



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA Y**  
**METALÚRGICA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALÚRGICA**



**DISEÑO DE UN TANQUE ATMOSFÉRICO METÁLICO DE 300 m<sup>3</sup>**  
**DE CAPACIDAD SEGÚN LA NORMA API 650 PARA**  
**ALMACENAR HIDROCARBUROS**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**Bach. JUAN HENRY ESCARCENA PACCO**

**Bach. LIZETH PAULA CALCINA CHAMBI**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO METALURGISTA**

**PUNO – PERÚ**

**2021**



## DEDICATORIA

A Dios por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud, su infinita bondad y amor para lograr mis objetivos.

A mis queridos padres Santiago Escarcena y Gregoria Pacco por darme la vida y por ser el pilar fundamental en todo lo que soy. A ustedes les debo mi educación y la vida. Gracias por su apoyo incondicional.

A mis hermanos Cesar, Rudy, Miriam, Cintia, Brayan y a mi sobrina Azumi por estar siempre presente y apoyarme incondicionalmente. Los quiero y amo mucho.

A las docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica, por todo el conocimiento y apoyo brindado durante mi formación profesional.

*Juan Henry Escarcena Pacco*



## DEDICATORIA

A Dios por su inmenso amor quien me ha guiado para cumplir mis metas, y me permitieron cumplir satisfactoriamente mis estudios superiores.

A mis padres Reinardo Calcina y Mercedes Chambi por brindarme su amor y comprensión, confianza y su apoyo incondicional en cada etapa de mi vida para lograr el éxito profesional.

A mí querido hermano Jhosue por todo su apoyo y comprensión incondicional para lograr mis metas y objetivos profesionales.

Con respeto y cariño a mis docentes quienes me formaron en esta carrera, dando de sus conocimientos e inculcando valores para que pueda ser una buena profesional.

***Lizeth Paula Calcina Chambi***



## AGRADECIMIENTOS

- Nuestro agradecimiento, a Dios por darnos la vida, salud, fortaleza, sabiduría y capacidad para lograr nuestras metas propuestas. Eres quien guía el destino de nuestras vidas y de toda nuestra familia todos los días.
- A la Universidad Nacional del Altiplano de Puno (UNAP), a la Facultad de Ingeniería Geológica e Ingeniería Metalúrgica y en especial a la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica, por haber contribuido en nuestra formación profesional.
- A nuestros docentes, miembros del jurado de Tesis Dr. Pedro Álvaro Edwin Gallegos Pasco, M.Sc. Julio Alberto Maquera Gil, M.Sc. Faviola Ccoa Huanca; a nuestro director/asesor M.Sc. Oswaldo Luzver Maynas Condori y en especial al Dr. Walter Sarmiento Sarmiento por guiarnos en el proceso de la elaboración del presente trabajo de investigación y por compartir todos sus conocimientos en mi formación profesional.
- Finalmente, nuestra eterna gratitud a todas las personas que fueron el pilar importante para el desarrollo y conclusión de este proyecto de investigación.

*Lizeth Paula Calcina Chambi*

*Juan Henry Escarcena Pacco*



# ÍNDICE GENERAL

Pág.

**DEDICATORIA**

**AGRADECIMIENTOS**

**ÍNDICE GENERAL**

**ÍNDICE DE FIGURAS**

**ÍNDICE DE TABLAS**

**ÍNDICE DE ACRÓNIMOS**

**RESUMEN ..... 17**

**ABSTRACT..... 18**

## **CAPÍTULO I**

### **INTRODUCCIÓN**

**1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... 19**

**1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA ..... 20**

1.2.1. Problema General ..... 20

1.2.2. Problemas Específicos ..... 20

**1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN ..... 21**

1.3.1. Hipótesis general ..... 21

1.3.2. Hipótesis específicos ..... 21

**1.4. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO..... 21**

**1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN..... 23**

1.5.1. Objetivo general ..... 23

1.5.2. Objetivos específicos ..... 23

## **CAPÍTULO II**

### **REVISIÓN DE LA LITERATURA**

**2.1. ANTECEDENTES..... 24**

**2.2. MARCO TEÓRICO ..... 28**



2.2.1. Tanques de almacenamiento .....	28
2.2.2. Tipos de tanques de almacenamiento.....	29
2.2.3. Tanques atmosféricos.....	30
2.2.4. Tanques a presión.....	34
2.2.5. Producto Diésel B5 .....	35
2.2.6. Códigos aplicables .....	37
2.2.7. Normas del Instituto Americano del Petróleo.....	37
2.2.8. Norma API 650 .....	39
2.2.9. Partes del Código API-650.....	40
2.2.10. Otras normas aplicables .....	43
2.2.11. Consideraciones para la manufactura según API 650.....	45
2.2.12. Acabado de los bordes de las planchas .....	45
2.2.13. Prefabricación de las planchas de la envolvente.....	46
2.2.14. Inspección en taller .....	47
2.2.15. Métodos de Soldadura.....	49
2.2.16. Soldadura de arco con electrodo revestido SMAW .....	49
2.2.17. Tipo de electrodo utilizado en el proceso SMAW .....	50
2.2.18. Definición conceptual de la terminología empleada.....	50

### CAPÍTULO III

#### MATERIALES Y MÉTODOS

<b>3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ESTUDIO.....</b>	<b>52</b>
<b>3.2. PERIODO DE DURACIÓN DEL ESTUDIO .....</b>	<b>52</b>
<b>3.3. PROCEDENCIA DEL MATERIAL ESTUDIADO .....</b>	<b>52</b>
<b>3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA DEL ESTUDIO .....</b>	<b>53</b>
3.4.1. Población.....	53
3.4.2. Muestra.....	53
<b>3.5. DISEÑO ESTADÍSTICO .....</b>	<b>53</b>
<b>3.6. PROCEDIMIENTO.....</b>	<b>53</b>



3.6.1. Metodología .....	53
3.6.2. Desarrollo del procedimiento de investigación.....	54
3.6.3. Técnicas y procedimientos de recolección de datos .....	55
<b>3.7. VARIABLES .....</b>	<b>56</b>
<b>3.8. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS .....</b>	<b>57</b>

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

<b>4.1. DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS ÓPTIMOS DE DIMENSIONAMIENTO PARA EL DISEÑO DEL TANQUE ATMOSFÉRICO .....</b>	<b>59</b>
<b>4.2. SELECCIÓN DE LOS MATERIALES PARA EL DISEÑO DEL TANQUE.....</b>	<b>60</b>
4.2.1. Planchas.....	60
4.2.2. Perfiles estructurales .....	61
4.2.3. Tuberías y accesorios forjados .....	62
4.2.4. Bridas y pernos.....	63
<b>4.3. DISEÑO DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO .....</b>	<b>64</b>
4.3.1. Dimensionamiento del tanque de almacenamiento.....	64
4.3.2. Cálculo del volumen del tanque .....	65
4.3.3. Cálculo del nivel de llenado del tanque .....	66
4.3.4. Cálculo de la altura efectiva del líquido a ser almacenado .....	67
<b>4.4. DATOS GENERALES Y CONDICIONES PARA EL CÁLCULO .....</b>	<b>68</b>
<b>4.5. CÁLCULO DEL CUERPO DEL TANQUE .....</b>	<b>69</b>
4.5.1. Cálculo del cuerpo del tanque por el método de un pie .....	70
4.5.2. Cálculo de la disposición de los anillos del cuerpo.....	75
4.5.3. Cálculo de las dimensiones de las planchas usadas en el cuerpo.....	76
<b>4.6. CÁLCULO DEL FONDO DEL TANQUE.....</b>	<b>76</b>
<b>4.7. CÁLCULO DE LA UNIÓN CUERPO - FONDO.....</b>	<b>78</b>



<b>4.8.</b>	<b>CÁLCULO DEL TECHO DEL TANQUE.....</b>	<b>78</b>
4.8.1.	Cálculo del espesor mínimo de diseño del techo del tanque.....	79
4.8.2.	Cálculo del ángulo de corte para el techo cónico.....	83
<b>4.9.</b>	<b>CÁLCULO DEL ANILLO SUPERIOR O ÁNGULO DE TOPE.....</b>	<b>84</b>
<b>4.10.</b>	<b>CÁLCULO DEL PESO DEL TANQUE.....</b>	<b>86</b>
<b>4.11.</b>	<b>SELECCIÓN DEL TIPO DE JUNTA EMPLEADO EN LA SOLDADURA DEL TANQUE .....</b>	<b>88</b>
4.11.1.	Soldadura en juntas verticales.....	88
4.11.2.	Soldadura en juntas horizontales.....	89
4.11.3.	Soldadura en juntas traslapadas .....	89
<b>4.12.</b>	<b>SELECCIÓN DE ACCESORIOS PARA EL TANQUE .....</b>	<b>90</b>
4.12.1.	Condiciones de las aberturas en el cuerpo del tanque.....	90
<b>4.13.</b>	<b>MANHOLE DEL CUERPO .....</b>	<b>93</b>
4.13.1.	Dimensionamiento del manhole del cuerpo.....	95
<b>4.14.</b>	<b>BOQUILLAS - BRIDAS EN EL CUERPO.....</b>	<b>97</b>
4.14.1.	Soldadura de boquillas – bridas .....	98
4.14.2.	Dimensionamiento de boquillas - bridas en el cuerpo .....	98
<b>4.15.</b>	<b>BOQUILLAS - BRIDAS EN EL TECHO .....</b>	<b>104</b>
4.15.1.	Dimensionamiento de boquillas - bridas en el techo .....	105
<b>4.16.</b>	<b>ACCESO DE LIMPIEZA TIPO LÁPIDA O COMPUERTA DE SEDIMENTOS .....</b>	<b>107</b>
4.16.1	Dimensionamiento del acceso de limpieza de sedimentos .....	108
<b>4.17.</b>	<b>CÁLCULO DE CARGAS DE VIENTO EN EL TANQUE (ESTABILIDAD AL VOLCAMIENTO).....</b>	<b>110</b>
4.17.1.	Presión de viento.....	110
4.17.2.	Tanques no anclados .....	112
4.17.3.	Cálculo del momento de estabilidad al volcamiento .....	113



<b>4.18. DETERMINACIÓN DEL PROCESO ÓPTIMO DE MANUFACTURA PARA EL DISEÑO DEL TANQUE ATMOSFÉRICO .....</b>	<b>121</b>
<b>4.19. DISEÑO PARA LA FABRICACIÓN DE UN TANQUE EN TALLER....</b>	<b>122</b>
4.19.1. Compra de materiales y consumibles.....	123
4.19.2. Recepción de material en taller .....	123
4.19.3. Trazo, corte de planchas y perfiles metálicos .....	124
4.19.4. Biselado de planchas y perfiles .....	124
4.19.5. Rolado y emplantillamiento de planchas del cuerpo del tanque .....	125
4.19.6. Preparación superficial o arenado de planchas .....	125
4.19.7. Pintura base de planchas (interior y exterior) .....	126
4.19.8. Embajale, traslado de planchas, perfiles, materiales consumibles a obra.....	128
<b>4.20. DISEÑO DE LA SOLDADURA REQUERIDA PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL TANQUE .....</b>	<b>128</b>
4.20.1. Diseño de juntas de soldadura.....	131
<b>4.21. CÁLCULO DEL PESO DE SOLDADURA REQUERIDO EN EL DISEÑO PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL TANQUE.....</b>	<b>133</b>
4.21.1. Soldaduras verticales.....	133
4.21.2. Soldaduras horizontales .....	134
<b>4.22. ESPECIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)</b>	<b>137</b>
<b>4.23. REGISTRO DE CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO (PQR) .....</b>	<b>139</b>
<b>4.24. REGISTRO DE CALIFICACIÓN DE HABILIDAD DEL SOLDADOR (WPQ) .....</b>	<b>139</b>
<b>4.25. CONSIDERACIONES A TOMAR EN CUENTA EN EL DISEÑO PARA EL MONTAJE EN CAMPO SEGÚN API 650 .....</b>	<b>139</b>
<b>4.26. DETALLES DE LA SOLDADURA EN EL DISEÑO.....</b>	<b>141</b>
<b>4.27. MONTAJE DE FONDO.....</b>	<b>141</b>
<b>4.28. MONTAJE DE ENVOLVENTE .....</b>	<b>142</b>



<b>4.29. UNIÓN ENVOLVENTE – FONDO .....</b>	<b>143</b>
<b>4.30. MONTAJE Y SOLDEO DEL TECHO EXTERNO FLOTANTE.....</b>	<b>144</b>
<b>4.31. MÉTODOS DE INSPECCIÓN, EXAMINACIÓN Y REPARACIONES A CONSIDERARSE EN EL DISEÑO DEL TANQUE .....</b>	<b>145</b>
<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>156</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>157</b>
<b>VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>158</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>161</b>

**Área** : Metalurgia Transformativa

**Tema** : Diseño de Equipos

**FECHA DE SUSTENTACIÓN:** 06 de Diciembre del 2021.



## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1.</b> Tanque atmosférico de techo fijo .....	32
<b>Figura 2.</b> Tanque atmosférico de techo flotante.....	33
<b>Figura 3.</b> Tanque cilíndrico horizontal.....	34
<b>Figura 4.</b> Tanque esférico.....	35
<b>Figura 5.</b> Formación de las planchas.....	46
<b>Figura 6.</b> Proceso de soldadura SMAW.....	49
<b>Figura 7.</b> Clasificación AWS - A.5.1 para electrodos.....	50
<b>Figura 8.</b> Flujograma de procedimiento de investigación.....	55
<b>Figura 9.</b> Niveles de llenado de tanque .....	67
<b>Figura 10.</b> Esquema del ángulo de corte del techo cónico.....	83
<b>Figura 11.</b> Angular de coronación alrededor de la parte superior de la envolvente – detalle A .....	86
<b>Figura 12.</b> Soldaduras en junta vertical a tope .....	88
<b>Figura 13.</b> Soldadura en junta horizontal a tope .....	89
<b>Figura 14.</b> Soldadura con junta plana de filete Traslapada.....	90
<b>Figura 15.</b> Descripción y geometría de aberturas en el cuerpo del tanque .....	91
<b>Figura 16.</b> Manhole del cuerpo .....	93
<b>Figura 17.</b> Unión del cuello Manhole-cuerpo del tanque .....	95
<b>Figura 18.</b> Refuerzo de boquillas y bridas del cuerpo [18].....	97
<b>Figura 19.</b> Soldadura brida-boquilla .....	98
<b>Figura 20.</b> Boquillas-Bridas para Techo sin placa de refuerzo .....	105
<b>Figura 21.</b> Accesorio de limpieza a nivel (lápida) .....	108
<b>Figura 22.</b> Esquemas de cargas de viento en el tanque.....	112



<b>Figura 23.</b>	Flujograma de fabricación del tanque en el taller.....	123
<b>Figura 24.</b>	Detalle de la unión soldada ranurada de penetración completa precalificada.....	131
<b>Figura 25.</b>	Identificación de juntas precalificadas .....	132
<b>Figura 26.</b>	Soldaduras en junta vertical a tope .....	133
<b>Figura 27.</b>	Diseño de la junta vertical a tope.....	134
<b>Figura 28.</b>	Diseño de la junta horizontal a tope con penetración completa y ranura rectangular .....	135
<b>Figura 29.</b>	Diseño de la junta horizontal a tope .....	135
<b>Figura 30.</b>	Diseño de la junta plana de filete traslapada. ....	136
<b>Figura 31.</b>	Procedimientos principales en la construcción de tanques.....	140



## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1.</b> Especificaciones técnicas del Diésel.....	36
<b>Tabla 2.</b> Tamaños típicos correspondientes a capacidades nominales (m <sup>3</sup> ) para tanques hechos con planchas de 1800 mm .....	64
<b>Tabla 3.</b> Espesor de placa para tamaños típicos de tanques con anillos de 1800 mm de alto.....	64
<b>Tabla 4.</b> Espesor mínimo para planchas de tanques.....	69
<b>Tabla 5.</b> Esfuerzo admisible de las planchas de acero según el tipo de acero .....	71
<b>Tabla 6.</b> Espesores del cuerpo.....	75
<b>Tabla 7.</b> Espesores mínimos del fondo del tanque.....	77
<b>Tabla 8.</b> Tamaño mínimo de la soldadura de filete.....	78
<b>Tabla 9.</b> Ángulos para rigidizar el tanque .....	85
<b>Tabla 10.</b> Mínimas distancias de separación de las principales aberturas del cuerpo .	92
<b>Tabla 11.</b> Espesor de la placa de la tapa tc y de la brida empernada tf.....	95
<b>Tabla 12.</b> Espesor del cuello del manhole del cuerpo tnc .....	96
<b>Tabla 13.</b> Dimensiones del diámetro circular de los pernos Db y diámetro de la cubierta de la placa Dc del cuerpo del manhole .....	97
<b>Tabla 14.</b> Dimensiones de las boquillas del cuerpo .....	99
<b>Tabla 15.</b> Dimensiones de las boquillas del cuerpo: tubería, placas y tamaño del filete de soldadura .....	101
<b>Tabla 16.</b> Dimensiones para boquillas - bridas .....	102
<b>Tabla 17.</b> Dimensiones para boquillas-bridas del techo .....	105
<b>Tabla 18.</b> Dimensiones para el acceso de limpieza.....	109



<b>Tabla 19.</b> Espesores de la placa de cubierta, pernos y reforzamiento del fondo para el acceso de limpieza.....	109
<b>Tabla 20.</b> Espesores y alturas de placas de refuerzo del cuerpo para accesorios de limpieza.....	110
<b>Tabla 21.</b> Esfuerzos permisibles en soldadura .....	129
<b>Tabla 22.</b> Tolerancias de redondez .....	151



## ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

<b>API</b>	: Instituto Americano del Petróleo.
<b>ASME</b>	: Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos.
<b>ASTM</b>	: Sociedad Americana para Pruebas y Materiales.
<b>AWS</b>	: Sociedad Americana de Soldadura
<b>Cm<sup>2</sup></b>	: Centímetro cuadrado
<b>CWI</b>	: Inspector de Soldadura Certificado.
<b>EPP</b>	: Equipo de Protección Personal.
<b>FCAW</b>	: Soldadura de Arco con Núcleo de fundente.
<b>Ft</b>	: Pie
<b>G</b>	: Gravedad específica.
<b>GMAW</b>	: Soldadura de arco con protección de Gas.
<b>GTAW</b>	: Soldadura de electrodo de tungsteno.
<b>Kg</b>	: Kilogramo
<b>KPa</b>	: Kilopascales.
<b>Ksi</b>	: Kilo libras por pulgada cuadrada.
<b>LA</b>	: Levantamiento Alto.
<b>LB</b>	: Levantamiento Bajo.
<b>Lb</b>	: Libras
<b>LM</b>	: Levantamiento Moderado.
<b>M</b>	: Metro
<b>m<sup>2</sup></b>	: Metro cuadrado
<b>mm</b>	: Milímetros
<b>MPa</b>	: Mega pascal.
<b>NDT</b>	: Ensayos no Destructivos.



<b>NFPA</b>	: Asociación Nacional de Protección contra el Fuego.
<b>Nm</b>	: Nanómetro
<b>NTP</b>	: Norma Técnica Peruana.
<b>Ppm</b>	: Partes por millón.
<b>PQR</b>	: Registro de Calificación de Procedimientos.
<b>PSI</b>	: libras por pulgada cuadrada.
<b>Pulg2</b>	: Pulgada cuadrada
<b>SAW</b>	: Soldadura de Arco Sumergido.
<b>SMAW</b>	: Soldadura por arco con electrodo revestido.
<b>WPQ</b>	: Registro de Calificación de Habilidad del Soldador.
<b>WPS</b>	: Especificación de Procedimientos de Soldadura.



## RESUMEN

Actualmente en la región Puno no existen empresas de metal mecánica que se dediquen a la fabricación de tanques atmosféricos y peor aún no conocen la importancia de la aplicación de la normativa API 650, es por ello que el presente trabajo se realizó en la ciudad de Puno en la empresa INTERSOL durante los meses de octubre del 2020 a marzo del 2021, cuyo objetivo fue diseñar un tanque atmosférico metálico de capacidad de 300 m<sup>3</sup> utilizando la norma API 650 para almacenar hidrocarburos y a partir de ello desarrollar innovación tecnológica y competitividad de tanques en la industria del sector hidrocarburos. El método de investigación fue el deductivo, diseño de investigación tecnológico, el tipo de investigación de campo-bibliográfico y el nivel investigativo fue la descriptiva-experimental, además para el procesamiento de datos se utilizó MICRO SOFT EXCEL y diseño AUTO CAD, concluyéndose que el uso del Estándar API 650 13th Edición, año 2020 secciones 4, 5 y 6 es una herramienta fundamental que permite garantizar que el diseño del tanque no presente fallas en su construcción. Las dimensiones sugeridas del tanque son diámetro:7.5 m, altura:7.2.m y número de anillos:4, utilizándose planchas de acero estructural ASTM A131/A, para el cuerpo, fondo y techo del tanque de un espesor de 6 mm, ancho 1800 mm y largo 12000 mm y para la unión de las planchas según AWS, el pase de la raíz es con electrodo E6010 y para los pases de relleno con electrodos E7010; se observa que la Norma API 650 tiene una total aceptación de uso en el Perú y en la mayoría de países del extranjero; así mismo el contenido de esta tesis podrá usarse como una guía para el cálculo y diseño de tanques de almacenamiento de cualquier producto líquido a presión atmosférica y mismas capacidades.

**Palabras clave:** Atmosférico, construcción, diésel, diseño y normativa.



## ABSTRACT

Currently in the Puno region there are no mechanical metal companies that are dedicated to the manufacture of atmospheric tanks and worse still do not know the importance of the application of the API 650 standard, that is why this work was carried out in the city of Puno in the INTERSOL company during the months of October 2020 to March 2021, whose objective was to design a metallic atmospheric tank with a capacity of 300 m<sup>3</sup> using the API 650 standard to store hydrocarbons and from there develop technological innovation and competitiveness of tanks in the industry in the hydrocarbon sector. The research method was deductive, technological research design, the type of field-bibliographic research and the research level was descriptive-experimental, in addition, MICRO SOFT EXCEL and AUTO CAD design were used for data processing, concluding that the The use of API Standard 650 13th Edition, year 2020 sections 4, 5 and 6 is a fundamental tool that allows to guarantee that the design of the tank does not present flaws in its construction. The suggested dimensions of the tank are diameter: 7.5 m, height: 7.2 m, and number of rings: 4, using structural steel plates ASTM A131 / A, for the body, bottom and roof of the tank with a thickness of 6 mm, width 1800 mm and length 12000 mm and for the union of the plates according to AWS, the root pass is with E6010 electrode and for the filling passes with E7010 electrodes; It is observed that the API 650 Standard has a total acceptance of use in Peru and in most foreign countries; Likewise, the content of this thesis may be used as a guide for the calculation and design of storage tanks for any liquid product at atmospheric pressure and the same capacities.

**Keywords:** Atmospheric, construction, diesel, design and regulations.



# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las empresas que brindan servicios de diseño y fabricación en el rubro metalmeccánico encuentran la necesidad de contar con herramientas de normatividad que puedan dotarles de capacidad tecnológica para analizar problemas y dar soluciones optimas con rapidez de modo que puedan satisfacer las exigencias de calidad según normas internacionales.

Un caso particular y que es frecuentado por las empresas metalmeccánicas del Perú y de la Región de Puno, es el diseño de tanques de almacenamiento verticales bajo norma API 650, para lo cual se necesita utilizar normativas tanto en etapa de cálculo como en fabricación, ya que esto permite tomar mayor relevancia cuando exista competencia por ser la mejor propuesta para el potencial cliente. Es por eso que algunas empresas con cierta cobertura económica, sin excluir otros factores, tiene mayores posibilidades de ganar un proyecto y poder ejecutarlo.

Por otra parte, las pequeñas empresas no cuentan o no conocen la importancia de la aplicación de esta normativa; es ahí cuando se considera el hecho de que un ingeniero metalurgista con los conocimientos adquiridos a lo largo de su trayectoria universitaria debe tener la capacidad de proponer soluciones a las empresas en las que se insertarán al empezar su vida laboral. El código de la norma API 650 está basado en el conocimiento y la experiencia acumulada de fabricantes y usuarios de tanques de almacenamiento de petróleo soldados, de varios tamaños y capacidades, con una presión manométrica interna que no exceda de 2.5 PSI.



En el presente estudio se abarca la problemática general de la industria metalmeccánica, que debido a no aplicar un correcto control de calidad no se les da el respectivo seguimiento a los diferentes procesos de fabricación. Esto repercute en fallas como estructuras mal dimensionadas, procesos de soldadura mal aplicados, defectos en la soldadura, mal manejo de materiales, ejecución de procesos de fabricación bajo condiciones no aceptables, entre otros. Así mismo se afronta la problemática que genera la demanda de tanques de almacenamiento fabricados a base de planchas metálicas soldadas, esto es a raíz de la necesidad de abastecer de combustible en grandes volúmenes y recipientes seguros. Por tal motivo, estos tanques deben ofrecer características que permitan lograr una estructura robusta y duradera según el diseño establecido.

## **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

### **1.2.1. Problema General**

¿Cómo diseñar un tanque atmosférico metálico de capacidad de 300 m<sup>3</sup> mediante la norma API 650 para almacenar hidrocarburos?

### **1.2.2. Problemas Específicos**

¿Es posible diseñar el tanque atmosférico determinando los parámetros óptimos de dimensionamiento, utilizando el Estándar API 650 13th Edición, año 2020 sección 4 y 5?

¿Es posible diseñar el tanque atmosférico determinando el proceso óptimo de fabricación, utilizando el Estándar API 650 13th Edición, año 2020 sección 6?



### **1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **1.3.1. Hipótesis general**

La aplicación eficiente de la norma API 650 permite diseñar óptimamente el tanque atmosférico metálico de capacidad de 300 m<sup>3</sup> para almacenar hidrocarburos.

#### **1.3.2. Hipótesis específicos**

- La determinación de los parámetros óptimos de dimensionamiento permite diseñar el tanque atmosférico utilizando el Estándar API 650 13th Edición, año 2020 sección 4 y 5.
- La determinación del proceso óptimo de fabricación permite diseñar el tanque atmosférico utilizando el Estándar API 650 13th Edición, año 2020 sección 6.

### **1.4. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO**

En la Región de Puno, específicamente en la ciudad de Juliaca se está dando un incremento importante de proyectos metal mecánicos, para lo cual la participación de la industria local se vuelve necesaria y más aún si éste crecimiento del mercado se refleja en una gran demanda de bienes de capital metalmecánicos y fomentando a la pequeña y mediana empresa.

En la actualidad podríamos afirmar que la industria metalmecánica del país está involucrada en la realización de una gran variedad de proyectos de ingeniería. Sin embargo, al hacerlo en su mayoría sin la aplicación de criterios adecuados del uso de normativas las empresas del sector pueden atravesar graves riesgos que conllevarían a pérdidas económicas considerables e incluso a la quiebra de las mismas.



Para el almacenamiento de petróleo y sus derivados, son ampliamente utilizados los tanques API 650, los cuales son diseñados y construidos bajo estrictas normas y códigos que se han ido formalizando, con la finalidad de mejorar la fiabilidad del tanque, mejorando su calidad en el diseño, materiales utilizados y su fabricación. De esta manera se cumple con los requerimientos para que los tanques sean seguros con el medio ambiente, se aminoren los costos de fabricación, y se mejoren los rendimientos productivos dentro de su ámbito de trabajo. Además del uso de estos estándares y códigos para su diseño y construcción, se deben aplicar bajo adecuados criterios de ingeniería.

El presente trabajo pretende dar a conocer la importancia del diseño en la fabricación de tanques para el almacenamiento de petróleo y sus derivados, así como también justificar el uso de la norma API 650 identificando cada una de las especificaciones y códigos establecidos en la misma que se podrá determinar un correcto procedimiento para el diseño y construcción de tanques de almacenamiento en diferentes diámetros y capacidad volumétrica, esto permitirá desarrollar habilidad para el cálculo de espesores de las láminas de construcción y diseño del fondo, cuerpo y techo de los diferentes tanques.

Finalmente, al trabajar el diseño del tanque bajo normas utilizadas en el país y en el extranjero, unificamos los resultados, colocando el tanque en competencia con cualquier otro diseño que compañías ya establecidas pudieran diseñar e incentivar la creación de empresas destinadas a la certificación de los tanques atmosféricos lo que permitiría obtener más fuentes de empleo, contribuyendo al desarrollo de la Región Puno y del País.



## **1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.5.1. Objetivo general**

Diseñar un tanque atmosférico metálico de capacidad de 300 m<sup>3</sup> mediante la norma API 650 para almacenar hidrocarburos.

### **1.5.2. Objetivos específicos**

- Determinar los parámetros óptimos de dimensionamiento para el diseño del tanque atmosférico utilizando el Estándar API 650 13th Edición, año 2020 sección 4 y 5.
- Determinar el proceso óptimo de manufactura para el diseño del tanque atmosférico, utilizando el Estándar API 650 13th Edición, año 2020 sección 6.



## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LA LITERATURA

#### 2.1. ANTECEDENTES

Saldaña (2020) en su tesis desarrolló un programa en Excel para diseñar tanques verticales de almacenamiento de agua con capacidad entre  $12 \text{ m}^3$  y  $1200 \text{ m}^3$  con techo cónico fijo bajo norma API 650 además de comandar las operaciones de dibujo de Solid Works. El autor diseñó tanques de 12, 600 y  $1200 \text{ m}^3$  para comprobación del programa. Seleccionó el diámetro de cada uno buscando que el diámetro sea mayor que la altura del tanque; así mismo, optó por el acero ASTM A36 como material de las planchas seleccionadas para estos ejemplos; de este modo obtuvo el número de anillos para cada capacidad, 1, 5 y 6 respectivamente. Según la norma techos con diámetros por debajo de 12.5 metros menciona que pueden diseñarse como auto-soportados. Las bases teóricas sobre el diseño de tanques de almacenamiento estacionarios de techo cónico fijo extrajeron de la norma API 650 del año 2007 y de otros autores que en conclusión llevaron a entender como diseñar un tanque de techo cónico fijo auto-soportado.

Noriega (2019) el desarrollo de esta investigación que lleva como título “Diseño de un sistema de aseguramiento y control de calidad en la fabricación de tanques de almacenamiento para optimizar el abastecimiento de combustible”, tiene como objetivo establecer y proyectar un conjunto ordenado de procedimientos que permitan ejecutar y dar un seguimiento de inicio a fin a las actividades operativas que intervienen en el proceso de fabricación de 4 tanques de almacenamiento de hidrocarburos y 1 tanque de agua; de material estructural metálico ferroso, bajo normas, códigos, estándares y especificaciones técnicas. Los resultados muestran que siguiendo los protocolos



establecidos se logran desarrollar este tipo de proyectos metalmecánicos satisfactoriamente, realizando las actividades de forma segura y ordenada. Así como también, se logra minimizar la presencia de defectos, estos se identificaron en el momento oportuno y fueron solucionados para no involucran posibles fallas futuras. De la misma forma, se aseguró que los cronogramas establecidos se cumplan, evitando reprocesos y pérdidas económicas para la empresa.

Concha (2018) en su proyecto de titulación diseño, fabricación y montaje de tanque de almacenamiento de Diesel de 200, 000 galones de capacidad, basado en la norma API 650, para la unidad minera Toquepala, departamento de Tacna” obtuvo resultados positivos, determinando los factores y parámetros que influyen a la hora de diseñar un tanque de almacenamiento, como son: las cargas muertas, cargas vivas, esfuerzos permisibles, espesores de las planchas, materiales, entre otros factores, que se debe tener en cuenta al diseñar un tanque de almacenamiento. Así mismo analizo las consideraciones, para elegir el tamaño del diseño del tanque, como son la capacidad de diseño, la capacidad de operación, el producto a almacenar, las presiones internas, condiciones ambientales, todas estas consideraciones trabajó bajo los rangos de temperatura específicos y cumpliendo con las normas bajo las cuales se rigen los tanques de almacenamiento.

Ángel (2018) el objetivo de su tesis fue la elaboración de un procedimiento constructivo para Tanques de Acero, de diferentes usos en el sector industrial, para reducir los costos de construcción en la empresa de Fabricaciones. El problema se centraba en el tiempo extenso que tomaba realizar estas construcciones utilizando los procedimientos anteriores, lo cual requería y demandaba un mayor número de personal, generando así un costo elevado, por ello pérdidas en la empresa. Para mejorar el proceso constructivo de los tanques se evaluó proceso a proceso el procedimiento actual con el que se venía



realizando estas construcciones y así determinar cuáles son las deficiencias de cada proceso y etapa, procediendo a darle soluciones y posibles alternativas de mejora, determinando así la opción que nos permita evidenciar la reducción de costos de producción, que para nuestra investigación se obtuvo una diferencia de 25 días en el tiempo de construcción de un tanque de 300 m<sup>3</sup> frente a la reparación de los anillos inferiores de un tanque de 750m<sup>3</sup>, empleando el procedimiento mejorado.

Pejerrey (2017) en su tesis se describen los pasos para calcular y diseñar un tanque de almacenamiento atmosférico para Gasolina de 90 octanos que es de suma importancia para la refinería que es cliente de la empresa en mención, como bien se sabe el almacenamiento de este insumo es de suma importancia para las empresas dedicadas a este rubro ya que es utilizado como el mayor indicador del potencial de producción y movimiento de esta materia tan necesitada en esta etapa del desarrollo industrial. El siguiente proyecto ha sido elaborado usando exclusivamente el Estándar API 650, 12th Edición, Año 2013 el cual es usado siempre cuando se requiere un proyecto de éste tipo, no obstante, las empresas clientes que requieren este tipo de unidades además de usar este estándar para basar los diseños tienen estándares propios los cuales son en su mayoría más limitativos y exigentes que el mismo API 650 en sí; para este caso, se ha diseñado un tanque usando sólo el Estándar API 650, 12th Edición, Año 2013 sin comprometer los estándares de alguno de los clientes de la empresa, obteniéndose un tanque de almacenamiento bastante genérico pero aun así cumpliendo los parámetros para ser aceptado por la Osinerming.

Ticona (2016) manifiesta que, en la fabricación de tanques, es necesario realizar un seguimiento de control de calidad en la producción. El seguimiento en la fabricación debe estar sujeto a normas y estándares internacionales, así como a las especificaciones proporcionadas por el cliente. Las inspecciones de los ensayos no-destructivos en la



fabricación de tanques de almacenamiento son imprescindibles, ya que comprobaba si las etapas de fabricación fueron las correctas o no, de lo contrario, llevar a una etapa de reproceso. En sus conclusiones indica que: La realización de los ensayos NDT, aseguro la aceptabilidad del producto terminado donde se verifico que las uniones soldadas han sido realizadas de forma correcta y adecuada reduciendo la posibilidad de presencia de fisuras o grietas. La elaboración y aplicación de procedimientos de fabricación previos al inicio de cualquier etapa de fabricación, aseguro un adecuado seguimiento en las inspecciones de control de calidad. La elaboración de registros de control en cada etapa de fabricación, da confiabilidad al cliente que el tanque ha sido fabricado con las especificaciones técnicas requeridas.

Gonza (2014) ha realizado un diseño y cálculo para la construcción de un tanque techo cónico para almacenamiento de petróleo de 3000 bbls, con la finalidad de ayudar a la industria con una mejor planificación y metodología en el diseño a seguir, lo cual se utilizó la norma API 650, décima segunda edición 2013 y otras afines a ésta. El diseño comprende etapas de; determinación de parámetros funcionales ligados a la norma, cálculo de estabilidad de volteo por sismo y viento, lo que determina si el tanque si requiere ser anclado mecánicamente. Además, se determinó el material a utilizar y el proceso de soldadura, para luego realizar el diseño del cuerpo del tanque que es el componente más grande, lo que representa aproximadamente el 75% de la construcción, y fue calculado mediante el método del punto fijo o un pie, este método es utilizado para tanques menores a 60 pies de diámetro. Los demás elementos que componen el diseño del tanque fueron seleccionados siguiendo la metodología de la norma, estos son: manhole, bridas y sumideros, entre otros accesorios.

Aranda (2011) su trabajo está relacionado con el diseño de tanques de acero soldado apoyados sobre el suelo para el almacenamiento de hidrocarburos siguiendo las



reglamentaciones del American Petroleum Institute API 650. Si bien la relación de esbeltez  $D/H$  es un parámetro fundamental para considerar el predimensionamiento de un tanque de acero soldado apoyado sobre el suelo para el almacenamiento de hidrocarburos, este parámetro no es el único a tener en consideración. Dependerá de las masas de fluido que se aceleren y la altura del tanque, por lo que estos parámetros son también muy importantes y que se tendrán que analizar en cada caso. En el caso de tanques pequeños de hasta 30,000 barriles, relaciones  $D/H$  a partir de 2 ya no generan problemas de volteo que requieran anclaje, aunque pueden generar levantamientos importantes que hemos clasificado en este trabajo como LA, aunque la norma norteamericana no los diferencia. Independientemente de tipo de levantamiento, ya sea LA (Levantamiento Alto), LM (Levantamiento Moderado) o LB (Levantamiento Bajo), las prácticas norteamericanas lo consideran un tanque lo suficientemente estable para no tener que anclarlo y por lo tanto lo siguen considerando auto anclado.

## **2.2. MARCO TEÓRICO**

### **2.2.1. Tanques de almacenamiento**

Para Gonza (2014) los tanques de almacenamiento son depósitos o estructuras fabricados de diversos materiales, generalmente son de forma cilíndrica, usados para preservar gases a presión, líquidos, etc. La función principal de los tanques es el almacenamiento de líquidos, de acuerdo a las posiciones relativas del terreno se pueden clasificarse como superficiales, elevados y enterrados.

Según Jiménez (2012) la función principal de los tanques es almacenar una reserva suficiente de productos petrolíferos para su uso posterior o comercialización. También sirve como un depósito final por donde circula el fluido, inicial e intermedio, los tanques



de almacenamientos son los más usados en los complejos petroquímicos por su fácil construcción y sus bajos costos en comparación a otras estructuras.

Características para tener en cuenta en el diseño de un tanque de almacenamiento

- Localización de los recipientes
- Funciones que deberá de cumplir
- Propiedades de los fluidos a almacenar
- Cantidad por almacenar
- Materiales disponibles
- Costo de fabricación
- Tiempo de vida útil
- Mantenimiento

### **2.2.2. Tipos de tanques de almacenamiento**

Según Saldaña (2020) existen diferentes tipos de tanques, si se considera según cuál será su función, su clasificación puede ser: tanques de almacenamiento y de proceso. Otro modo es según la forma final que este tendrá, en los cuales tenemos: cilíndricos y esféricos. A su vez los tanques cilíndricos se pueden clasificar en verticales u horizontales, según requerimientos de almacenamiento específicos, tales como tanques fijos o móviles (tanques cisterna para transporte de combustible).

Según su forma, los recipientes a presión, pueden ser cilíndricos o esféricos. Los primeros pueden ser horizontales o verticales, y pueden tener, en algunos casos, chaquetas para incrementar o decrecer la temperatura de los fluidos según el caso. Los recipientes



esféricos se utilizan generalmente como tanques de almacenamiento, y se recomiendan para almacenar grandes volúmenes a altas presiones. Puesto que la forma esférica es la forma “natural” que toman los cuerpos al ser sometidos a presión interna, ésta sería la forma más económica para almacenar fluidos a presión, sin embargo, la fabricación de este tipo de recipientes es mucho más cara en comparación con los recipientes cilíndricos (Saldaña, 2020).

Los tanques de almacenamiento se usan como depósitos para contener una reserva suficiente de algún producto para su uso posterior y/o comercialización. Los tanques de almacenamiento, se clasifican en:

- Tanques atmosféricos.
- Tanques a presión.

### **2.2.3. Tanques atmosféricos**

Los tanques de almacenamiento a presión atmosférica, son utilizados en plantas de proceso que forman parte de refinerías de petróleo o instalaciones petroleras; en cada uno de estos puntos se almacenan diferentes tipos de hidrocarburos tales como petróleo, productos intermedios como agua de producción o productos terminados como gasolina, diésel, fuel-óil (Cabezas y Núñez, 2011). Por este motivo no solo un tipo de tanque es apropiado para el almacenamiento de los diferentes productos; donde, los tanques de techo fijo, son principalmente usados para productos poco volátiles tales como petróleo; mientras que los tanques de techo flotante, tienen un techo no soportado el cual flota sobre el fluido almacenado, para mantener un volumen y presión constante sobre la superficie del producto. Estos tanques son generalmente utilizados en instalaciones petroleras, como refinerías de petróleo y estación de bombeo. Estos son diseñados para soportar presiones internas de 15 psi.



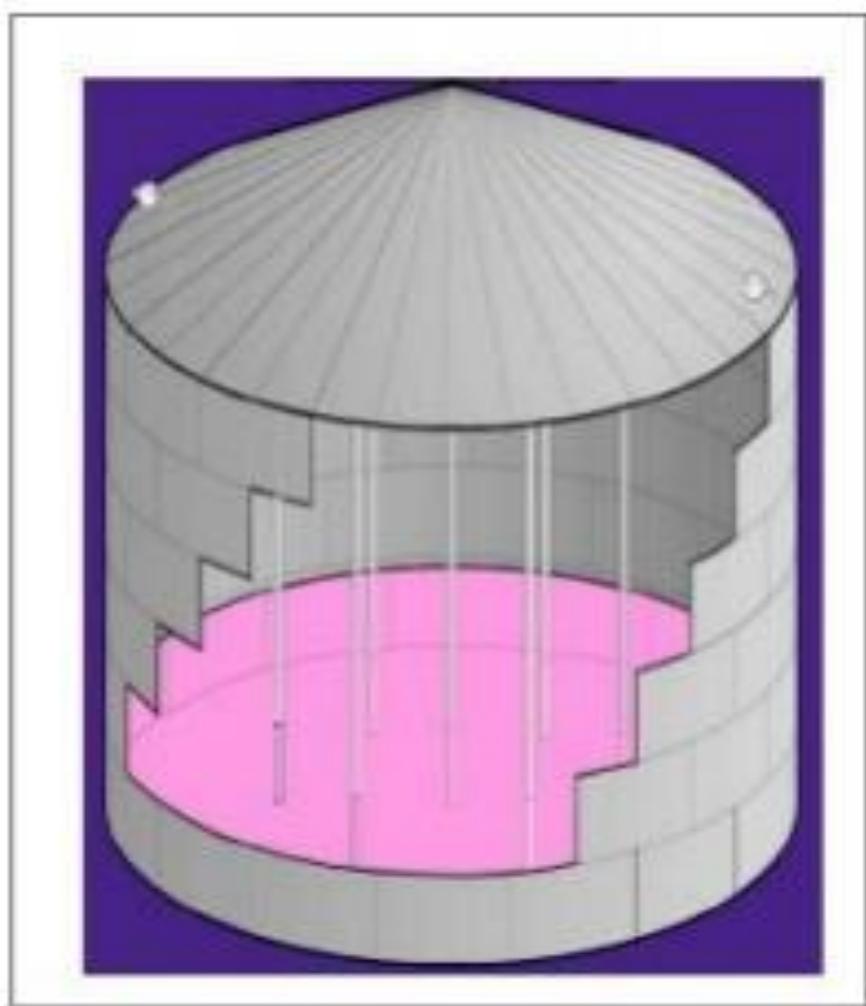
En la norma API 650 se contempla dos tipos de tanques de almacenamiento, los de techo fijo y los de techo flotante, la diferencia entre los dos tipos, es que los de techo flotante se utilizan para el almacenamiento de productos altamente volátiles como la gasolina. Los de techo fijo son utilizados para el almacenamiento de productos poco volátiles como el petróleo. Los tanques de almacenamiento a presión atmosférica de techo fijo, serán los que formen parte del presente estudio (Cabezas y Nuñez, 2011).

### 2.2.3.1. Tanque de almacenamiento de techo fijo

Estos sirven para almacenar petróleo, agua o productos con una presión de vapor relativamente baja. Es decir que son aquellos que no tienen tendencia a producir vapores a la temperatura ambiente (Mateus y Vivas, 2008). La presión de operación de estos tanques, es de 15 psi, esto se logra por los respiraderos que se encuentran en la parte superior del tanque. De acuerdo a la norma API 650 para los tanques de techo fijo, existen las siguientes configuraciones de acuerdo al tipo de techo: cónico, sombrilla, domo.

Los techos fijos se clasifican en:

- a) **Techos auto soportados:** Estos no requieren estructuras internas ya que su diseño toma en cuenta el espesor de la placa de techo y el ángulo formado entre la horizontal con el techo, el diámetro debe ser menor a 15 m.
- b) **Techos soportados con estructura:** Estos, si requieren de una estructura interna debido a su pendiente y su diámetro, su diámetro debe ser mayor a 15 m. En la figura 1, se puede apreciar el tanque atmosférico de techo fijo.

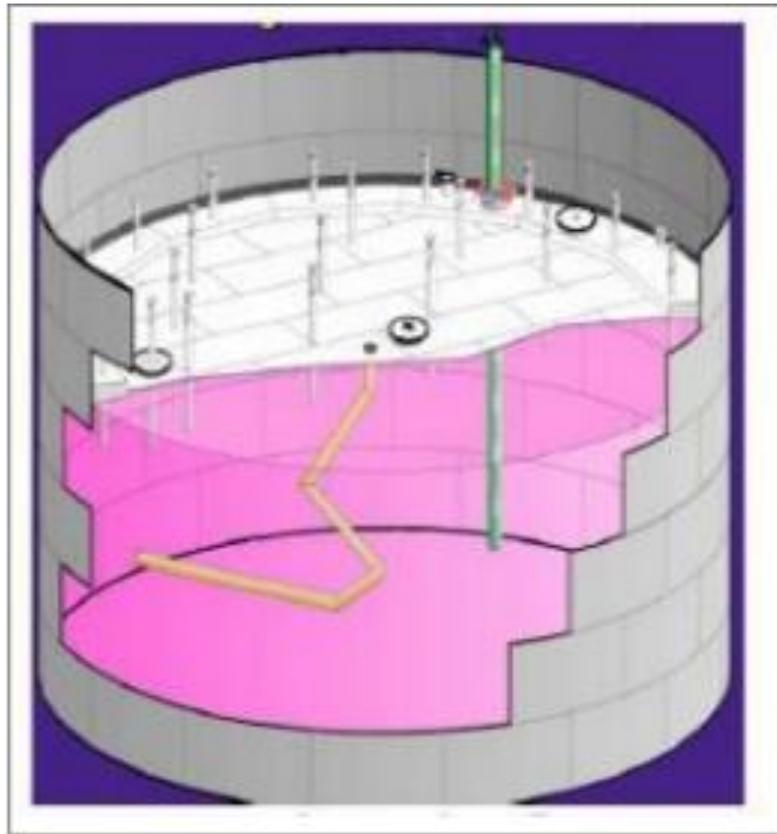


**Figura 1.** Tanque atmosférico de techo fijo

Fuente: De la cadena y Larrea (2012).

### 2.2.3.2. Tanque de techo flotante

Como se ve en la figura 2, estos tanques están diseñados para preservar fluidos altamente volátiles como el alcohol, gasolinas y combustibles en general, los cuales son considerados fluidos peligrosos para el medio ambiente, donde se evita su evaporación reduciendo los espacios que ocupa el aire manteniéndolo siempre a presión y volumen constante (Aro, 2018). Por ello es importante reducir la formación de gases ya que permite disminuir los riesgos de contaminación.



**Figura 2.** Tanque atmosférico de techo flotante

Fuente: De la cadena y Larrea (2012).

Se clasifican en:

- a) **Techo flotante tipo bandeja:** Este tipo de tanque de techo flotante, es de bajo costo, pero presenta fallas por su alta desestabilidad y en su mayoría en lugares que presentan cambios climáticos constantes (Sánchez y Hugo, 2014). Fue el primer modelo para tanques de techo flotante, pero se dejó de usar por no contemplar fallas de estabilidad.
- b) **Techo flotante tipo pontón:** Los tanques flotantes tipo pontón se utilizan porque reducen la evaporación por debajo de la cubierta y sirven de medio aislante haciendo al tanque más estable, se emplea en tanques con diámetros entre 18 y 90 metros (Cabezas y Nuñez, 2011). Esto permite que los gases generados se condensen al centro del tanque.

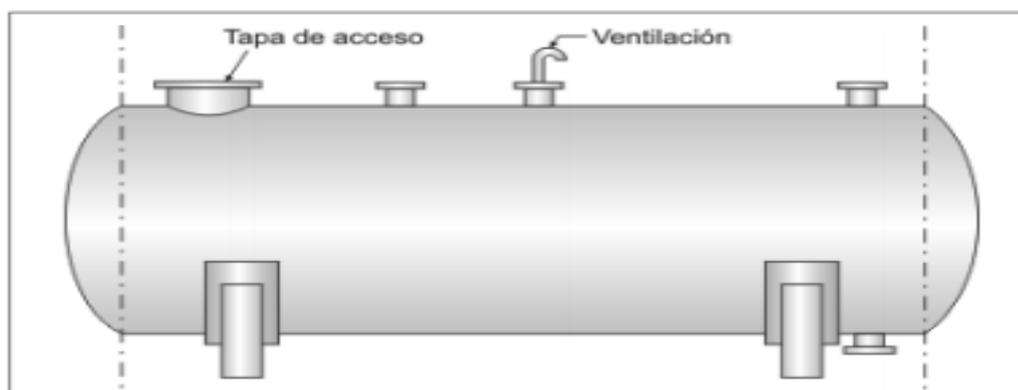
- c) **Techo flotante tipo de cubierta doble:** Este tipo de cubierta doble permite eliminar significativamente la evaporación del fluido, además se comporta como medio aislante debido a la cámara de aire que se genera entre las cubiertas, haciéndolo más seguro, se emplea en tanques de gran tamaño (Sánchez y Hugo, 2014). Con este tipo de techo se elimina sustancialmente la generación de gases.

#### 2.2.4. Tanques a presión

Se considera como un tanque a presión a cualquier vasija cerrada que sea capaz de almacenar un fluido a una presión de 7 KPa o 14 KPa (Castillo y Ochoa, 2008). La construcción de estos tanques tiende a ser más rigurosa, puesto que los líquidos que almacenan sufren cambios bruscos de presión y temperatura.

##### 2.2.4.1. Tanque cilíndrico

La presión manométrica de diseño varía de 103.42 KPa a 6894.76 KPa, esto depende del fluido que se quiera almacenar (De la cadena y Larrea, 2012). [9]. En la figura 3 se puede apreciar un tanque horizontal, a comparación de los tanques verticales estos tienen dimensiones de menor escala, estos pueden ser instalados en petroleras como pueden ser usados para transportar fluidos ya sean inflamables o no.



**Figura 3.** Tanque cilíndrico horizontal

Fuente: De la cadena y Larrea (2012).

#### 2.2.4.2. Tanque esférico

El uso de este tanque, generalmente es para almacenar gases licuados que fácilmente superan presiones atmosféricas por encima de 172.4 KPa (De la cadena y Larrea, 2012). En la figura 4 se ve la complejidad de su construcción.



**Figura 4.** Tanque esférico

Fuente: De la cadena y Larrea (2012).

#### 2.2.5. Producto Diésel B5

Petro Perú (2014) el Diesel B5 es un combustible derivado de hidrocarburos, obtenido de procesos de refinación, es un combustible constituido por una mezcla de 5% en volumen de Biodiesel (B100), y el restante 95% de Diesel N°2 S-50, que presenta un contenido de azufre máximo de 50 partes por millón (ppm), con denominación comercial en nuestro caso de BIODIÉSEL B5 PETROPERÚ, cumple con las especificaciones técnicas de la norma técnica peruana vigente y guarda concordancia con los principales ensayos de los estándares internacionales ASTM, D975 y SAE J313, se caracteriza por:

- Su elevado índice de cetano, que asegura una excelente calidad de ignición, arranque rápido y menor ruido del motor.

- Menor contenido de azufre del mercado, asegurando una protección efectiva contra el desgaste.
- Excelente lubricidad y reducción de emisiones contaminantes (al incrementarse el porcentaje de biodiésel de 2 a 5 %).
- Elevado poder calorífico, que garantiza una eficiente combustión.

**Tabla 1.** Especificaciones técnicas del Diésel

<b>ESPECIFICACIONES TECNICAS</b>	
<b>CLASE DE PRODUCTO</b>	COMBUSTIBLE
<b>TIPO DE PRODUCTO</b>	DESTILADO MEDIO + 5% BIODIESEL B100
<b>NOMBRE DEL PRODUCTO</b>	DIESEL B5

<b>ENSAYOS</b>	<b>ESPECIFICACIONES</b>
<b>APARIENCIA</b>	
Color ASTM	Clara y brillante
<b>VOLATIDAD</b>	
Densidad a 15°C (g/cm <sup>3</sup> )	<b>0.84</b>
Gravedad API a 60 F	Reportar
Destilación, °C (a 760 mmHg) 90% V. recuperado	282 - 360
Punto de inflamación, °C	<b>52</b>
<b>FLUIDEZ</b>	
Viscosidad cinemática a 40°C	1.7 - 4.1
Punto de escurrimiento, °C	4
<b>COMBUSTION</b>	
Numero de cetano	45
Índice de cetano	40
<b>COMPOSICION</b>	
Cenizas, % masa	0.01
Residuo carbón, 10% Ramsbottom	0.35
<b>CORROSIVIDAD</b>	
Corrosión lamina de corte, 3h, 50 °C, N°	3
Azufre total, % masa	0.5
<b>CONTAMINANTES</b>	
Agua y sedimentos, % V	0.05
<b>ESTABILIDAD A LA OXIDACION</b>	
Estabilidad a la oxidación, mg/100mL	Reportar

Fuente: Petro Perú (2014).



### **2.2.6. Códigos aplicables**

En los Estados Unidos de Norteamérica y en muchos otros países del mundo, incluyendo el nuestro, el diseño y cálculo de tanques de almacenamiento, se basa en la publicación que realiza el "Instituto Americano del Petróleo", al que esta institución designa como "STANDAR A.P.I. 650", para tanques de almacenamiento a presión atmosférica y "STANDAR A.P.I. 620", para tanques de almacenamiento sometidos a presiones internas cercanas a  $1 \text{ Kg /cm}^2$  ( $14 \text{ lb /pulg}^2$ ).

Sin embargo, en nuestro país comúnmente estos tanques de almacenamiento se diseñan según normas API que hacen referencia a los materiales fijados por las normas ASTM (American Society for Testing Materials), se siguen las normas de seguridad dadas por NFPA (National Fire Protection Association), y también se toman en cuenta las reglamentaciones de la ASME (American Society of Mechanical Engineers).

Estos estándares cubren el diseño, fabricación, inspección, montaje, ensayos y mantenimiento de los mismos y fueron desarrollados para el almacenaje de productos de la industria petrolera y petroquímica, pero su aceptación ha sido aplicada al almacenaje de numerosos productos en otras industrias. Si bien estas normas cubren muchos aspectos, no todos están contemplados, razón por la que existen otras normas complementarias a las mismas.

### **2.2.7. Normas del Instituto Americano del Petróleo**

Para el cálculo, diseño y construcción de tanque de almacenamiento de combustible existen varias Normas y Códigos que regulan y establecen los parámetros que se deben seguir para que dichos equipos cumplan con las especificaciones establecidas, pero las más difundidas y empleadas en las industrias de procesos son las del American Petroleum Institute (API).



**API Standard 620:** Es aplicable 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 93°C.

**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 121°C.

**API Specification 5L:** Es aplicable para el uso adecuado de las tuberías de gas, agua y petróleo tanto en la industria del petróleo como en la de gas natural. Cubre especificaciones sobre tuberías de acero soldado y sin costura, incluyendo las de peso normal, regular y especial y las tuberías de línea roscadas extra resistentes y sin rosca, ha igual que las de línea de enchufe y esponja.

**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 m<sup>3</sup>.

**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 m<sup>3</sup>.

**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.



### 2.2.8. Norma API 650

Norma de la American Petroleum Institute, que rige el diseño de tanques de almacenamiento construidos con láminas de acero soldado de varios tamaños y capacidades, con presiones internas pequeñas (atmosférica o algo superior, pero que no excedan el peso de las planchas de techo).

Esta norma establece los requisitos mínimos de materiales, diseño, fabricación, montaje y pruebas para tanques cilíndricos verticales sobre el suelo, techo fijo y soldados de diversos tamaños y capacidades, con presiones internas que se aproximen la presión atmosférica (presiones internas que no exceda el peso de las placas de techo).

El objetivo y alcance de esta norma es proporcionar a la industria petrolera los parámetros básicos para el diseño y construcción de tanques de almacenamiento de petróleo y sus derivados, la seguridad adecuada y razonable economía.

Esta norma no presenta o establece una serie fija de tamaños de tanques permitida, sino que está diseñada para permitir al comprador la selección de cualquier tamaño de tanque que pueda satisfacer sus necesidades.

La norma tiene por objeto ayudar a los compradores y fabricantes en los pedidos, la fabricación y montaje de tanques.

El presente trabajo estuvo basado principalmente en el estándar A.P.I. 650, el cual, sólo cubre aquellos tanques en los cuales se almacenan fluidos líquidos y están construidos de acero con el fondo uniformemente soportado por una cama de arena, grava, concreto, asfalto, etc, diseñados para soportar una presión de operación atmosférica o presiones internas que no excedan el peso del techo por unidad de área y una temperatura de operación no mayor de 93 °C (200 °F), y que no se usen para servicios de refrigeración.



Este estándar cubre el diseño y cálculo de los elementos constitutivos del tanque. En lista de los materiales de fabricación, se sugieren secuencias en la elección del tanque, recomendación de procedimientos de soldaduras, pruebas e inspecciones, así como lineamientos para su operación.

### 2.2.9. Partes del Código API-650

El código se divide en diez partes y veintisiete anexos, se listan los puntos mencionados.

#### A. Cuerpo Principal

- **Sección 1 - Alcance:** Indica los requerimientos generales, limitaciones, responsabilidades y los requerimientos de documentación.
- **Sección 2 - Referencias:** Menciona las normativas, códigos y especificaciones citadas en el código. La última edición disponible debe ser utilizada, a menos que se indique lo contrario.
- **Sección 3 - Definiciones:** Lista la terminología que se utiliza en el código, con la interpretación en cada caso.
- **Sección 4 - Materiales:** Esta sección señala los requisitos mínimos de chapas, barras, perfiles, tubos, bridas, pernos, consumibles de soldadura, etc.
- **Sección 5 - Diseño:** Establece las exigencias en cuanto a uniones soldadas, consideraciones de diseño, chapas del fondo, chapas anulares, envolvente, anillos intermedios y superiores, techos, efectos del viento y anclaje de tanques.



