de proporcionar un punto de acceso para conectar sistemas de generación de espuma en caso de emergencia. Esta boquilla permite la inyección de espuma extintora en el tanque en caso de incendio o situaciones críticas, con el fin de sofocar y controlar el fuego de manera eficiente y segura. Su función es esencial para la protección contra incendios y la seguridad del tanque y su contenido.
- **Conexión para drenaje*;*** Esta boquilla asegura que el tanque se mantenga limpio y libre de contaminantes al permitir la eliminación segura de cualquier líquido no deseado, contribuyendo a mantener la calidad y la integridad del producto almacenado y a prevenir la acumulación de materiales no deseados en el tanque.
- **Conexión drenaje control de calidad;** Esta boquilla permite tomar muestras del Jet Fuel con el propósito de realizar análisis y pruebas de calidad, asegurando que el producto cumple con las especificaciones requeridas y se encuentra en condiciones óptimas para su uso o distribución. Su función es esencial para el control de calidad y la garantía de la integridad del producto almacenado.
- **Conexión para válvula de emergencia;** La boquilla de conexión para válvula de emergencia en el cuerpo de un tanque vertical de techo cónico de almacenamiento de Jet Fuel cumple la función de proporcionar un punto de acceso para la instalación de una válvula de emergencia.

2.1.1.12 Dimensionamiento del tanque

a) Altura del primer anillo, segundo y tercer anillo

La altura de la placa estará determinada por la altura total del tanque, y la construcción de cada anillo dependerá directame+nte de la altura de la mencionada placa. A continuación, se presenta

el cálculo detallado de la altura del cuarto anillo, teniendo en cuenta que el tanque consta de cuatro anillos en su estructura.

$$H_1 = H_2 = H_3 \qquad \text{Ecuación 1}$$

$$H_4 = H_{tanque} - (H_1 + H_2 + H_3) \qquad \text{Ecuación 2}$$

$H_1 = H_2 = H_3$= Altura de anillo 1, 2 y 3, m

H_{tanque}= Altura de tanque, m

b) Determinación de espesores de cada anillo

El concepto de "1 pie" en API 650 se refiere a la altura equivalente a una unidad de medida de un pie (12 pulgadas).

Así, la determinación de los espesores de cada anillo se basa en consideraciones específicas según las normativas y estándares de API 650, teniendo en cuenta factores como la capacidad de almacenamiento, el tipo de material utilizado y las condiciones de carga a las que estará sometido el tanque.

$$t_4 = \left(\frac{2.6 * (H - 1) * G * D}{21000 * E}\right) + CA \qquad \text{Ecuación 3}$$

D= Diámetro del tanque, m

H= Altura del tanque, m

G= Gravedad especifica del fluido

E=Eficiencia de la soldadura

CA=Corrosión permisible, mm/año

c) Determinación del espesor de fondo

El espesor de la base se determina en función del espesor del primer anillo con respecto a la base, asegurando así la resistencia necesaria para soportar la carga total generada por el peso del tanque y su contenido líquido. Este enfoque fundamental implica calcular un grosor que

garantice una resistencia estructural adecuada no solo para soportar el peso del contenido del tanque, sino también para hacer frente a posibles cargas externas.

Este cálculo es esencial para asegurar la integridad y estabilidad del tanque a lo largo del tiempo, considerando factores como la capacidad del tanque, las propiedades del material utilizado y las condiciones ambientales. En esencia, el espesor de la base juega un papel crucial en la seguridad operativa del tanque de almacenamiento al proporcionar la resistencia necesaria contra las fuerzas aplicadas tanto interna como externamente.

d) Determinación de la longitud real de la sercha

La determinación efectiva de la placa se obtiene al calcular la diferencia entre la longitud original de la placa y la longitud de la sercha (es decir, la longitud del cordón de soldadura).

$$L_{RPL} = L_{original} - sercha \qquad \text{Ecuación 4}$$

$L_{original}$= Longitud original de la placa, ft

$sercha$= Longitud de sercha, ft

e) Determinación de numero de placas

El número de placas se determina a través de la relación entre el perímetro y la longitud real, siendo el perímetro el resultado de multiplicar el diámetro por el valor de PI. La ecuación 14 se utiliza para calcular el número de placas de manera que se garantice la construcción adecuada del cuerpo del tanque.

$$No.PL'S = \frac{D * \pi}{L_{RPL}} \qquad \text{Ecuación 5}$$

D=Diámetro del tanque, ft

L_{RPL}= Longitud real de placa, ft

a) Determinación del área de fondo

El área de la base es aquella necesaria para la construcción de la cimentación, como indica la ecuación. Esta área se encuentra directamente relacionada con el diámetro del tanque, según se observa en la fórmula.

$$A_{fondo} = \frac{\pi}{4} D^2 \qquad \text{Ecuación 6}$$

D=Diametro del tanque, ft

b) Determinación del área de la placa

La multiplicación del ancho de la base por la longitud resulta en el área de la placa, tal como se expresa en la ecuación siguiente.

$$A_{PL} = Ancho * longitud \qquad \text{Ecuación 7}$$

$Ancho$= Ancho de placa, ft

$longitud$= Longitud de placa, ft

c) Determinación de numero de placa en el fondo

El número de placas necesario para la construcción del fondo se determina mediante la relación entre la superficie de las placas y la superficie total del fondo, como se expresa en la siguiente ecuación.

$$No.PL = \frac{A_{fondo}}{A_{PL}} \qquad \text{Ecuación 8}$$

A_{fondo}= Area de fondo, ft2

A_{PL}= Area de placa, ft2

d) Determinación del perímetro de la placa

La fórmula suma el doble del ancho al doble de la longitud, reflejando así la contribución de todos los lados de la placa al perímetro total. Es importante destacar que esta fórmula asume que la placa es rectangular y tiene cuatro lados.

$$P_{placa} = 2 * Ancho + 2 * longitud \qquad \text{Ecuación 9}$$

$Ancho$= Ancho de placa, ft

$longitud$= Longitud de placa, ft

e) Determinación del diámetro real

La fórmula refleja la adición de dos veces la suma de la longitud angular y el espesor de la última placa al diámetro nominal del tanque. Esta expresión se utiliza para obtener el diámetro real del tanque, considerando las dimensiones específicas de las placas y su disposición en la construcción del mismo.

$$D_R = D + 2 * (Long.Ang + Esp.ultima\ PL) \qquad \text{Ecuación 10}$$

D= Diámetro del tanque, ft

$Long.Ang$= Longitud de angulo, ft

$Esp.ultima\ PL$= Espesor de ultima placa, ft

f) Determinación del cono

En esta ecuación, y representa la altura del cono, y se calcula multiplicando x por la tangente del ángulo θ. La altura se mide perpendicularmente desde el punto en la superficie del cono hasta el vértice. La variable I es la longitud inclinada o la generatriz del cono, y se calcula como la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de x e y. En un cono, la generatriz es la línea recta que conecta el vértice con cualquier punto en la circunferencia de la base.

$$x = \frac{D_R}{2} \qquad \text{Ecuación 11}$$

$$y = x * tang\theta \qquad \text{Ecuación 12}$$

$$I = \sqrt{x^2 + y^2} \qquad \text{Ecuación 13}$$

g) Determinación del área del cono

La ecuación describe cómo calcular el área lateral del cono en función de su generatriz (I) y la distancia radial (x), utilizando la constante pi (π). Este cálculo es relevante en aplicaciones donde se necesita determinar la cantidad de material necesario para cubrir la superficie lateral de un cono, como en el diseño y construcción de tanques cónicos.

$$A_{lateral} = \pi * I * x \qquad \text{Ecuación 14}$$

h) Determinación del número de placa del cono

Esta ecuación se utiliza para calcular cuántas placas individuales son necesarias para revestir o construir la superficie lateral de un cono específico, teniendo en cuenta la relación entre el área lateral total y el área de una placa individual. Es relevante en el diseño y la construcción de estructuras cónicas, como los tanques cónicos, donde se busca una distribución eficiente de placas para cubrir la superficie del cono.

$$No.PL's = \frac{A_{lateral}}{A_{PL}} \qquad \text{Ecuación 15}$$

$A_{lateral}$= Area lateral, ft

2.1.2 Marco Contextual

2.1.2.1 Ubicación del Lugar de Aplicación

El Aeropuerto Capitán Nicolás Rojas es un aeropuerto de Bolivia que sirve a la ciudad de Potosí como su principal centro de conexiones con otras ciudades del país y del departamento. Se encuentra a 6 km al noreste del centro de la ciudad, presenta las siguientes coordenadas.

Tabla 1*: Coordenadas de ubicación.*

Latitud	-19,54387
Longitud	-65,72249

Fuente: Información obtenida de (Logistics Cluster, 2023).

A partir de marzo de 2013 con las mejoras previas realizadas por la Gobernación del Departamento, convirtieron al aeropuerto en operable, posibilitando la llegada de dos operadores aéreos como Aero con y TAM, que cubren rutas a las ciudades de La Paz y Santa Cruz de la Sierra.

Figura 8: *Ubicación satelital del Aeropuerto Capitán Nicolas Rojas.*

Fuente: Imagen obtenida de (Logistics Cluster, 2023).

2.1.3 Características del tanque de almacenamiento

El año 2011 en la planta de Potosí, para poder operar con Jet Fuel se necesitaron varios cambios en su sistema de suministro, además de mantenimientos mecánicos y pruebas de control de calidad para garantizar la calidad del producto desde el primer día de operación de la planta. Entre las características que va contar la planta de almacenamiento es:

- Tendrá un sistema de recepción, despacho y almacenamiento de combustible de aviación (Jet Fuel).
- Contará con un laboratorio de control de calidad
- Área de almacenamiento de producto degradado

- La construcción e instalación del tanque de almacenaje con todos sus elementos estará de acuerdo a la norma UL 142. (YPFB AVIACION S.A., 2020)

Figura 9: *Tanque en construcción de una capacidad de 40.000litros.*

Fuente: Imagen obtenida de (YPFB AVIACION S.A., 2020)

Cuando se finalizó la construcción del tanque de almacenamiento, se puso en marcha en un terreno ubicado a cierta distancia del aeropuerto de Potosí.

En la Figura 10, se observa como fue instalado el tanque de almacenamiento en un terreno aislado que cuenta con su porta camp para control de calidad del combustible.

Figura 10: *Planta de almacenamiento de Jet Fuel en el aeropuerto de Potosí.*

Fuente: Elaboración propia mediante fotografías tomadas del lugar.

2.1.4 Características del Entorno

El Aeropuerto Capitán Nicolás Rojas es motivo de constante preocupación para las autoridades potosinas, ya que Potosí es una de las principales atracciones turísticas de Bolivia, pero hasta ahora no ha logrado desarrollar un turismo masivo y regular, sobre todo debido a que no cuenta con un aeropuerto equipado para recibir a naves de gran tamaño. Las aeronaves que habitualmente visitan el aeropuerto de Potosí son principalmente naves ejecutivas y de pequeñas dimensiones entre las que destacan el Douglas DC-3, el Curtiss C-46, el Cessna C-206, el Learjet 45 y el CRJ-200.

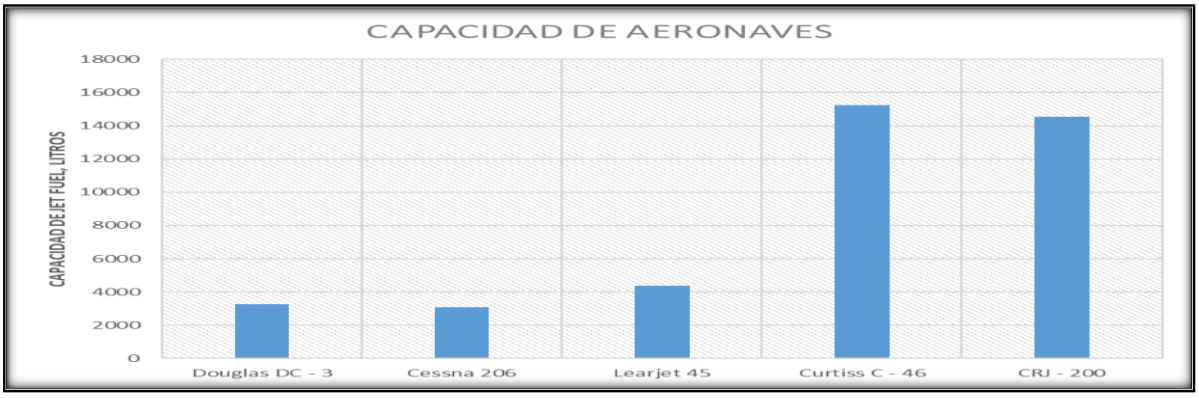
Tabla 2: *Características de las diferentes aeronaves.*

Aeronaves	Pasajeros	Capacidad
Douglas DC – 3	21 – 32	3.270 litros
Cessna 206	6	3.080 litros
Learjet 45	8 – 9	4.377 litros
Curtiss C – 46	50 – 70	15.240 litros
CRJ – 200	50-52	14.550 litros

Fuente: Elaboración propia a base de información obtenida mediante internet, 2023.

A continuación, se presenta un gráfico de barras que muestra la capacidad de cada aeronave, proporcionando una representación visual y estadística de los volúmenes de almacenamiento de combustible para aviones (JET FUEL) en cada aeronave.

Figura 11: *Diagrama de barras de las aeronaves en capacidad de almacenaje de jet fuel.*



Fuente: Elaboración propia mediante Microsoft Excel, 2019.

2.1.5 Determinación de la demanda de combustible en el aeropuerto

Para la evaluación del consumo, se han tenido en cuenta aeronaves de alta capacidad, como el avión Hércules C-130, con una capacidad de 24.000 litros, y el Boeing 737 NG, que puede transportar hasta 26.020 litros. La suma de las capacidades de estos dos aviones asciende a 50.020 litros. Además, se han considerado otras aeronaves con una demanda total de 40.517 litros, una cifra que actualmente se ajusta a la capacidad de suministro del aeropuerto, establecida en 40.000 litros.

En el contexto de las condiciones operativas de los aviones que estarán en servicio, se proyecta una demanda diaria total de 90.537 litros. A continuación, se presentan los consumos totales correspondientes a las nuevas condiciones del Aeropuerto de Potosí.

Tabla 3: *Capacidad de Aeronaves y aviones*

Aeronaves	Capacidad
Douglas DC – 3	3.270 litros
Cessna 206	3.080 litros
Learjet 45	4.377 litros
Curtiss C – 46	15.240 litros
CRJ – 200	14.550 litros
Hércules C - 130	24.000 litros
Boeing 737 NG	26.020 litros
TOTALES	90.537 LITROS

Fuente: Elaboración propia a base de información obtenida de internet, 2023.

Según la **Tabla 3** se aprecia la capacidad de todos los aviones de 90.537 litros, pero a este valor se triplica ya que se considera una autonomía de 3 días, pero adicionalmente se considera un crecimiento de 60%, esto incrementara la capacidad de combustible, a continuación, se realiza el cálculo respectivo:

$$CAP_{tanque} = 3 * 1.6 * Q_{total} \qquad \text{Ecuación 16}$$

$$CAP_{tanque} = 3 * 1.6 * 90537 = 434577.6\ litros$$

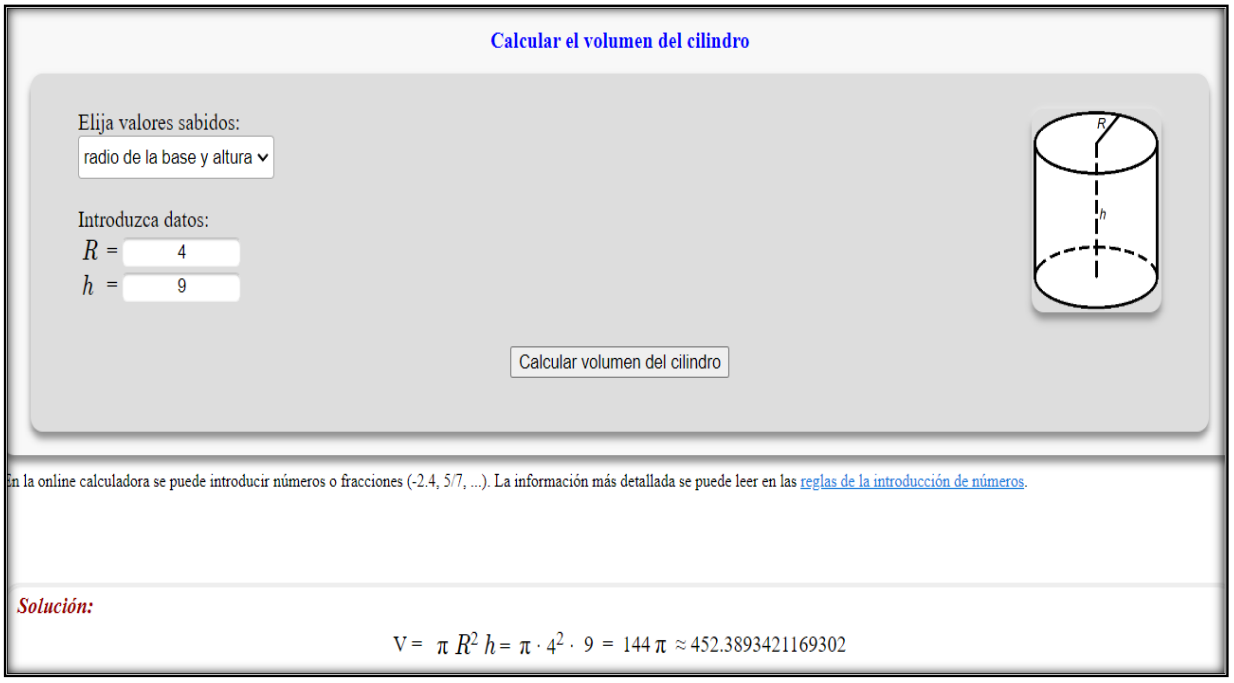
El consumo total asciende a 434,577.6 litros cuando las operaciones están al máximo rendimiento, teniendo en cuenta tanto las aeronaves como los aviones. Este cálculo incorpora un almacenamiento de reserva para tres días y contempla un aumento futuro del 60%.

2.2 INFORMACIÓN Y DATOS OBTENIDOS

2.2.1 Determinación geométrica del tanque vertical

Se registra una demanda de combustible de 434.577,6 litros, equivalente a 435 m³ en unidades métricas. A continuación, se procederá a calcular las dimensiones del tanque vertical de techo fijo correspondiente a esta necesidad.

Figura 12: *Determinación del volumen del tanque*



Fuente: Elaboración propia en base a Web matemáticas online.

Se ha tomado en cuenta una altura de 9 metros y un diámetro de 8 metros, resultando en una capacidad de 452 metros cúbicos (ver Figura 12). Dado que la demanda es de 435 metros cúbicos, se procederá a aplicar esta geometría en el diseño del tanque vertical.

2.2.2 Información para el diseño del tanque

El tanque propuesto suministrará combustible JET FUEL con una gravedad específica de 0.82, Se regirá por la normativa API 650 y tendrá una capacidad de 452 m³. El tanque TK-01 estará ubicado a una altitud de 4090 metros sobre el nivel del mar, correspondiente a la ciudad de Potosí. Las temperaturas varían desde -10°C en invierno hasta 26°C en verano. El caudal de recepción y despacho para el suministro a las aeronaves será de 1000 litros por minuto, como se detalla en el ANEXO 1.

2.2.3 Selección del tipo de acero estructural

Existen diferentes aceros, clasificados por grupos, a continuación, en la Tabla 5, de muestra los grupos de los materiales de acero.

Tabla 4: *Grupos de materiales de acero (I, II, III, IIIA).*

Group I As Rolled, Semi Killed	Group II As Rolled, Killed or Semi Killed	Group III As Rolled, Killed Fine Grain Practice	Group IIIA Normalized, Killed Fine Grain Practice
A 283C	A 1318	A 573-58	A 573-58
A 285C	A36	A 516-55	A 516-55
A 131C	G40 21-38W	A 516-60	A 516-60
A36	Grade 250	G40 21-38W	G40 21-38W
Grade 235		Grade 250	Grade 250
Grade 250			

Fuente: API 650, "Welded Tank for Oil Storage". Sec 4.4

En el ANEXO 2, se presenta un gráfico que muestra la resistencia a temperaturas mínimas en relación a los grupos de materiales. Basándonos en esta figura, hemos seleccionado el grupo I, que tiene una capacidad de resistencia mínima de hasta -12°C. Dado que la temperatura mínima real con la que trabajaremos es de -10°C, hemos optado por utilizar el material A36 para la construcción del tanque.

2.2.4 Dimensionamiento del cuerpo del tanque

2.2.4.1 Determinación de la altura en cada anillo, espesor, y numero de placa

a) Altura del primer anillo, segundo y tercer anillo

La Tabla 6 presenta las dimensiones de la placa, con un ancho de 8 pies, equivalente a 2.439 metros. Dado que la altura total del tanque vertical es de 9 metros, se ha determinado que hasta el tercer anillo se instalarán placas con un ancho total que alcanza una altura de 7.317 metros. El último anillo, que es el cuarto, se ajustará para cubrir la diferencia entre la altura del tercer anillo y la altura total del tanque. Esto resulta en una altura para la última placa de 1.683 metros. Es importante señalar que esta última placa no será completa, ya que se requerirá realizar un corte para ajustarse a la altura final del tanque de 9 metros.

$$H_1 = H_2 = H_3 = 8ft = 2.439\ metros \qquad \text{Ecuación 17}$$

$$H_4 = H_{tanque} - (H_1 + H_2 + H_3) \qquad \text{Ecuación 18}$$

$H_4 = 9 - (2.439 + 2.439 + 2.439) = 1.683\ m.$

b) Determinación de espesores de cada anillo

En la determinación de cada espesor, se emplea la fórmula basada en 1 pie. La ecuación 19 ilustra el cálculo específico para el primer anillo, en el cual dicha fórmula se encuentra expresada en relación con el diámetro y la altura del anillo medida desde la base del tanque.

$$t_4 = \left(\frac{2.6 * (H - 1) * G * D}{21000 * E}\right) + CA \qquad \text{Ecuación 19}$$

$$t_4 = \frac{2.6 * [(29.52 - 8 * 2 - 1.68 * 3.28) - 1] * 0.82 * 26.24}{21000 * 1} + 0.115 = 0.13336\ in$$

$$t_3 = \frac{2.6 * [(29.52 - 8 * 2) - 1] * 0.82 * 26.24}{21000 * 1} + 0.115 = 0.1483\ in$$

$$t_2 = \frac{2.6 * [(29.52 - 8) - 1] * 0.82 * 26.24}{21000 * 1} + 0.115 = 0.1696\ in$$

$$t_1 = \frac{2.6 * [29.52 - 1] * 0.82 * 26.24}{21000 * 1} + 0.115 = 0.19097\ in$$

c) Determinación del espesor de fondo

El espesor de la base se determina tomando como referencia el valor del anillo 1, ya que este anillo sustenta la carga de los anillos 2, 3 y 4, así como la carga del fluido contenido en el tanque. Se aplican condiciones análogas para la base. En consecuencia, el espesor determinado para la base es de 0,19097 pulgadas.

d) Determinación de la longitud real de la sercha

La longitud de la sercha es de 5 pulgadas, y para convertirla a unidades de pie, se divide dicho valor por la constante de conversión de 12. Esto resulta en una longitud de viga de 11.58 pies.

$$L_{RPL} = L_{original} - sercha \qquad \text{Ecuación 20}$$

$$L_{RPL} = 12 - \frac{5}{12} = 11.58\ ft$$

e) Determinación de numero de placas

El número de placas necesario para la construcción del tanque vertical con techo fijo es de 6.15, tal como se evidencia en el resultado obtenido mediante la ecuación 21.

$$No.PL'S = \frac{D * \pi}{L_{RPL}} \qquad \text{Ecuación 21}$$

$$No.PL'S = \frac{26.24 * \pi}{11.58} = 6.15$$

2.2.4.2 Cálculo de placas de fondo y techo

f) Determinación del área de fondo

$$A_{fondo} = \frac{\pi}{4} D^2 \qquad \text{Ecuación 22}$$

$$A_{fondo} = \frac{\pi}{4} 26.24^2 = 551.12\ ft2$$

g) Determinación del área de la placa

$$A_{PL} = Ancho * longitud \qquad \text{Ecuación 23}$$

$$A_{placa} = 8 * 12 = 96\ ft2$$

h) Determinación de numero de placa en el fondo

$$No.PL = \frac{A_{fondo}}{A_{PL}}$$ Ecuación 24

$$No.PL = \frac{551.12}{96} = 5.74$$

i) Determinación del perímetro de la placa

$$P_{placa} = 2 * Ancho + 2 * longitud$$ Ecuación 25

$$P_{placa} = 2 * 8 + 2 * 12 = 40\ ft$$

j) Determinación del diámetro real

$$D_R = D + 2 * (Long.Ang + Esp.ultima\ PL)$$ Ecuación 26

$$D_R = 26.24 + 2 * (4 + 0.25) = 26.94\ ft$$

k) Determinación del cono

$$x = \frac{D_R}{2}$$ Ecuación 27

$$x = \frac{26.94}{2} = 13.4741$$

$$y = x * tang\theta$$ Ecuación 28

$$y = 13.4741 * tang15 = 3.61$$

$$I = \sqrt{x^2 + y^2}$$ Ecuación 29

$$I = \sqrt{13.4741^2 + 3.61^2} = 13.94\ ft$$

l) Determinación del área del cono

$$A_{lateral} = \pi * I * x$$ Ecuación 30

$$A_{lateral} = \pi * 13.94 * 13.4741 = 590.48\ ft2$$

m) Determinación del número de placa del cono

El número de placas necesario para la construcción del cono es de 6.15, lo que implica la adquisición de 7 placas. Esta cifra se obtiene a través de la aplicación de la ecuación 31.

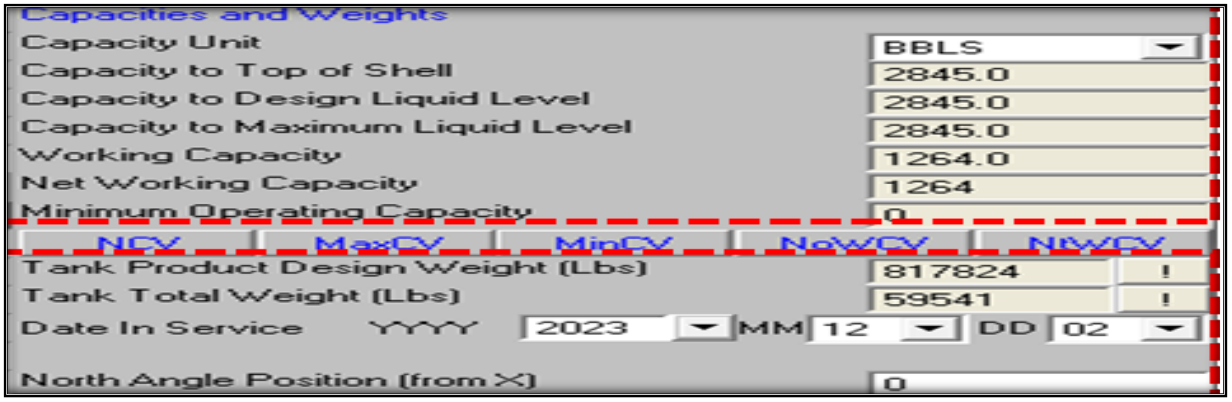
$$No.PL's = \frac{A_{lateral}}{A_{PL}} \qquad \text{Ecuación 31}$$

$$No.PL's = \frac{590.48}{96} = 6.15$$

2.2.5 Diseño del tanque mediante el software AMETANK

El volumen del tanque vertical que se construirá es de 2.845 bbl, el peso calculado por el fluido que es jet fuel es de 817.824 Lbf y del tanque es 53.541 Lbf, el material del tanque es A36 grupo I. En el ANEXO 3 se aprecia el diagrama de nivel en el tanque. Ver Figura 13.

Figura 13: *Determinación de la capacidad de tanque, peso de fluido y tanque.*



Fuente: Elaboración propia mediante el software AMETANK, 2023.

2.2.5.1 Diseño del cuerpo del tanque vertical

A continuación, se presentan las dimensiones de las placas comerciales que exhiben diversas geometrías, con las medidas expresadas en unidades de pies.

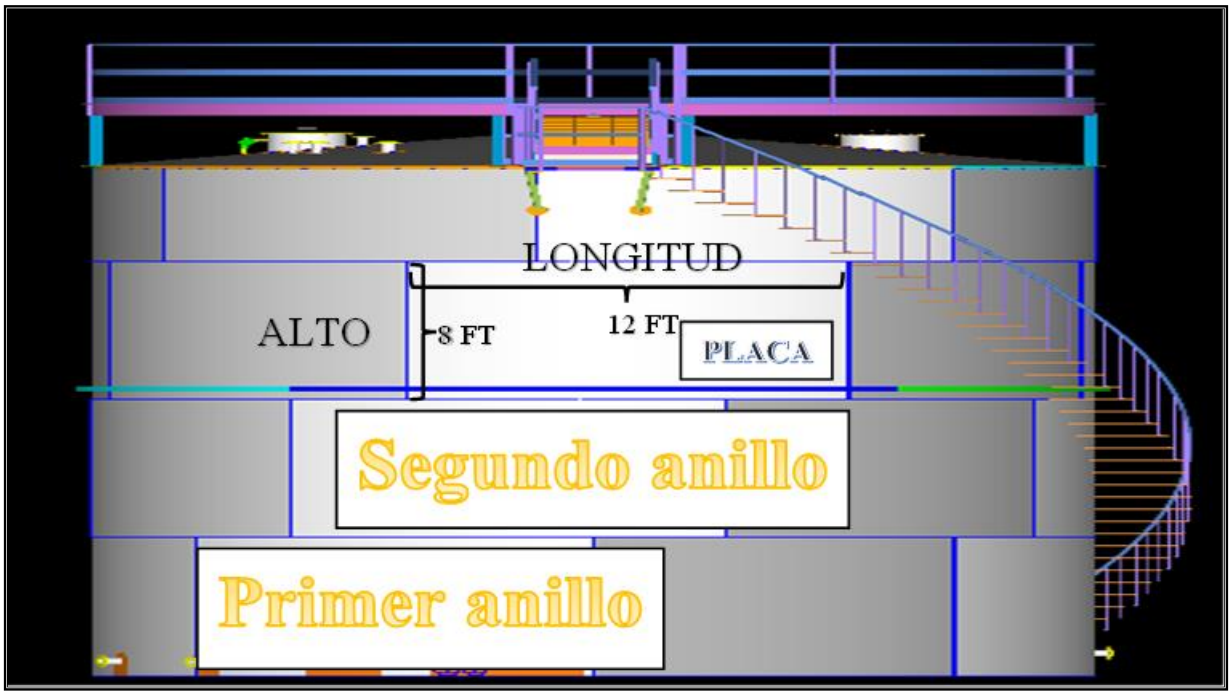
Tabla 5*: Dimensiones comerciales de placas de acero A36*

DIMENSIONES DE PLACA (PIES)			
3’ X 8’	4’ X 10’	5’ X 20’	8’ X 10’
3’ X 10’	4’ X 20’	6’ X 10’	**8’ X 12’**
3’ X 20’	5’ X 10’	6’ X 12’	8’ X 20’
4’ X 6’	5’ X 12’	6’ X 20’	10’ X 20’

Fuente: Obtenida de Aceroya.com, 2023.

Se ha optado por placas de dimensiones específicas para el diseño, con un ancho de 8 pies y una longitud de 12 pies. Estas placas se adquieren con el propósito de utilizarlas en la construcción del tanque, como se puede apreciar en la siguiente representación visual:

Figura 14: *Esquema representativo de la placa del tanque vertical*



Fuente: Elaboración propia mediante el software AMETANK, 2023.

La cuantificación de los anillos, es decir, el número de filas presentes en el tanque hasta alcanzar una altura de 9 metros, se muestra en el Figura 18. En dicho gráfico, se detalla el cálculo del espesor mínimo para cada anillo. El material seleccionado, A36 group, debe ser capaz de soportar no solo la temperatura, sino también la carga del fluido y el peso total del tanque.

El primer anillo experimentará una carga significativamente mayor, ya que sustentará no solo el segundo, tercero y cuarto anillo, sino también el peso del fluido almacenado previamente, según los cálculos realizados. El software utilizado facilita la determinación del espesor mínimo necesario para resistir estas condiciones de carga.

Se estableció un espesor de 0.25 pulgadas para el primer anillo, mientras que para los anillos subsiguientes se ha fijado en 0.1875 pulgadas, de acuerdo con los requisitos previamente explicados. Además, todas las placas utilizadas conservarán su anchura original de 8 pies,

equivalente a 96 pulgadas, con la excepción del último anillo que tendrá un ancho de 64.3 pulgadas.

El número de placas utilizado en la construcción de cada anillo se determina a través de AMETANK, siendo un total de 7 placas, cada una con una longitud de 12 pies, equivalente a 144 pulgadas. La última placa, específicamente, tendrá una longitud de 126.26 pulgadas. Dado que la construcción del cilindro es de forma circular, se requiere un ángulo de construcción. Estos resultados se presentan detalladamente en la Figura 16.