- **Sección 6 - Fabricación:** Requerimientos generales de fabricación e inspección en taller.
- **Sección 7 - Izaje:** Contempla las distintas exigencias durante el izado de los tanques como son: detalles de soldadura, ensayos, inspección y reparaciones, tolerancias dimensionales.
- **Sección 8 - Métodos de Inspección de Uniones:** Examen radiográfico, partículas magnéticas, ultrasonido, líquidos penetrantes, examen visual y prueba de vacío.
- **Sección 9 - Procedimientos y Calificación de Soldadores:** Requisitos mínimos para confección y aprobación de procedimientos de soldadura y soldadores.
- **Sección 10 - Identificación y Responsabilidad:** Placa de características, división de responsabilidades, certificación.

## **B. Anexos**

- **Anexo A:** Bases de diseño opcionales para tanques pequeños.
- **Anexo AL:** Tanques de almacenamiento de aluminio.
- **Anexo B:** Recomendaciones para el diseño y la construcción de fundaciones para tanques de almacenamiento de petróleo.
- **Anexo C:** Techos flotantes externos.
- **Anexo D:** Consultas técnicas.
- **Anexo E:** Diseño sísmico de tanques de almacenamiento.



- **Anexo EC:** Comentarios al Anexo E.
- **Anexo F:** Diseño de tanques para presiones de diseño internas pequeñas.
- **Anexo G:** Techos de aluminio estructuralmente soportados.
- **Anexo H:** Techos flotantes internos.
- **Anexo I:** Detección de pérdidas en el fondo y protección de camas.
- **Anexo J:** Tanques ensamblados en taller.
- **Anexo K:** Ejemplos de aplicación del método del punto variable para determinar el espesor de la envolvente.
- **Anexo L:** Hoja de datos de acuerdo a API 650.
- **Anexo M:** Requerimientos de tanques operando a elevada temperatura.
- **Anexo N:** Utilización de materiales nuevos no identificados.
- **Anexo O:** Recomendaciones para conexiones debajo del tanque.
- **Anexo P:** Cargas externas admisibles para conexiones en la envolvente.
- **Anexo S:** Tanques de almacenamiento fabricados con acero inoxidable austenítico.
- **Anexo SC:** Tanques de almacenamiento fabricados con acero inoxidable y acero al carbono.
- **Anexo T:** Sumario de requerimientos de ensayos no destructivos.
- **Anexo U:** Examen ultrasónico en lugar de examen radiográfico.
- **Anexo V:** Diseño de tanques de almacenamiento para presión exterior.



- **Anexo W:** Recomendaciones comerciales y de documentación.
- **Anexo X:** Tanques de almacenamiento fabricados con acero dúplex.
- **Anexo Y:** Nomograma API.

### 2.2.10. 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:

#### **Código A.S.T.M.**

La A.S.T.M. (American Society for Testing and Materials) se encarga de desarrollar los estándares de las características y eficiencia de los materiales, productos, suministros de servicios y métodos de prueba en casi todas las industrias, con un casi monopolio en las industrias petrolera y petroquímica.

La norma A.P.I. 650 se basa en estos estándares para especificar todo lo relacionado con las materias que se deben utilizar como son; tipo de material, espesores mínimos, condiciones de rolado, temperaturas de trabajo, esfuerzos permisibles, etc.

#### **Código A.S.M.E.**

El standard A.P.I. 650 se auxilia del Código A.S.M.E. (American Society of Mechanical Engineers) sección IX para dar los alineamientos que han de seguirse en la unión y/o soldado de materiales.

El Código A.S.M.E. 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, el cual le permite realizar cierto tipo de soldaduras de acuerdo con la clasificación de ésta. Una vez realizada la soldadura o soldaduras, éstas se someterán a pruebas y ensayos como: ultrasonido, radiografiado, líquidos penetrantes, dureza, etc., donde la calidad de la soldadura es responsabilidad del fabricante.

Los procedimientos de soldadura a emplear deberán seguir los lineamientos de las planillas WPS o WPQ del Código ASME Sección IX, al igual que los soldadores deberán estar calificados para los procedimientos de soldadura que se emplearán.

### **Reglamentación N.F.P.A.**

Debido a la naturaleza de los líquidos que se pueden almacenar en los tanques, es necesario contar con procesos y sistemas de seguridad para evitar posibles incendios o explosiones, dichos procesos y sistemas de seguridad están dados por la N.F.P.A. (National Fire Protection Association) la cual es la fuente principal mundial para el desarrollo y diseminación de conocimiento sobre seguridad contra incendios y de vida.

El sistema de desarrollo de los códigos y normas de la NFPA es un proceso abierto basado en el consenso que ha producido algunos de los más referenciados materiales en la industria de la protección contra incendios, el Código de Prevención de Fuego, y el Código Nacional de Alarmas de Incendios.

La N.F.P.A. desarrolla, publica y difunde más de 300 códigos y normas consensuadas con la intención de minimizar la posibilidad y consecuencias de incendios y otros tipos de riesgos. Prácticamente cada edificio, proceso, servicio, diseño e instalación en la sociedad de hoy día, se ve afectado por los documentos de la N.F.P.A.



### **2.2.11. Consideraciones para la manufactura según API 650**

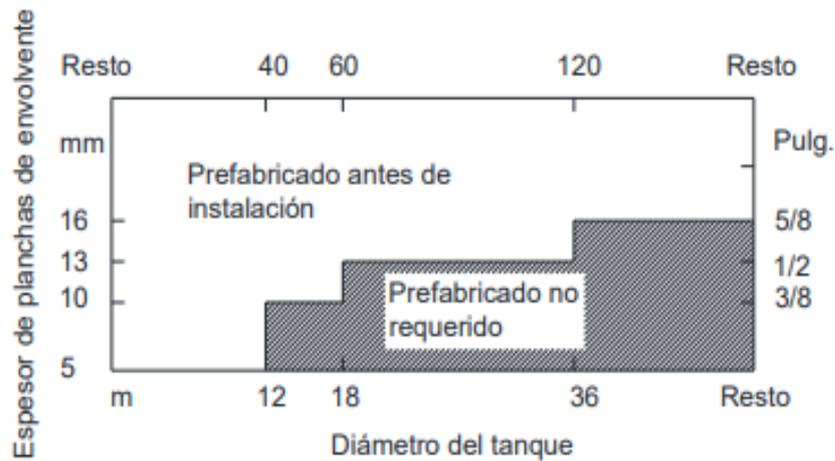
Todo el trabajo de fabricación se realiza según la sección 6 de la Norma API 650, 13th Edición, 2020 y con las alternativas permitidas especificadas en la solicitud o pedido del cliente. La mano de obra y el acabado deben ser de primera clase en todos los aspectos y sujetos a la inspección más cercana por parte del inspector o supervisor del fabricante, incluso si el comprador ha renunciado a cualquier parte de la inspección.

Cuando el material requiera enderezarse, el trabajo debe realizarse mediante prensado u otro método no peligroso antes de cualquier disposición o conformado. El calentamiento o el martillado no están permitidos a menos que el material se mantenga a la temperatura de forjado durante el enderezamiento.

Los materiales utilizados para ayudar a la fabricación de tanques no deben tener un efecto perjudicial sobre la integridad estructural del tanque. Los lubricantes, crayones, adhesivos y compuestos de salpicaduras anti-soldadura no deben contener materiales que sean perjudiciales para el tanque, es decir azufre y compuestos de cloruro para materiales de acero inoxidable. Los accesorios que se soldarán al límite de presión no deben tener un revestimiento de zinc o cadmio en el área de soldadura dentro de los 12 mm (0.5 pulg.) de la soldadura.

### **2.2.12. Acabado de los bordes de las planchas**

Los bordes de las planchas pueden ser cortados, mecanizados, astillados o cortados por gas de máquina. El cizallamiento se limitará a planchas de espesor menor o igual a 10 mm (3/8 pulgadas) usadas para juntas soldadas a tope y a placas de espesor menor o igual a 16 mm (5/8 pulg.) para juntas soldadas.



**Figura 5.** Formación de las planchas

Fuente: Imagen 6.1 Norma API 650, 13th Edición (2020).

### NOTA

Con la aprobación del cliente, la limitación de corte en las planchas usadas para juntas soldadas a tope puede aumentarse hasta un espesor menor o igual a 16 mm (5/8 pulg.).

Cuando los bordes de las planchas sean cortados por gas, las superficies resultantes deben ser uniformes y lisas y se liberarán de la acumulación de escorias y escamas antes de la soldadura. Después de que los bordes cortados o sean cepillados, la película fina de óxido que se adhiere a los bordes no necesita ser retirada antes de soldar. Los bordes circunferenciales de las planchas del techo y del fondo pueden cortarse manualmente a gas.

### 2.2.13. Prefabricación de las planchas de la envoltente

La figura 6.1 de la Norma API 650, 13th Edición, Año 2020 proporciona criterios para la conformación de las planchas a la curvatura del tanque antes de su instalación en el tanque. Se permite la conformación de planchas simultáneamente con la instalación de



la envolvente del tanque si el diámetro del tanque excede el límite de la figura 6.1 o si el comprador acepta el procedimiento alternativo del fabricante para cualquier diámetro.

#### **2.2.14. Inspección en taller**

En todo momento se debe permitir al inspector del cliente entrar libremente en todas las partes de la planta del fabricante que estén relacionadas con el contrato siempre que se realice cualquier trabajo bajo el contrato. El Fabricante debe proporcionar al inspector del cliente todas las facilidades razonables para asegurar al inspector que el material está siendo suministrado de acuerdo con esta norma. Asimismo, el fabricante debe suministrar muestras o especímenes de materiales con el fin de calificar a los soldadores de acuerdo con el punto 9.3 de la API 650, 13th Edición, Año 2020.

A menos que se especifique lo contrario, la inspección se efectuará en el lugar de fabricación antes del embarque. El fabricante debe dar al cliente un aviso amplio de cuándo el laminador rolará las planchas y cuándo comenzará la fabricación para que el inspector del cliente pueda estar presente cuando sea necesario. Se considerará que el ensayo usual de laminación de planchas es suficiente para demostrar la calidad del acero suministrado.

Los informes de pruebas de la fábrica o los certificados de conformidad, según lo estipulado en la especificación del material, se deben proporcionar al cliente sólo cuando éste lo solicite.

La inspección de la maquinaria y del taller no liberará al fabricante de la responsabilidad de reemplazar cualquier material defectuoso y de reparar cualquier defecto de mano de obra que se pueda descubrir en el campo.



Cualquier material o mano de obra que de alguna manera no cumpla con los requisitos de la Norma API 650, 13th Edición, Año 2020 puede ser rechazado por el inspector del cliente, y el material involucrado no se debe utilizar bajo el contrato. Se rechazará material que muestre defectos dañinos posteriores a su aceptación en la fábrica, después de su aceptación en las obras del fabricante, o durante el montaje e inspección del tanque.

El fabricante será notificado de esto y será requerido para suministrar el nuevo material rápidamente y hacer los reemplazos necesarios o reparaciones adecuadas.

El fabricante debe inspeccionar visualmente todos los bordes de las planchas y las planchas del techo antes de instalar las planchas en el tanque o antes de insertar una boquilla en la plancha para determinar si hay láminas. Si se detecta visualmente un defecto, el fabricante debe examinar por ultrasonido el área para determinar la extensión de éstos y podrá rechazar la placa o solicitar reparaciones de acuerdo con el punto 6.2.4b de la Norma API 650, 13th Edición, Año 2020.

Para las laminaciones que no excedan de 75 mm (3 pulgadas) de longitud o 25 mm (1 pulg.) De profundidad, las reparaciones pueden ser hechas por esmerilado de borde y rellenado para sellar la laminación. El fabricante debe presentar el procedimiento de reparación del borde para la aceptación del comprador antes del comienzo de la fabricación. Para las laminaciones que excedan estos límites, el fabricante debe rechazar la plancha o reparar la plancha quitando totalmente la laminación. Antes de efectuar dichas reparaciones, el fabricante debe documentar el alcance de la laminación y presentar un procedimiento de reparación específico para la aprobación del cliente.

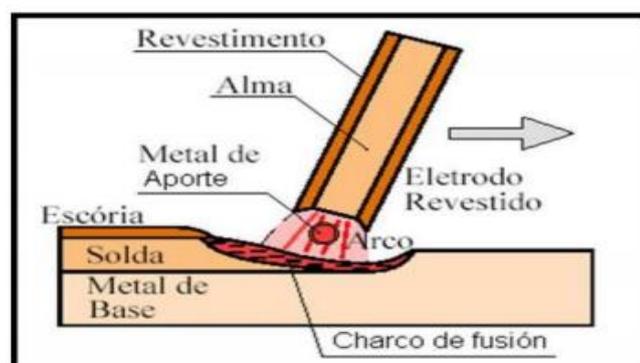
### 2.2.15. Métodos de Soldadura

Los métodos más conocidos de soldadura tipo arco, que se aplican en la construcción de tanques de almacenamiento son: SMAW (soldadura de electrodo revestido), GMAW (Soldadura de arco con protección de gas) y GTAW (soldadura de electrodo de tungsteno). Para la construcción del tanque de almacenamiento de petróleo, se ha seleccionado el proceso SMAW.

### 2.2.16. Soldadura de arco con electrodo revestido SMAW

Para Rodríguez (2010) la soldadura SMAW o conocida también como soldadura por arco es uno de los métodos más utilizados y se caracteriza por tener variedades de técnicas. El termino de soldadura SMAW significa soldadura por arco con electrodos metálicos revestidos también se lo suele conocer como soldadura en arco con electrodos recubiertos, soldadura de varillas o soldadura manual de arcos metálicos.

Se trata de un proceso en la que el calor de soldadura utilizado es originado a través de un arco eléctrico en medio de la pieza de trabajo que viene hacer el metal base y un electrodo metálico que viene hacer el metal de aporte cubierto de materiales químicos en una combinación idónea. El proceso lo podemos representar en la siguiente figura:



**Figura 6.** Proceso de soldadura SMAW

Fuente: Rodríguez (2010).

### 2.2.17. Tipo de electrodo utilizado en el proceso SMAW

Para la selección del electrodo, se debe seleccionar en base al material del que está construido el núcleo, también se debe tener en cuenta el material del cual está compuesto el recubrimiento, además se debe considerar el diámetro del electrodo (Flores, 2015) para la identificación de un electrodo se puede guiar en la figura 7.



**Figura 7.** Clasificación AWS - A.5.1 para electrodos

Fuente: Soldadura al Arco Eléctrico SMAW, Flores (2015).

### 2.2.18. Definición conceptual de la terminología empleada

- **Tanque.** - Depósito diseñado para almacenar o procesar fluidos, generalmente a presión atmosférica o presión internas relativas bajas.
- **Norma API 650.-** Norma de la American Petroleum Institute, que rige el diseño de tanques de almacenamiento construidos con láminas de acero soldado de varios tamaños y capacidades, con presiones internas pequeñas (atmosférica o algo superior, pero que no excedan el peso de las planchas de techo).
- **Diseño.** - De juntas soldadas, consideraciones de diseño y especiales, de placas de fondo, casco, vigas de techo, carga de sismo y viento.
- **Carga Muerta.** - La fuerza debida al peso propio de los elementos a considerar.



- **Carga Viva.** - La fuerza ejercida por cuerpos externos, tales como: nieve, lluvia, viento, personas u otros.
- **Corrosión.** - Desgaste no deseado, originado por reacción química entre el fluido contenido y el material de construcción en contacto.
- **Materiales.** - Opciones de materiales para: láminas, placas, piezas de forja, tubería, perfiles estructurales, bridas, pernos, juntas, electrodos.
- **Boquilla.** - Orificio practicado en un tanque para la entrada o salida de un fluido o la instalación de un instrumento de medición, generalmente son bridas o roscadas.
- **Fabricación.** - Habilitación, corte, arenado y pintado, de planchas y estructuras.
- **Montaje.** - Detalles de instalación de planchas y estructuras, detalles de soldaduras, inspección, comprobación.



## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ESTUDIO

El estudio se desarrolló en la empresa metal mecánica INTERSOL con RUC 10296178875 ubicado en la Av. Simón Bolívar N° 1365 de la ciudad de Puno, ubicado en el Departamento de Puno, Provincia de Puno y Distrito de Puno.

#### 3.2. PERIODO DE DURACIÓN DEL ESTUDIO

- El estudio se desarrolló en los meses de octubre del 2020 a marzo del 2021.

#### 3.3. PROCEDENCIA DEL MATERIAL ESTUDIADO

Para el diseño y cálculo del tanque de almacenamiento, se basó en la publicación realizada por el instituto americano del petróleo (API), designándose como "STANDAR A.P.I. 650", para tanques de almacenamiento a presión atmosférica. Asimismo, la normas API se referenció para fijar los materiales bajo la norma ASTM y ASME. Donde estos estándares cubren el diseño, fabricación, inspección, montaje, ensayos y mantenimiento de los mismos y fueron desarrollados para el almacenaje de productos de la industria petrolera y petroquímica.

La información técnica se obtuvo de artículos académicos, tesis y normas de aplicación internacional; la limitante del trabajo, es que no se desarrolló la construcción, montaje y pruebas del tanque de almacenamiento propiamente dicho; asimismo, no se empleó la norma técnica peruana (NTP), debido a que no contempla aspectos de diseño, solo menciona lineamientos para la operación y mantenimiento.



Para fabricación del Tanque se tomó en cuenta las siguientes características generales: Diámetro, altura, volumen útil, fluido, presión de diseño, tipo de fondo y tipo de techo.

### **3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA DEL ESTUDIO**

#### **3.4.1. Población**

Tanques de almacenamiento de Diésel con techo cónico fijo auto soportado.

#### **3.4.2. Muestra**

Tanques de almacenamiento de Diésel con techo cónico fijo auto soportado con capacidad de 300 m<sup>3</sup>

### **3.5. DISEÑO ESTADÍSTICO**

Para el análisis del desarrollo de datos del diseño, fabricación y presentación de resultados del tanque atmosférico se trabajó en MS Excel, el programa AutoCAD y cálculo manual. Todo lo copiado de otra investigación se encuentra referenciado y lo que es aporte mío está referenciado como mi autoría.

### **3.6. PROCEDIMIENTO**

#### **3.6.1. Metodología**

El método científico que se utilizó para el presente estudio fue el método inductivo porque se hizo uso de la Norma API 650 y la metodología basada en el análisis cuantitativo los cuales se desarrollaron según los objetivos específicos.



### **Nivel de la investigación**

Se utilizó la descriptiva experimental: El que permitió establecer las falencias, fortalezas y debilidades del producto en estudio con el objetivo de tener un panorama adecuado de las actividades a ejecutar en el dimensionamiento, la selección del material, el proceso de soldadura y el control de calidad del prototipo para llegar al objetivo propuesto.

### **Diseño de la investigación**

El diseño de esta investigación fue tecnológico ya que por medio del desarrollo del diseño del tanque que hace uso de diferentes recursos tecnológicos se dio solución al problema de almacenamiento de hidrocarburos.

### **Tipo de investigación**

**Investigación de campo:** La recolección de los datos y levantamiento de la información que fue parte del diseño del tanque atmosférico se recopiló en los talleres de la empresa metal mecánica INTERSOL de la ciudad de Puno.

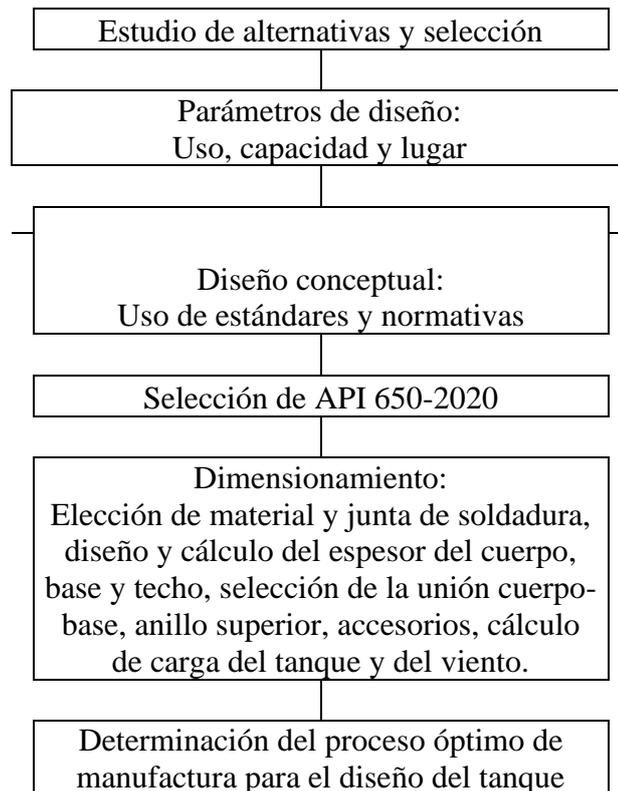
**Bibliográfica:** Se utilizaron libros, revistas documentos legales, documentos electrónicos como fuentes de información de carácter documental, los cuales permitieron conformar el marco teórico de la investigación.

#### **3.6.2. Desarrollo del procedimiento de investigación**

Para la realización del diseño del tanque de almacenamiento de 300 m<sup>3</sup> de capacidad, se fundamentó en la aplicación de las normas API 650- 2020 y normas afines que nos permitieron determinar los criterios y requerimientos para obtener el diseño de

un tanque de almacenamiento con techo tipo fijo, asegurando la calidad y eficiencia del producto.

Para lograr el desarrollo de este proyecto fue necesario realizarlo teniendo en cuenta las siguientes etapas de la figura 8, cada una de ellas tuvo la misma importancia.



**Figura 8.** Flujograma de procedimiento de investigación

### 3.6.3. Técnicas y procedimientos de recolección de datos

#### Técnicas de recolección de datos

- Observación directa, para detectar los problemas que presenta el desarrollo de actividades de almacenamiento de petróleo.
- Datos históricos, recolección de datos históricos de la evolución de las variables relevantes.
- Analítica: Ecuaciones matemáticas y de diseño.



- Fuentes: Libros de mecánica de fluidos, Normas internacionales, tesis de ingeniería que compartan el mismo tema de investigación.

### **Instrumentos de recolección de datos**

- Libreta de apuntes.
- Software: Microsoft Excel y AutoCAD
- Normas nacionales e internacionales.

### **Procedimiento de recolección de datos**

- Realización del algoritmo de cálculo y programarlo en Microsoft Excel.
- Usar datos obtenidos en investigaciones sobre el diseño de tanques de almacenamiento bajo norma A.P.I.
- Uso del diagrama de flujo del diseño de la metodología expuesta en la figura 8.

## **3.7. VARIABLES**

### **Variables independientes**

- Flujo volumétrico ( $V$ ) o Capacidad del tanque de almacenamiento ( $V$ )
- Material de fabricación del tanque
- Peso específico del fluido ( $\gamma$ )
- Ángulo de inclinación del techo( $\theta$ )
- Norma A.P.I. 650 13th. Edición, Año 2020.
- Temperatura del fluido



- Carga viva sobre el techo
- Carga muerta sobre el techo

#### **Variables dependientes**

- Diámetro del tanque de almacenamiento
- Altura del tanque de almacenamiento
- Tensión
- Espesores de plancha de las virolas
- Espesor de plancha del techo
- Espesor de plancha del fondo
- Momento de volteo.

#### **Variables intervinientes**

- Espesor de corrosión
- Velocidad del viento

### **3.8. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS**

El objetivo y alcance de este trabajo fue proporcionar a la industria petrolera los parámetros básicos para el diseño de tanques de almacenamiento de petróleo y sus derivados, la seguridad adecuada y razonable economía. La norma API 650 no presenta o establece una serie fija de tamaños de tanques permitida, sino que está diseñada para permitir al comprador la selección de cualquier tamaño de tanque que pueda satisfacer sus necesidades. La norma tiene por objeto ayudar a los compradores y fabricantes en los



pedidos, la fabricación y montaje de tanques. Para la ejecución del presente trabajo nos hemos basado principalmente en el estándar API 650, 13th Edición, Año 2020., el cual, sólo cubre aquellos tanques en los cuales se almacenan fluidos líquidos y están contruidos de acero con el fondo uniformemente soportado por una cama de arena, grava, concreto, asfalto, etc, diseñados para soportar una presión de operación atmosférica o presiones internas que no excedan el peso del techo por unidad de área y una temperatura de operación no mayor de 93 °C (200 °F), y que no se usen para servicios de refrigeración.

Esta norma establece los requisitos mínimos de materiales, diseño, fabricación, montaje y pruebas para tanques cilíndricos verticales sobre el suelo, techo fijo y soldados de diversos tamaños y capacidades, con presiones internas que se aproximen la presión atmosférica (presiones internas que no exceda el peso de las placas de techo).



## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS ÓPTIMOS DE DIMENSIONAMIENTO PARA EL DISEÑO DEL TANQUE ATMOSFÉRICO

El diseño y cálculo del tanque de almacenamiento de petróleo de 79 250 galones de capacidad, fue desarrollado en base a la Norma API 650, 13th Edición, Año 2020, donde se tuvo en cuenta las siguientes características:

- Capacidad del tanque: **79 259 galones = 300 m<sup>3</sup>**
- Fluido: **Diésel 2**
- Gravedad específica del líquido a almacenarse: **0.934 gr/cm<sup>3</sup>**
- Temperatura de trabajo: **20°C**
- Corrosión permisible: **1 mm**
- Ubicación: **Puno – Perú**
- Presión Atmosférica: **1.0 atmosfera**
- Humedad Relativa: **70 %**
- Velocidad del viento: **1.7 m/s**



## 4.2. SELECCIÓN DE LOS MATERIALES PARA EL DISEÑO DEL TANQUE

### 4.2.1. Planchas

Las planchas para el cuerpo y la base del tanque de almacenamiento cumplieron con las siguientes especificaciones de ASTM según norma API 650 - sección 4.2, las cuales se eligieron de la lista que se presentan a continuación:

- Acero ASTM A36: Se utiliza este tipo de acero para planchas con un espesor máximo de 40 mm o 1.5 pulgadas.

- Acero ASTM A131: Se utiliza este acero según se especifica a continuación:

Grado A: Para planchas con un espesor máximo de 12.5 mm o 1/2 pulgada.

Grado B: Para planchas con un espesor máximo de 25 mm o 1 pulgada.

Grado CS: Para planchas con un espesor máximo de 40 mm o 1.5 pulgadas.

Grado EH36: Para planchas con un espesor máximo de 45 mm.

- Acero ASTM A283: Se utiliza este tipo de acero en Grado C para planchas de espesores no mayores a 25 mm o 1 pulgada.

- Acero ASTM A285: Se utiliza este tipo de acero en Grado C para planchas de espesores no mayores a 25 mm o 1 pulgada.

- Acero ASTM A516: Se utiliza este material en los Grados 380, 415, 450, 585/A, 516, Grados 55, 60, 65 y 70 para planchas de espesores no mayores a 40 mm o 1.5 pulgadas.

- Acero ASTM A537: Se utiliza este material en Clases 1 y 2, para planchas de espesores no mayores a 45 mm.



- Acero ASTM A573: Se utiliza este material de Grados 400, 450, 485/A, 573, Grados 58, 65 y 70 para planchas de espesores no mayores a 40 mm.
- Acero ASTM A633: Se utiliza este material en Grados C y D, para planchas de espesores no mayores a 45 mm.
- Acero ASTM A662: Se utiliza este material en Grados B y C, para planchas de espesores no mayores a 40 mm.
- Acero ASTM A678: Se utiliza este material en Grado A para planchas de espesores máximos de 40 mm o 1.5 pulgadas, en Grado B para planchas de espesores máximos de 45 mm o 1.75 pulgadas.
- Acero ASTM A737: Se utiliza este material en Grado B para planchas de espesores máximos de 40 mm o 1.5 pulgadas.
- Acero ASTM A841: Se utiliza este material en Grado B para planchas de espesores máximos de 40 mm o 1.5 pulgadas.

Se eligió el material acero estructural ASTM A131/A, para las planchas del cuerpo y techo del tanque, ya que es adecuado dentro de la variedad de planchas para un máximo espesor de 12.5 mm, ancho 1800 mm y largo 6000 mm.

#### **4.2.2. Perfiles estructurales**

Para la elección de material de perfil estructural, la Norma API 650 - sección 4.4, indica que todos los perfiles estructurales deben elegirse de la siguiente lista:

- ASTM A36M / A36.
- ASTM A131M / A131.



- ASTM A992M / A992.
- Aceros estructurales enumerados en AISC, Manual de construcción de acero.
- CSA G40.21, grados 260W (38W), 300W (44W), 350W (50W), 260WT (38WT), 300WT (44WT) y 350WT (50WT).
- ISO 630, grado E275, calidades B, C y D.
- EN 10025, grado S275, calidades JR, J0 y J2.

Se eligió el material acero estructural ASTM A131/A para el diseño de perfiles estructurales.

#### **4.2.3. Tuberías y accesorios forjados**

Según la Norma API 650 - sección 4.5, indica que las tuberías y acoples de las tuberías deben ser de los siguientes materiales:

- API Spect 5L, Grados A, B y X42.
- ASTM A 53, Grados A y B.
- ASTM A 106, Grados A y B.
- ASTM A 234, Grados WPR.
- ASTM A 333, Grados 1 y 6.
- ASTM A 334, Grados 1 y 6.
- ASTM A 420, Grados WPL6.
- ASTM A 524, Grados I y II.



Los siguientes materiales son utilizados para los productos que hayan sido fabricados por forja:

- ASTM A 105.
- ASTM A 181.
- ASTM A 350, Grados LF1 y LF2.

Se eligió como material para las tuberías y accesorios forjados, el acero ASTM A 53 Grado B, ya que este tipo de tubería es aplicable para usos generales.

#### **4.2.4. Bridas y pernos**

La norma API 650 – sección 4.7, indica que la selección de materiales para bridas debe estar de acuerdo con las características de los aceros en las especificaciones ASME B16.5.

Puede ser usada lámina metálica para bridas, pero debe de tener propiedades mejores o iguales a aquellas requeridas por ASME B16.5.

La norma API 650 – sección 4.7, indica que el material para pernos debe estar de acuerdo con las características de los aceros en las especificaciones ASTM A 307 o A 193M/A 193.

Se utilizó el acero A 325M/ A 325 para los pernos.

### 4.3. DISEÑO DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO

#### 4.3.1. Dimensionamiento del tanque de almacenamiento

Las dimensiones preliminares del tanque se tomaron de la tabla 2 en base al volumen requerido de almacenamiento, diámetros y alturas sugeridos por el estándar API 650 – anexo A.

**Tabla 2.** Tamaños típicos correspondientes a capacidades nominales (m<sup>3</sup>) para tanques hechos con planchas de 1800 mm

Fuente: Estándar API 650 (2020).

Donde se obtuvo la siguiente información:

- Diámetro sugerido: **7.5 m**

- Altura sugerido: **7.2 m**

Columna	Columna	Columna	Columna	Columna	Columna	Columna	Columna	Columna	Columna	Columna
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Tanque	Capacidad por (m) de	Altura del tanque (m) / Número de anillos del tanque completo								
Diámetro m	Altura m <sup>3</sup>	3.6 / 2	5.4 / 3	7.2 / 4	1 4/5	10.8 / 6	12.6 / 7	14.4 / 8	16.2 / 9	1 4/5
3	7.07	25	38	51	64	76	—	—	—	—
4.5	15.9	57	86	115	143	172	—	—	—	—
6	28.3	102	153	204	254	305	356	407	—	—
7.5	44.2	159	239	318	398	477	557	636	716	795
9	63.6	229	344	458	573	687	802	916	1031	1145

- Numero de anillos sugerido: **4**

- Alto de plancha sugerido: **1800 mm**

Para obtener el espesor mínimo de plancha sugerido, se recurrió a la Tabla 3.

**Tabla 3.** Espesor de placa para tamaños típicos de tanques con anillos de 1800 mm de alto



Columna	Columna	Columna	Columna	Columna	Columna	Columna	Columna	Columna	Columna	Columna	Columna	Columna
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
											Altura	
Tanque											Altura del tanque (m) /Número de anillos en el tanque	máxima
Diámetro (m)	1.8 / 1	3.6 / 2	5.4 / 3	7.2 / 4	9 / 5	10.8 / 6	12.6 / 7	14.4 / 8	16.2 / 9	18 / 10	admisible (m)	
3	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	—	—	—	—	—	—
4.5	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	—	—	—	—	—	—
6	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	—	—	—	—
7.5	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.3	—	—
9	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.7	6.3	—	—

Fuente: Estándar API 650 (2020).

- Espesor mínimo de plancha sugerido del cuerpo: **5mm**

#### 4.3.2. Cálculo del volumen del tanque

Según la Norma API 650 – anexo A, en base a la Tabla 3, la capacidad del tanque de almacenamiento en el sistema internacional es:

$$C = 0.785D^2H$$

Donde:

- C = Capacidad del tanque (m<sup>3</sup>)
- D = Diámetro del tanque (7.5 m)
- H = Altura del tanque (7.2 m)

Se verifica:

$$C = 0.785D^2H$$



$$C = 0.785 * (7.5)^2 * 7.2$$

$$C = 317.925m^3$$

Donde, el volumen calculado corresponde casi al volumen nominal del tanque, que es 300 m<sup>3</sup>. Lo que provocaría una condición muy insegura para el diseño en el caso de un sobre almacenamiento, sin embargo, esta norma no es restrictiva, considerando que las dimensiones que propone la Norma API 650 – anexo A, son dimensiones sugeridas, y que es criterio de los diseñadores variar estas.

Para el diseño particular del tanque, hemos decidido aumentar 0.2 m a la longitud del diámetro propuesto, siendo el nuevo diámetro a considerar  $D = 7.7$  m.

$$C = 0.785D^2H$$

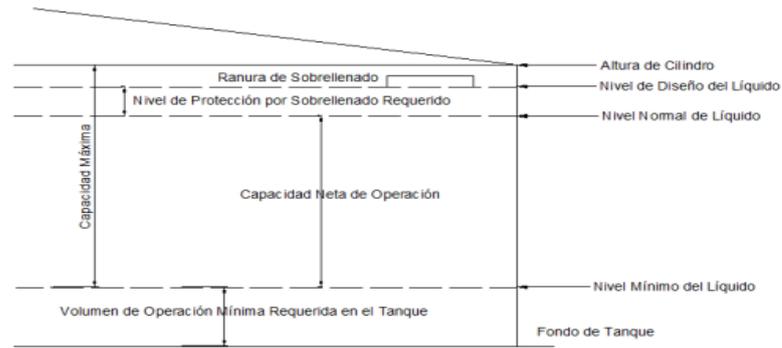
$$C = 0.785 * (7.7)^2 * 7.2$$

$$C = 335.10 m^3$$

Con esto se comprobó que el cálculo del tanque de almacenamiento, será efectivo y seguro, para el diseño.

#### **4.3.3. Cálculo del nivel de llenado del tanque**

La norma API 650 - sección 5, en el punto 5.2.5, indica que los niveles de operación mínimo y máximo deben estar establecidos, no se indica específicamente cuanto, pero debe ser obligatorio considerar un margen mínimo y un margen de sobre llenado antes de llegar al límite del tanque tal y como se indica en la figura 9.



**Figura 9.** Niveles de llenado de tanque

Fuente: Estándar API 650 (2020).

#### 4.3.4. Cálculo de la altura efectiva del líquido a ser almacenado

Tomando en cuenta que el tanque corresponde geoméricamente a un cilindro, la altura efectiva del líquido almacenado se calculó con la siguiente expresión:

$$V_L = \frac{\pi * D^2}{4} * He$$

Donde:

- D = Diámetro del tanque (7.7 m)
- He = Altura del líquido (m)
- $V_L$  = Volumen del líquido (300 m<sup>3</sup>)

Resolución:

$$He = \frac{V_L}{\frac{\pi * D^2}{4}}$$

$$He = \frac{300}{\frac{\pi * (7.7)^2}{4}} = 6.44 \text{ m} \cong 6.44 \text{ m}$$

Además, se definió el nivel de diseño del líquido, donde el volumen de diseño contempla el nivel de protección de sobrellenado o volumen requerido. Como medida de



seguridad, en este caso, se consideró que el nivel mínimo del tanque es de 0.5 m, donde se obtuvo:

- Nivel de diseño líquido = **6.94 m**
- Nivel normal líquido = **6.44 m**
- Nivel mínimo del líquido = **0.5 m**
- Capacidad máxima = **335.10 m<sup>3</sup>**
- Capacidad neta de operación = **300 m<sup>3</sup>**
- Nivel de protección por sobrellenado = **0.5 m**

#### **4.4. DATOS GENERALES Y CONDICIONES PARA EL CÁLCULO**

- Condición de diseño = **API 650**
- Altura nominal del Tanque  $H_n$  = **7.2 m**
- Altura de diseño del líquido  $H$  = **6.94 m**
- Diámetro nominal del tanque  $D$  = **7.7 m**
- Capacidad del tanque  $C$  =  $300 \text{ m}^3$  = **79 259 galones**
- Presión de diseño = **1 atm**
- Gravedad específica de diseño  $G$  = **1 gr/cm<sup>3</sup>**
- Corrosión Admisible  $CA$  = **1 mm para el cuerpo**
- Espesor mínimo especificado = **5mm**
- Temperatura máxima de operación = **93°C**

- Material para planchas del tanque = **ASTM A131A**

#### 4.5. CÁLCULO DEL CUERPO DEL TANQUE

El cuerpo o envolvente del tanque está formado de la unión de anillos hasta lograr la altura deseada. Estos anillos se construyen, soldando láminas roladas formando el perímetro del tanque. Es por ello, que el cuerpo es el componente más grande y crítico del tanque, representando aproximadamente el 70% del diseño, por este motivo el cálculo de los espesores se debe hacer de la manera más detallada para obtener los espesores óptimos que permitan diseñar un tanque seguro.

Para el diseño del cuerpo o envolvente del tanque, la norma API 650 – sección 5.6, indica que el espesor requerido de las láminas del cuerpo debe ser el mayor entre el espesor requerido de producto del cuerpo, incluyendo la tolerancia de corrosión y el espesor requerido de prueba hidrostática del cuerpo, pero no debe ser menor que los espesores establecidos en la siguiente tabla 4 para los diferentes diámetros:

**Tabla 4.** Espesor mínimo para planchas de tanques

Diámetro nominal del tanque		Espesor nominal de la placa	
m	ft	mm	in
< 15	< 50	5	3/16
15 hasta < 36	50 hasta < 120	6	¼
36 hasta 60	120 hasta 200	8	5/16
> 60	> 200	10	3/8

Fuente: Estándar API 650 (2020) (Tabla 5.6.11).

Además, la Nota 4 de la sección 5.6.1.1, dice que para diámetros menores a 15 m (50 pies) pero mayores a 3.2 m (10.5 pies), el espesor nominal de la plancha no debe ser inferior a 6 mm (1/4 in.), Como el diámetro del tanque es de 3.2 m se puede definir que



el espesor sugerido para la plancha debe ser 6 mm con ello también se considera la corrosión admisible. Por ello se debe comprobar con el cálculo.

#### 4.5.1. Cálculo del cuerpo del tanque por el método de un pie

Para el cálculo del espesor del cuerpo donde el apéndice A solo permite este método de diseño, para diámetros menores a 60 m (200ft). Donde el método de un pie, calcula el espesor en puntos de diseño que se encuentran a 0.3 m (1 ft) por encima del borde inferior de cada anillo que conforma el cuerpo del tanque. La norma API 650 – sección 5.6.3.2, indica que el mínimo espesor requerido de cada anillo del cuerpo deberá ser el mayor valor entre los calculados por las fórmulas en (SI):

Para condición de diseño:

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

Para condición de prueba hidrostática:

$$t_t = \frac{4.9D(H - 0.3)}{S_t}$$

Donde:

$t_d$  = Espesor de diseño del cuerpo, en mm

$t_t$  = Espesor del cuerpo en prueba hidrostática, en mm

$D$  = Diámetro nominal del tanque, en m

$H$  = Nivel de diseño del líquido, en m

$G$  = Gravedad específica de diseño del líquido a almacenar, en gr/cm<sup>3</sup>

CA = Tolerancia por corrosión, en mm

Sd = Esfuerzo admisible para la condición de diseño, en MPa

St = Esfuerzo admisible para las condiciones de prueba hidrostática, en MPa

Para ello se debe obtener primeramente los esfuerzos máximos permisibles para diseño y prueba hidrostática (Sd) y (St), así como también la mínima resistencia a la fluencia y a la tracción (Sy) y (Str), según el material ASTM A131/A. A continuación, se selecciona de la Norma API 650 – sección 5.6.2. para el cálculo de la tabla 5:

**Tabla 5.** Esfuerzo admisible de las planchas de acero según el tipo de acero

Especificación	Calificación	Espesor nominal de la plancha $t$ mm	Esfuerzo de fluencia mínima MPa	Resistencia mínima a la tracción MPa	Esfuerzo admisible para la condición de diseño $S_d$ MPa	Esfuerzo admisible para condiciones de prueba hidrostática $S_t$ MPa
<b>ASTM Especificaciones</b>						
A283M	C		205	380	137	154
A285M	C		205	380	137	154
A131M	A, B		235	400	157	171
A36M	—		250	400	160	171

Fuente: Estándar API 650 (2020).

Donde:

- El Material de la plancha = **Acero estructural ASTM A131/A**
- Esfuerzo para prueba de diseño  $S_d$  = **157 MPa**
- Esfuerzo prueba hidrostática  $S_t$  = **171 MPa**
- Resistencia mínima de fluencia del material  $S_y$  = **235 MPa**
- Resistencia mínima a la tracción  $S_{tr}$  = **400 MPa**



Luego se procede a efectuar el cálculo para hallar los espesores de cada anillo, sabiendo que al ser la altura de diseño de cilindro 5.2 metros, considerando el exceso de capacidad de sobre llenado, entonces lo más conveniente es usar planchas de 1800 mm de ancho para los 4 anillos del cuerpo.

**a) Cálculo del primer anillo**

Datos:

- $D = 7.7 \text{ m}$
- $H = 6.94 \text{ m}$
- $G = 1 \text{ gr/cm}^3$
- $CA = 1 \text{ mm}$
- $S_d = 157 \text{ MPa}$
- $St = 171 \text{ MPa}$

**Cálculo de Espesor de Diseño del cuerpo:**

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

Reemplazando:

$$t_d = \frac{4.9 * (7.7) * (6.94 - 0.3) * 1}{157} + 1$$

$$t_d = 2.59 \text{ mm}$$

**Cálculo de Espesor del cuerpo en prueba hidrostática:**



$$t_t = \frac{4.9D(H - 0.3)}{S_t}$$

Reemplazando:

$$t_t = \frac{4.9 * (7.7) * (6.94 - 0.3)}{171}$$

$$t_t = \mathbf{1.46 \text{ mm}}$$

**b) Cálculo del segundo anillo**

**Cálculo de espesor de diseño del cuerpo:**

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

Reemplazando:

$$t_d = \frac{4.9 * (3.2) * (5.14 - 0.3) * 1}{157} + 1$$

$$t_d = \mathbf{2.16 \text{ mm}}$$

**Cálculo de espesor del cuerpo en prueba hidrostática:**

$$t_t = \frac{4.9D(H - 0.3)}{S_t}$$

Reemplazando:

$$t_d = \frac{4.9 * (7.7) * (5.14 - 0.3)}{171}$$

$$t_t = \mathbf{1.06 \text{ mm}}$$

**c) Cálculo del tercer anillo**



**Cálculo de espesor de diseño del cuerpo:**

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

Reemplazando:

$$t_d = \frac{4.9 * (7.7) * (3.34 - 0.3) * 1}{157} + 1$$

$$t_d = \mathbf{1.73 \text{ mm}}$$

**Cálculo de espesor del cuerpo en prueba hidrostática:**

$$t_t = \frac{4.9D(H - 0.3)}{S_t}$$

Reemplazando:

$$t_t = \frac{4.9 * (7.7) * (3.34 - 0.3)}{171}$$

$$t_t = \mathbf{0.67 \text{ mm}}$$

**d) Cálculo del cuarto anillo**

**Cálculo de espesor de diseño del cuerpo:**

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

Reemplazando:

$$t_d = \frac{4.9 * (7.7) * (1.54 - 0.3) * 1}{157} + 1$$

$$t_d = \mathbf{1.29 \text{ mm}}$$

**Cálculo de espesor del cuerpo en prueba hidrostática:**

$$t_t = \frac{4.9D(H - 0.3)}{S_t}$$

Reemplazando:

$$t_t = \frac{4.9 * (7.7) * (1.54 - 0.3)}{171}$$

$$t_t = \mathbf{0.27 \text{ mm}}$$

A continuación, se presenta en la tabla 6, los espesores de anillos del tanque:

**Tabla 6.** Espesores del cuerpo

<b>ESPEORES DEL CUERPO</b>			
<b>N° de Anillo</b>	<b>Material</b>	<b>Espesor calculado (mm)</b>	<b>Espesor adoptado (mm)</b>
1	A131/A	2.59 mm	6 mm
2	A131/A	2.16 mm	6 mm
3	A131/A	1.73 mm	6 mm
4	A131/A	1.29 mm	6 mm

Por lo tanto, el espesor adoptado para la plancha del cuerpo es de 6 mm debido a que es un espesor sugerido por la norma API 650, la cual se comprobó en los cálculos garantizando un margen de tolerancia grande.

#### **4.5.2. Cálculo de la disposición de los anillos del cuerpo**

En la Norma API 650 - sección 5.1.5.2, se indica que las juntas verticales no deben ser colocadas de manera alineada y deben ser colocadas con una distancia mínima de 5 veces el espesor del anillo más grueso, a continuación, se calcula la distancia mínima entre uniones verticales:

$$d = 5t$$



$$d = 5 * (6) = 30 \text{ mm}$$

Entonces con esto se determina que la distancia mínima entre las uniones verticales debe ser 30 mm

#### 4.5.3. Cálculo de las dimensiones de las planchas usadas en el cuerpo

De acuerdo a catálogo de TUBISA S.A.C las dimensiones son de 1800x6000 mm y 1800x12000 mm, para calcular la cantidad de planchas que se usaran por sección de anillo se hallara el perímetro del tanque:

$$Pt = D \pi$$

Donde:

Pt = perímetro del tanque, en m

D = Diametro nominal del tanque (7.7 m)

Reemplazando:

$$Pt = (7.7) \pi$$

$$Pt = \mathbf{24.18 \text{ m}}$$

El resultado es de 24.18 m, entonces de acuerdo a catálogo de “TUBISA S.A.C” las dimensiones son de 1800 x 6000 mm y 1800 x12000 mm para todo tipo de espesor, de acuerdo a esta especificación el tipo de plancha que se usará es de 1800 x 12000 mm.

#### 4.6. CÁLCULO DEL FONDO DEL TANQUE

Según la norma API 650 – sección 5.4, indica que las planchas del fondo deberán tener un espesor nominal mínimo de 6mm (1/4 in) [70 kPa (10.2 lb/ft<sup>2</sup>)] sin incluir

ninguna tolerancia de corrosión especificada. Donde las láminas rectangulares y del borde del fondo deben tener un ancho mínimo de 1800 mm (72 in o 6 ft).

Asimismo, la Norma API 650 – sección 5.5, indica que la tabla 7, que se muestra a continuación, se obtiene el mínimo espesor de diseño a considerar para las láminas del fondo del tanque, considerando el esfuerzo de prueba hidrostática y el espesor del primer anillo.

**Tabla 7.** Espesores mínimos del fondo del tanque

Espesor de la plancha del primer anillo del cuerpo (mm)	Esfuerzo de prueba hidrostática de la plancha N° 1 del cuerpo (MPa)			
	≤ 190	≤ 210	≤ 220	≤ 250
$t \leq 19$	6	6	7	9
19 < hasta ≤ 25	6	7	10	11
25 < hasta ≤ 32	6	9	12	14
32 < hasta ≤ 40	8	11	14	17
40 < hasta ≤ 45	9	13	16	19

Fuente: Estándar API 650 (2020).

Como el espesor del cuerpo del tanque es de 6 m y con el esfuerzo de prueba hidrostática de 171 MPa, se pudo definir que el espesor sugerido para la plancha debe ser 6 mm.

Además, se consideraron que las planchas se ubicarán sobre una base de hormigón uniforme previamente construida bajo los parámetros de diseño que indica la Norma API 650.

Además, las dimensiones nominales de las láminas serán 6000 x1800 x 6 mm, y estarán distribuidas simétricamente en base a ejes coordenados X y Y de la circunferencia

del piso. Lo que permite esta distribución de las planchas, para utilizar la mínima cantidad de planchas para conformar el piso.

#### 4.7. CÁLCULO DE LA UNIÓN CUERPO - FONDO

Para el determinar el espesor del filete de soldadura del cilindro-fondo, donde el filete que se considera para las planchas a soldar de la envolvente y el fondo del tanque se obtiene de la siguiente tabla contenida en la Norma API 650 - sección 5.1.5.7, la cual se muestra la tabla 8 de a continuación:

**Tabla 8.** Tamaño mínimo de la soldadura de filete

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

Fuente: Estándar API 650 (2020).

Como se puede apreciar, el espesor del fondo es de 6 mm, está entre 5 y 20 mm, por lo tanto, se elige un filete de 6 mm como mínimo.

#### 4.8. CÁLCULO DEL TECHO DEL TANQUE

El techo empleado es el techo cónico, ya que estos techos auto soportados son empleados en tanques relativamente pequeños. Este consiste en un cono formado de placas soldadas a tope, el cual, por su forma física; además, es capaz de sostenerse sin ningún elemento estructural y únicamente soportado en su periferia por el perfil de coronamiento.



Además, el techo diseñado y calculado para el tanque no debe exceder un diámetro de 60 pies, pero es recomendable fabricar estos en un diámetro máximo de 40 pies. El espesor no deberá ser menor de 4.8 mm (3/16 pulg), y no mayor de 12.7 mm (1/2 pulg).

Asimismo, el techo de cono auto soportado debe cumplir con los siguientes requisitos:

- El ángulo de inclinación transversal ( $\theta$ ), del techo tiene que estar en un rango de  $9.5^\circ$  a  $37^\circ$ , o con una pendiente desde 9:12 a 2:12.
- El espesor corroído no será superior a 13 mm.

#### 4.8.1. Cálculo del espesor mínimo de diseño del techo del tanque

$$e = \frac{D}{4.8\text{sen}\theta} \sqrt{\frac{B}{2.2} + CA}$$

Donde:

$e$  = Espesor mínimo de diseño del techo del tanque, en mm

$D$  = Diámetro nominal del tanque, en m

$\theta$  = Angulo transversal de elevación del techo, en grados

$B$  = Carga Total (Peso del techo del tanque) más Carga Viva consideradas para el diseño del techo (kPa).  $DL + Lr$

Donde:

$DL$  = Carga Muerta, en kPa



$L_r = \text{Carga Viva del Techo}$

$$= 1.0 \text{ kPa (sugerido por la norma API 650 – seccion 5.2)}$$

**a) Cálculo del área total del techo ( $A_{total\ techo}$ ):**

Cálculo del área total del cono:

$$A_{total\ del\ cono} = \pi r g_e + \pi r^2$$

Donde:

$A_{total\ del\ cono} = \text{Área total del cono, en m}^2$

$r = \text{radio nominal tanque (3.85 m)}$

$g_e = \text{generatriz del cono, en m}$

$h = \text{altura del cono (0.48 m)}$

$\theta = 17^\circ$

Reemplazando:

$$g_e = \sqrt{h^2 + r^2}$$

$$g_e = \sqrt{(0.006)^2 + (3.85)^2}$$

$$g_e = 3.85 \text{ m}$$

$$A_{total\ del\ cono} = \pi * 3.85 * 3.85 + \pi * (3.85)^2$$

$$A_{total\ del\ cono} = \mathbf{93.12 \text{ m}^2}$$

Cálculo del área de entrada de hombre:

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



Donde:

$$r_{\text{entrada}} = \text{radio de la entrada del hombre (0.38 m)}$$

Reemplazando:

$$A_{\text{entrada}} = \pi \times (0.38)^2$$

$$A_{\text{entrada}} = \mathbf{0.45\text{m}^2}$$

Finalmente:

$$A_{\text{total techo}} = A_{\text{total del cono}} - A_{\text{entrada}}$$

$$A_{\text{total techo}} = 93.12 - 0.45$$

$$A_{\text{total techo}} = \mathbf{92.67\text{ m}^2}$$

**b) Cálculo del volumen del techo**

$$V_{\text{techo}} = A_{\text{total techo}} * 0.006$$

$$V_{\text{techo}} = 92.67 * 0.006$$

$$V_{\text{techo}} = \mathbf{0.55\text{ m}^3}$$

**c) Cálculo del peso del techo**

$$w = \rho * V_{\text{techo}} * g$$

Donde:

m = masa del techo, en kg

$\rho$  = densidad del acero (7850 kg/m<sup>3</sup>)

g = gravedad (9.81 m/s<sup>2</sup>)



Reemplazando:

$$w = 7850 * 0.55 * 9.81$$

$$w = 42354.67 \text{ N}$$

d) **Cálculo de la carga muerta**

$$DL = \frac{w}{A_{\text{total techo}}}$$

$$DL = \frac{42354.67}{92.67}$$

$$DL = 457 \text{ Pa} = 0.457 \text{ kPa}$$

Hallando B:

$$B = DL + Lr$$

$$B = 0.457 + 1$$

$$B = 1.457 \text{ kPa}$$

e) **Finalmente, cálculo del espesor mínimo de diseño del techo del tanque**

$$e = \frac{D}{4.8 * \text{sen}\theta} \sqrt{\frac{1B}{2.2}}$$

Donde:

$$D = 3.2 \text{ m}$$

$$\theta = 17^\circ$$

$$B = 1.46 \text{ kPa}$$

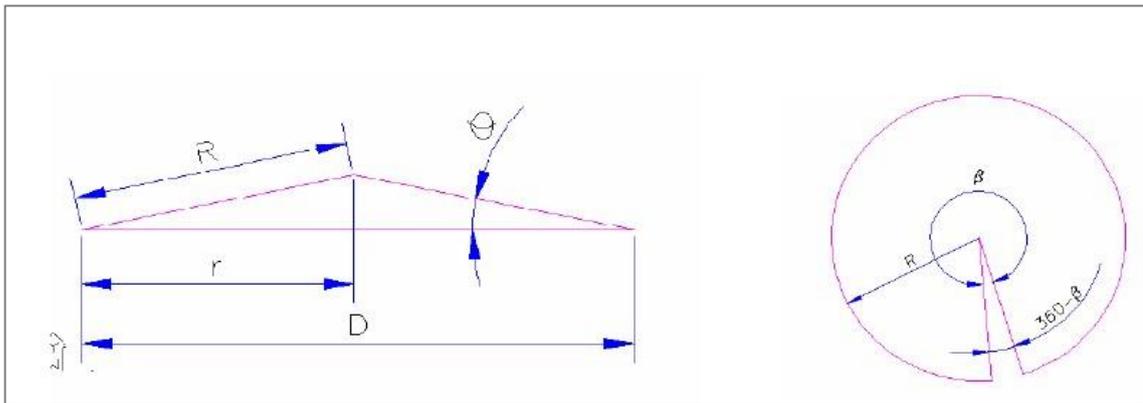
$$e = \frac{7.7}{4.8 * \text{sen}17^\circ} \sqrt{\frac{1.457}{2.2}}$$

$$e = 6.16 \cong 6.16 \text{ mm}$$

Por lo tanto, el espesor de diseño adoptado será de **6 mm** debido a que la norma API 650 recomienda que el espesor no deberá ser menor de 4.8 mm (3/16 pulg).

#### 4.8.2. Cálculo del ángulo de corte para el techo cónico

Para el cálculo del ángulo de corte del techo cónico se considera como esquema la figura 10, que muestra el triángulo en vista frontal que formaría el techo:



**Figura 10.** Esquema del ángulo de corte del techo cónico

Fuente: Estándar API 650 (2020).

$$\alpha = 360^\circ - 360^\circ(r/R)$$

Donde:

D = Diámetro del Tanque.

r = Radio del Tanque.

$\theta$  = Angulo transversal de elevación del techo en grados.



$R$  = Radio del cono del techo.

$\alpha$  = Ángulo de corte para el techo cónico.

Entonces:

$$D = 7.7 \text{ m}$$

$$r = 3.85 \text{ m}$$

$$\theta = 17^\circ$$

$$R = r / \theta$$

$$R = 3.85 \text{ m} / \cos 17^\circ$$

$$R = 4.02 \text{ m}$$

Reemplazando:

$$\alpha = 360^\circ - 360^\circ * (3.85/4.02)$$

$$\alpha = 15.22^\circ$$

Por lo tanto, el ángulo de corte adoptado para diseño fue de  $15^\circ$ .

#### 4.9. CÁLCULO DEL ANILLO SUPERIOR O ÁNGULO DE TOPE

Para techos auto soportados del tipo cono, los bordes de las láminas del techo pueden ser pestañadas horizontalmente para que se ajusten planas contra el ángulo superior para mejorar las condiciones de soldadura, donde el ángulo de coronación es un ángulo de  $90^\circ$  que se suelda en la parte superior de la envolvente, con el fin de rigidizar el tanque. La Norma API 650 – sección 5.1.5.9, indica que los ángulos normalizados para

poder rigidizar el tanque según su diámetro, la cual se presenta a continuación en la tabla 9:

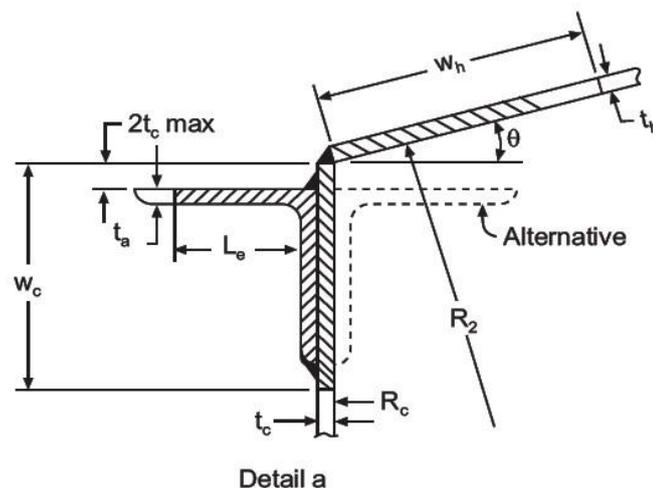
**Tabla 9.** Ángulos para rigidizar el tanque

Diámetro del tanque ( <i>D</i> )	Tamaño mínimo del anillo superior (mm)	Tamaño mínimo del anillo superior (in.)
$D \leq 11 \text{ m}, (D \leq 35 \text{ ft})$	$50 \times 50 \times 5$	$2 \times 2 \times 3/16$
$11 \text{ m} < D \leq 18 \text{ m}, (35 \text{ ft} < D \leq 60 \text{ ft})$	$50 \times 50 \times 6$	$2 \times 2 \times 1/4$
$D > 18 \text{ m}, (D > 60 \text{ ft})$	$75 \times 75 \times 10$	$3 \times 3 \times 3/8$

Fuente: Estándar API 650 (2020).