Figura 15: *Determinación de la longitud y Angulo de cada placa en el anillo*

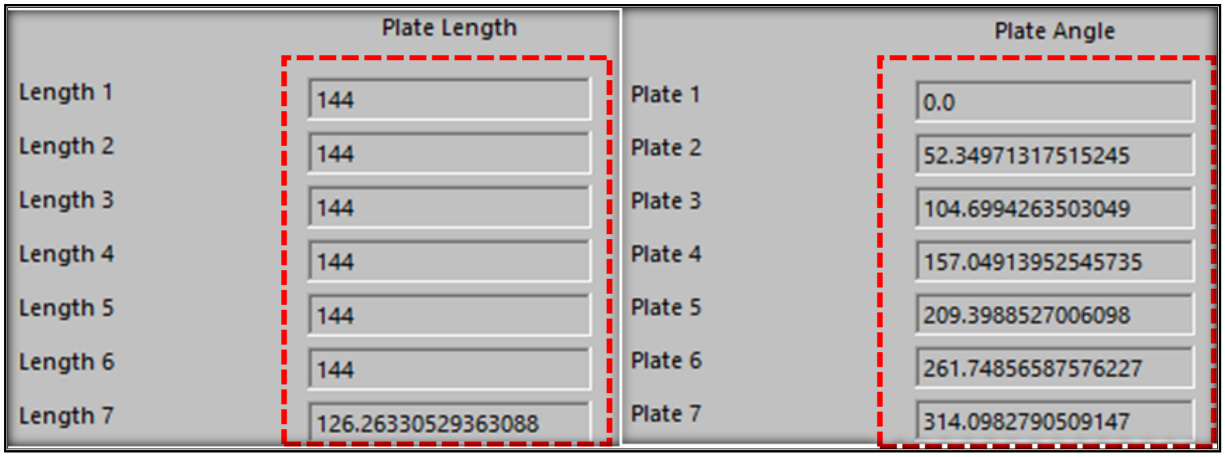


	Plate Length		Plate Angle
Length 1	144	Plate 1	0.0
Length 2	144	Plate 2	52.34971317515245
Length 3	144	Plate 3	104.6994263503049
Length 4	144	Plate 4	157.04913952545735
Length 5	144	Plate 5	209.3988527006098
Length 6	144	Plate 6	261.74856587576227
Length 7	126.26330529363088	Plate 7	314.0982790509147

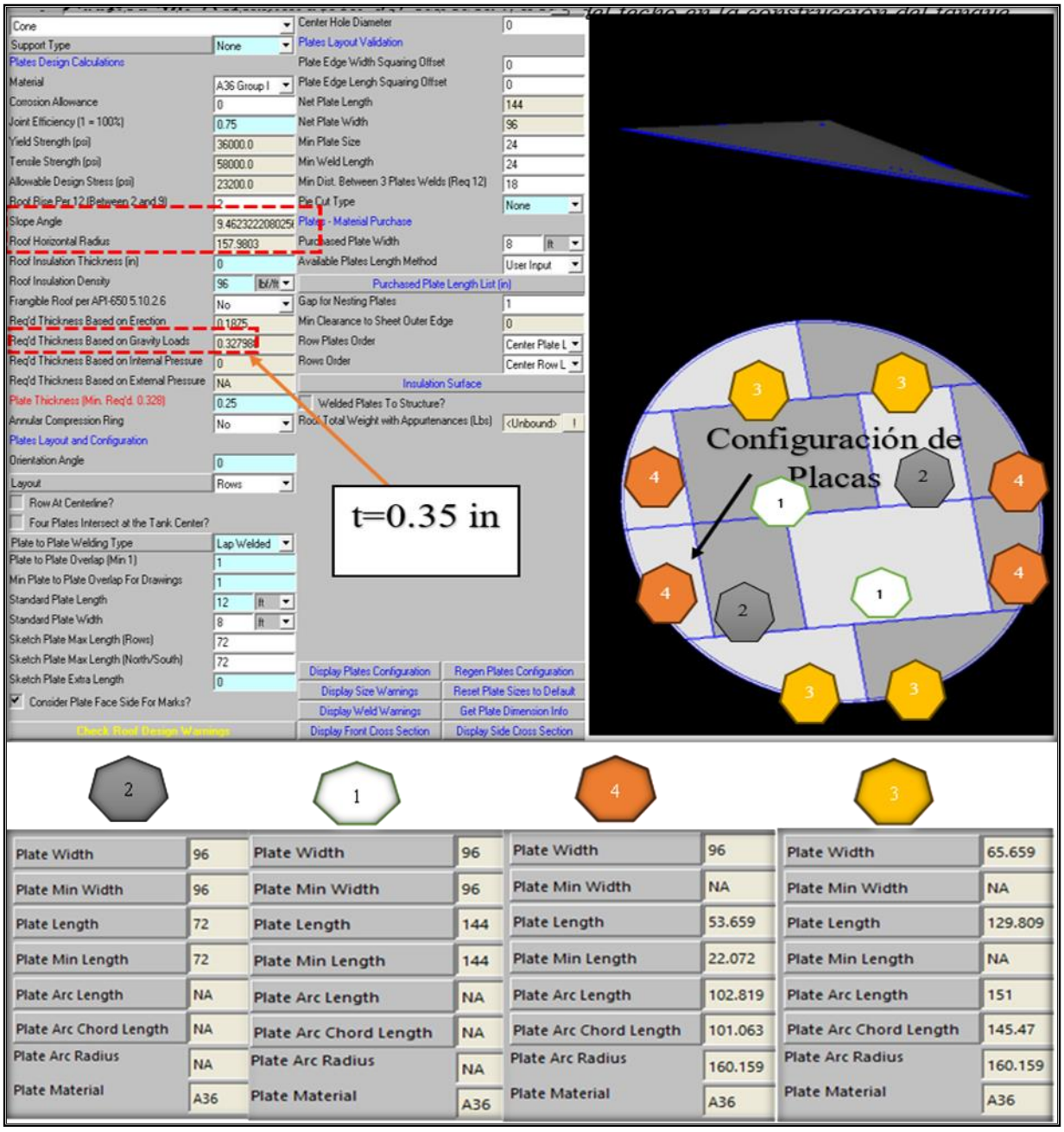
Fuente: Elaboración propia mediante el software AMETANK, 2023.

2.2.5.2 Diseño del techo del tanque

Se Ha seleccionado un techo fijo de tipo cónico auto soportado. Según la normativa aplicable, para techos cónicos soportados, se requiere que la pendiente del techo sea igual o mayor a 1:16 (3.56°). En este caso, se llevará a cabo el cálculo de la pendiente del techo, así como la determinación del espesor mínimo necesario para su instalación, utilizando el software AMETANK. En este diseño se utilizará la misma geometría de la placa en el cuerpo de 8’X12’.

En la Figura 17 se presentan los cálculos generados por el software. Se puede observar que el espesor mínimo necesario es de 0.328 pulgadas, y el espesor seleccionado es de 0.35 pulgadas. Además, se muestran el radio, con un valor de 157.98 pulgadas, y el ángulo, que asciende a 9.46 grados.

Figura 16: *Determinación del espesor y peso del techo en la construcción del tanque.*



Fuente: Elaboración propia mediante el software AMETANK, 2023.

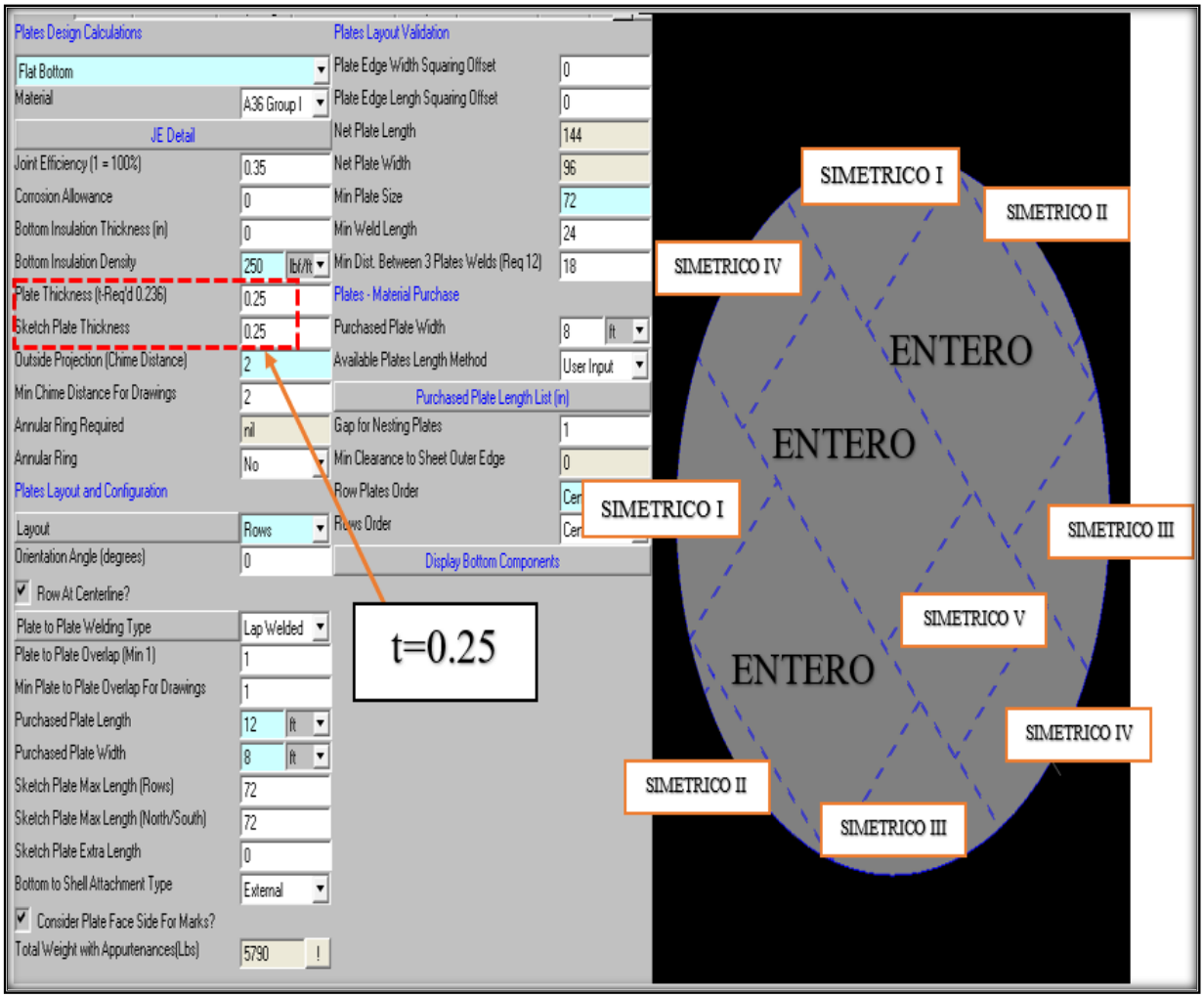
En el Figura 17 se presenta una disposición asimétrica de placas que se clasifican en cuatro tipos distintos. La placa identificada con la letra 1 representa una placa completa con un ancho de 96 pulgadas y una longitud de 144 pulgadas. Asimismo, para las placas designadas como 2, 3 y 4,

se especifican longitudes y anchos respectivos, siendo evidente que estas dimensiones varían según la circunferencia que adquirirá el tanque.

2.2.5.3 Diseño del fondo del tanque

El diseño del fondo del tanque debe garantizar que el espesor de la placa del fondo sea suficiente para soportar las cargas aplicadas, incluyendo la carga del contenido del tanque, la carga de la aislación térmica (si lo hubiese), la carga de los anillos de refuerzo. El espesor mínimo que nos exige el simulador AMETANK para las placas en la construcción del tanque es de 0.236 in, lo que se seleccionó de 0.25 in. Esto se aprecie en el la Figura 18.

Figura 17: *Diseño del fondo del tanque.*



Fuente: Elaboración propia mediante el software AMETANK, 2023.

En el Figura 19, se representa la longitud y el ancho resultante al momento de construir la base del tanque. La configuración es asimétrica, lo que implica que existen placas con dimensiones idénticas. Estas placas se han agrupado para facilitar la visualización de los resultados.

Figura 18: *Dimensionamiento de placa en la construcción de fondo del tanque*.

ENTERO		SIMETRICO III		SIMETRICO IV		SIMETRICO I		SIMETRICO V	
Plate Width	96	Plate Width	96	Plate Width	96	Plate Width	81.159	Plate Width	96
Plate Min Width	NA	Plate Min Width	NA	Plate Min Width	NA	Plate Min Width	NA	Plate Min Width	96
Plate Length	144	Plate Length	82.159	Plate Length	53.23	Plate Length	95.834	Plate Length	72
Plate Min Length	142.334	Plate Min Length	0.667	Plate Min Length	45.848	Plate Min Length	NA	Plate Min Length	72
Plate Arc Length	1.864	Plate Arc Length	129.437	Plate Arc Length	97.507	Plate Arc Length	129.065	Plate Arc Length	NA
Plate Arc Chord Length	1.492	Plate Arc Chord Length	125.924	Plate Arc Chord Length	96	Plate Arc Chord Length	125.582	Plate Arc Chord Length	NA
Plate Arc Radius	159.73	Plate Arc Radius	159.73	Plate Arc Radius	159.73	Plate Arc Radius	159.73	Plate Arc Radius	NA
Plate Material	A36	Plate Material	A36	Plate Material	A36	Plate Material	A36	Plate Material	A36

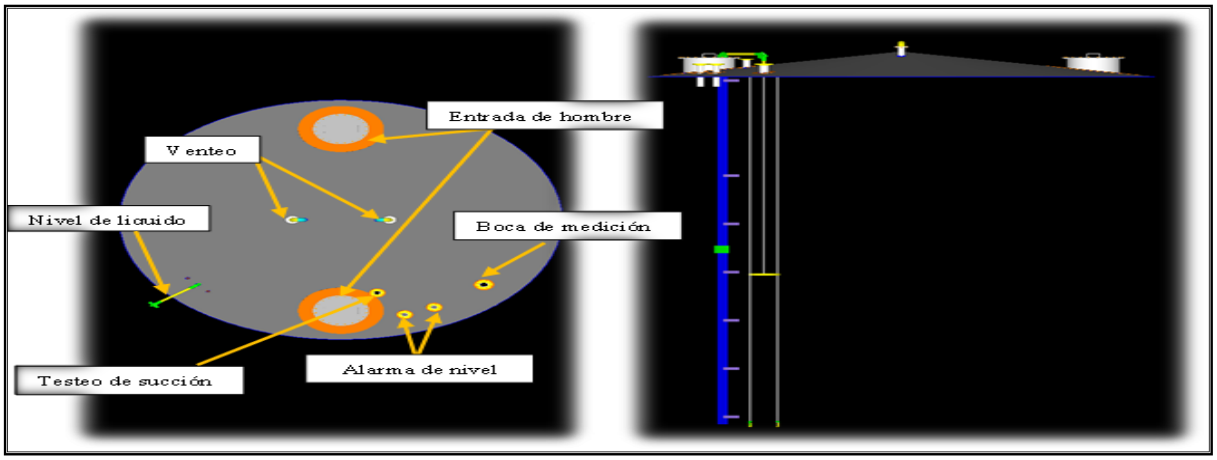
Fuente: Resultado de la construcción de placa en el software AMETANK.

2.2.5.4 Dimensionamiento de boquillas en el techo y cuerpo del tanque

Se realizará el dimensionamiento de las boquillas que estarán ubicadas en el techo cónico, se plantea incorporar las siguientes boquillas en el techo. La descripción incluye un dibujo en AutoCAD que se detalla en el ANEXO 20 y representa todas las boquillas presentes en el techo y el cuerpo del tanque. Cada boquilla desempeña un papel fundamental en el correcto funcionamiento del tanque que se está diseñando.

La información para la simulación se muestra a continuación, donde se muestra el ángulo de orientación, la distancia radial y el diámetro nominal.

Figura 19: *Ubicación de las boquillas en el techo cónico*



Fuente: Elaboración propia mediante el software AMETANK, 2023.

Los resultados del modelo computacional mediante el software AMETANK, se puede apreciar en la siguiente tabla. Donde muestra resultados como la máxima distancia radial, el espesor requerido y nominal, el diámetro interno como externo que tendrá cada boquilla, como también los esfuerzos presentes.

Tabla 6*: Resultados de la simulación en el cálculo de espesor, diámetro.*

Boquilla	Máxima distancia radia	Espesor requerido, in	Espesor nominal, in	Diámetro interno, in	Diámetro externo, in	Elevación del fondo, in
BOCA DE MEDICIÓN	115.29775	0.237	0.337	3.826	4.5	285.945
TESTEO DE SUCCIÓN FLOTANTE	115.79775	0.216	0.216	3.068	3.5	290.11242
ALARMA DE NIVEL I	115.79775	0.216	0.216	3.068	3.5	285.94575
ALARMA DE NIVEL II	115.79775	0.216	0.216	3.068	3.5	285.94575
ENTRADA DE HOMBRE SUPERIOR I	105.29775	0.5	**0.25 (placa enrolada)**	24.0	24.5	---
ENTRADA DE HOMBRE SUPERIOR II	105.29775	0.5	**0.25 (placa enrolada)**	24.0	24.5	---
VENTEO I	115.79775	---	0.216	3.068	3.5	--
VENTEO II	115.79775	---	0.216	3.068	3.5	--
LIQUID-LEVEL-GAUGE	---	---	0.145	---	1.9	---

BOQUILLA	DIAMETRO MONIMAL, in	GRADO	ELEVACION, in	ANGULO DE ORIENTACION, °
ENTRADA DE PRODUCTO	4	XXS	15.748	250
SALIDA DE PRODUCTO	4	XXS	15.748	260
BOQUILLA	DIAMETRO MONIMAL, in	GRADO	ELEVACION, in	ANGULO DE ORIENTACION, °
CONEXIÓN PARA VALVULA DE EMERGENCIA	12	SCH60	17.75	30
ALARMA DE NIVEL BAJO/TEMPERATURA	4	XXS	10.25	70
CONEXIÓN DRENAJE CONTROL DE CALIDAD	2	SCH80	7	45
CONEXIÓN PARA DRENAJE	3	SCH80	9.5	50
ENTRADA DE HOMBRE LATERAL I	24	----	30	10
ENTRADA DE HOMBRE LATERAL II	24	----	30	180

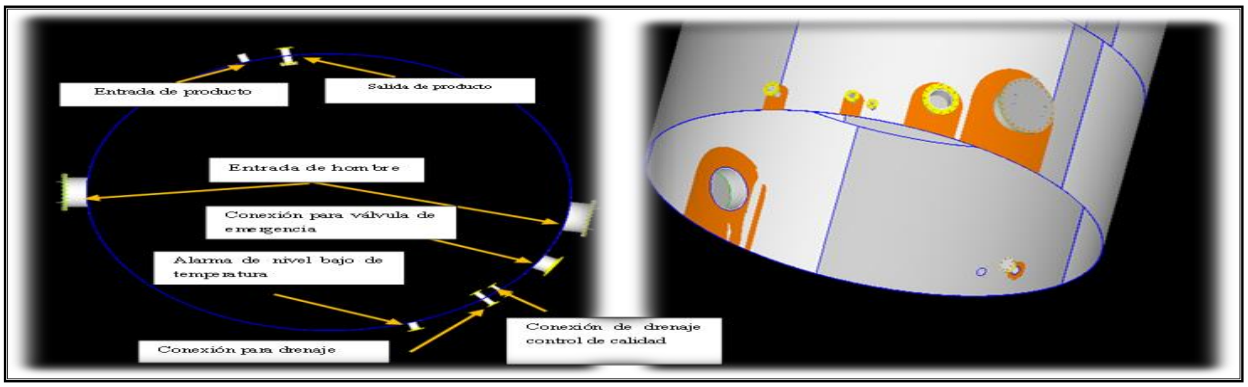
Fuente: Elaboración propia en función a resultados obtenidos por el software AMETANK, 2023 y en base a la norma api 650

En la Tabla 7 se encuentran los resultados, y como referencia adicional, se dispone de un anexo que muestra capturas de pantalla de los resultados de simulación de cada boquilla realizada con AMETANK.

Las boquillas que estarán presentes en el cuerpo son, boquilla de entrada de producto, salida de producto, conexión de drenaje, entrada de hombre, conexión de válvula de emergencia, alarma de bajo temperatura, conexión de drenaje de control de calidad.

A continuación, se presenta la ubicación de las boquillas en el cuerpo del tanque, y a través de simulaciones en el software AMETANK, se proporciona una representación en 3D para una mejor comprensión visual. Además, se detallan los cálculos relativos al espesor requerido, el espesor nominal, el diámetro interno y el diámetro externo de cada boquilla.

Figura 20: *Ubicación de boquillas en el cuerpo del tanque*



Fuente: Elaboración propia mediante el software AMETANK, 2023.

Con el empleo del software AMETANK se pudo diseñar el tanque de almacenamiento de Jet Fuel para el nuevo aeropuerto del departamento de Potosí, en la siguiente tabla se detallará los resultados obtenidos por el simulador.

Tabla 7: *Resultados obtenidos por el simulador AMETANK.*

Boquilla	Arc Longitud, in	Espesor requerido, in	Espesor nominal, in	Diámetro interno, in	Diámetro externo, in
ENTRADA DE PRODUCTO	516.44	0.337	0.674	3.152	4.5
SALIDA DE PRODUCTO	537.1	0.337	0.674	3.152	4.5
CONEXIÓN PARA VALVULA DE EMERGENCIA	61.97	0.5	0.562	11.626	12.75
ALARMA DE NIVEL BAJO/TEMPERATURA	144.6	0.337	0.674	3.152	4.5
CONEXIÓN DRENAJE CONTROL DE CALIDAD	92.96	0.218	0.218	1.939	2.375
CONEXIÓN PARA DRENAJE	103.29	0.3	0.3	2.9	3.5
ENTRADA DE HOMBRE LATERAL I	0.0	0.25	0.5	24.0	25.0
ENTRADA DE HOMBRE LATERAL II	0.0	0.25	0.5	24.0	25.0

Fuente: Elaboración propia en función a resultados generados por el software AMETANK, 2023.

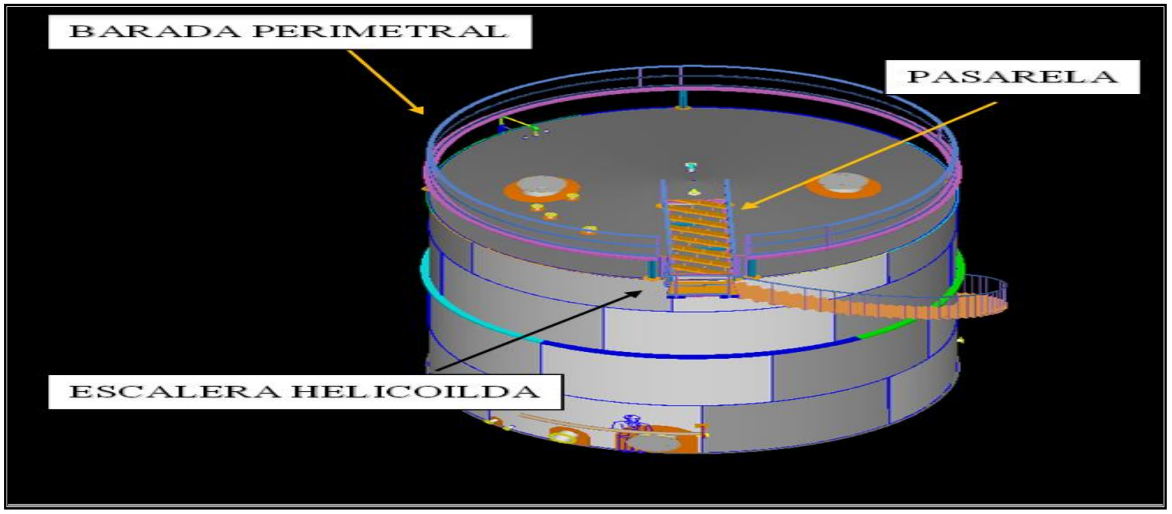
2.2.5.5 Complementos

El peso calculado de la escalera es de 1190 Lb. Además, se ha determinado que el ángulo inicial de ubicación de la escalera es de 351.77°, el ángulo final es de 8.6934°, y la dirección de la escalera sigue el sentido de las manecillas del reloj. Esto se puede detallar en el ANEXO 23.

Se presenta el cálculo de la baranda perimetral, con ángulo central de 180°, el ángulo total de construcción de 340° y el radio de 118 pulgadas. Asimismo, se ha determinado que la altura total del tanque, incluyendo la baranda, es de 319.025 pulgadas, y la altura de la baranda en sí es de 43.43 pulgadas. Ver ANEXO 23.

La longitud total que la pasarela es 80.521 in, el tipo de paralela que se plantea es Grating. Ver ANEXO 23.

Figura 21: Esquema final del tanque esférico de techo cónico.



Fuente: Elaboración propia en función a resultados del software AMETANK, 2023.

2.2.5.6 Análisis de costos

El análisis económico se fundamentará en los precios que se encuentran en la base de datos del software AMETANK. Esto se debe a que durante el proceso de diseño se determinó el espesor y la configuración de cada placa en la construcción del tanque.

2.2.5.6.1 Costos en placa para el montaje del cuerpo.

Total Material Costo para el cuerpo.	**USD**	**17623.53**

2.2.5.6.2 Costos de compra de placa en el montaje de techo

Total Material Costo para el techo.	**USD**	4895.42

2.2.5.7 Costos de compra de placa en el montaje de fondo.

Total Material Costo para el fondo .	**USD**	4895.42

El costo de adquisición de materiales para la construcción se desglosa de la siguiente manera: 17,623.53 USD para el cuerpo, 4,895.42 USD para el techo y otros 4,895.42 USD para el fondo, lo que suma un total de 27,414.37 USD

2.2.6 ANALISIS Y DATOS OBTENIDOS

A continuación, se presenta la disposición de placas que se utilizará en la construcción de los que conforman el cuerpo, techo y base del tanque. Cada anillo está compuesto por una fila de placas, cada una con una longitud de 144 pulgadas y un ancho de 96 pulgadas. Para el cuerpo, se introduce un ángulo específico, así como una longitud y espesor correspondiente configurado para cada anillo.

En la base, se adopta una configuración de corte de placas asimétricas, y estos cortes se agrupan bajo un nombre específico. De manera similar, se observa la configuración asimétrica en el techo del tanque, cuyas longitudes y anchos se detallan en la Tabla 13.

Tabla 8: *Resultados obtenidos del diseño del tanque.*

CUERPO DEL TANQUE		
NOMBRE	UNIDAD	VALOR
Numero de anillos		4

espesor del primer anillo	in	0.25
espesor del segundo anillo	in	0.1875
espesor del tercer anillo	in	0.1875
espesor del cuarto anillo	in	0.1875
numero de placas		7
Longitud 1, 2, 3, 4, 5 ,6	in	144
longitud placa 7	in	126.26
Angulo de placa 1	°	0
Angulo de placa 2	°	52.34
Angulo de placa 3	°	104.6
Angulo de placa 4	°	157.04
Angulo de placa 5	°	209.39
Angulo de placa 6	°	261.7
Angulo de placa 7	°	314.09
TECHO DEL TANQUE		
espesor mínimo de placa	in	0.35
longitud de placa 1	in	96
longitud de placa 2	in	96
longitud de placa 3	in	65.65
longitud de placa 4	in	96
Ancho de placa 1	in	144
Ancho de placa 2	in	72
Ancho de placa 3	in	129
Ancho de placa 4	in	53
FONDO DEL TANQUE		
espesor mínimo de placa	in	0.25
longitud de placa 1 (ENTERO)	in	144
longitud de placa 2 (SIMETRICO I)	in	95.83
longitud de placa 3 (SIMETRICO III)	in	82.1
longitud de placa 4 (SIMETRICO IV)	in	53.23
longitud de placa 5 (SIMETRICO V)	in	72
Ancho de placa 1 (ENTERO)	in	96
Ancho de placa 2 (SIMETRICO I)	in	81.1
Ancho de placa 3 (SIMETRICO III)	in	96
Ancho de placa 4 (SIMETRICO IV)	in	96
Ancho de placa 5 (SIMETRICO V)	in	96

Fuente: Elaboración propia en función a resultados del software AMETANK

CAPÍTULO III: CONCLUSIONES

- Se ha llevado a cabo una descripción detallada de las condiciones actuales del aeropuerto, cuya capacidad actual es de 40,000 litros. Además, se ha proporcionado información sobre las aeronaves que actualmente operan en el aeropuerto, así como detalles sobre el suministro de combustible JET FUEL a estas aeronaves, alcanzando una capacidad total de 40,517 litros. Actualmente, se encuentra en proceso de construcción el nuevo aeropuerto para recibir aeronaves-aviones en un futuro próximo.
- Se ha llevado a cabo una estimación del volumen necesario, considerando dos aviones clave, el Hércules con una capacidad de 24,000 litros y el Boeing con 26,020 litros respectivamente. Al sumar también las capacidades de otras aeronaves en operación, se ha alcanzado un volumen total de 90,537 litros. Sin embargo, se exigen un mínimo de stock para tres días, y considerando un crecimiento proyectado del 70%, se ha calculado un volumen final de 434,577 litros.
- Se ha llevado a cabo la construcción del tanque de acuerdo con la normativa aplicable API 650, diseñada para presiones atmosféricas. Esta normativa específica se encuentra integrada en el simulador AMETANK, utilizando la versión 2022 que incorpora la normativa de la 13ª edición, actualizada en el 2020. Esta normativa facilitara el cálculo de los espesores mínimos y el tipo de junta para cada placa, también permite una visualización tridimensional del tanque.
- Se ha llevado a cabo la simulación para la construcción del tanque vertical con techo cónico, considerando el uso del material A36 Group I, reconocido por su resistencia a las temperaturas tanto mínimas como máximas. La geometría seleccionada para el tanque es de 9 metros de altura y 8 metros de diámetro, resultando en una capacidad máxima de 452 m^3, una cifra significativamente superior a la demanda de 434 m^3. A través de la simulación, se ha evaluado la geometría y el espesor mínimo de cada placa, tanto para el techo, cuerpo como la base. Tras llevar a cabo un análisis económico, se determina una inversión de 17,623.53 USD para la construcción del cuerpo, 4,895.42 USD destinados al techo, y 4,895.42 USD para la base, lo que se traduce en un monto total de 27,414.37 USD.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIR BP BOLIVIA S.A. (2022). *Construccion de portacamp para planta de Potosi*. Santa Cruz.

CACUANGO, K. M. (2013). *ANÁLISIS TÉCNICO PARA DETERMINAR LOS MÉTODOS DE CONTROL DE CORROSIÓN EN LOS TANQUES. Quito: KARINA MAGALY PARRA CACUANGO.*

Carreño Vazquez, G., & Hernandez Luna, J. (2008). Diseño y calculo de un tanque de almacenamiento bajo la norma API 650. Mexico.

Catari Cahuaya , M. (2021). En *Diseño del sistema de proteccion* .La Paz Bolivia.

Hernandez Sampieri, R. (2014). *Metodologia de la investigacion.* Mexico.

Logistics Cluster. (2023). *Bolivia Aeropuerto de Potosi Capitan Nicolas Rojas.* Bolivia.

Muñoz Marchena, J. (2021). *Diseño de tanques de almacenamiento de combustibles* .Sevilla.

Nina Ochoa, C. (Junio de 2018). *Diseños de tanques segun API 650.* Lima, Peru: J2MECH, INGENIERIA Y DISEÑO.

Paniagua Paulsen, M. (2020). En *Diseño de tanque de almacenamiento de Diesel con una capacidad de 4000 m3.* Cochabamba - Bolivia.

Perez. (2014). *Reingenieria de la provision de JET A1 para ampliar la capacidad de almacenaje* Cochabamba, Bolivia.

RIOS LINO, M. (26 de Abril de 2016). *Tipos de tanques de almacenamiento de hidrocarburos.* Obtenido de https://es.scribd.com/doc/310513196/Tipos-de-Tanques-de-Almacenamiento-de-Hidrocarburos-Imprimir

Rogel Soliz, E. (2015). *Analisis y Descripcion de las etapas: Recepcion, Tratamiento y despacho de combustible JET FUEL del terminal de productos limpios beaterio*. Quito.

YPFB AVIACION S.A. (2020). *Construccion de suministro de combustible.*

VAZQUEZ, G. G., & LUNA, J. F. (2008). *DISEÑO Y CALCULO DE UN TANQUE DE ALMACENAMIENTO* MEXICO: GUILLERMO GUSTAVO CARREÑO VAZQUEZ; JOSE FERNANDO HERNANDEZ LUNA.