Por lo tanto, como el diámetro del tanque es 7.7 m se seleccionó el perfil tipo L de 50 x 50 x 5 mm.

En la Norma API 650, apéndice F, se presenta una lista de formas en las que el angular de coronación puede ser soldado a la envolvente del tanque, de las cuales se ha elegido la del detalle A, la cual se muestra en la Figura 11 presentada a continuación:



**Figura 11.** Angular de coronación alrededor de la parte superior de la envolvente – detalle A

Fuente: Estándar API 650 (2020).

#### **4.10. CÁLCULO DEL PESO DEL TANQUE**

Para continuar con los demás cálculos del tanque es necesario calcular el peso total del tanque, para lo cual se calcula el peso de cada componente del tanque, en este caso será en 3 partes:

- Peso de la envolvente.
- Peso del fondo.
- Peso del techo.

##### **a) Peso de la envolvente**

Se calcula el peso de cada plancha que conforma la envolvente y se multiplica por la cantidad de planchas utilizadas para cada anillo del mismo espesor:

Se sabe que las dimensiones de las planchas son de 1800 mm x 12000 mm y que se usara 2 planchas por cada anillo, debemos saber también que el peso específico del acero es de 7.85 ton/m<sup>3</sup>.

##### **Cálculo del peso de 1° anillo:**

$$\text{Plancha 1° anillo} = 6 \text{ mm}$$

$$\text{Peso plancha 1° anillo} = 12 * 1.8 * 6 * 7.85$$

$$\text{Peso plancha 1° anillo} = 1017.36 \text{ kg} * 2$$

$$\text{Peso plancha 1° anillo} = 2034.72 \text{ kg}$$



Obtenido el peso de plancha del 1° anillo, y como el espesor de los demás anillos es el mismo, entonces se multiplica por la cantidad de anillos para hallar el peso total de la envolvente:

$$\text{Peso total envolvente} = \text{Peso plancha } 1^{\circ} \text{ anillo} * 4$$

$$\text{Peso total envolvente} = 2034.72 * 4$$

$$\text{Peso total envolvente} = \mathbf{8138.88 \text{ kg}}$$

**b) Peso del fondo**

En este apartado, el peso del fondo del tanque, la sumatoria del cálculo del peso del anillo perimetral más el peso del resto del fondo, ya que los espesores del anillo perimetral y del resto del fondo son iguales, entonces el peso será:

$$\text{peso fondo} = A * e_{\text{fondo}} * 7.85$$

$$\text{peso fondo} = \left( \frac{\pi * D^2}{4} \right) * e_{\text{fondo}} * 7.85$$

$$\text{peso fondo} = \left( \frac{\pi * 7.7^2}{4} \right) * 6 * 7.85$$

$$\text{Peso fondo} = \mathbf{2193.20 \text{ kg}}$$

**c) Peso del techo**

Se calcula el peso del techo multiplicando el área total del techo por el espesor de la plancha con el peso específico del acero que es de 7.85 ton/m<sup>3</sup>.

$$\text{peso techo} = A_{\text{total techo}} * e_{\text{techo}} * 7.85$$

Donde:

$$A_{\text{total techo}} = 92.67 \text{ m}^2$$

Reemplazando:

$$\text{Peso techo} = 92.67 * 6 * 7.85$$

$$\text{Peso techo} = 4364.75 \text{ kg}$$

Entonces el peso total del tanque es:

$$\text{Peso tanque} = \text{Peso total envolvente} + \text{Peso fondo} + \text{Peso techo}$$

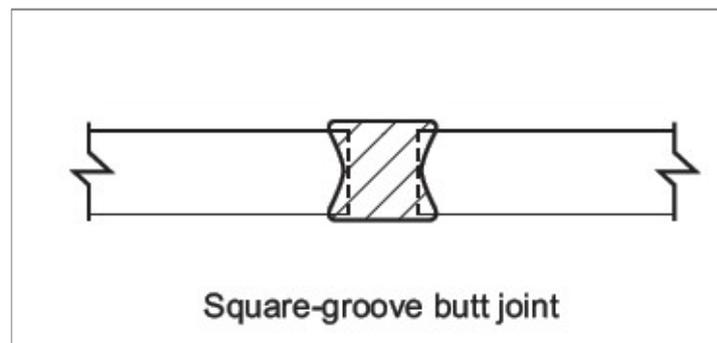
$$\text{Peso tanque} = 8138.88 + 2193.20 + 4364.75$$

$$\text{Peso tanque} = 14696.83 \text{ kg}$$

## 4.11. SELECCIÓN DEL TIPO DE JUNTA EMPLEADO EN LA SOLDADURA DEL TANQUE

### 4.11.1. Soldadura en juntas verticales

Para el diseño de juntas verticales se consideró una junta vertical sencilla con penetración completa de la norma API 650 - sección 5.1.1.5, donde las ranuras serán cuadradas, además tendrá la mitad del espesor de la plancha como se muestra en la figura 12:

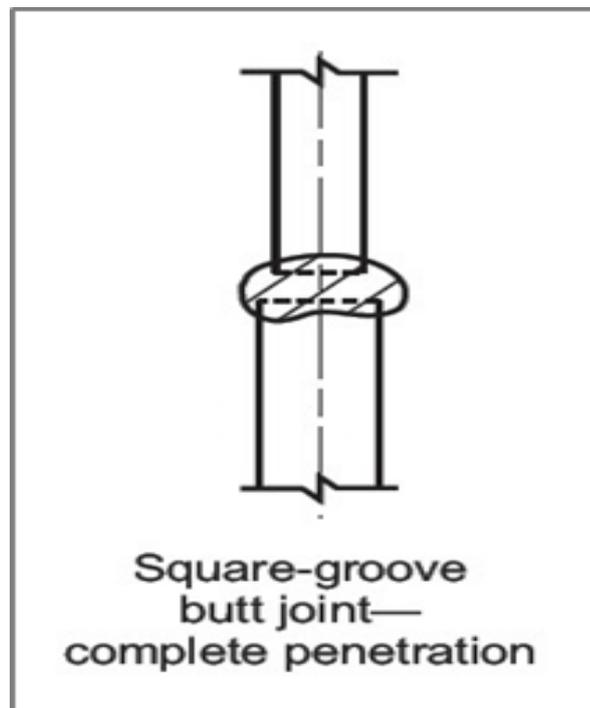


**Figura 12.** Soldaduras en junta vertical a tope

Fuente: Estándar API 650 (2020).

#### 4.11.2. Soldadura en juntas horizontales

Para el diseño de juntas horizontales se consideró una junta horizontal a tope y penetración completa de la norma API 650 - sección 5.1.1.5, donde las ranuras serán cuadradas, además tendrá la mitad del espesor de la plancha como se muestra en la figura 13:



**Figura 13.** Soldadura en junta horizontal a tope

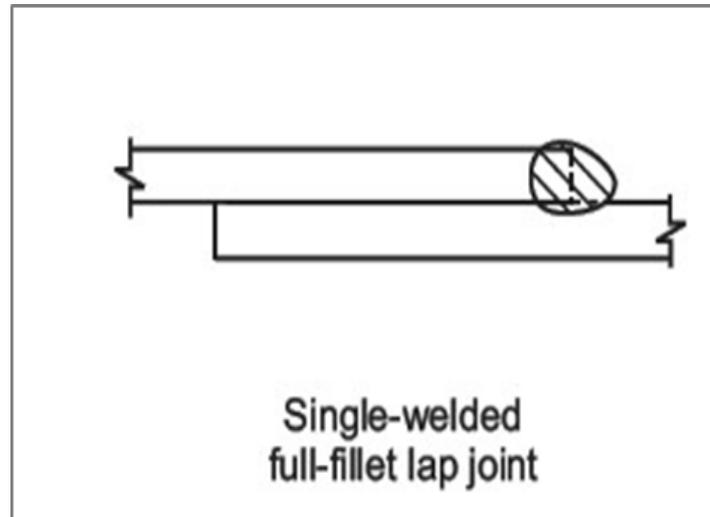
Fuente: Estándar API 650 (2020).

#### 4.11.3. Soldadura en juntas traslapadas

Para el diseño de juntas planas se consideró una junta traslapada sin bisel de la norma API 650 – sección 5.1.1.4, donde la junta de soldadura entre dos miembros traslapados, en la cual el borde traslapado de uno de los miembros está soldado con soldadura de filete. Para el cálculo se considerará un triángulo isósceles de 6 mm de

longitud por catetos, equivalentes al espesor de la plancha. como se muestra en la figura

14:



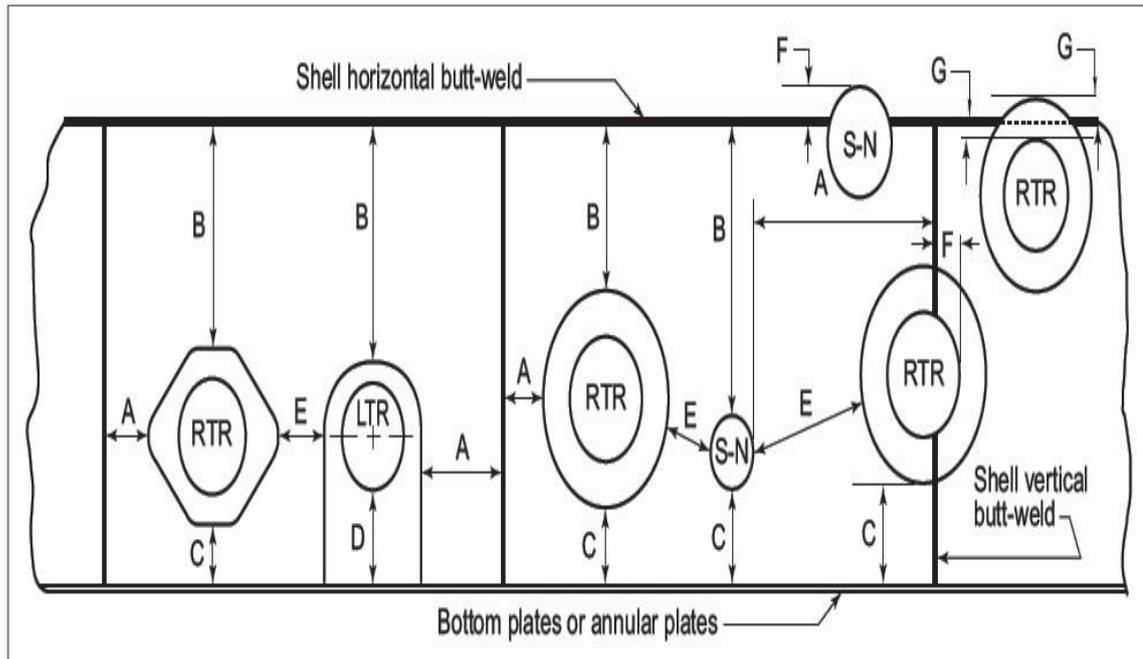
**Figura 14.** Soldadura con junta plana de filete traslapada

Fuente: Estándar API 650 (2020).

## 4.12. SELECCIÓN DE ACCESORIOS PARA EL TANQUE

### 4.12.1. Condiciones de las aberturas en el cuerpo del tanque

Según API 650 – sección 5.7, donde en la figura 15, se describe las distancias mínimas que se consideran para la ubicación de las aberturas en el cuerpo.



**Figura 15.** Descripción y geometría de aberturas en el cuerpo del tanque

Fuente: Estándar API 650 (2020).

RTR: Abertura reforzada (manhole o boquilla con refuerzo tipo diamante)

LTR: Abertura reforzada baja a nivel del piso (acceso para limpieza).

S-N: Abertura no reforzada.

Los valores A, B, C, D, E, F, G de la figura 15, que se encuentran en la tabla 10, donde se definirá las posiciones de las boquillas y los manholes mediante el espesor de la plancha del cuerpo.

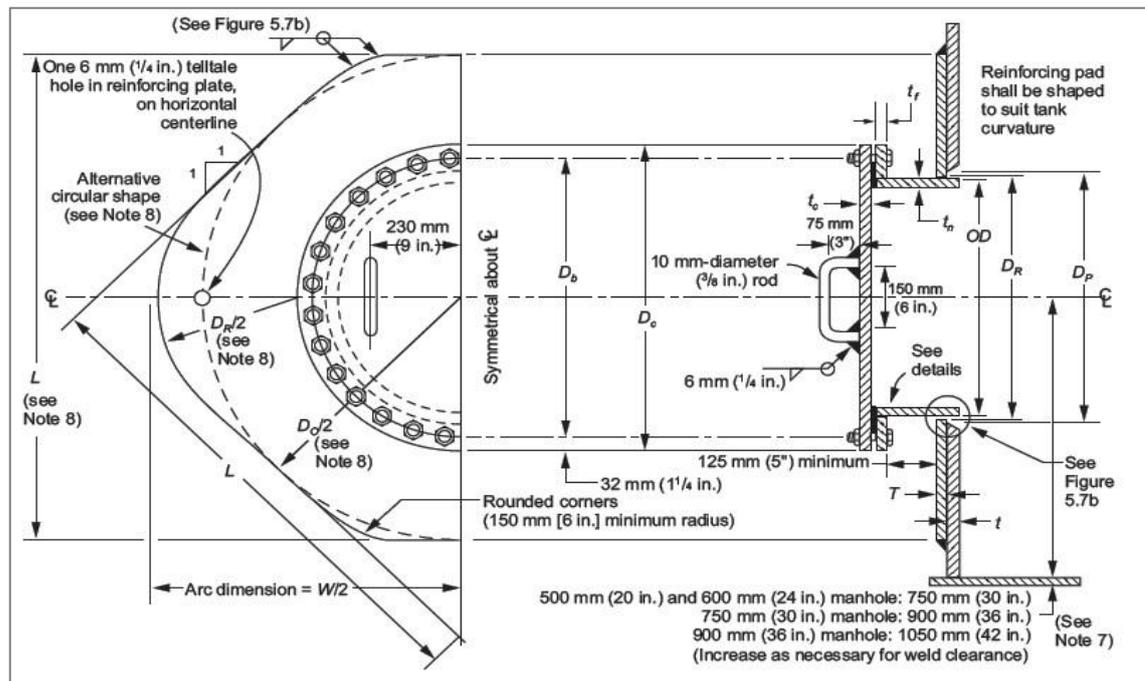
**Tabla 10.** Mínimas distancias de separación de las principales aberturas del cuerpo

Variables	Referencia	Dimensión mínima entre refuerzos de soldadura o línea central de soldadura (notas 1,2,3 y 4)								
Espesor de cuerpo ( $t$ )	Condición	Número de párrafo								
			A	B	C	D (solo 5)	E	F (6)	G (6)	
$t \leq 13 \text{ mm}$ ( $\leq 1/2 \text{ in.}$ )	Soldado o	5.7.3.2	150 mm (6 in.)	75 mm (3 in.)			75 mm (3 in.)			
		5.7.3.3			75 mm (3 in.)					
	PWHT	5.7.3.3								
		5.7.3.3								
		5.7.3.4				Tabla 5.6a				
		5.7.3.4				y		Menor de $8t$		
		5.7.3.4				Tabla 5.6b		$8t$ o $1/2 r$		
$t > 13 \text{ mm}$ ( $t$ Soldado $> 1/2 \text{ in.}$ )	Soldado	5.7.3.1.a	$8W$ o	$8W$ o						
			250 mm (10 in.)	250 mm (10 in.)						
		5.7.3.1.b					$8W$ o			
							150 mm (6 in.)			
		5.7.3.3			$8W$ o 250 mm					
		5.7.3.3			(10 in.) 75 mm (3 in.)					
		5.7.3.3			por S-N	Tabla 5.6a		Menor de		
	• 5.7.3.4				y		$8t$ o $1/2 r$	$8t$		
	• 5.7.3.4				Tabla 5.6b					

Fuente: Estándar API 650 (2020).

### 4.13. MANHOLE DEL CUERPO

Los manholes son accesos, usados para el mantenimiento del tanque (limpiezas o reparaciones). La norma API 650 - sección 5.7.5, especifica las dimensiones y tamaños de los manhole del cuerpo las cuales deberán ser de acuerdo con lo mostrado en la Figura 16 y con lo establecido en las tablas 11 -12.



**Figura 16.** Manhole del cuerpo

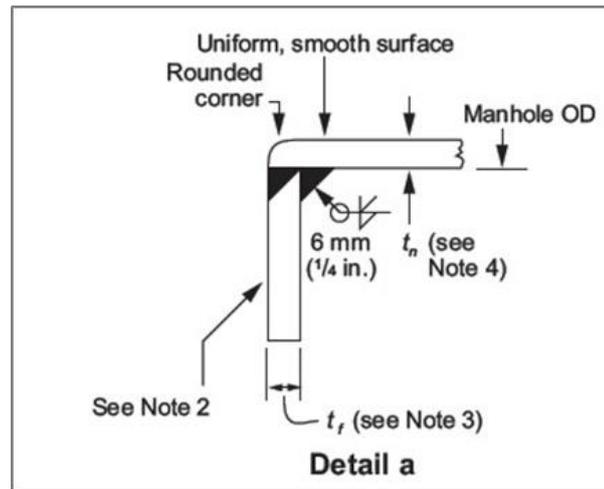
Fuente: Estándar API 650 (2020).

Donde:

- $D_p$  o  $OD$  = Diámetro exterior de la boquilla o del cuello.
- $ID$  = Diámetro del manhole
- $D_c$  = Diámetro de la tapa del manhole
- $D_b$  = Diámetro del eje de los agujeros para los espárragos
- $D_o$  = Diámetro exterior de la placa de refuerzo



- DR = Diámetro Interior de la placa de refuerzo
  - tf = Espesor de la brida
  - tc = Espesor de la tapa del manhole
  - tnc = Espesor del cuello
  - tnb = Espesor de boquilla
  - t = Espesor del anillo del cuerpo del tanque
  - T = Espesor de la placa de refuerzo
  - W = Ancho de la placa de refuerzo
- a) **Pernos y agujeros:** La Norma API 650 nos indica que para manholes del cuerpo de 750 y 900 mm de diámetro, se utilizarán 42 pernos de 20 mm de diámetro y para los agujeros una perforación de 23 mm de diámetro.
- b) **Empaques:** Para el Manhole del cuerpo seleccionado de 750 mm de diámetro se necesita un empaque con las siguientes características:
- *Diámetro exterior: 899 mm*
  - *Diámetro interior: 762 mm*
  - *Espesor: 3 mm*
- c) **Altura mínima desde la base del tanque hasta el centro del agujero del manhole:** Para el manhole de 750 mm de diámetro la altura será de 750 mm; además, los cuellos pertenecientes a los manholes y boquillas están soldados al cuerpo del tanque por medio de una junta a filete y cubre todo el perímetro con penetración completa como se aprecia en la figura 17.



**Figura 17.** Unión del cuello Manhole-cuerpo del tanque

Fuente: Estándar API 650 (2020).

#### 4.13.1. Dimensionamiento del manhole del cuerpo

Primero, con el diámetro del manhole seleccionado, se recurre a la tabla 11 la cual fue extraída de la norma API 650. Donde se obtendrá el espesor de la placa de la tapa  $t_c$  y el espesor de la brida empernada  $t_f$ .

**Tabla 11.** Espesor de la placa de la tapa  $t_c$  y de la brida empernada  $t_f$

Columna 1	Columna 2	Columna 3	Columna 4	Columna 5	Columna 6	Columna 7	Columna 8	Columna 9	Columna 10
Altura máxima de diseño del líquido (H)	Presión equivalente kPa	Espesor mínimo de la placa de cubierta ( $t_c$ ), mm				Espesor mínima de la brida de empernado después del acabado ( $t_f$ ), mm			
		500 mm Manhole	600 mm Manhole	750 mm Manhole	900 mm Manhole	500 mm Manhole	600 mm Manhole	750 mm Manhole	900 mm Manhole
5	49	8	10	12	13	6	7	9	10
6.5	64	10	11	13	15	7	8	10	12
8.0	78	11	12	14	17	8	9	11	14
9.5	93	12	13	16	18	9	10	13	15
11	108	12	14	17	20	9	11	14	17
13	128	13	15	18	21	10	12	15	18
16	157	15	17	20	23	12	14	17	20
19	186	16	18	22	26	13	15	19	23
23	225	18	20	24	28	15	17	21	25

Fuente: Estándar API 650 (2020).



Considerando la altura de 8.0 m, debido a que la altura es de 7.5 m, con el diámetro seleccionado del manhole de 750 mm se obtiene de la tabla 11 los siguientes datos:

- Mínimo espesor de la placa de la tapa  $t_c = 14 \text{ mm}$
- Mínimo espesor de la brida empernada  $t_f = 11 \text{ mm}$
- Presión Equivalente basada en la carga de agua  $= 64 \text{ KPa}$

Segundo, se recurrió a la tabla 12, donde se obtuvo el espesor del cuello del manhole del cuerpo  $t_{nc}$ .

**Tabla 12.** Espesor del cuello del manhole del cuerpo  $t_{nc}$

Espesor del cuerpo ( $t$ ) <sup>a</sup>	Espesor mínimo del cuello ( $t_n$ ) <sup>b</sup>			
	Manhole de 500 mm de diámetro	Manhole de 600 mm de diámetro	Manhole de 750 mm de diámetro	Manhole de 900 mm de diámetro
5	5	5	5	5
6	6	6	6	6
8	6	6	8	8
10	6	6	8	10

Fuente: Estándar API 650 (2020).

De la Tabla 11, ingresando con el espesor del primer anillo calculado;  $t = 6 \text{ mm}$  y con el manhole seleccionado de 750 mm se obtiene los siguientes datos:

$$\text{Mínimo espesor del cuello del manhole del cuerpo } t_{nc} = 6 \text{ mm}$$

Tercero, se recurre a la tabla 13, donde se obtendrá las dimensiones del diámetro circular de los pernos y el diámetro de la cubierta de la placa.

**Tabla 13.** Dimensiones del diámetro circular de los pernos  $D_b$  y diámetro de la cubierta de la placa  $D_c$  del cuerpo del manhole

Columna 1	Columna 2	Columna 3
Diámetro exterior de la boca de inspección (OD)	Diámetro circular de agujeros ( $D_b$ )	Diámetro de la tapa del manhole ( $D_c$ )
500	667	730
600	768	832
750	921	984
900	1073	1137

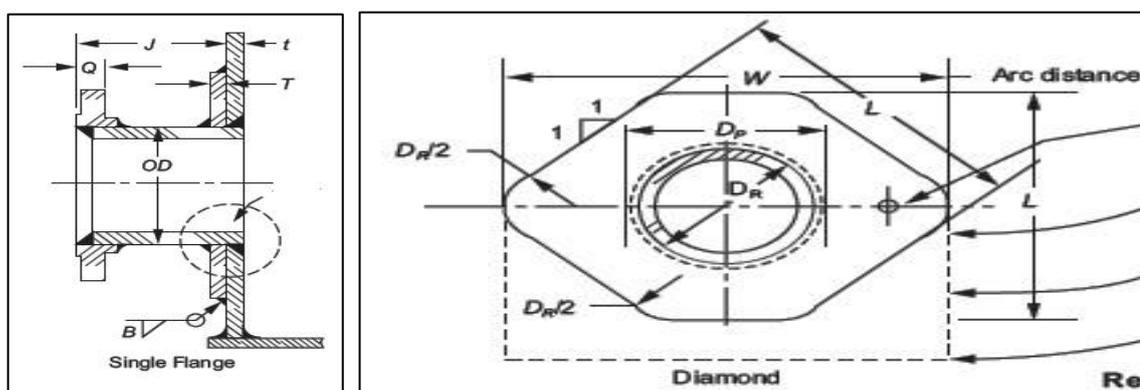
Fuente: Estándar API 650 (2020).

De la Tabla 13, con el diámetro del manhole de 750mm, se obtienen los siguientes datos:

- Diámetro circular de agujeros  $D_b = 921$  mm
- Diámetro de la tapa del manhole  $D_c = 984$  mm

#### 4.14. BOQUILLAS - BRIDAS EN EL CUERPO

La norma API 650 – sección 5.7.6, indica la junta que se debe emplear para el diseño de los accesorios del cuerpo del tanque, en la cual se utilizará la brida simple y el refuerzo elegido será de forma de diamante como se aprecia en la figura 18.

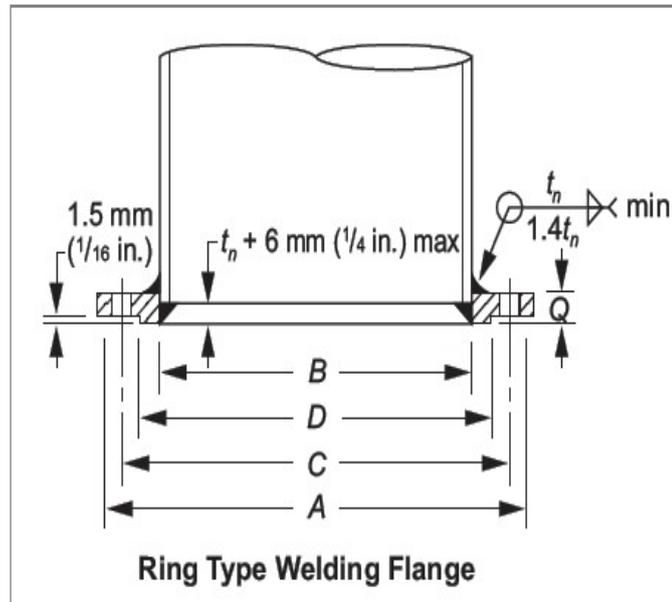


**Figura 18.** Refuerzo de boquillas y bridas del cuerpo [18]

Fuente: Estándar API 650 (2020).

#### 4.14.1. Soldadura de boquillas – bridas

El tipo de junta utilizada para bridas es la de soldadura de chaflán para brida - boquilla, como se aprecia en la figura 19.



**Figura 19.** Soldadura brida-boquilla

Fuente: Estándar API 650 (2020).

#### 4.14.2. Dimensionamiento de boquillas - bridas en el cuerpo

Primero se determina el diámetro de la boquilla que se requiere para las diferentes necesidades utilizando la figura 16 y 19, donde se recurre a la tabla 14, para dimensionar las boquillas del cuerpo, como para las dimensiones restantes del manhole. No se debe confundir el espesor del cuello  $t_{nc}$  con el espesor de la boquilla  $t_{nb}$ , el primero se utiliza en el manhole, mientras que la segunda en la construcción de boquillas.

Además, solo se tomará en cuenta la columna 3 para las boquillas  $t_{nb}$ , mientras que, si se necesita para el cuello del manhole, se obviará la columna 3 y el  $t_{nc}$  del cuello será el calculado en la tabla 14.

**Tabla 14.** Dimensiones de las boquillas del cuerpo

Columna 1	Columna 2	Columna 3	Columna 4	Columna 5	Columna 6	Columna 7	Columna 8	Columna 9 <sup>c</sup>
NPS (Tamaños de boquilla)	diámetro exterior de la tubería OD	Espesor nominal de la boquilla con bridas de tuberías de pared <sup>a</sup> <i>tn</i>	Diámetro del agujero en placa de refuerzo <i>D<sub>R</sub></i>	Longitud de lado de la placa de refuerzo <sup>b o</sup> Diámetro <i>L = D<sub>o</sub></i>	Ancho de la placa de refuerzo <i>W</i>	distancia mínima desde la pared a la cara de la brida <i>J</i>	Distancia mínima desde la parte inferior del tanque al centro de la boquilla	
							Tipo regular <sup>d</sup> <i>H<sub>N</sub></i>	Tipo bajo <i>C</i>
<b>Conexiones con bridas</b>								
60	1524.0	e	1528	3068	3703	400	1641	1534
54	1371.6	e	1375	2763	3341	400	1488	1382
52	1320.8	e	1324	2661	3214	400	1437	1331
50	1270.0	e	1274	2560	3093	400	1387	1280
48	1219.2	e	1222	2455	2970	400	1334	1230
46	1168.4	e	1172	2355	2845	400	1284	1180
44	1117.6	e	1121	2255	2725	375	1234	1125
42	1066.8	e	1070	2155	2605	375	1184	1075
40	1016.0	e	1019	2050	2485	375	1131	1025
38	965.2	e	968	1950	2355	350	1081	975
36	914.4	e	918	1850	2235	350	1031	925
34	863.6	e	867	1745	2115	325	979	875
32	812.8	e	816	1645	1995	325	929	820
30	762.0	e	765	1545	1865	300	879	770
28	711.2	e	714	1440	1745	300	826	720
26	660.4	e	664	1340	1625	300	776	670
24	609.6	12.7	613	1255	1525	300	734	630
22	558.8	12.7	562	1155	1405	275	684	580
20	508.0	12.7	511	1055	1285	275	634	525
18	457.2	12.7	460	950	1160	250	581	475
16	406.4	12.7	410	850	1035	250	531	425
14	355.6	12.7	359	750	915	250	481	375
12	323.8	12.7	327	685	840	225	449	345
10	273.0	12.7	276	585	720	225	399	290
8	219.1	12.7	222	485	590	200	349	240
6	168.3	10.97	171	400	495	200	306	200
4	114.3	8.56	117	305	385	175	259	150

Fuente: Estándar API 650 (2020).