ANEXOS

Anexo 1: *Información del tanque vertical.*

	TANQUE VERTICAL - ALMACENAMIENTO JET FUEL		
	N°	DESCRIPCION	
DATOS DE TANQUE	**1**	NORMA DE DISEÑO	API 650 / MECH 200
	2	CAPACIDAD	452 m3
	3	DIAMETRO	8000 mm
	4	ALTO	9000 mm
	5	PENDIENTE DE PISO	01:30
PRODUCTO	**6**	PRODUCTO ALMACENADO	JET - FUEL
	7	DENSIDAD A 15°C	775-840 Kg/m3
	8	VISCOSIDAD CINEMATICA A 15°C	2 Centistoke
	9	PRESION DE VAPOR	0.01
	10	PUNTO DE INFLAMACION	38 °C
DATOS DE PROYECTO	**11**	LOCALIZACION	POTOSI
	12	TAG N°	TK-01
	13	TEMPATURA DE PROYECTO	
	14	MINIMA	-10 °C
	15	MAXIMA	26 °C
	16	PRESION DE PROYECTO	55 PSI
	17	CAUDAL MAXIMO DE RECEPCION	1000 LPM
	18	CAUDAL MAXIMO DESPACHO	1000 LPM
	19	ALTURA	4090 m.s.n.m

Fuente: Elaboración propia en función a datos del proyecto de la nueva construcción del aeropuerto.

Anexo 2: *Temperatura mínima de cada material según norma API650.*

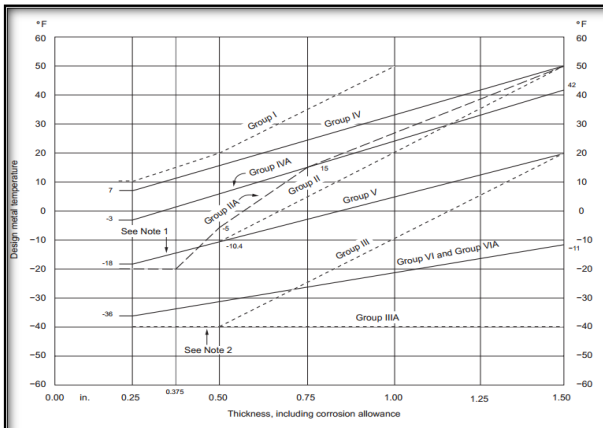


Figure 4.1b—Minimum Permissible Design Metal Temperature for Materials Used in Tank Shells without Impact Testing (USC)

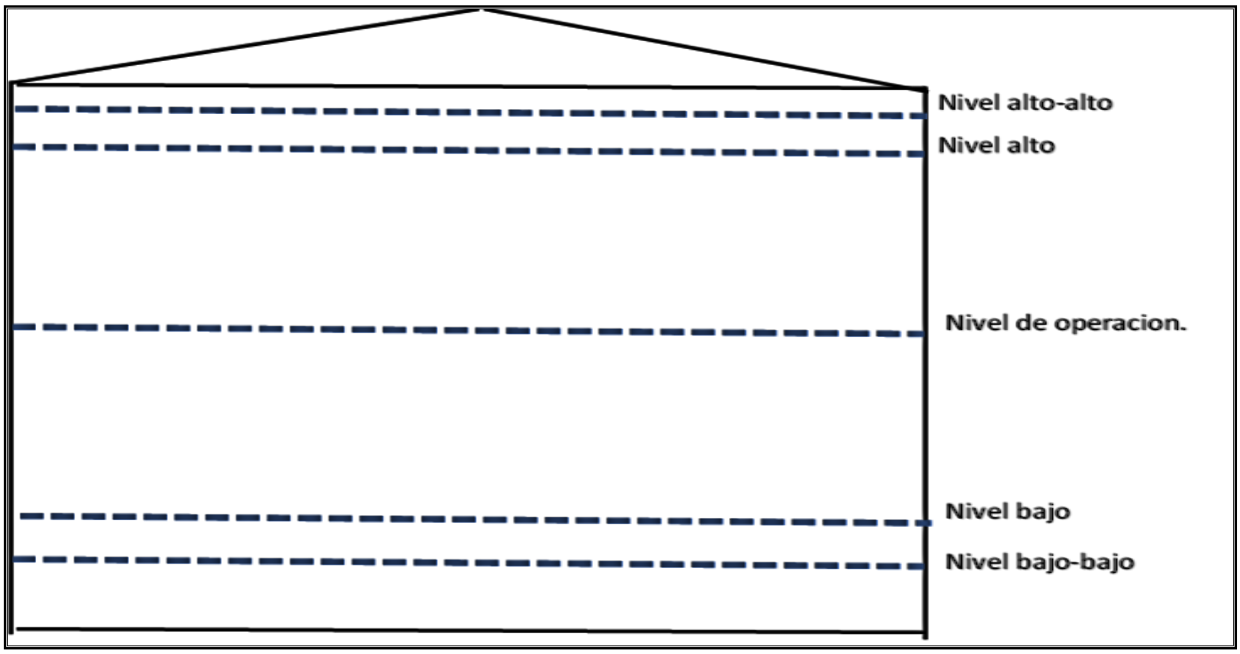
Group I As Rolled, Semi-killed		Group II As Rolled, Killed or Semi-killed		Group III As Rolled, Killed Fine-Grain Practice		Group IIIA Normalized, Killed Fine-Grain Practice	
Material	Notes	Material	Notes	Material	Notes	Material	Notes
A283 C		A131 B	6	A573-58		A573-58	9
A285 C	2	A36	5	A516-55		A516-55	9
A131 A		G40.21-38W		A516-60		A516-60	9
A36	3	Grade 250	7	G40.21-38W	8	G40.21-38W	8, 9
Grade 235	3			Grade 250	8	Grade 250	8, 9
Grade 250	5						

Group IV As Rolled, Killed Fine-Grain Practice		Group IVA As Rolled, Killed Fine-Grain Practice		Group V Normalized, Killed Fine-Grain Practice		Group VI Normalized or Quenched and Tempered, Killed Fine-Grain Practice Reduced Carbon	
Material	Notes	Material	Notes	Material	Notes	Material	Notes
A573-65		A662 C		A573-70	9	A131 EH 36	
A573-70		A573-70	10	A516-65	9	A633 C	
A516-65		G40.21-44W	8, 10	A516-70	9	A633 D	
A516-70		G40.21-50W	8, 10			A537 Class 1	
A662 B		ISO S275 D	8			A537 Class 2	12
G40.21-44W	8	ISO S355 D	8				
G40.21-50W	8	ENS275 J2	8				
ISO S275 C	8	EN S355 (J2 or K2)	8			A737 B	
ISO S355 C EN S275 J0 EN S355 J0	8 8 8					A841, Grade A, Class 1 A841, Grade B, Class 2	11, 12, 13 11, 12, 13
Grade 275	8						

Table 4.4b—Material Groups (USC)

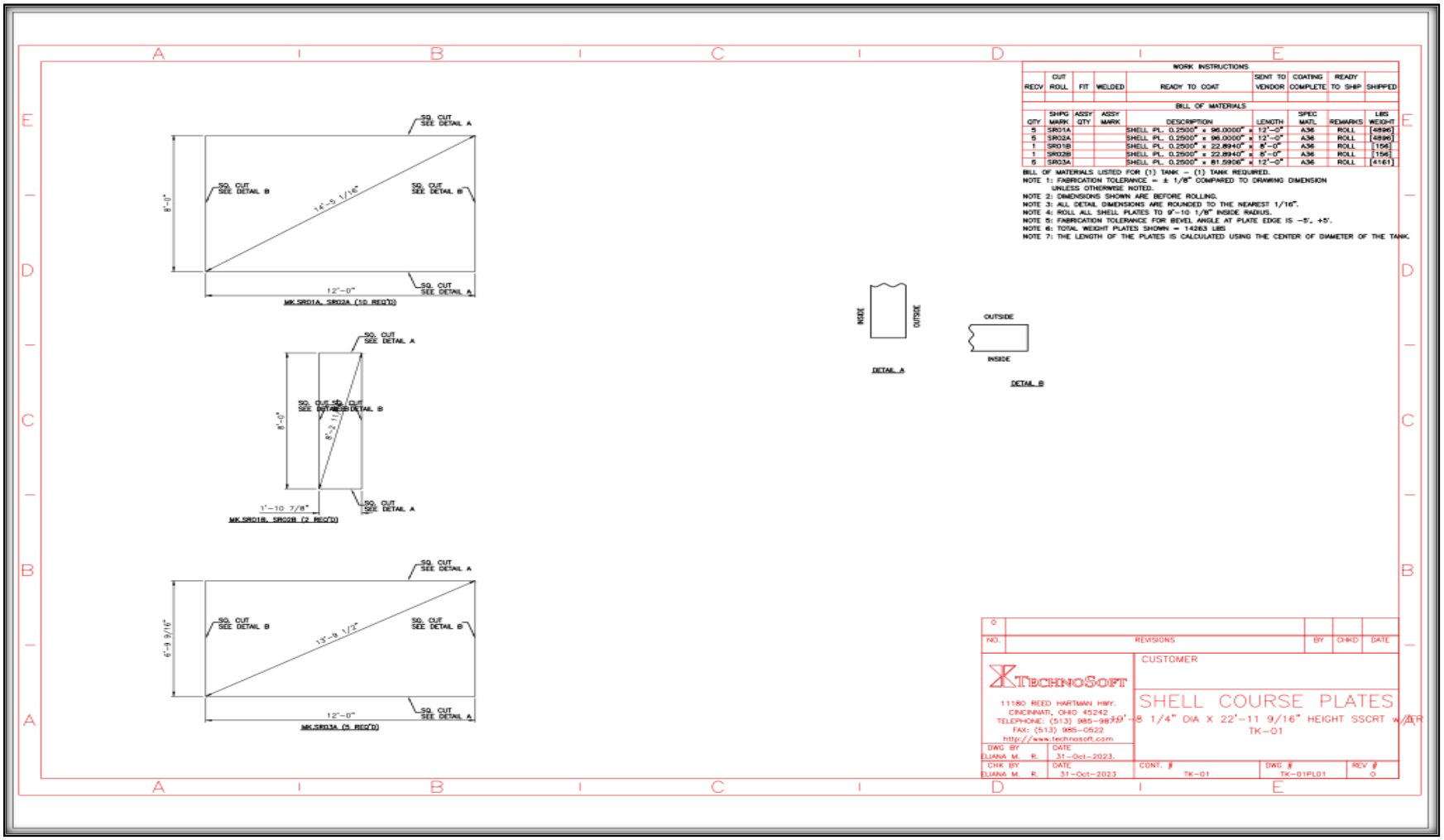
Fuente: Manual API 650.

Anexo 3: *Esquema de los niveles presentes en el Tanque vertical.*



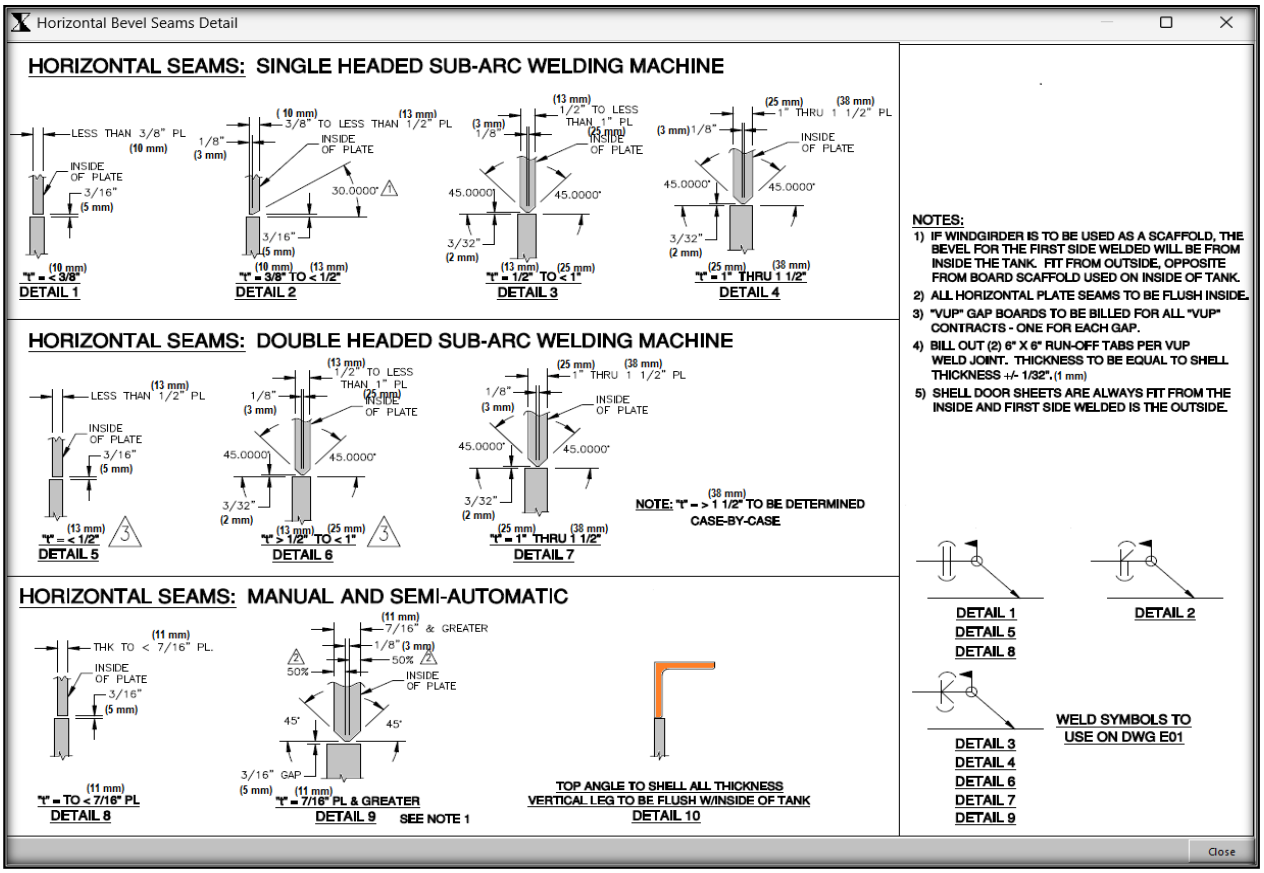
Fuente: Elaboración propia.

Anexo 4: *Plano y descripción del diseño del cuerpo del tanque TK-01*



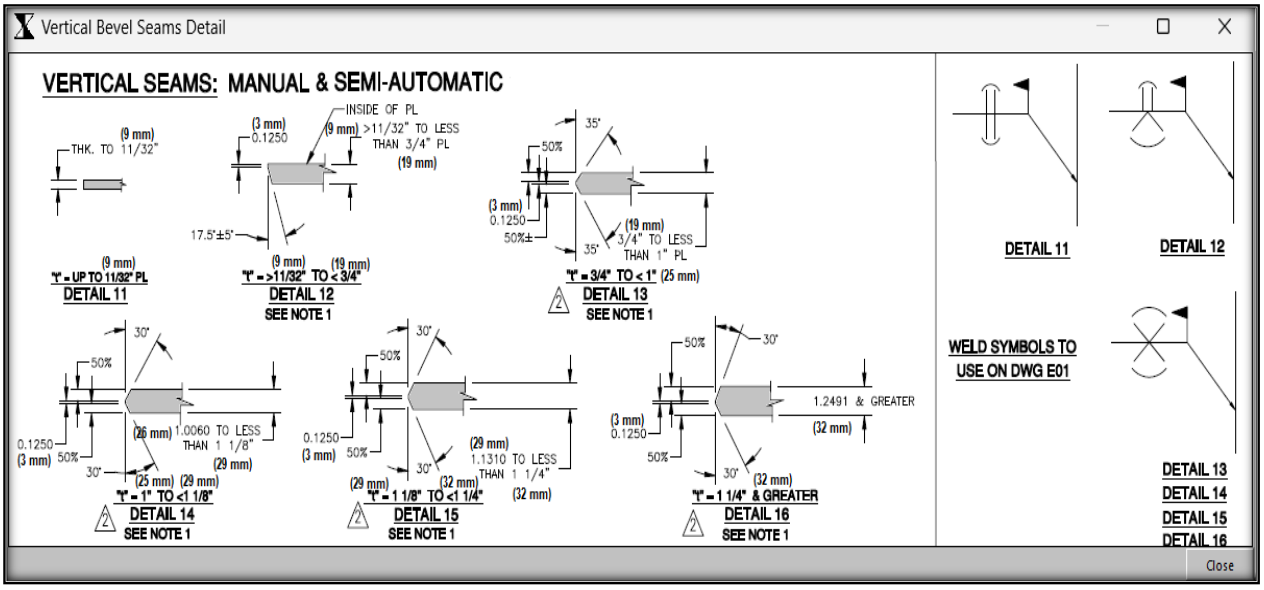
Fuente: Software AMETANK

Figura 23: *Tipos Soldadura horizontal.*



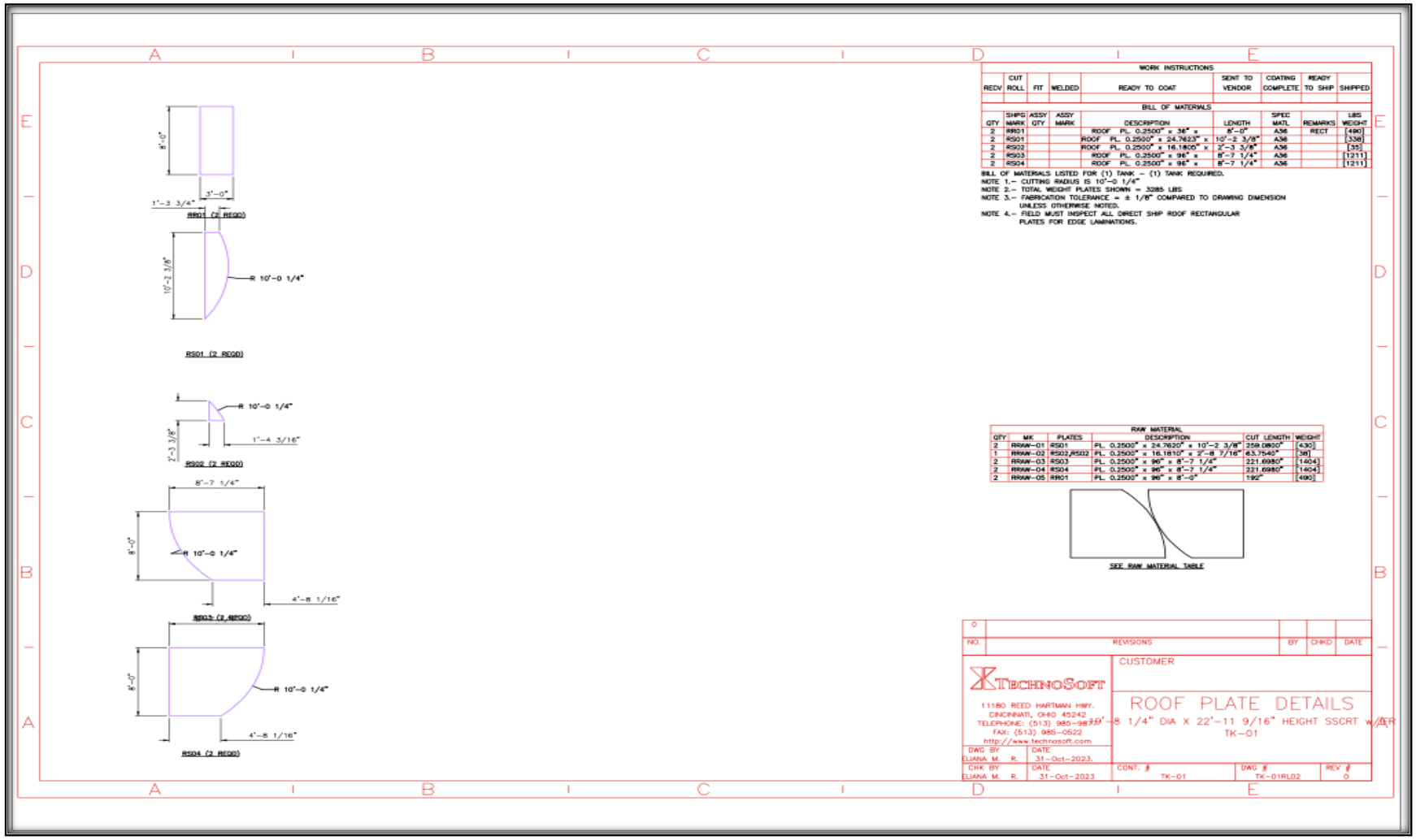
Fuente: Software AMETANK

Figura 22: *Tipos Soldadura vertical.*



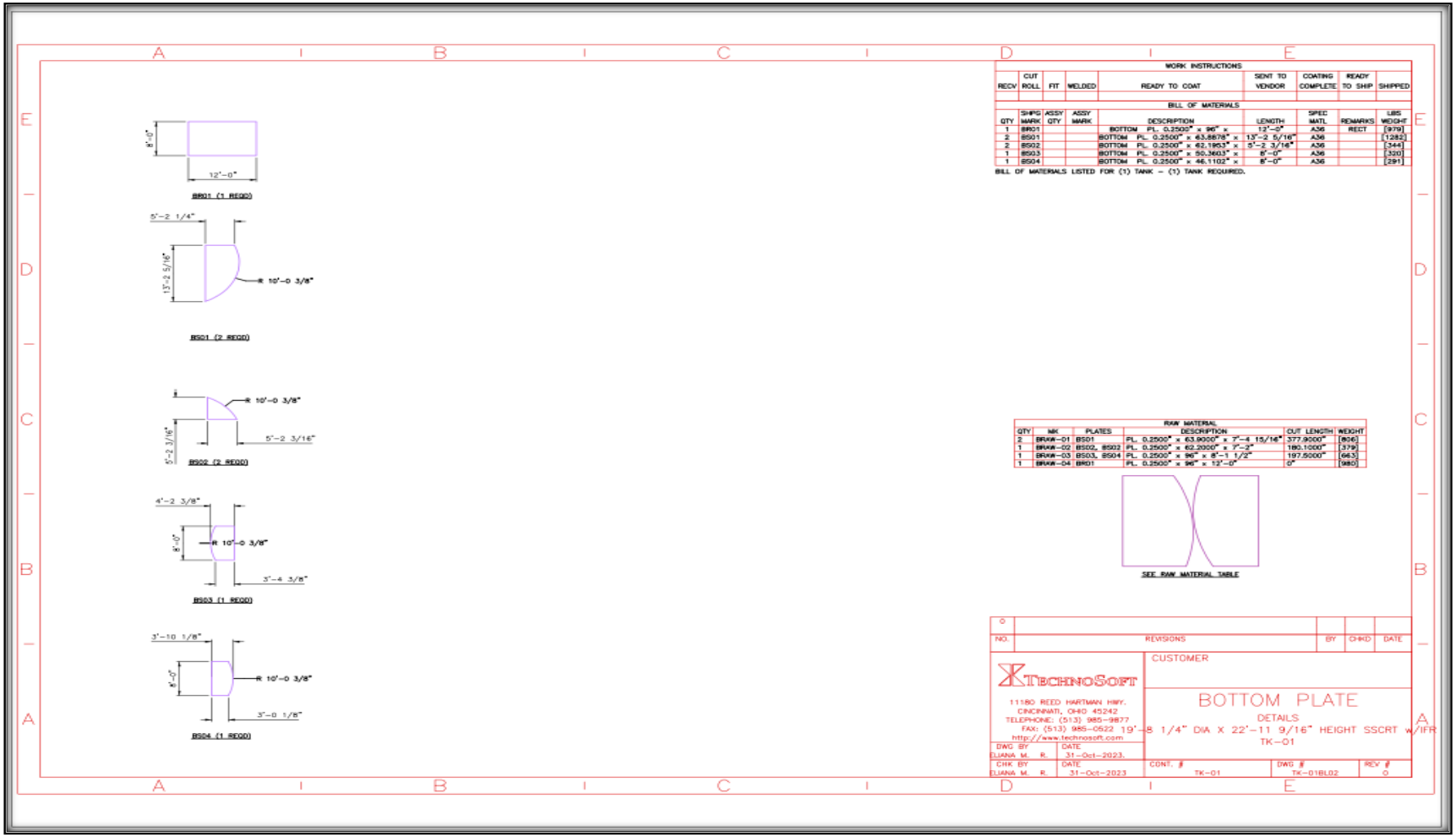
Fuente: Software AMETANK

Anexo 5: *Plano y descripción del diseño del techo del tanque TK-01*



Fuente: Software AMETANK

Anexo 6: *Plano y descripción del diseño del fondo del tanque TK-01.*

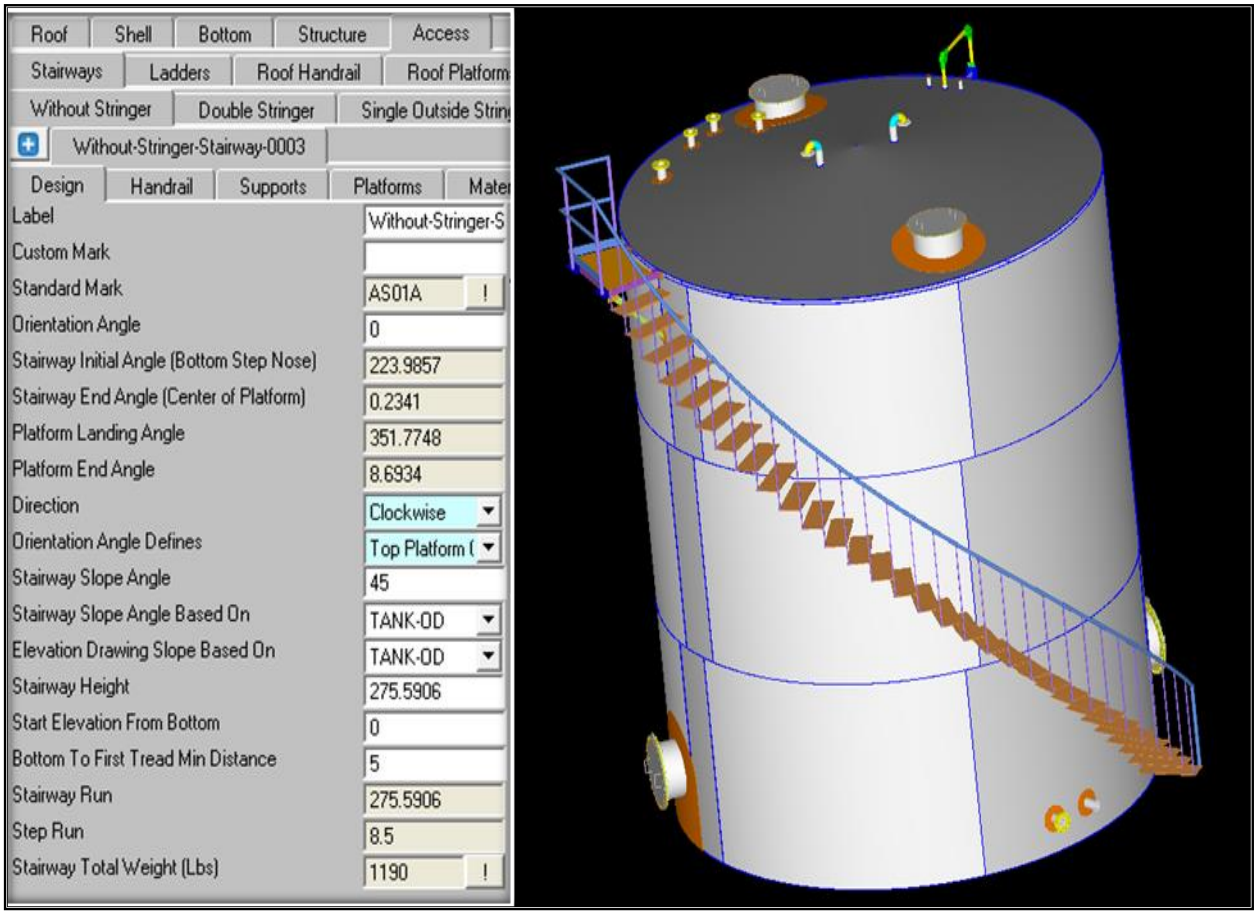


Fuente: Software AMETANK

Anexo 7: *Diseño de la escalera, baranda perimetral y pasamanos.*

El tanque contará con una escalera helicoidal suspendida en su diámetro y una baranda perimetral de metal con una altura de 1.1 metros. A continuación, se presenta el dimensionamiento de ambas estructuras.

Grafica 1: *Diseño de la escalera helicoidal*



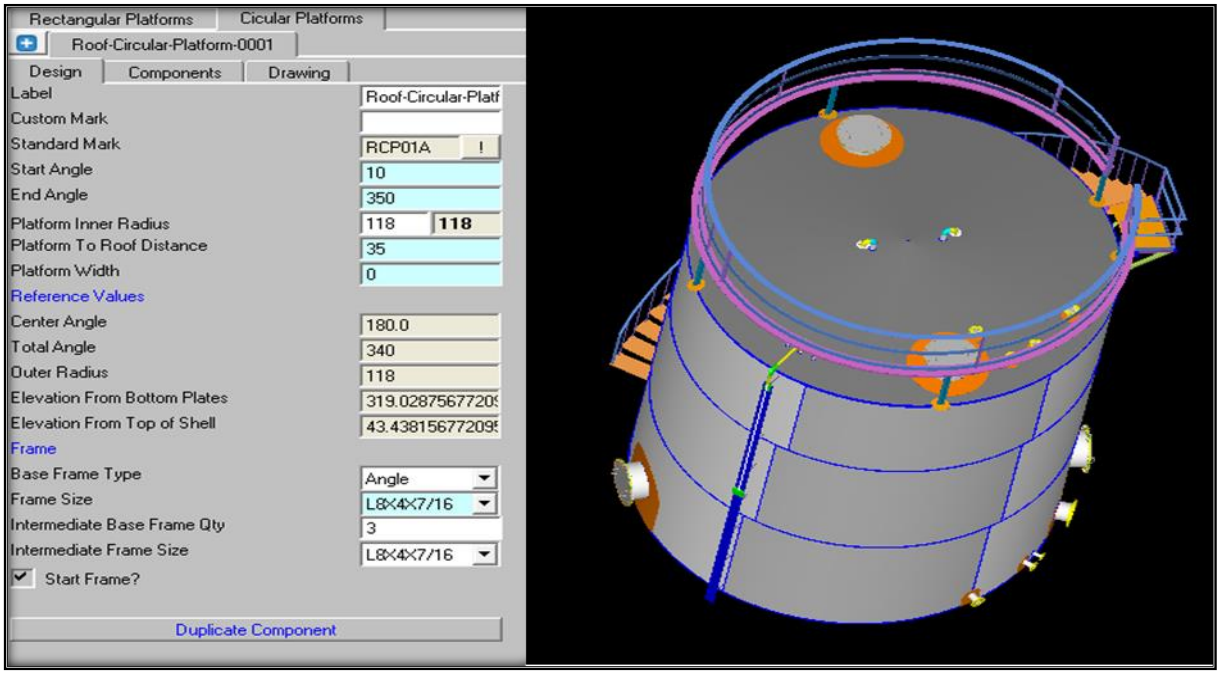
Fuente: Software AMETANK para el diseño TK-01

El peso calculado de la escalera es de 1190 Lbf. Además, se ha determinado que el ángulo inicial de ubicación de la escalera es de 351.77°, el ángulo final es de 8.6934°, y la dirección de la escalera sigue el sentido de las manecillas del reloj.

En la Figura 2-14, se presenta el cálculo del ángulo central de 180°, el ángulo total de construcción de 340° y el radio de 118 pulgadas. Asimismo, se ha determinado que la altura

total del tanque, incluyendo la baranda, es de 319.025 pulgadas, y la altura de la baranda en sí es de 43.43 pulgadas.