Para las boquillas del cuerpo de Manhole de 30 pulgadas de diámetro se obtuvieron los siguientes datos:

- Diámetro exterior del tubo OD = 762mm
- Diámetro de la Placa de Refuerzo DR = 765mm
- Longitud del lado de placa refuerzo o diámetro L = Do = 1545mm
- Ancho de la Placa de refuerzo W = 1865mm
- Distancia mínima desde el cuerpo a la cara de la brida J = 300mm

Para las boquillas del cuerpo para la salida de limpieza de 24 pulgadas se obtiene los siguientes datos:

- Diámetro exterior del tubo OD = 609.6 mm
- Espesor nominal de la pared del tubo de la boquilla tnb = 12.7 mm
- Diámetro de la Placa de Refuerzo DR = 613 mm
- Longitud del lado de placa refuerzo o diámetro L = Do = 1255 mm
- Ancho de la Placa de refuerzo W = 1525 mm
- Distancia mínima desde el cuerpo a la cara de la brida J = 300 mm

Para las boquillas del cuerpo para el Drenaje de 4 pulgadas de diámetro se obtiene los siguientes datos:

- *Diámetro exterior del tubo OD = 114.3 mm*
- *Espesor nominal de la pared del tubo de la boquilla tnb = 8.56 mm*

- $\text{Diámetro de la Placa de Refuerzo DR} = 117 \text{ mm}$
- $\text{Longitud del lado de placa refuerzo o diámetro } L = D_o = 305 \text{ mm}$
- $\text{Ancho de la Placa de refuerzo } W = 385 \text{ mm}$
- $\text{Distancia mínima desde el cuerpo a la cara de la brida } J = 175 \text{ mm}$

Segundo, se recurre a la tabla 15, donde se obtiene las dimensiones para las boquillas del cuerpo: tubos, placas y tamaño del filete de soldadura; además, con el espesor del primer anillo del tanque (desde el fondo) o el espesor de la placa de refuerzo seleccionada y de la figura 16 y 19.

**Tabla 15.** Dimensiones de las boquillas del cuerpo: tubería, placas y tamaño del filete de soldadura

Columna 1	Columna 2	Columna 3	Columna 4	Columna 5	Columna 6
Espesor del cuerpo y la plancha de refuerzo <sup>a</sup> $t$ y $T$	Espesor mínimo del tubo de la boquilla <sup>b</sup> $(t_n)$	Diámetro máximo del orificio de la plancha del cuerpo ( $D_p$ ) es igual al diámetro exterior de la tubería mas un adicional	Tamaño de la soldadura de filete B	Tamaño de la soldadura de filete A	
				Boquillas más grandes que NPS 2	NPS $3/4$ a 2 boquillas
5	12.7	16	5	6	6
6	12.7	16	6	6	6
8	12.7	16	8	6	6
10	12.7	16	10	6	6
11	12.7	16	11	6	6
13	12.7	16	13	6	8
14	12.7	20	14	6	8

Fuente: Estándar API 650 (2020).

De la tabla 15, ingresando con el espesor del primer anillo de  $t = 6 \text{ mm}$  se obtiene

los siguientes datos:

- Mínimo espesor tubo de la boquilla  $t_{nb} = 12.7 \text{ mm}$
- Valor añadido al diámetro de boquilla para obtener máximo diámetro de la placa  
del cuerpo  $750 + D_p = 766 \text{ mm}$
- Tamaño del filete de soldadura  $B = 6 \text{ mm}$
- Tamaño de filete soldadura A Boquillas de más de 2 pulgadas  $= 6 \text{ mm}$
- Tamaño de filete soldadura A Boquillas de  $\frac{3}{4}$  a 2 pulgadas  $= 6 \text{ mm}$

Además, los datos restantes para la selección de boquillas-bridas, se obtendrán de la tabla 16 y de la figura 16 y 19.

**Tabla 16.** Dimensiones para boquillas - bridas

Columna 1	Columna 2	Columna 3	Columna 4	Columna 5	Columna 6	Columna 7	Columna 8	Columna 9	Columna 10	Columna 11	Columna 12		
NPS (tamaño de boquillas)	Espesor mínimo de brida $Q$	Diámetro exterior de brida $A$	Diámetro de la cara superior $D$	Diámetro del círculo del perno $C$	Número de agujeros $E$	Diámetro de agujeros $C$	Diámetro de pernos $B$	Tipo de deslizamiento: fuera de diámetro de la tubería más $B$	Diámetro del agujero		Soldadura tipo de cuello <sup>a</sup> $B_1$	Ponerse tipo <sup>b</sup> $E$	Diámetro mínimo del cubo en el punto de soldadura Soldadura cuello tipo <sup>c</sup> $E_1$
60	79.4	1854	1676	1759	52	48	45	6.4	a	b	c		
54	76.2	1683	1511	1594	44	48	45	6.4	a	b	c		
52	73	1626	1461	1537	44	48	45	6.4	a	b	c		
50	70	1569	1410	1480	44	48	45	6.4	a	b	c		
48	70	1510	1360	1426	44	42	40	6.4	a	b	c		
46	68	1460	1295	1365	40	42	40	6.4	a	b	c		
44	67	1405	1245	1315	40	42	40	6.4	a	b	c		
42	67	1345	1195	1257	36	42	40	6.4	a	b	c		
40	65	1290	1125	1200	36	42	40	6.4	a	b	c		
38	60	1240	1075	1150	32	42	40	6.4	a	b	c		
36	60	1170	1020	1036	32	42	40	6.4	a	b	c		
34	59	1110	960	1029	32	42	40	6.4	a	b	c		



32	57	1060	910	978	28	42	40	6.4	a	b	c
30	54	985	855	914	28	33	30	6.4	a	b	c
28	52	925	795	864	28	33	30	6.4	a	b	c
26	50	870	745	806	24	33	30	6.4	a	b	c
24	48	815	690	750	20	33	30	4.8	a	b	c
22	46	750	640	692	20	33	30	4.8	a	b	c
20	43	700	585	635	20	30	27	4.8	a	b	c
18	40	635	535	577	16	30	27	4.8	a	b	c
16	36	595	470	540	16	27	24	4.8	a	b	c
14	35	535	415	476	12	27	24	4.8	a	b	c
12	32	485	380	432	12	25	22	3.2	a	b	c
10	30	405	325	362	12	25	22	3.2	a	b	c
8	28	345	270	298	8	23	20	3.2	a	b	c
6	25	280	216	241	8	23	20	2.4	a	b	c
4	24	230	157	190	8	19	16	1.6	a	b	c
3	24	190	127	152	4	19	16	1.6	a	b	c
2	20	150	92	121	4	19	16	1.6	a	b	c
11/2	17	125	73	98	4	16	12	1.6	a	b	c

Fuente: Estándar API 650 (2020).

Para las boquillas del cuerpo de Manhole de 30 pulgadas de diámetro se obtiene los siguientes datos:

- Mínimo espesor del borde  $Q = 54 \text{ mm}$
- Diámetro exterior del borde  $A = 985 \text{ mm}$
- Diámetro de la cara superior  $D = 855 \text{ mm}$
- Diámetro del círculo del perno  $C = 914 \text{ mm}$
- Numero de agujeros  $= 28$
- Diámetro de los agujeros  $= 33 \text{ mm}$
- Diámetro de los pernos  $= 30 \text{ mm}$

Para las boquillas del cuerpo para la salida de limpieza de 24 pulgadas se obtiene los siguientes datos:



- Mínimo espesor del borde  $Q = 48 \text{ mm}$
- Diámetro exterior del borde  $A = 815 \text{ mm}$
- Diámetro de la cara superior  $D = 690 \text{ mm}$
- Diámetro del círculo del perno  $C = 750 \text{ mm}$
- Numero de agujeros = 20
- Diámetro de los agujeros = 33 mm
- Diámetro de los pernos = 30 mm

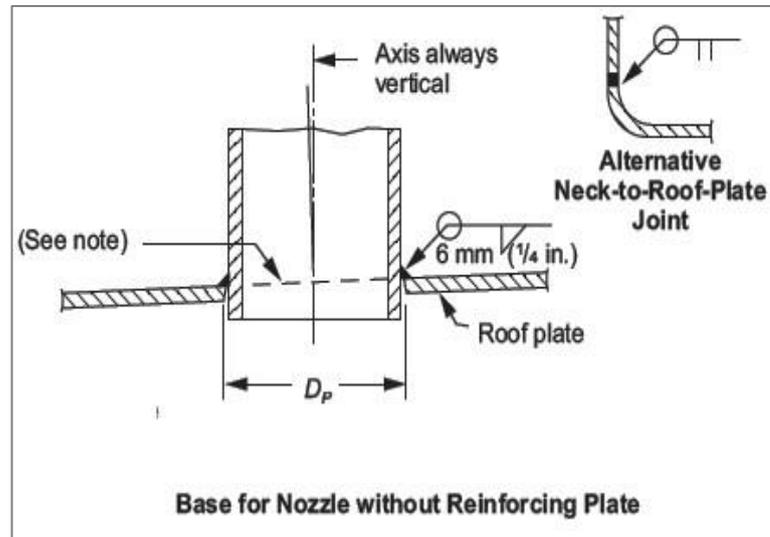
Para las boquillas del cuerpo para el Drenaje de 4 pulgadas de diámetro se obtiene los siguientes datos:

- Mínimo espesor del borde  $Q = 24 \text{ mm}$
- Diámetro exterior del borde  $A = 230 \text{ mm}$
- Diámetro de la cara superior  $D = 157 \text{ mm}$
- Diámetro del círculo del perno  $C = 190 \text{ mm}$
- Numero de agujeros = 8
- Diámetro de los agujeros = 19 mm
- Diámetro de los pernos = 16 mm

#### **4.15. BOQUILLAS - BRIDAS EN EL TECHO**

Para las boquillas para techos la norma API 650 – sección 5.8.5.6, indica que se deben utilizar para colocar las válvulas de venteo, tales como las bocas de aforo, cuellos

de ganso, las dimensiones de estas boquillas se encuentran en la figura 20. Para el diseño de las bridas - boquillas se usará la base para boquilla sin placa de refuerzo.



**Figura 20.** Boquillas-Bridas para Techo sin placa de refuerzo

Fuente: Estándar API 650 (2020).

#### 4.15.1. Dimensionamiento de boquillas - bridas en el techo

Para determinar las dimensiones de las boquillas - bridas del techo, se emplea el espesor de la boquilla de 12.7 mm, y con el diámetro de las boquillas que se requiere y con el uso de la tabla 17 y la figura 20, se procede a la selección de las dimensiones.

**Tabla 17.** Dimensiones para boquillas-bridas del techo

Columna 1	Columna 2	Columna 3	Columna 4	Columna 5
Boquilla NPS	Diámetro exterior del cuello de la tubería	Diámetro del agujero en la plancha del techo o placa de refuerzo  <i>DP</i>	Altura mínima de la boquilla  <i>HR</i>	Diámetro exterior de la plancha de refuerzo <sup>a</sup>  <i>DR</i>
1 1/2	48.3	50	150	125
2	60.3	65	150	175
3	88.9	92	150	225
4	114.3	120	150	275



6	168.3	170	150	375
8	219.1	225	150	450
10	273.0	280	200	550
12	323.8	330	200	600

Fuente: Estándar API 650 (2020).

Para las boquillas del techo del tubo de aforamiento del tanque con una boquilla de 6 pulgadas de diámetro, se obtiene los siguientes datos:

- Diámetro exterior del cuello = 168.3 mm
- Diámetro del agujero en la placa de refuerzo del techo DP = 170 mm
- Mínima altura de boquilla = HR = 150 mm
- Diámetro exterior de la placa de refuerzo DR = 375 mm

Para las boquillas del techo del tubo de aforo del tanque con una boquilla de 10 pulgadas de diámetro, se obtiene los siguientes datos:

- Diámetro exterior del cuello = 273 mm
- Diámetro del agujero en la placa de refuerzo del techo DP = 280 mm
- Mínima altura de boquilla = HR = 200 mm
- Diámetro exterior de la placa de refuerzo DR = 550 mm

Para las boquillas del techo para el venteo del tanque con una boquilla de 12 pulgadas de diámetro, se obtiene los siguientes datos:

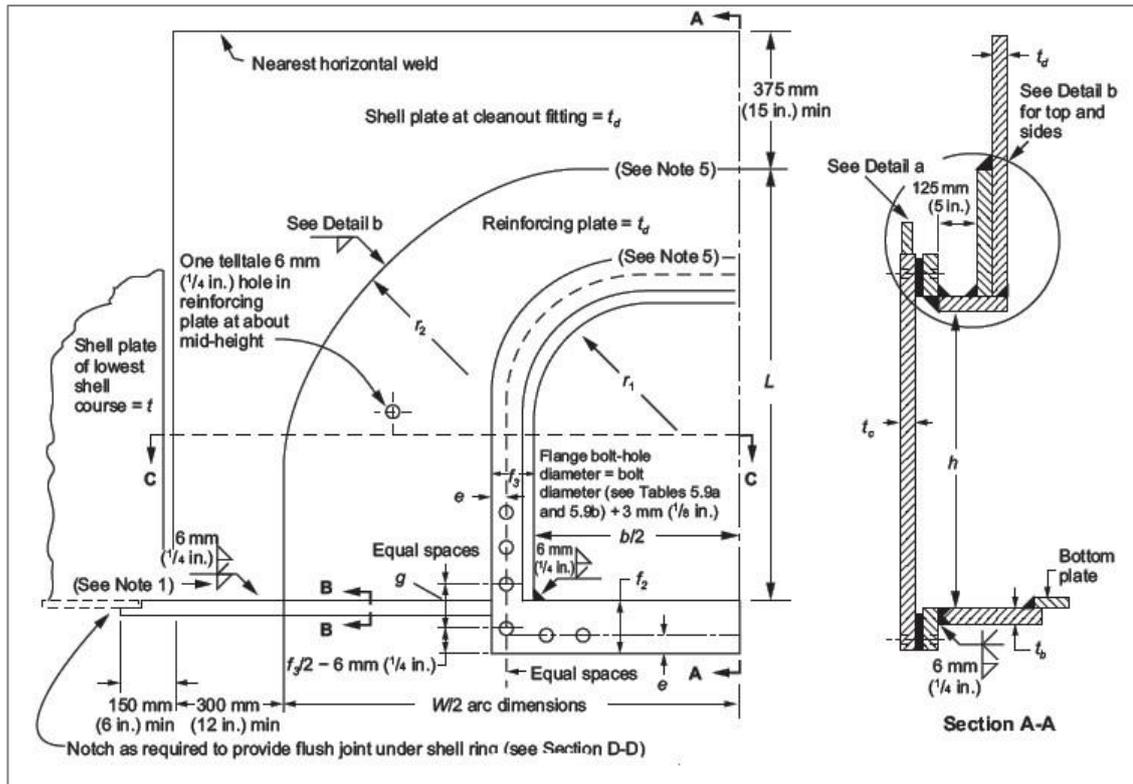
- Diámetro exterior del cuello = 323.8 mm
- Diámetro del agujero en la placa de refuerzo del techo DP = 330 mm



- Mínima altura de boquilla = HR = 200 mm
- Diámetro exterior de la placa de refuerzo DR = 600 mm

#### **4.16. ACCESO DE LIMPIEZA TIPO LÁPIDA O COMPUERTA DE SEDIMENTOS**

Los accesos de limpieza se utilizan para el ingreso de los equipos de mantenimiento y para la limpieza de sedimentos, la Norma API 650 – sección 5.7.7, indica que la abertura en el cuerpo del tanque es de forma rectangular en la base mientras que en las esquinas superiores debe tener un radio igual a un medio de la altura correspondiente a la abertura, comúnmente llamadas lápidas, como el cuerpo del tanque está construido con materiales del grupo I, el ancho o el alto de la abertura no debe exceder 1200 mm (48in); además, el espesor del área extraída, así como el espesor de la placa de refuerzo y el cuello del acceso de limpieza será igual al espesor del primer anillo del cuerpo del tanque tal como se muestra en la figura 21.



**Figura 21.** Accesorio de limpieza a nivel (lápida)

Fuente: Estándar API 650 (2020).

#### 4.16.1 Dimensionamiento del acceso de limpieza de sedimentos

El primer procedimiento es determinar el ancho y el alto del acceso de limpieza que se requiere, con la altura máxima del nivel del líquido con el uso de la tabla 18.

**Tabla 18.** Dimensiones para el acceso de limpieza

Columna 1	Columna 2	Columna 3	Columna 4	Columna 5	Columna 6	Columna 7	Columna 8	Columna 9	Columna 10	Columna 11
Altura de apertura <i>h</i>	Ancho de apertura <i>b</i>	Ancho del arco de la plancha de refuerzo <i>W</i>	Esquina superior radio de apertura <i>r1</i>	Esquina superior radio de plancha de refuerzo <i>r2</i>	Distancia al borde de los pernos <i>e</i>	Ancho de la Brida (excepto en la parte inferior) <i>f3</i>	Ancho de brida inferior <i>f2</i>	Tornillo especial gramos <i>g</i>	Numero de pernos	Diámetro de pernos
203	406	1170	100	360	32	102	89	83	22	20
610	610	1830	300	740	38	102	95	89	36	20
914	1219	2700	610	1040	38	114	121	108	46	24
1219 <sup>c</sup>	1219	3200	610	1310	38	114	127	114	52	24

Fuente: Estándar API 650 (2020).

Segundo, se recurre a la tabla 19, donde se obtiene los espesores de la placa de cubierta, pernos y reforzamiento del fondo para el acceso de limpieza.

**Tabla 19.** Espesores de la placa de cubierta, pernos y reforzamiento del fondo para el acceso de limpieza

Columna 1	Columna 2	Columna 3	Columna 4	Columna 5	Columna 6	Columna 7	Columna 8	Columna 9	Columna 10
Nivel máximo del fluido de diseño (H) en metros	Presión equivalente kPa	Tamaño de abertura h x b (alto x ancho)							
		200 x 400		600 x 600		900 x 1200		1200 x 1200	
		Espesor de la brida empernada y la plancha de cubierta <i>t<sub>c</sub></i>	Espesor de la plancha de refuerzo de la base <i>t<sub>b</sub></i>	Espesor de la brida empernada y la plancha de cubierta <i>t<sub>c</sub></i>	Espesor de la plancha de refuerzo de la base <sup>c</sup> <i>t<sub>b</sub></i>	Espesor de la brida empernada y la plancha de cubierta <i>t<sub>c</sub></i>	Espesor de la plancha de refuerzo de la base <sup>d</sup> <i>t<sub>b</sub></i>	Espesor de la brida empernada y la plancha de cubierta <i>t<sub>c</sub></i>	Espesor de la plancha de refuerzo de la base <sup>e</sup> <i>t<sub>b</sub></i>
6	60	10	13	10	13	15	20	16	22
10	98	10	13	11	13	19	25	20	27
12	118	10	13	12	14	21	27	22	29
16	157	10	13	14	16	24	31	25	33
18	177	10	13	15	16	25	33	27	34
19.5	191	11	13	16	17	26	34	28	36
22	216	11	13	17	18	28	36	29	38

Fuente: Estándar API 650 (2020).

Finalmente, se recurre a la tabla 20, donde se obtiene los datos de espesores y alturas de placas de refuerzo del cuerpo para accesorios de limpieza.

**Tabla 20.** Espesores y alturas de placas de refuerzo del cuerpo para accesorios de limpieza

Espesor del anillo más bajo del cuerpo $t, t^a_d$ mm	Nivel <sup>c</sup> máximo del fluido de diseño $H$ m	Altura de la placa de refuerzo del cuerpo para tamaño de la abertura $h \times b$ (alto $\times$ ancho)			
		mm			
		200 x 400	600 x 600	900 x 1200	1200 x 1200 <sup>b</sup>
todas	< 22	350	915	1372	1830

Fuente: Estándar API 650 (2020).

#### 4.17. CÁLCULO DE CARGAS DE VIENTO EN EL TANQUE (ESTABILIDAD AL VOLCAMIENTO)

Para ello se recurre a la norma API 650 – sección 5.11, donde se especifica lo siguiente con respecto al cálculo de la estabilidad frente al viento:

##### 4.17.1. Presión de viento

La estabilidad al volcamiento deberá ser calculada usando las presiones de viento dadas en la sección 5.2.1 (k).

**k) Viento (W):** La velocidad del viento de diseño (V) será:

- la velocidad del viento de diseño de ráfaga de 3 segundos determinada a partir de ASCE 7-05 multiplicada por  $\sqrt{I}$ , Figura 6-1; o
- la velocidad del viento de diseño de ráfaga de 3 segundos determinada por ASCE 7-10 para la categoría de riesgo especificada por el Comprador



(Figura 26.5-1A, Figura 26.5-1B o Figura 26.5-1C) multiplicada por 0.78;

o

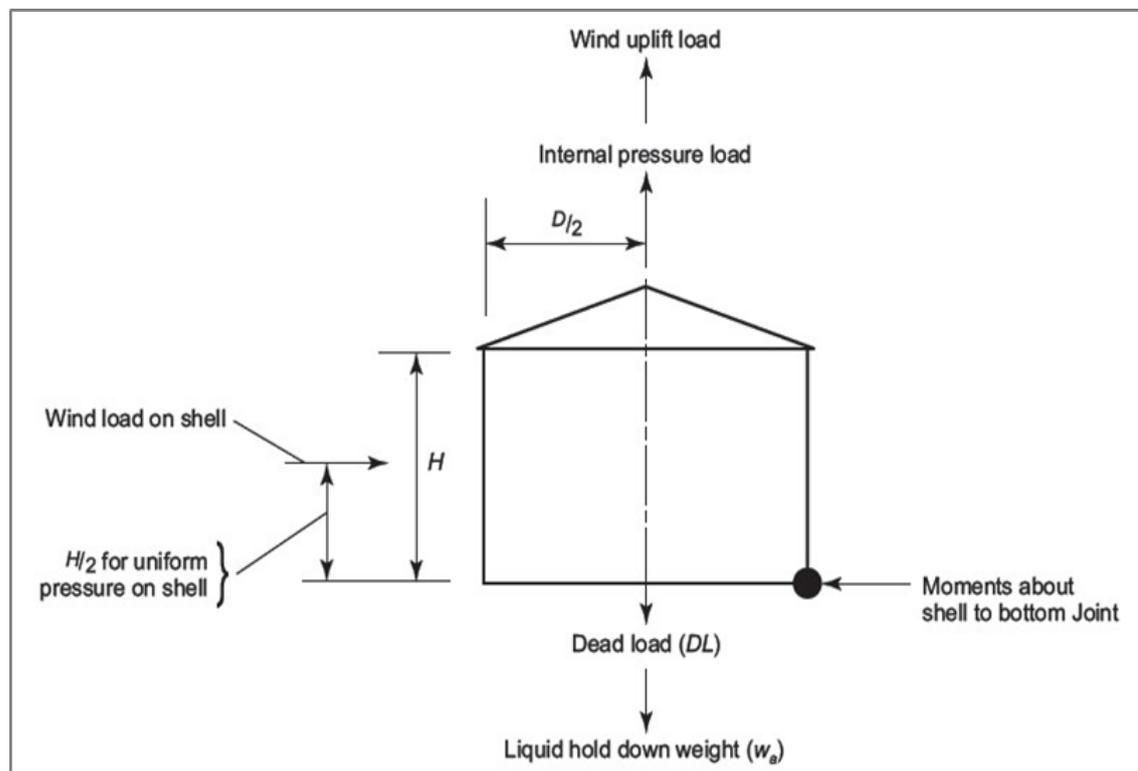
- la velocidad del viento de diseño de ráfaga de 3 segundos especificada por el Comprador, que será para una ráfaga de 3 segundos basada en una probabilidad anual del 2% de ser excedida [intervalo de recurrencia promedio de 50 años].

- A.** Presión del viento del diseño ( $P_{WS}$  y  $P_{WR}$ ) usando la velocidad del viento del diseño ( $V$ ): La presión del viento del diseño en la envolvente ( $P_{WS}$ ) será de 0.86 kPa  $(V/190)^2$ ,  $([18 \text{ lbf/ft}^2][V/120]^2)$  en áreas verticales proyectadas de superficies cilíndricas. El diseño la presión de elevación del viento sobre el techo ( $P_{WR}$ ) será de 1,44 kPa  $(V/190)^2$ ,  $([30 \text{ lbf/ft}^2][V/120]^2)$  en áreas proyectadas de superficies cónicas o doblemente curvas. Estas presiones de viento de diseño están de acuerdo con ASCE 7-05 para la de exposición al viento categoría C. Como alternativas, las presiones se pueden determinar de acuerdo con:
- a) ASCE 7-05 (categoría de exposición y factor de importancia proporcionada por el Comprador); o
  - b) ASCE 7-10 (categoría de exposición y categoría de riesgo proporcionada por el Comprador) con la velocidad multiplicada por 0,78 o la presión ASCE 7-10 multiplicada por 0,6; o
  - c) Una norma nacional para las condiciones específicas del tanque que se está diseñando.
- B.** La presión de elevación del diseño en el techo (viento más presión interna) no necesita exceder 1,6 veces la presión de diseño  $P$  determinada en el punto F.4.1.

- C. Las cargas de viento horizontal ventanas y sotavientos en el techo son conservativamente iguales y opuestas y por lo tanto no se incluyen en las presiones anteriores.
- D. La velocidad del viento de una milla más rápida 1.2 es aproximadamente igual a la velocidad del viento de ráfaga de 3 segundos ( $V$ ).

#### 4.17.2. Tanques no anclados

Los tanques no anclados deben cumplir los requisitos de la Norma API 650 – sección 5.11.1 y 5.11.2 según el gráfico indicado en la Figura 22:



**Figura 22.** Esquemas de cargas de viento en el tanque

Fuente: Estándar API 650 (2020).

Según la Norma API 650 – sección 5.11.2.1, indica que los tanques no anclados, excepto los del techo cónico auto soportado deben reunir los requisitos detallados en el



punto 5.10.4 ya mencionado anteriormente y además deben cumplirse los siguientes criterios:

- 1)  $0.6M_W + M_{Pi} < M_{DL} / 1.5 + M_{DLR}$
- 2)  $M_W + F_P(M_{Pi}) < (M_{DL} + M_F) / 2 + M_{DLR}$
- 3)  $M_{WS} + F_P(M_{Pi}) < M_{DL} / 1.5 + M_{DLR}$

Donde:

$F_P$  = Factor de presión para combinación de cargas, ver sección 5.2.2

$M_{Pi}$  = Momento de vuelco por presión interior

$M_W$  = Momento total de vuelco por viento

$M_{DL}$  = Momento resistente por peso de la envolvente y estructura

$M_F$  = Momento resistente por el peso del líquido almacenado

$M_{DLR}$  = Momento resistente por peso de las planchas de techo y accesorios

$M_{WS}$  = Momento de vuelco por carga sobre la envolvente

#### 4.17.3. Cálculo del momento de estabilidad al volcamiento

Primero, se procede a analizar los datos que se tiene para iniciar el cálculo de la estabilidad frente al viento:

*Díámetro Nominal (D) = 7.7 m*

*Altura Nominal (H) = 7.2 m*

*Presión de Diseño = 0 KPa*



*Tipo Techo = Techo cónico auto soportado*

*Velocidad de viento rafaga de 3 segundos (V) = 6.12 km/h*

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

Para hallar los datos para cumplir los parámetros indicados en el punto 5.11.2.1 hay que retroceder al punto 5.2.1.k, entonces se tiene:

### **a) Presión Estática Sobre la Envolvente (Pe)**

Según los parámetros de la Norma API 650 - sección 5.2.1, se calcula con la siguiente ecuación:

$$Pe = 860 * \left(\frac{V}{190}\right)^2$$

$$Pe = 860 * \left(\frac{6.12}{190}\right)^2$$

$$Pe = 0.89\text{N/m}^2$$

### **b) Área Expuesta de la Envolvente**

Se halla calculando el área de la envolvente:

$$ATOTAL = D * H$$

$$ATOTAL = 7.7 * 7.2$$

$$ATOTAL = 55.44 \text{ m}^2$$

Para fines prácticos el área adicional que involucra el área de las escaleras, conexiones, etc. se asume como el 10% del área total de la envolvente, entonces se tiene:

$$AACESORIOS = ATOTAL * 10\%$$



$$AACCESORIOS = 55.44 * 0.1$$

$$AACCESORIOS = 5.55 \text{ m}^2$$

Se tiene entonces que el área total expuesta es la sumatoria de ambas áreas:

$$AEXPUESTA = ATOTAL + AACCESORIOS$$

$$AEXPUESTA = 55.44 + 5.55$$

$$AEXPUESTA = 60.99 \text{ m}^2$$

**c) Carga de Viento sobre la Envolvente**

Se halla multiplicando la presión estática aplicada sobre la envolvente por el área expuesta de la envolvente:

$$CVIENTO = AEXPUESTA * Pe$$

$$CVIENTO = 60.99 * 0.89$$

$$CVIENTO = 54.28 \text{ N}$$

**d) Momento de Vuelco por Carga Sobre la Envolvente (Mws)**

Se refiere a la carga de vuelco aplicada sobre la envolvente multiplicada por la mitad de la altura del tanque ya que según la Figura 3.47 ésta se aplica a esta altitud:

$$MWS = C_{viento} * \left(\frac{H}{2}\right)$$

$$MWS = 54.28 * \left(\frac{7.2}{2}\right)$$



$$MWS = 195.40 \text{ Nm}$$

**e) Presión por succión del techo**

Según los parámetros de la Norma API 650 – sección 5.2.1, se calcula con la siguiente ecuación:

$$Ps = 1440 * \left(\frac{V}{190}\right)^2$$

$$Ps = 1440 * \left(\frac{6.12}{190}\right)^2$$

$$Ps = 1.49 \text{ N/m}^2$$

**f) Fuerza de Levantamiento de Techo por Succión**

Se refiere a la presión por succión del techo multiplicada por el área que éste ocupa en el suelo, se calcula usando la siguiente fórmula:

$$FLTS = \text{Area tanque} * Ps$$

$$F_{LTS} = \left(\frac{\pi D^2}{4}\right) * Ps$$

$$F_{LTS} = \left(\frac{\pi(7.7)^2}{4}\right) * 1.49$$

$$F_{LTS} = 69.38 \text{ N}$$

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

Se refiere a la fuerza aplicada al centro del tanque por la succión del techo. Se calcula usando la siguiente fórmula:

$$MWR = FLTS * \text{Radio del tanque}$$



Reemplazando en la ecuación se obtiene:

$$MWR = 69.38 * 3.85$$

$$MWR = 267.11 \text{ Nm}$$

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

Se calcula sumando los dos momentos hallados anteriormente:

$$MW = MWS + MWR$$

$$MW = 195.40 + 267.11$$

$$MW = 462.51 \text{ Nm}$$

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

En esta parte se realiza el cálculo según la Norma API 650 - sección 5.11, el cual hace referencia a los parámetros que debe cumplir el tanque para que sea estable frente al viento:

#### **a) Momento resistente por peso de envolvente y estructura ( $M_{DL}$ )**

Es el momento generado en el tanque debido al peso de la envolvente, en este apartado aún no se considera el techo por ser una estructura independiente, se calcula usando la siguiente fórmula:

$$MDL = W_{\text{envolvente}} * D$$

Se considera que el peso de los accesorios es del 5%.