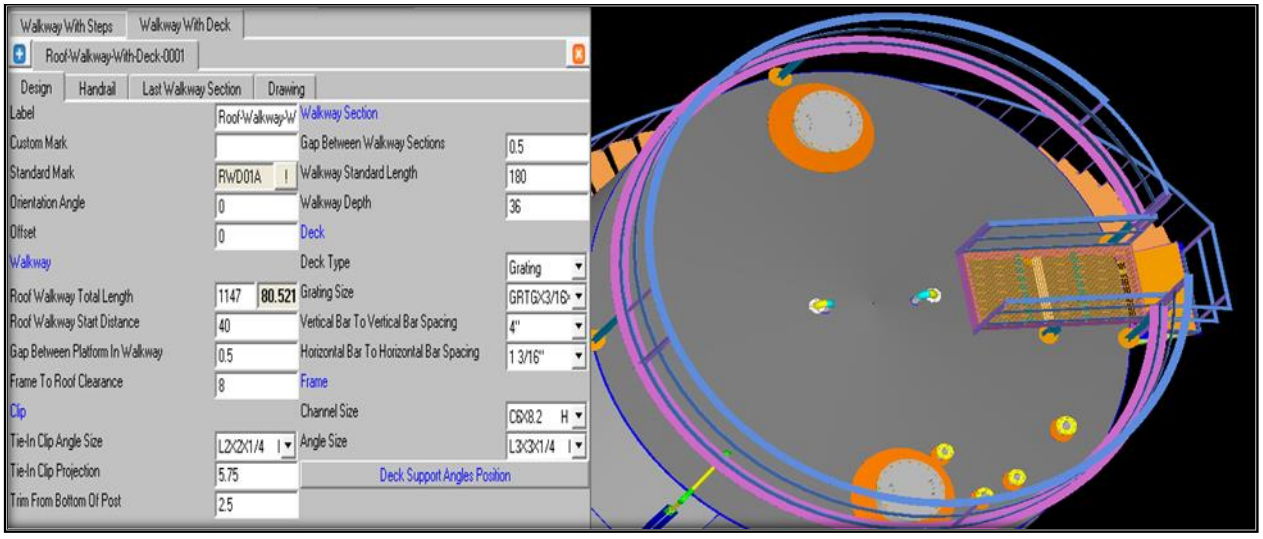
Grafica 2: *Diseño de la baranda perimetral*



Fuente: Software AMETANK para el diseño TK-01

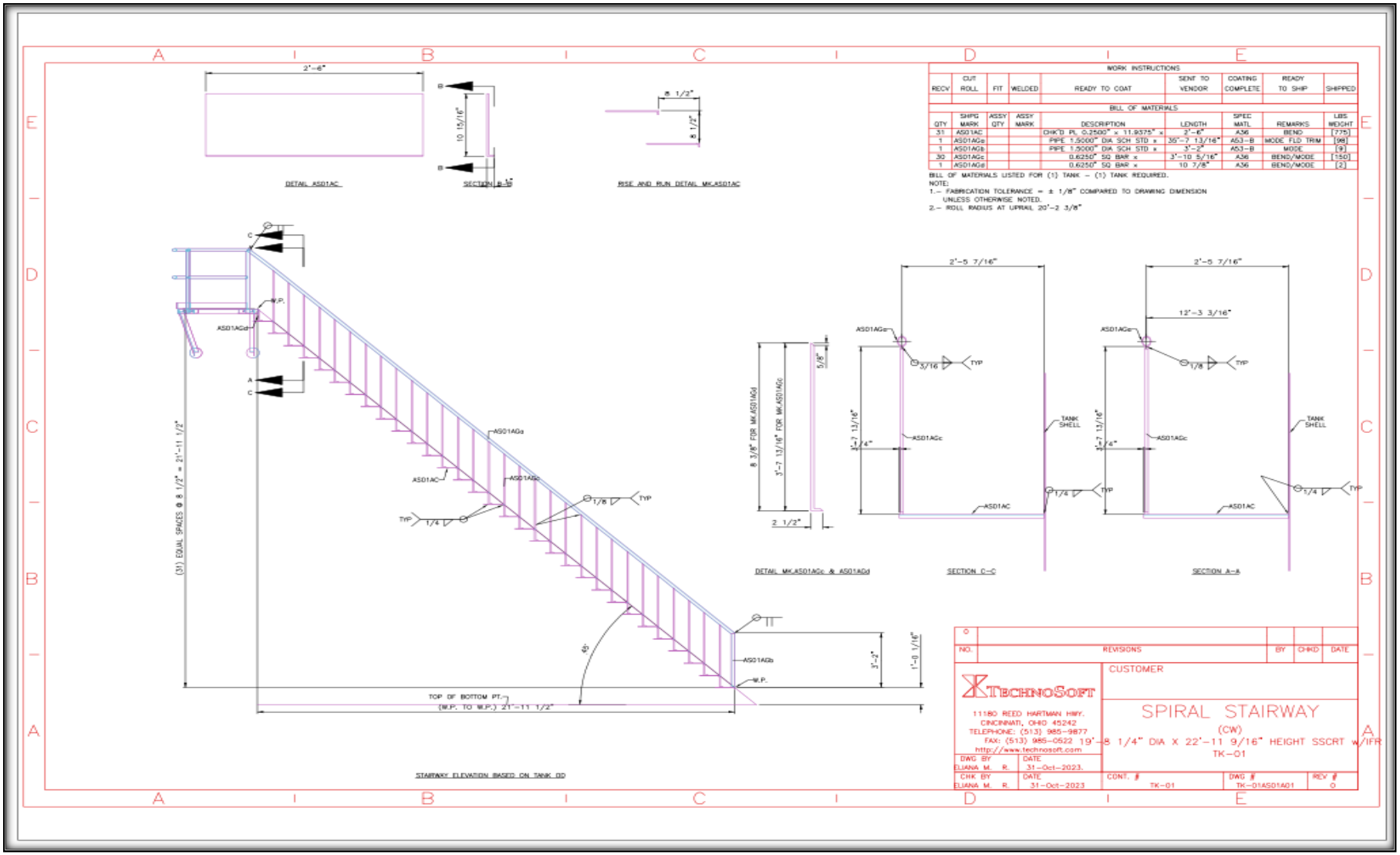
la longitud total que la pasarela es 80.521 in, el tipo de paralela que se plantea es Grating.

Grafica 3: *Dimensionamiento de la pasarela*



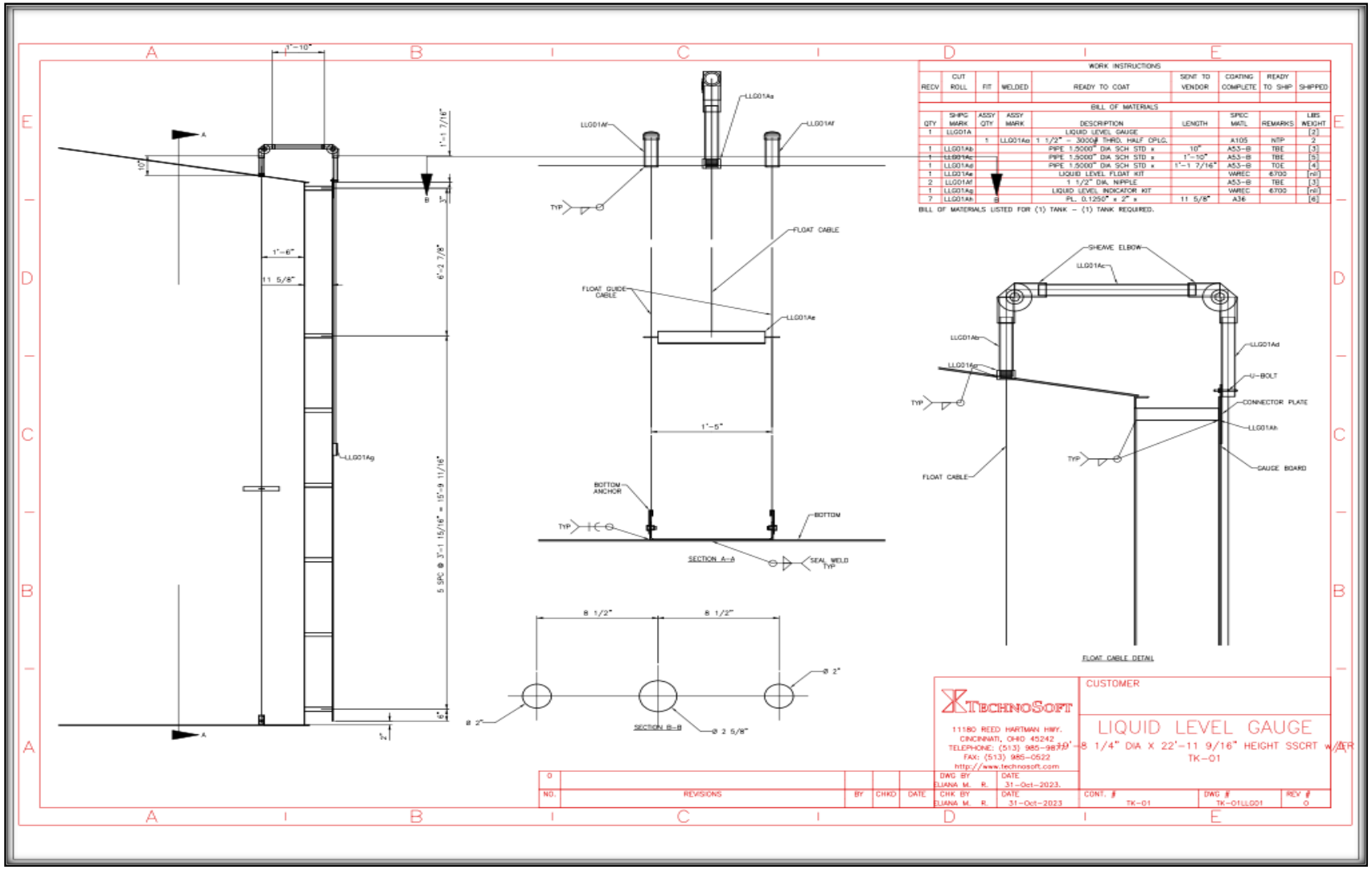
Fuente: Software AMETANK para el diseño TK-01

Anexo 8: *Plano de planta para la construcción de la escalera espiral*.



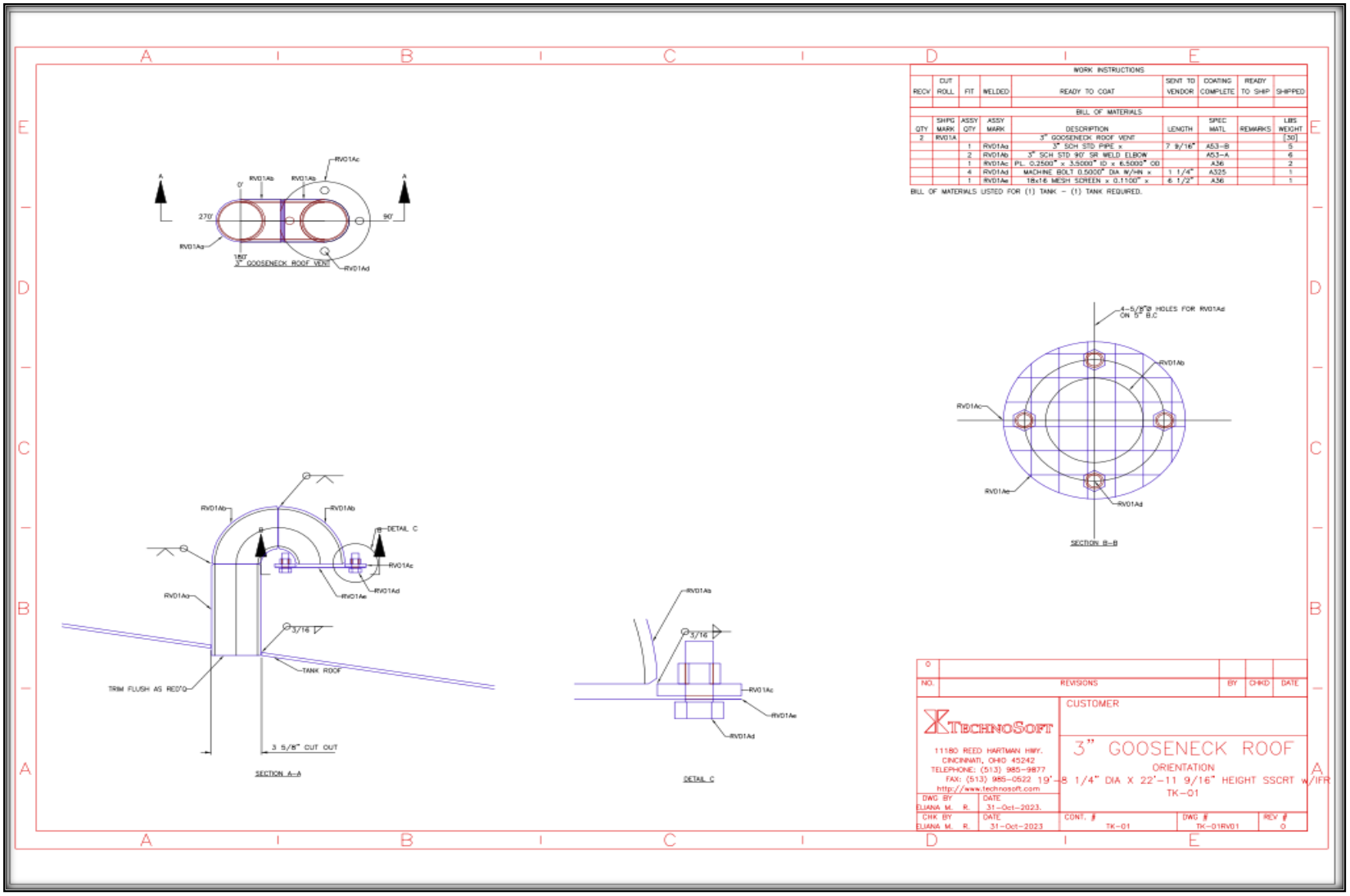
Fuente: Software AMETANK, 2023.

Anexo 9: *Plano de planta para la construcción del marcador de nivel*



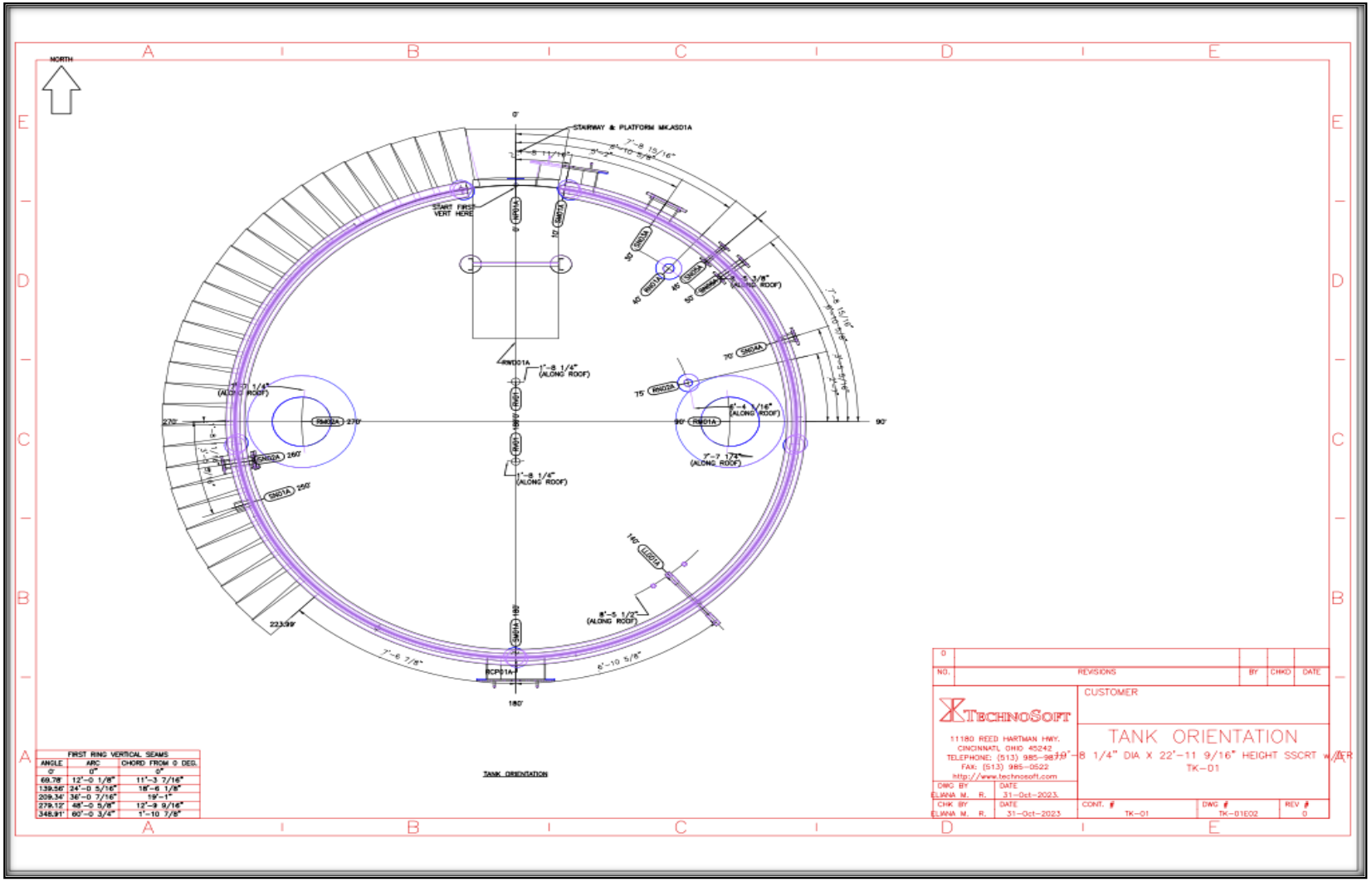
Fuente: Software AMETANK, 2023.