Donde:

$$W_{\text{envolvente sin accesorios}} = 79842.41 \text{ N}$$



$$W_{\text{Accesorios}} = 3992.12 \text{ N}$$

Reemplazando en la ecuación se tiene que:

$$MDL = W_{\text{envolvente}} * D$$

$$MDL = 83834.53 * 7.7$$

$$\mathbf{MDL = 645525.88 \text{ Nm}}$$

**b) Momento resistente por peso de planchas de techo y accesorios ( $M_{DLR}$ )**

Es el momento generado en el tanque debido al peso del techo y de sus accesorios, se calcula usando la siguiente fórmula:

$$MDLR = W_{\text{techo}} * D$$

Se considera que el peso de los accesorios es del 5%.

Donde:

$$W_{\text{techo sin accesorios}} = 42818.20 \text{ N}$$

$$W_{\text{Accesorios}} = 2140.91 \text{ N}$$

Reemplazando en la ecuación se tiene que:

$$MDLR = 44959.11 * 7.7$$

$$MDLR = 346185.15 \text{ Nm}$$

**c) Peso del líquido resistente por metro lineal ( $W_L$ )**

Donde,  $W_L$  es el peso resistente del contenido del tanque por unidad de longitud de la circunferencia de la cáscara basado en una gravedad específica (G) de 0.7 o la



gravedad específica del producto real, la que sea menor, y una altura de la mitad de la altura del líquido de diseño H. Se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$W_L = \text{Min} \left( 70.4HD; 70t_b \sqrt{(F_{by}GH)} \right)$$

Donde:

F<sub>by</sub> = Límite elástico de la plancha de fondo o anillo perimetral (235 MPa)

G = es la gravedad específica real del líquido almacenado (0.7)

H = es la altura del líquido de diseño (6.94 m)

D = es el diámetro del tanque (7.7 m)

t<sub>b</sub> = Espesor de la plancha de fondo o anillo perimetral corroído (6 mm)

Reemplazando:

$$W_L = 70 * 6 * \sqrt{(235 * 0.7 * 6.94)}$$

$$W_L = 14190.96 \text{ N/m}$$

#### **d) Peso total del líquido resistente**

Es la resistencia total debido el peso del líquido almacenado, una vez hallado el peso del líquido resistente por metro lineal se procede a hallar el peso total aplicado en todo el fondo.

Se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$WTL = WL * \pi * D$$

Reemplazando en la ecuación se obtiene:



$$WTL = 14190.96 * \pi * 7.7$$

$$WTL = 343272.94 \text{ N}$$

**e) Momento resistente por peso del líquido ( $M_F$ )**

Con el peso total del líquido resistente obtenido se procede a calcular el momento resistente que éste genera, se calcula con la siguiente fórmula:

$$MF = WTL * R$$

Reemplazando en la ecuación se obtiene:

$$MF = 343272.94 * 3.85$$

$$MF = 1321600.8 \text{ Nm}$$

**f) Momento de vuelco por presión interior ( $M_{Pi}$ )**

Debido a que el tanque será para uso con presión atmosférica se tiene que el momento de vuelco por presión interior es cero:

$$MPi = 0 \text{ Nm}$$

**g) Factor de presión para combinación de cargas ( $F_p$ )**

Es la relación entre la presión interna de funcionamiento normal y la presión interna de diseño, para esta esta condición se considera un mínimo de 0.4. Ambas presiones mencionadas en este apartado son iguales a cero, por lo que se considera el mínimo valor aceptado, entonces:

$$Fp = 0.4$$



Entonces, después de haber calculado todos los parámetros que exige la Norma API 650 – sección 5.11.2.1, se procede a realizar la comparación con los siguientes criterios:

$$1) 0.6M_W + M_{Pi} < M_{DL}/1.5 + M_{DLR}$$

$$0.6 * 462.51 + 0 < 645525.88/1.5 + 346185.15$$

$$\mathbf{277.50 \text{ Nm} < 776535.74 \text{ Nm}}$$

$$2) M_W + F_P(M_{Pi}) < (M_{DL} + MF)/2 + M_{DLR}$$

$$462.51 + 0.4 * (0) < \frac{645525.88 + 1321600.80}{2} + 346185.15$$

$$\mathbf{462.51 \text{ Nm} < 1329748.5 \text{ Nm}}$$

$$3) M_{WS} + F_P(M_{Pi}) < M_{DL}/1.5 + M_{DLR}$$

$$195.40 + 0.4 (0) < \frac{645525.88}{1.5} + 346185.15$$

$$\mathbf{195.40 \text{ Nm} < 776535.74 \text{ Nm}}$$

Finalmente, el tanque cumple las condiciones de estabilidad frente al viento y no necesita ser anclado.

#### **4.18. DETERMINACIÓN DEL PROCESO ÓPTIMO DE MANUFACTURA PARA EL DISEÑO DEL TANQUE ATMOSFÉRICO**

Para determinar el proceso óptimo de manufactura se utilizó la Norma API 650, 13th Edición, Año 2020, sección 6 y con las alternativas permitidas especificadas en la solicitud o pedido del cliente.



En cada país, existe una entidad que regula las actividades de diseño y construcción a través de la emisión de reglamentos como códigos, estándares o normas; en el Perú el ente que regula es el Ministerio de energía y minas a través del sector de hidrocarburos.

Dichos reglamentos están basados en estándares o códigos reconocidos internacionalmente y que son adaptados de acuerdo al grado de investigación o desarrollo tecnológico.

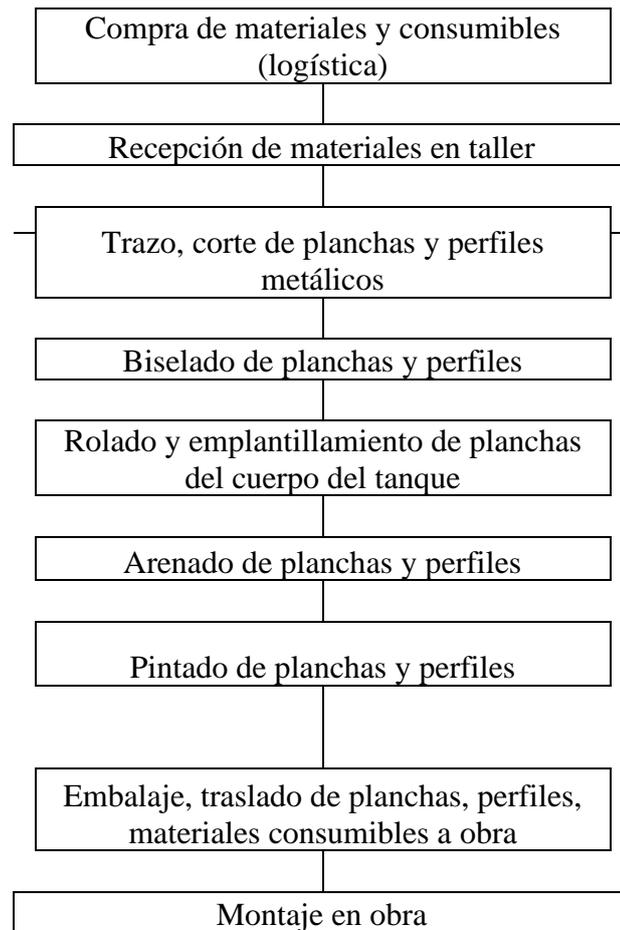
Actualmente en la región Puno no existen empresas de metal mecánica que se dediquen a la fabricación de tanques atmosféricos y es por ello que a través de la empresa metal mecánica INTERSOL se pretende incursionar en este rubro incentivando la creación de empresas destinadas a la fabricación de los tanques atmosféricos lo que permitiría obtener más fuentes de empleo y contribuyendo al desarrollo de Puno y del País.

#### **4.19. DISEÑO PARA LA FABRICACIÓN DE UN TANQUE EN TALLER**

La fabricación del tanque en taller y sus accesorios se realizarán de acuerdo a los planos de diseño y fabricación aprobados por el cliente, una vez aprobado se procede a fabricar, realizando actividades de trazo, corte, biselado, rolado, arenado y pintado base de las planchas y los accesorios del tanque.

Durante los trabajos de fabricación en taller, el trabajador debe llevar puesto todo el equipo de protección personal (EPP), como son: camisa, pantalón jeans, botas de cuero con punta de acero, guantes, casco, protectores auditivos y gafas de seguridad.

El habilitado, biselado, rolado de las planchas y la fabricación de estructuras de tanques se realizarán de acuerdo al siguiente cronograma:



**Figura 23.** Flujograma del diseño de fabricación del tanque en el taller

#### **4.19.1. Compra de materiales y consumibles**

La compra y requerimientos de los materiales, accesorios y consumibles deberán cumplir con el mínimo estándar de calidad, serán de acuerdo a las especificaciones técnicas. Todos los materiales componentes serán fabricados en base a las especificaciones respectivas de cada norma aplicable.

#### **4.19.2. Recepción de material en taller**

Los materiales serán recepcionados en las instalaciones de taller, proveniente de fábrica y proveedores, estos serán almacenados en zonas adecuadas debidamente demarcadas por cinta de señalización, los materiales serán verificados e inspeccionados de acuerdo al requerimiento.



La recepción será de manera ordenada, utilizando personal y equipos adecuados, necesario para la descarga y almacenamiento de los materiales

#### **4.19.3. Trazo, corte de planchas y perfiles metálicos**

Una vez recepcionadas las planchas y perfiles se procederán a ser distribuidas en piso del taller y trazadas para su proceso de cuadrado de planchas y corte correspondiente de acuerdo a los planos, considerando que la fabricación será de acuerdo a la norma de fabricación AISC.

El proceso de corte será realizara mediante una maquina semiautomática de oxicorte, este trabajo se realizará en mesas de trabajo metálicas, donde se posesionará un riel para la maquina semiautomática tipo carrito realice el corte adecuado.

El corte de los perfiles y tuberías para las boquillas se realizará mediante esmeriles y disco de corte, según la norma y planos de fabricación.

#### **4.19.4. Biselado de planchas y perfiles**

El proceso de biselado, se realiza una vez terminado el corte de planchas y perfiles, el biselado consiste en preparar los bordes de las uniones a soldar, es un trabajo para garantizar una mejor penetración de la soldadura en unión de ambos materiales, aportando más resistencia a los cordones de soldadura.

El biselado se realizará en planchas de mayor de 3 o 4 mm de espesor, haciéndose un bisel en “V” o también llamado chaflán, con ángulo apropiado que oscila entre los 45° y los 60°.



#### **4.19.5. Rolado y emplantillamiento de planchas del cuerpo del tanque**

El proceso de rolado se realizará en las planchas del casco del tanque, mediante una maquina rolado compuesta por tres rodillos liso, analizando las condiciones de resistencia y sus propiedades mecánicas de las planchas.

Durante las maniobras de ingreso y salida de la roladora se contará con el apoyo de un balancín de maniobra y el montacargas, a fin de que se conserve el radio de rolado.

Los anillos del tanque están conformados por once planchas, ocho de ellas con longitud de 12m y tres planchas de cerramiento con longitud de 6 m.

Las planchas del cuerpo del tanque serán roladas, de la siguiente manera:

Las cinco planchas de cada anillo, con longitud de 6m serán roladas con un ángulo interno de  $65.5^\circ$ , mientras que la plancha de cerramiento de cada anillo con una longitud de 2.99m serán roladas con un ángulo interno de  $32.5^\circ$ , formado un ángulo interno total de  $360^\circ$ .

Una vez roladas las planchas, se procederá a realizar el emplantillamiento, mediante el uso de una plantilla de madera, para cerciorar el ángulo correcto.

#### **4.19.6. Preparación superficial o arenado de planchas**

La superficie de las planchas del casco se deberá preparar, hasta alcanzar una limpieza similar a la norma SSPC-SP5 "Limpieza con chorro abrasivo grado al metal blanco". Este grado de limpieza en la superficie se alcanza cuando al ser evaluada sin magnificación, no tolera presencia de impurezas, retirando todo material extraño del acero (óxido, pintura antigua, escama de laminación u otros).



El perfil de anclaje recomendado es de 1.5 a 2.5 mills de rugosidad. Un incremento en la rugosidad aumenta el área de contacto, incrementando el consumo de pintura de la capa base y la posibilidad de ocasionar corrosión por puntos.

El aire comprimido a usar debe encontrarse libre de contaminantes (agua y aceite), evaluado bajo la norma ASTM D4285.

El abrasivo usado debe de ser compatible con los requerimientos de la norma SSPC-AB1, debiendo la conductividad ser inferior a 1000 micro siemens/cm.

El proceso de arenado o preparación superficial, se realiza para abrir los poros de las planchas, para una mejor adherencia de la pintura, asimismo también se realiza para limpiar de contaminantes visibles (grasas, aceites, escoria, etc.).

Para el proceso de arenado deberá proteger con cinta los bordes a soldar) según las especificaciones del proyecto, la duración de esta etapa dependerá de la cantidad de equipos y disponibilidad.

Mediante el empleo de aire comprimido (seco y limpio) y arena fina, ayudados con escobillones de cerdas duras limpios y aspiradoras industriales de ser necesario, se debe remover todo residuo de abrasivo y polvo remanente de la preparación de superficie. Se deberá verificar que el nivel de polvo luego de limpiada la superficie.

#### **4.19.7. Pintura base de planchas (interior y exterior)**

Se realizará la aplicación de pintura, de la primera capa de imprimante inorgánico de zinc (pintura de base). Sobre la superficie preparada (limpieza con chorro abrasivo grado al metal blanco según (SSPC-SP5) y si las condiciones ambientales son favorables, aplique mediante un equipo Airless (equipo de pintura de alta presión).



La aplicación de capa base al interior del tanque, será una capa uniforme de imprimante inorgánico 3 mills seco, la pintura en el interior será ZINC CLAD 60 (A + B), que es un primer inorgánico de zinc, suministrado en dos componentes (A y B), base líquida y polvo de zinc, que deben ser mezclados al momento de su uso. Brinda una extraordinaria y duradera protección galvánica del acero al carbono y evita la progresión corrosiva bajo la película en caso de daños, a la pintura se le aplicara un diluyente P30, al 20% del consumo de la pintura por galón, con un rendimiento practico de 21.3 m<sup>2</sup> por galón.

La aplicación de capa base al exterior del tanque, será una capa uniforme epoxy de 5 mills seco, la pintura en el exterior será MACROPOXY 646, que es una pintura epoxy modificada auto imprimante, suministrado en dos componentes, de altos sólidos en volumen, el cual otorga una excelente protección de cantos, esquinas y soldadura.

Su rápido secado la hace ideal para el pintado de estructuras y equipos en taller. Tiene buena adherencia sobre superficies marginalmente preparadas, esta pintura será mezclada con un diluyente epóxido P33, al 20% del consumo de la pintura por galón, con un rendimiento practico de 12.9 m<sup>2</sup> por galon.

A las 5 horas de secado (21°C), considerando que la ventilación sea la adecuada mida los espesores de película seca según la norma SSPC-PA2, el espesor seco debe de ser 3.0 mills promedio. Si no se alcanza el espesor mínimo aplique una capa adicional del imprimante. Tener en cuenta que el tiempo de repintado máximo entre capas estará indicado de acuerdo a las especificaciones técnicas del producto a usarse.

Para la aplicación de las pinturas se debe usar los equipos Airless recomendados en la hoja técnica de los productos, las mangueras deben estar limpias y las boquillas de pintado deben ser nuevas, con diámetro de orificio según lo indican las especificaciones



técnicas del producto a utilizar el ancho de abanico deberá ser seleccionado de acuerdo al elemento a pintar.

La medida de espesor de la película de pintura, será mediante un equipo medidor de pintura especial llamado ELCOMETER.

#### **4.19.8. Embajale, traslado de planchas, perfiles, materiales consumibles a obra**

Las planchas ya en capa base de pintura serán embaladas y transportadas a campo debidamente cargadas, en el caso de las planchas roladas, estas estarán debidamente calzadas con “cama” acondicionada para que no pierda su radio de rolado.

#### **4.20. DISEÑO DE LA SOLDADURA REQUERIDA PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL TANQUE**

De acuerdo con la Norma API 650, la selección de los electrodos, debe hacerse según la resistencia a la tensión mínima del material, de la siguiente manera:

Si la resistencia a la tensión mínima del material a soldar es menor que 80 Ksi, se deben usar electrodos para soldadura manual al arco eléctrico de las serie E60XX y E70XX establecidos en la última edición del AWS A5.1 Especificación de Electrodos para Acero al Carbono con Soldadura al Arco Metálico Protegido.

En este proyecto se utilizan soldadura según clasificación AWS:

Para la unión de las planchas, el pase de la raíz será con electrodo E6010, conformada por su alta resistencia y tipo de revestimiento de alta celulosa, sodio, con posiciones de aplicación en forma plana, vertical, horizontal, techo sobre cabeza, a la vez se puede trabajar en corriente eléctrica continua.

Mientras que para los pases de relleno del cordón de soldadura para las uniones de las planchas del tanque se utilizaran según AWS, electrodos 7010, conformada por un revestimiento bajo hidrogeno, potasio hierro en polvo, aplicando en diferentes posiciones como son en forma plana, vertical, horizontal, techo o sobre cabeza, a la vez se puede trabajar en corriente eléctrica alterna o continua.

Para la soldadura de los elementos que conforman el tanque, estos deberán tener un esfuerzo de tensión menor que 550 MPa (80 Ksi) y adicionalmente los electrodos de soldadura por electrodo revestido (SMAW) serán de acuerdo a las clasificaciones de series E60XX y E70XX, para trabajar con aceros de  $S_y$  de 36 a 60 Ksi, tal y como indica la Norma API 650.

El esfuerzo en el material base no debe ser mayor que  $0.60 \cdot S_y$  en tensión (McCormac, 2012).

**Tabla 21.** Esfuerzos permisibles en soldadura

<b>TIPO DE SOLDADURA Y ESFUERZO</b>	<b>ESFUERZOS PERMISIBLE</b>	<b>RESISTENCIA REQUERIDA DE LA SOLDADURA</b>
<b>Soldadura de ranura de penetración completa</b>		
Tensión perpendicular al área efectiva	Igual a la del metal base	Debe usarse metal de soldadura compatible
Comprensión perpendicular área efectiva	Igual a la del metal base	
Tensión o comprensión paralela al área efectiva	Igual a la del metal base	Puede usarse metal de soldadura con resistencia igual o menor que la del metal de la soldadura compatible
Cortante en el área efectiva	30% de la resistencia nominal a tensión del metal de soldadura (kg/plg 2)	
<b>Soldadura de ranura de penetración parcial</b>		
Comprensión perpendicular al área efectiva	Igual a la del metal base	Puede usarse metal de soldadura con resistencia igual o menor que



---

Tensión o compresión paralela al eje de la soldadura	Igual a la del metal base	la del metal de la soldadura compatible
Cortante paralelo al eje de la soldadura	30% de la resistencia nominal a tensión del metal de soldadura (kg/plg 2)	
Tensión perpendicular al área efectiva	30 % de la resistencia nominal a tensión del metal de soldadura (kg/plg2), excepto que el esfuerzo de tensión en el metal base no exceda el 60% de F y del metal base	
<b>Soldadura de filete</b>		
Cortante en el área efectiva	30% de la resistencia nominal a tensión del metal de soldadura (kg/plg 2)	Puede usarse metal de soldadura con resistencia igual o menor que la del metal de la soldadura compatible
Tensión o compresión paralela ala eje de la soldadura	Igual a la del metal base	
<b>Soldadura de tapón y de muesca</b>		
Cortante paralelo a las superficies de contacto en el área efectiva	30% de la resistencia nominal a tensión del metal de soldadura (kg/plg 2)	Puede usarse metal de soldadura con resistencia igual o menor que la del metal de la soldadura compatible

---

Fuente: McCormac.

#### 4.20.1. Diseño de juntas de soldadura

Los diseños de junta para la conformación del tanque se seleccionan a en base a los criterios establecidos por la AWS. El diseño de junta para la conformación del cuerpo y del techo del tanque será con soldadura a tope, de doble lado y de penetración completa, como se indicar en la figura 24.

Soldadura de ranura cuadrada (1) Unión a tope (B)									
$E_1 + E_2$ no deben exceder $\frac{3T_1}{4}$									
Proceso de Soldadura	Designación de la unión	Espesor del metal base (U=ilimitado)		Penetración de la ranura			Posiciones de soldaduras permitidas	Tamaño total de la soldadura $E_1 + E_2$	Notas
		$T_1$	$T_2$	Abertura de la raíz	Tolerancias				
					Según detalle (VER 3.12.3)	Según tal como queda (VER 3.12.3)			
SMAW	B-P1b	$\frac{1}{4}$ max	-	$R = \frac{T_1}{2}$	+1/16 - 0	$\pm 1/16$	Todas	$R = \frac{3T_1}{4}$	5

**Figura 24.** Detalle de la unión soldada ranurada de penetración completa precalificada

Fuente: AWS 2010, Código de soldaduras en estructuras de acero.

El diseño de junta para la conformación del piso del tanque será con soldadura de filete en base a las recomendaciones de la norma API 650.

Adicionalmente se debe considerar la nomenclatura estandarizada para la identificación de juntas precalificadas.

<p><b>Símbolos para tipos de unión</b></p> <p>B - Unión a tope</p> <p>C - Unión de esquina</p> <p>T - Unión en T</p> <p>BC - Unión a tope o de esquina</p> <p>BTC - Unión a tope en T o de esquina</p>	<p><b>Procesos de soldaduras</b></p> <p>SMAW= Soldadura al arco con metal protegido</p> <p>GMAW= Soldadura al arco con gas con metal</p> <p>LCAW= Soldadura al arco con fundente en el núcleo del metal</p> <p>SAW= Soldadura al arco sumergido</p>
<p><b>Símbolos para el espesor del metal base y penetración</b></p> <p>P= (PJP) Penetración parcial de la unión</p> <p>L= Espesor limitado para (CJP) penetración completa de la unión</p> <p>U= Espesor ilimitado para (CJP) penetración completa de la unión</p>	<p><b>Posiciones de Soldaduras</b></p> <p>F= Plana</p> <p>H= Horizontal</p> <p>V= Vertical</p> <p>OH= Sobre cabeza</p>
<p><b>Símbolos para tipos de soldadura</b></p> <p>1= Soldadura de ranura cuadrada</p> <p>2= Soldadura de ranura simple en V</p> <p>3= Soldadura de ranura doble en V</p> <p>4= Soldadura de ranura con bisel simple</p> <p>5= Soldadura de ranura con bisel doble</p> <p>6= Soldadura de ranura simple en U</p> <p>7= Soldadura de ranura doble en U</p> <p>8= Soldadura de ranura simple en J</p> <p>9= Soldadura de ranura doble en J</p> <p>10= Soldadura de ranura biselada y enflanchada</p>	<p><b>Dimensiones</b></p> <p><b>R</b>= Abertura de la raíz</p> <p><math>\alpha</math> , <math>\beta</math> = Ángulos de la ranura</p> <p>f = Superficie de la raíz</p> <p>r = Radio de la ranura en J o en U</p> <p>S, S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub> = Soldadura de la ranura de penetración parcial Profundidad de la ranura</p> <p>E, E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub> = Soldadura de la ranura de penetración parcial</p> <p>Tamaños correspondientes a S, S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub> respectivamente</p>
<p><b>Símbolos para procesos de soldadura si no son SMAW</b></p> <p><b>S</b> – <b>SAW</b> = Soldadura por arco sumergido</p> <p><b>G</b> – <b>GMAW</b> = Soldadura al arco con metal con gas</p> <p><b>F</b> – <b>FCAW</b> = Soldadura al arco con fundente en el núcleo del metal</p>	<p><b>Designaciones de uniones</b></p> <p>Las letras minúsculas por ejemplo, a, b, c, etc. Se usan para diferencias entre las uniones que de otro modo tendrán la misma designación de unión.</p>

**Figura 25.** Identificación de juntas precalificadas

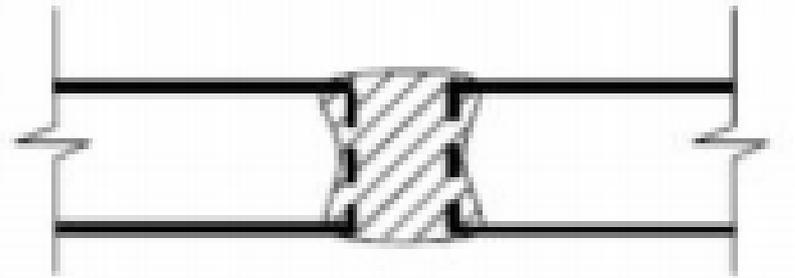
Fuente: AWS 2010, Código de soldaduras en estructuras de acero.

## 4.21. CÁLCULO DEL PESO DE SOLDADURA REQUERIDO EN EL DISEÑO PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL TANQUE

Para cumplir con las normativas de construcción en el diseño del tanque, bajo un procedimiento de soldadura correcto para este tipo de tanques de almacenamiento, se recomienda elaborar el procedimiento de soldadura (WPS) y la calificación del soldador (WPQ), por parte de un certified welding inspector (CWI), los mismos que se debe seguir para un correcto proceso de construcción del tanque de almacenamiento, cumpliendo con los parámetros y estándares necesarios para la fabricación del mismos. Sin embargo, a continuación, se presenta los cálculos del peso de soldadura requerido para la construcción del tanque.

### 4.21.1. Soldaduras verticales

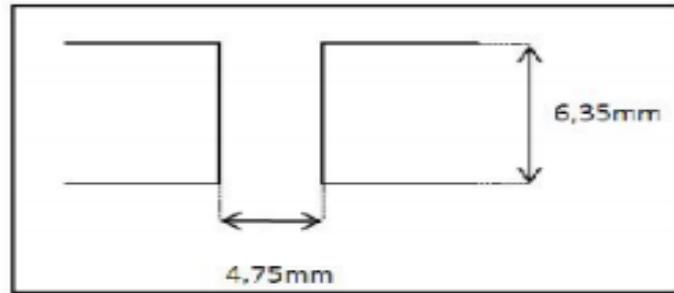
Para el diseño de juntas verticales se consideró una junta vertical sencilla con penetración completa como se muestra en la figura:



**Figura 26.** Soldaduras en junta vertical a tope

Fuente: AWS 2010, Código de soldaduras en estructuras de acero.

Para el cálculo se considerará las siguientes dimensiones:



**Figura 27.** Diseño de la junta vertical a tope

Fuente: AWS 2010, Código de soldaduras en estructuras de acero.