Anexo 10: *Boquilla de venteo en esquema de plano de planta.*



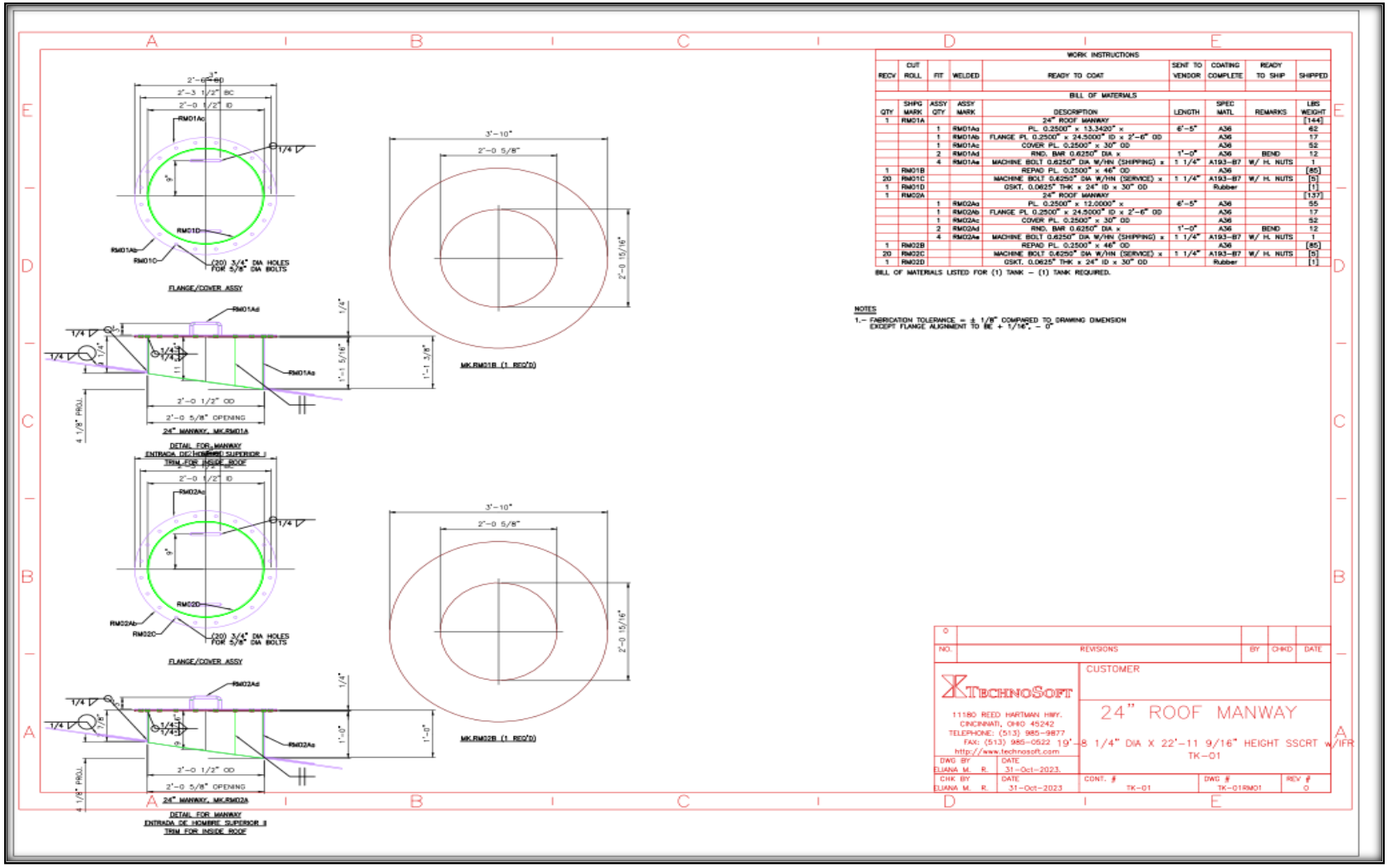
Fuente: Software AMETANK, 2023

Anexo 11: *Plano de planta de la orientación de boquilla.*



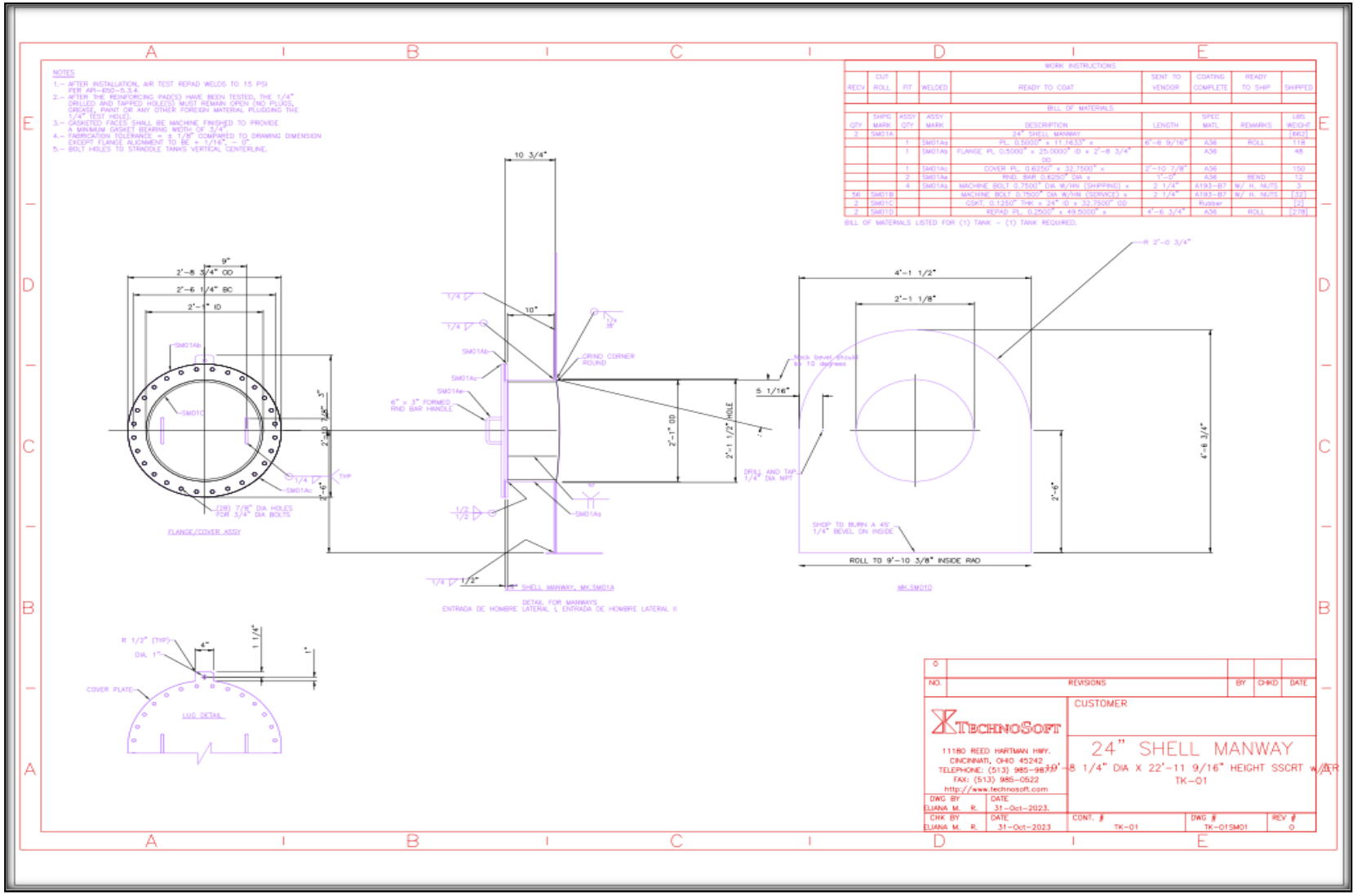
Fuente: Software AMETANK, 2023.

Anexo 12: *Plano de planta para la boquilla de entrada de hombre superior.*



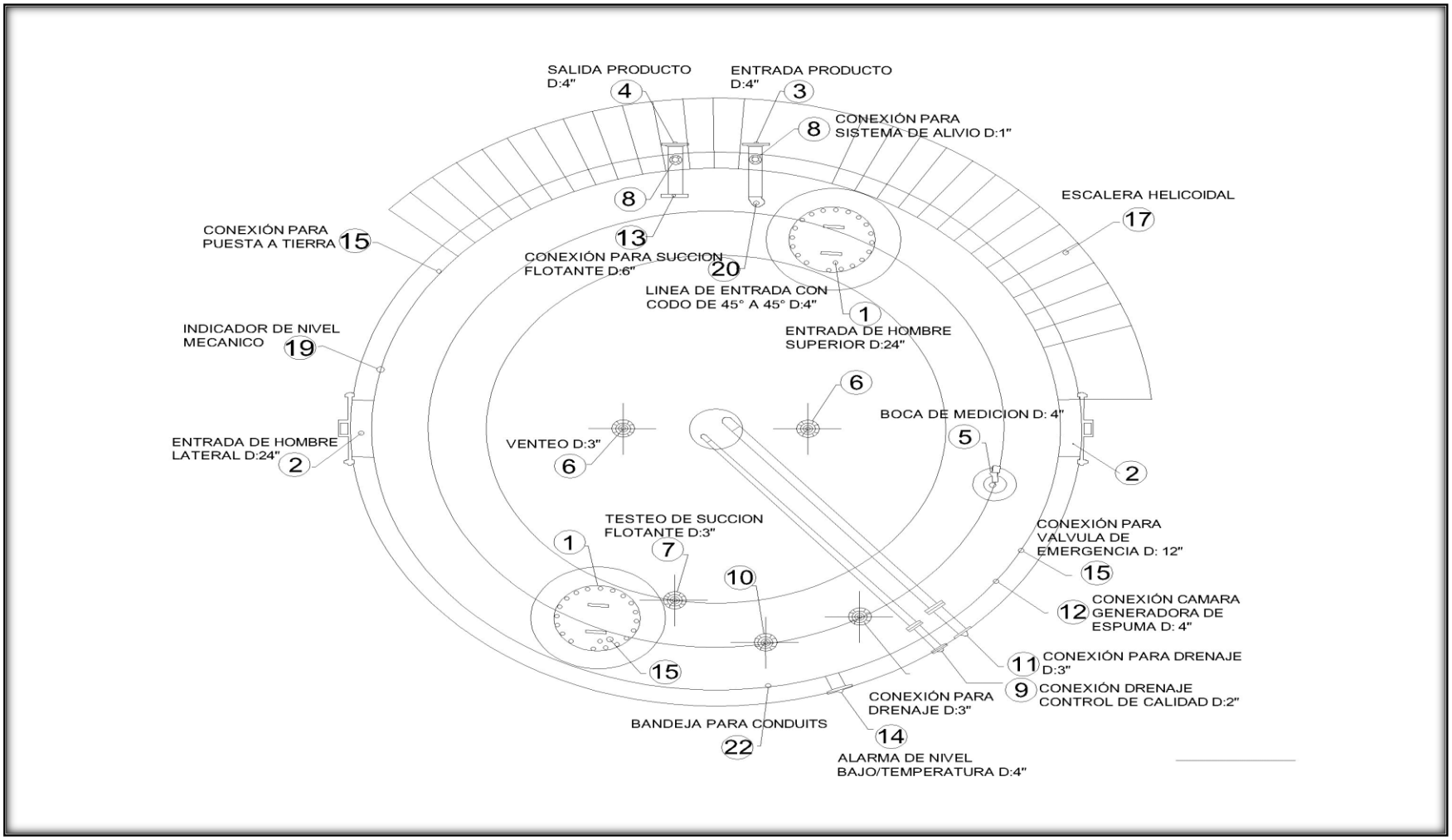
Fuente: Software AMETANK, 2023

Anexo 13: *Plano de planta para la boquilla de entrada de hombre lateral.*



Fuente: Software AMETANK, 2023.

Anexo 14: *Boquillas presentes en el diseño del tanque TK-01.*



Fuente: Elaboración propia con la herramienta AUTOCAD,2023

ANEXO 15: *Costos en compra de material de construcción de placa para el cuerpo.*

SHELL PLATES RAW MATERIAL												
Qty	MK	PLATES	DESCRIPTION	THICKNESS	PURCHASED WIDTH	USED WIDTH	PURCHASED LENGTH	USED LENGTH	MATERIAL	RAW WEIGHT	CUT LENGTH	COST (USD)
10	SRAW-01	(SR01A SR02A)	PL. 0.2500" x 96" x 12'-0"	0.25	96	96	144	144	A36	9790.848	0	9790.85
2	SRAW-02	(SR01B SR02B)	PL. 0.2500" x 22.8940" x 8'-0"	0.25	96	22.8939	144	96	A36	311.3215737	475.575942	1958.17
5	SRAW-03	(SR03A)	PL. 0.2500" x 81.5906" x 12'-0"	0.25	96	81.5906	144	144	A36	4160.631056	815.906	4895.42
1	SRAW-04	(SR03B)	PL. 0.2500" x 22.8940" x 6'-9 9/16"	0.25	96	22.8939	144	81.5906	A36	132.296427	208.969171	979.08
Total Material Costo		**USD**	**17623.53**									

Fuente: Reporte del software AMETANK, 2023.

ANEXO 16: *Costos en compra de material de construcción de placa para el techo*.

ROOF PLATES RAW MATERIAL													
Qty	MK	PLATES	DESCRIPTION	THICKNESS	PLATE PURCHASED WIDTH	USED WIDTH	PLATE PURCHASED LENGTH	PLATE-PURCHASED WEIGHT	TOTAL WEIGHT OF PLATE PURCHASED	USED LENGTH PER PLATE PURCHASED	LENGTH OF EDGE CUT PER PLATE PURCHASED	TOTAL LENGTH OF EDGE CUT PER QTY OF PLATE PUCHASED	COST (USD)
2	BRAW-01	(BS01)	PL. 0.2500" x 63.9000	0.25	96	63.888	144	979.0848	1958.1696	88.927	377.85	755.7	1958.17

			" x 7'-4 15/16"										
1	BRAW-02	(BS02, BS02)	PL. 0.2500" x 62.2000" x 7'-2"	0.25	96	62.195	144	979.0848	979.0848	85.972	180.086	180.086	979.08
1	BRAW-03	(BS03 BS04)	PL. 0.2500" x 96" x 8'-1 1/2"	0.25	96	96	144	979.0848	979.0848	97.471	197.492	197.492	979.08
1	BRAW-04	(BR01)	PL. 0.2500" x 96" x 12'-0"	0.25	96	96	144	979.0848	979.0848	144	0	0	979.08
Total Material Cost		USD	4895.42										

Fuente: Reporte del software AMETANK, 2023.

ANEXO 17: *Costos en compra de material de construcción de placa para el fondo*

BOTTOM PLATES RAW MATERIAL													
Qty	MK	PLATES	DESCRIPTION	THICKNESS	PLATE PURCHASED WIDTH	USED WIDTH	PLATE PURCHASED LENGTH	PLATE-PURCHASED WEIGHT	TOTAL WEIGHT OF PLATE PURCHASED	USED LENGTH PER PLATE PURCHASED	LENGTH OF EDGE CUT PER PLATE PURCHASED	TOTAL LENGTH OF EDGE CUT PER QTY OF PLATE PUCHASED	COST (USD)
2	BRAW-01	(BS01)	PL. 0.2500" x 63.9000" x 7'-4 15/16"	0.25	96	63.888	144	979.0848	1958.1696	88.927	377.85	755.7	1958.17
1	BRAW-02	(BS02, BS02)	PL. 0.2500" x 62.2000" x 7'-2"	0.25	96	62.195	144	979.0848	979.0848	85.972	180.086	180.086	979.08
1	BRAW-03	(BS03 BS04)	PL. 0.2500" x 96" x 8'-1 1/2"	0.25	96	96	144	979.0848	979.0848	97.471	197.492	197.492	979.08
1	BRAW-04	(BR01)	PL. 0.2500" x 96" x 12'-0"	0.25	96	96	144	979.0848	979.0848	144	0	0	979.08
Total Material Cost		USD	4895.42										

Fuente: Reporte del software AMETANK, 2023.

ANEXO 18 : *Distancia radial, diámetro nominal, grado y Angulo de orientación de cada boquilla*

BOQUILLA	DIAMETRO MONIMAL, in	GRADO	DISTANCIA RADIAL, in	ANGULO DE ORIENTACION, °
Boca de medición	4	SCH 40	100	40
Testeo de succión flotante	3	SCH 40	75	75
Alarma de nivel I	3	SCH 40	100	70
Alarma de nivel II	3	SCH 40	100	60
Entrada de hombre superior I	24	--	90	90

BOQUILLA	DIAMETRO MONIMAL, in	GRADO	DISTANCIA RADIAL, in	ANGULO DE ORIENTACION, °
Entrada de hombre superior II	24	--	90	270
Nivel de liquido	1.5	--		140
Venteo I	3	STB	20	0
Venteo II	3	STB	20	180

Tabla18: *Distancia radial, diámetro nominal, grado y Angulo de orientación de cada boquilla*