De esta manera se puede considerar el área donde se depositará el material producto de la soldadura.

$$\text{Área de Junta de Soldadura Vertical} = (4,75 \times 6,35) \text{ mm}^2$$

$$\text{Área de Junta de Soldadura Vertical} = 3,02 \text{ mm}^2$$

$$\text{Área de Junta de Soldadura Vertical} = 0,00003017 \text{ m}^2$$

Tomando en cuenta que por cada anillo se tendrán 4 juntas verticales de 1.80 m, se obtiene un total de 28.80 m de longitud de cordón de soldadura

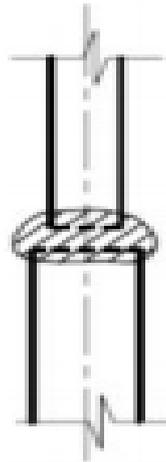
Entonces el volumen requerido de material para las juntas verticales  $V_v$  será:

$$V_v = (28,80 \times 0,00003017) \text{ m}^3$$

$$V_v = 0,000866 \text{ m}^3$$

#### 4.21.2. Soldaduras horizontales

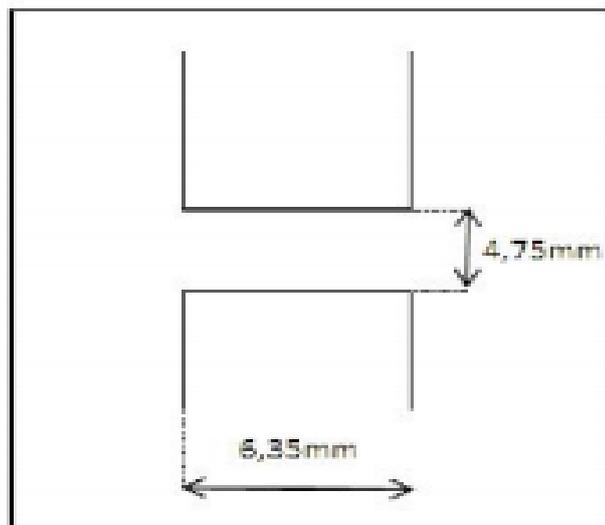
Para el diseño de juntas horizontales se consideró una junta horizontal a tope y penetración completa como se muestra en la figura:



**Figura 28.** Diseño de la junta horizontal a tope con penetración completa y ranura rectangular

Fuente: Estándar API 650 (2020).

Para el cálculo se considerará las siguientes dimensiones:



**Figura 29.** Diseño de la junta horizontal a tope

Fuente: Estándar API 650 (2020).

De esta manera se puede considerar el área donde se depositará el material producto de la soldadura.

$$\text{Area de Junta de Soldadura Horizontal} = (4.75 * 6.35) \text{ mm}^2$$

$$\text{Area de Junta de Soldadura Horizontal} = 30.17 \text{ mm}^2$$

$$\text{Area de Junta de Soldadura Horizontal} = 0.00003017 \text{ m}^2$$

Tomando en cuenta que se tendrá 5 soldaduras perimetrales para la construcción del tanque, se obtiene un total de 120.95 m de longitud de cordón de soldadura

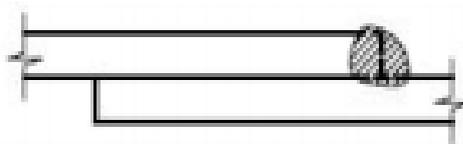
Entonces el volumen requerido de material para las juntas horizontales  $V_h$  será:

$$V_h = (120.95 * 0.00003017) \text{ m}^3$$

$$V_h = 0.00364 \text{ m}^3$$

#### 4.21.3. Soldaduras planas

Para el diseño de juntas planas se consideró una junta traslapada sin bisel como se muestra en la figura:



**Figura 30.** Diseño de la junta plana de filete traslapada.

Fuente: Estándar API 650 (2020).

Para el cálculo se considerará un triángulo isósceles de 6 mm de longitud por catetos, equivalentes al espesor de la plancha.

Por lo tanto, el área del diseño de la junta será  $35.24 \text{ mm}^2$  equivalentes a  $0.00003524 \text{ m}^2$

Tomando en cuenta que se tendrá 2 juntas perimetrales para la soldadura entre el piso y el primer anillo del tanque, más la soldadura de las planchas del fondo del tanque, más las mismas que se tendrá para el techo del tanque, en total se obtiene una longitud igual a 147.12 m.



Entonces el volumen requerido de material para las juntas planas  $V_p$  será:

$$V_p = (147.12 * 0.00003524) \text{ m}^3$$

$$V_p = 0.00782 \text{ m}^3$$

Ahora, con el volumen calculado para cada uno de los diseños de juntas y posiciones de soldadura, se obtiene un volumen total de soldadura de:

$$\text{Volumen Total} = V_v + V_h + V_p$$

$$\text{Volumen Total} = 0.000866 \text{ m}^3 + 0.00364 \text{ m}^3 + 0.00782 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen Total} = 0.01232 \text{ m}^3$$

Adicionalmente se considera la densidad de los electrodos como  $7850 \text{ kg/m}^3$

Entonces obtenemos un peso teórico de  $96.76 \text{ kg}$ .

Tomando en cuenta que la eficiencia del proceso SMAW para la deposición de electrodos es del 75% se tendrá un peso de  $120.95 \text{ kg}$  de electrodos.

#### **4.22. ESPECIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)**

La Especificación del Procedimiento de Soldadura (WPS) se tiene que relacionar con las variables esenciales, no esenciales y suplementarias (estas últimas no se califican), así como listar los rangos aceptables de las mismas cuando se desarrollen los trabajos de soldadura.

Para desarrollar un procedimiento de soldadura se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones generales:



- Identificación (Nombre de la compañía, persona que realiza el WPS, Número de WPS, fecha, PQR, Código (ver consideraciones técnicas) y persona que realiza el WPS)
- Proceso de soldadura
- Diseño de la junta
- Metal Base
- Metal de aporte
- Posiciones de soldadura
- Pre calentamiento y temperatura entre pases
- Tratamiento de postcalentamiento
- Gas de protección
- Características eléctricas
- Técnica
- Soldadura provisional (punteado)
- Detalles de soldadura
- Martilleo
- Calor de entrada
- Preparación del segundo lado



#### **4.23. REGISTRO DE CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO (PQR)**

En este documento deberá tener los valores reales de las variables del procedimiento de soldadura usado para ejecutar una calificación en una probeta soldada.

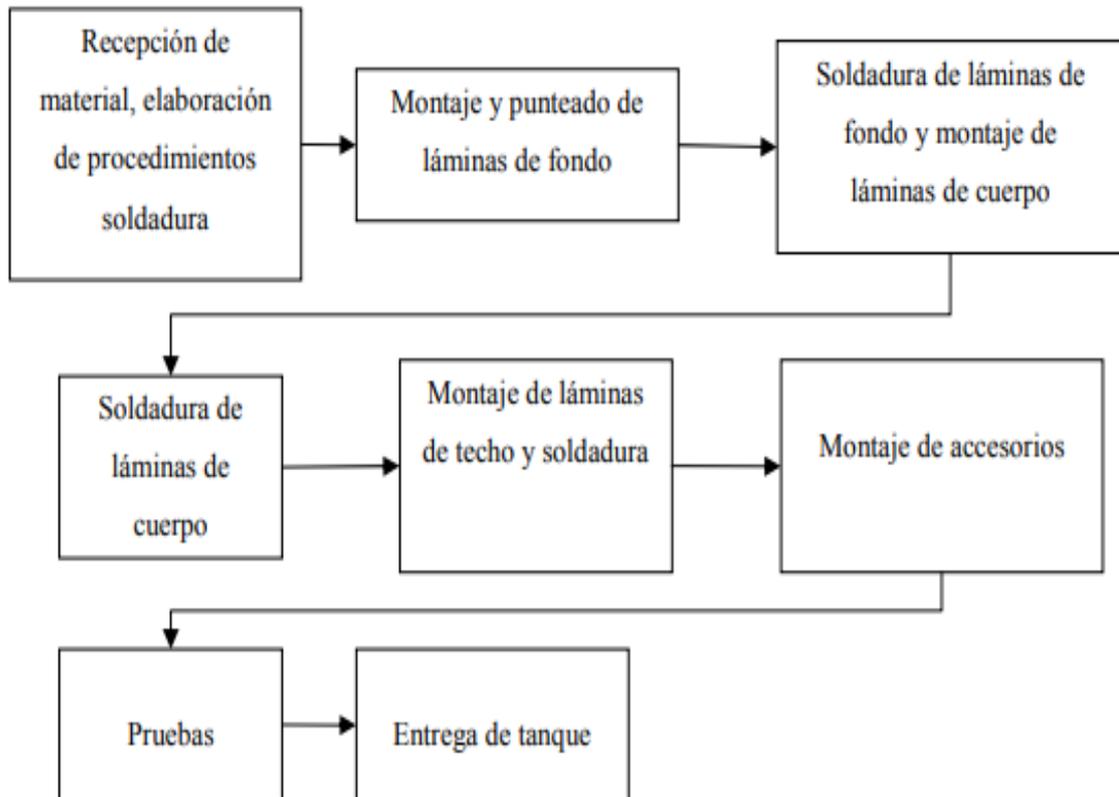
- Variables esenciales de los procesos usados en el procedimiento
- Variables suplementarias cuando se requiera la prueba de impacto
- El registro de variables no esenciales
- Información adicional que se considere necesaria
- El registro de los resultados de los ensayos realizados

#### **4.24. REGISTRO DE CALIFICACIÓN DE HABILIDAD DEL SOLDADOR (WPQ)**

La calificación para la habilidad del soldador requiere que, como fabricante, se mantenga un registro de los resultados obtenidos en las calificaciones, estos registros (WPQ's) tienen que ser certificados por él y deben estar disponibles en cualquier momento. Se necesita un soldador homologado de 4G mínimamente.

#### **4.25. CONSIDERACIONES A TOMAR EN CUENTA EN EL DISEÑO PARA EL MONTAJE EN CAMPO SEGÚN API 650**

Este apartado se realiza según la Sección 7 de la Norma API 650 13th Edición, año 2020 del cual se siguen las siguientes indicaciones de las cuales se van a mencionar sólo las aplicables a este caso:



**Figura 31.** Procedimientos principales de diseño en la construcción de tanques

La cimentación debe ser entregada por el cliente y debe cumplir los parámetros para soportar al tanque lleno según el diagrama de cargas obtenido durante el diseño y entregado al cliente como entregable de la ingeniería. Para aseguramiento de la calidad del trabajo de cimentación se deben comprobar las tolerancias de nivel y se debe informar de las disconformidades y queda a criterio del cliente si es que éstas deben ser reparadas o no. Una vez aceptada la base por el fabricante del tanque ésta pasa a ser responsabilidad del fabricante.

Para el montaje está permitido el soldeo a las planchas de fondo, envolvente, techo, etc, piezas o accesorios temporales los cuales deben ser retirados después de utilizarlos y la superficie donde éstos fueron adheridos debe ser totalmente limpia hasta la conformidad del inspector o del cliente.

#### **4.26. DETALLES DE LA SOLDADURA EN EL DISEÑO**

Antes de comenzar con la soldadura, se debe considerar que los soldadores y los procedimientos de soldadura a utilizar en cada una de las uniones del tanque deben ser homologados y deben estar de acuerdo a los parámetros de la Sección 9 de la Norma API 650 13th Edición, año 2020 y de la Sección IX del Código ASME.

Los procesos aceptados para la unión de las planchas pueden ser soldadura de arco sumergido (SAW), soldadura de por arco con núcleo de fundente (FCAW), soldadura por arco con electrodo (SMAW), entre otros que estén mencionados en la Norma API 650 13th Edición, año 2020, para este caso en especial se van a usar los tres procesos mencionados.

No se debe aplicar soldadura a ninguna de las uniones cuando éstas se encuentran húmedas o con contaminación, de ser el caso que se produzca lluvia o algún factor que produzca un contaminante en las uniones se debe limpiar mecánicamente las uniones antes de aplicar la soldadura.

Después de cada aplicación de soldadura, ésta debe ser limpiada antes de dar la siguiente pasada, se debe asegurar de que la fusión de la soldadura esté de acuerdo al punto 7.2.1.5 de la Norma API 650 13th Edición, año 2020 y la inspección visual deben estar de acuerdo al punto 7.2.16, el proceso de sujeción de las planchas para situarlas finalmente debe ser aprobado por el cliente, debe considerarse que se debe dejar un espacio entre plancha y plancha para la penetración de la soldadura.

#### **4.27. MONTAJE DE FONDO**

Antes de proceder a hacer cualquier soldadura primero debe tenderse el fondo sobre la base en el siguiente orden:



- a) Se realiza primero el montaje y soldeo del anillo perimetral y se hace la inspección que indica la Norma API 650 13th Edición, año 2020 (Radiografía o ultrasonido según elección del cliente.
- b) Una vez realizado el montaje del anillo se procede a realizar la ubicación de las planchas del resto del fondo, es importante que éstas sean ubicadas en su totalidad antes de que se empiecen a realizar las uniones soldadas, esto es para asegurar que los traslapes de las planchas de fondo sean iguales por todos lados.

Se debe considerar que el traslape de las planchas deben ir de acuerdo con la pendiente de la base para que ésta no se pierda por un mal traslape y el sumidero no pierda su funcionalidad.

El soldeo de las planchas del fondo se hará de tipo filete y debe tenerse en consideración la distribución del calor al momento del soldeo, esto para que las tensiones generadas producto del calentamiento y el enfriamiento del metal no distorsione el fondo y por ende éste tienda a adoptar una posición de hundimiento o hinchamiento.

#### **4.28. MONTAJE DE ENVOLVENTE**

Para el montaje de la envolvente se considera que las planchas deben unirse a tope, y deben ser emparejadas con precisión, este emparejamiento debe mantenerse durante toda la operación de la soldadura, debido a que este tanque no tiene espesores mayores de 16 mm, la distancia máxima entre plancha y plancha en una unión vertical no debe ser mayor del 10% del espesor de éstas ó 3 mm, lo que sea menor.

En las juntas horizontales, la plancha inferior no debe sobresalir más del 20 % de la plancha inferior ó 1.5 mm, lo que sea menor.



El reverso de las juntas a tope soldadas con doble soldadura debe ser limpiado a fondo de manera que deje la superficie expuesta satisfactoria para la fusión del metal soldado que se va a añadir antes de la aplicación del primer reborde al segundo lado. Para este caso, esta limpieza se hará por esmerilado.

Para este caso, debido al diámetro del tanque y a las características de éste, se usa el sistema de gateo para la erección del tanque, esto implica que el tanque se construye desde arriba hacia abajo, esto con el fin de evitar trabajos en altura, gastos de alquileres de andamios, rapidez en el montaje, etc. Antes de hacer cada elevación se considera que cada anillo debe estar con las uniones soldadas terminadas y liberadas, es decir, con todas las pruebas de inspección que la Norma API 650 13th Edición, año 2020 y el cliente exijan.

#### **4.29. UNIÓN ENVOLVENTE – FONDO**

Para la unión de anillo – envolvente se debe realizar primero una limpieza e inspección visual alrededor de toda la unión para asegurarse de que ésta no cuenta con imperfecciones que puedan interferir con la alineación de la envolvente con el fondo, una vez hecha la inspección y de requerirse se efectuará una limpieza hasta que quede óptima para la unión.

La unión de fondo – envolvente debe quedar fija durante todo el proceso de soldeo, no debe quedar mucho espacio entre las uniones, la soldadura se realiza por dentro y por fuera en pase de filete.

Una vez terminada la unión se procede a realizar las inspecciones necesarias según lo indica la Norma API 650 13th Edición, año 2020 o el cliente.



NOTA: A pesar de que los métodos de inspección se detallan más adelante, para la unión de fondo – envoltente se realizan consideraciones especiales en cuanto a su inspección, esto queda detallado en el punto 7.2.4.1 de la Norma API 650 13th Edición, año 2020, el cual indica que se realizarán las siguientes inspecciones:

- a) Partículas magnéticas.
- b) Aplicar un solvente líquido penetrante a la soldadura y luego aplicar un revelador a la separación entre la envoltura y el fondo y examinar las fugas después de un tiempo mínimo de permanencia de una hora.
- c) Aplicar un penetrante de líquido soluble en agua a cada lado de la junta y luego aplicar un revelador al otro lado de la junta y examinar las fugas después de un tiempo mínimo de permanencia de una hora.
- d) Aplicar un aceite penetrante de alto punto de inflamación tal como diesel ligero a la separación entre la envoltente y el fondo, dejar reposar durante al menos cuatro horas y examinar la soldadura para detectar evidencia de poros.

#### **4.30. MONTAJE Y SOLDEO DEL TECHO EXTERNO FLOTANTE**

La Norma API 650 13th Edición, año 2020 no indica el método de montaje de ningún tipo de techo, lo deja a criterio del fabricante.

Una vez terminadas todas las uniones del fondo y la envoltente del tanque se proceden a realizar el montaje del techo flotante externo, se entiende que antes de este proceso se debe retirar todo el equipo del montaje y el tanque debe quedar totalmente vacío. Para la fabricación de los pontones se realizan los alineamientos de la misma manera que la envoltente, las uniones de planchas verticales y horizontales se realizan de



la misma forma que la unión fondo – envolvente teniendo en consideración las juntas oblicuas.

El montaje y el soldeo del deck central se hacen usando las mismas consideraciones que la parte central del fondo.

#### **4.31. MÉTODOS DE INSPECCIÓN, EXAMINACIÓN Y REPARACIONES A CONSIDERARSE EN EL DISEÑO DEL TANQUE**

Todas las inspecciones en el tanque se realizan según el punto 7.3.1 de la Norma API 650 13th Edición, año 2020, en el cual indica los métodos de inspección tanto para los trabajos en taller como para los trabajos de montaje y soldeo realizados en campo, entonces se tiene:

##### **a) Soldaduras a tope**

Este apartado se hace según el punto 7.3.2.1 de la Norma API 650 13th Edición, año 2020. Se requiere penetración y fusión completas para las soldaduras a tope que se enumeran en el punto 8.1.1 de la Norma API 650 13th Edición, año 2020 que requieren examen radiográfico. El examen de la calidad de las soldaduras se debe realizar mediante el método radiográfico especificado en el punto 8.1 de la Norma API 650 13th Edición, año 2020 o un método alternativo de común acuerdo entre el cliente y el fabricante o en el Anexo U de la Norma API 650 13th Edición, año 2020. Además del examen radiográfico o ultrasónico, estas soldaduras también deben ser examinadas visualmente. Además, el inspector del cliente puede examinar visualmente todas las soldaduras a tope para verificar si existen grietas, huellas de arco, socavado excesivo, porosidad superficial, fusión incompleta y otros defectos. Los criterios de aceptación y reparación para el método visual se especifican en el punto 8.5 de la Norma API 650 13th Edición, año 2020.



**b) Soldadura de filete**

Este apartado se hace según el punto 7.3.2.2 de la Norma API 650 13th Edición, año 2020. Las soldaduras en filetes se deben examinar por el método de inspección visual. La soldadura final debe limpiarse de escorias y otras contaminantes antes del examen. Los criterios de aceptación y reparación del examen visual se especifican en el punto 8.5 de la Norma API 650 13th Edición, año 2020.

**c) Inspección y prueba del fondo del tanque**

Este apartado se hace según el punto 7.3.3 de la Norma API 650 13th Edición, año 2020. Una vez terminada la soldadura del fondo del tanque, las soldaduras y placas inferiores deben ser examinadas visualmente para detectar posibles defectos y fugas. Se debe prestar atención especial a áreas tales como soldaduras de sumidero a fondo, abolladuras, vueltas de tres placas, averías en la placa de fondo, huelgas de arco, áreas de extracción de fijación temporal y quemaduras de arco de soldadura. Los criterios de aceptación y reparación del examen visual se especifican en el punto 8.5 de la Norma API 650 13th Edición, año 2020. Además, todas las soldaduras deben ser probadas por uno de los siguientes métodos.

- a) Prueba de caja de vacío.
- b) Prueba de gas trazador.
- c) Después de haber unido al menos el curso más bajo de la envoltura al fondo, el agua (a ser suministrada por el cliente) será bombeada debajo del fondo. Se mantendrá una cabeza de 150 mm (6 pulgadas) de líquido con una presa temporal para sostener esa profundidad alrededor del borde del fondo. La línea que contiene agua para pruebas puede instalarse temporalmente pasando por una boca de



inspección a una o más conexiones de brida temporales en la parte inferior del tanque, o la línea puede instalarse permanentemente en la plataforma debajo del tanque.

**d) Inspección y prueba del sumidero del fondo**

Este apartado se hace según el punto 7.3.4 de la Norma API 650 13th Edición, año 2020. Las pruebas en el sumidero tienen 2 etapas, la primera en el taller, cuando éste es fabricado y la segunda en el campo, cuando éste es montado:

Para la fabricación en taller se debe realizar la inspección visual a las uniones soldadas, se debe usar también el método de tintes penetrantes para la inspección, luego se realizará la prueba de diesel caliente o partículas magnéticas para el fondo de éste.

Para la prueba de campo, se le realiza la inspección visual, tintes penetrantes y la caja de vacío a la unión de éste con el fondo del tanque.

**e) Pruebas para la envolvente**

Este apartado se hace según el punto 7.3.6 de la Norma API 650 13th Edición, año 2020 Durante el montaje y soldeo de la envolvente se deben verificar los siguientes aspectos en las uniones soldadas:

- a) Al momento de terminar cada unión soldada se debe hacer las comprobaciones de peaking y banding, las cuales consisten en medir con una plantilla que está especialmente acondicionada para el trabajo (al radio del tanque y con un nivel para medir la verticalidad local del tanque) cada una de las uniones entre planchas, tanto vertical como horizontal para asegurarse de que el tanque está siendo fabricado al diámetro solicitado y siguiendo los lineamientos de verticalidad exigidos por la Norma API 650 13th Edición, año 2020.



- b) Se debe realizar la inspección por tintes penetrantes al 100% del pase raíz de las uniones soldadas, tanto verticales como horizontales; de encontrarse algún defecto en la soldadura, es responsabilidad del fabricante reparar cada observación que se encuentre hasta lograr la conformidad según la Norma API 650 13th Edición, año 2020.
- c) Se debe realizar pruebas radiográficas al 20% de las uniones soldadas de la envolvente, las placas deben ser de 30 cm x 30 cm y la ubicación de éstas serán elegidas por el cliente o su inspector; en caso de que un soldador obtenga más del 10% de sus soldaduras observadas por este tipo de prueba, el cliente puede solicitar su reemplazo sin que el fabricante pueda oponerse.

**f) Pruebas para las planchas de refuerzo de las boquillas**

Este apartado se hace según el punto 7.3.5 de la Norma API 650 13th Edición, año 2020. Para cada boquilla instalada en la envolvente debe realizarse la prueba de presión de aire (prueba neumática) en la placa de refuerzo, esta prueba consiste en conectar una toma de aire desde una bomba y presurizar el refuerzo a 100 KPa ó 15 lbf/pulg<sup>2</sup> y se deja reposar por un periodo de 1 hora y luego asegurar de que éste no se despresuriza, para asegurar que no hay poros en la soldadura de éstos y que no se produzcan filtraciones por la soldadura de los refuerzos de las boquillas.

**g) Pruebas en el techo**

La Norma API 650 13th Edición, año 2020, no establece los métodos exactos para la inspección de un techo de cualquiera de los tipos ya nombrados; a continuación, se mencionan los métodos que se utilizarán para la inspección de las juntas para este techo externo flotante:



- a) Cada junta soldada debe ser inspeccionada visualmente y se debe reparar de ser el caso hasta la conformidad del cliente, luego debe hacerse la inspección por tintes penetrantes y hacerse las reparaciones del caso si es que es necesario.
- b) Una vez terminado el techo se debe de realizar la inspección por caja de vacío al 100% de las uniones soldadas de éste y debe hacerse hasta lograr la conformidad del cliente.
- c) Ya instalado el sello del techo, se debe realizar la prueba de hermeticidad a los pontones y la prueba de flotación de todo el techo flotante, esta prueba debe hacerse con agua tratada para no perder la garantía de los sellos o con el producto que se almacenará en el tanque.

**h) Prueba hidrostática**

Este apartado se hace según el punto 7.3.7 de la Norma API 650 13th Edición, año 2020, el cual para este caso indica lo siguiente:

- a) La prueba hidrostática debe realizarse antes de conectar el piping al tanque permanentemente, para esto deben sellarse todas las boquillas que se instalaron en el tanque ya sea instalando las válvulas a ellas y cerrándolas o instalando bridas ciegas en cada una de las boquillas. Para el caso de los manholes, éstos deben ser cerrados con sus tapas en su totalidad.
- b) Se realiza el llenado del tanque con agua tratada teniendo en cuenta los siguientes parámetros:
  - a. El llenado del tanque se hace en etapas, llenando la cuarta parte del nivel operativo por vez.



- b. Después de alcanzado cada nivel de llenado se detiene el llenado por 24 horas para que el tanque asiente, mientras tanto se va inspeccionando visualmente el tanque para verificar si existe algún tipo de filtración.
  - c. Una vez pasadas las 24 horas se hace una medición topográfica para verificar la variación en el asentamiento de la base del tanque y verificar la redondez que éste adquiere conforme se va llenando el tanque.
  - d. Una vez realizado el llenado de todo el tanque se toman las medidas finales del asentamiento y se comprueba con las máximas medidas de asentamiento según la Norma API 650 13th Edición, año 2020.
- c) Es recomendable que esta prueba se realice antes de montar el techo flotante dentro de él ya que de haber observaciones que levantar en la envolvente, la estructura interna del techo hará más difícil el proceso de reparación.

**i) Tolerancias dimensionales**

Este apartado se hace según el punto 7.5 de la Norma API 650 13th Edición, año 2020, el cual para este caso indica lo siguiente según sea el caso:

**Verticalidad**

Este apartado se hace según el punto 7.5.2 de la Norma API 650 13th Edición, año 2020, y se indica que el máximo valor permitido fuera de la verticalidad de la parte superior de la cáscara con respecto al fondo de la cáscara no debe exceder de la relación de  $1/200$  de la altura total del tanque. La ausencia de verticalidad en una sola envolvente no deberá exceder las variaciones permitidas de planitud y ondulación según se especifica en ASTM A6M / A6, ASTM A20M / A20 o ASTM A480M / A480, según corresponda.

## Redondez

Este apartado se hace según el punto 7.5.3 de la Norma API 650 13th Edición, año 2020, y se indica que los radios medidos a 0.3 m (1 ft) por encima de la soldadura de unión fondo - envolvente no deben exceder las siguientes tolerancias:

**Tabla 22.** Tolerancias de redondez

<b>Diámetro del Tanque m</b>	<b>Tolerancia radial mm</b>
< 12 (40)	±13
Desde 12 hasta < 45	±19
desde 45 hasta < 75	±25
≥ 75	±32

Fuente: Pejerrey (2017).

Para este caso en específico debido a que el tanque es de un diámetro de casi 8 metros, entonces, la tolerancia radial es de +/- 13 mm.

## Desviaciones locales

Este apartado se hace según el punto 7.5.4 de la Norma API 650 13th Edición, año 2020, y habla de las desviaciones locales que ocurren durante el montaje y el soldeo del tanque:

- A) Las desviaciones (peaking) en las juntas de soldadura verticales no deben exceder los 13 mm (1/2 in.). El pico en las juntas de soldadura verticales se determinará usando una tabla de barrido horizontal de 900 mm (36 pulgadas) de largo. La tabla de barrido se hará al radio nominal del tanque.
- B) Las desviaciones (banding) en las juntas de soldadura horizontales no deben exceder 13 mm (1/2 in.). Las bandas en las juntas de soldadura horizontales se



determinan usando una tabla de barrido vertical de borde recto de 900 mm (36 pulgadas) de largo.

### **Tolerancias en la base del tanque**

Este apartado se hace según el punto 7.5.5 de la Norma API 650 13th Edición, año 2020, y para este caso especifica lo siguiente:

Cuando se proporcione una pared de anillo de hormigón debajo de la cubierta, la parte superior de la pared de anillo debe estar nivelada dentro de  $\pm 3$  mm (1/8 in.) en cada 9 m (30 pies) de la circunferencia y dentro de  $\pm 6$  mm (1/4 pulgadas) en la circunferencia total medida desde la elevación media.

### **Tolerancias en las boquillas**

Este apartado se hace según el punto 7.5.6 de la Norma API 650 13th Edición, año 2020, y para este caso específico que las boquillas (excepto los agujeros de inspección) se deben instalar dentro de las siguientes tolerancias:

- a) Proyección especificada desde el exterior de la envolvente del tanque hasta la cara extrema de la brida:  $\pm 5$  mm (3/16 in.).
- b) Elevación de la boquilla de la envolvente o ubicación radial de la boquilla del techo:  $\pm 6$  mm (1/4 in.)
- c) Inclinación de la brida en cualquier plano, medido en la cara de la brida:
  - a.  $\pm 1/2$  grado para boquillas mayores que NPS 12 pulgadas de diámetro nominal
  - b.  $\pm 3$  mm (1/8 in.) En el diámetro exterior de la brida para boquillas NPS 12 y menor;



- d) Orificio del agujero del perno de la brida:  $\pm 3$  mm (1/8 in.).

### **Tolerancias en Manholes**

Este apartado se hace según el punto 7.5.7 de la Norma API 650 13th Edición, año 2020, y para este caso específico que los manholes y bocas de inspección se deben instalar dentro de las siguientes tolerancias:

- a) Proyección especificada desde el exterior de la carcasa hasta la cara extrema de la brida,  $\pm 13$  mm (1/2 pulg.)
- b) Elevación y ubicación angular,  $\pm 13$  mm (1/2 pulg.)
- c) Inclinación de la brida en cualquier plano, medido a través del diámetro de la brida,  $\pm 13$  mm (1/2 in.)

### **DISCUSIÓN**

La presente investigación tuvo como propósito diseñar un tanque atmosférico metálico de capacidad de 300 m<sup>3</sup> mediante la norma API 650, determinando para ello los parámetros óptimos de dimensionamiento y el proceso óptimo de manufactura para la construcción del tanque atmosférico, utilizando el Estándar API 650 13th Edición, año 2020. A continuación, se realiza una comparación con los estudios previos, referentes para esta tesis:

En contraste con la investigación de Concha (2018) en su proyecto de titulación diseño, fabricación y montaje de tanque de almacenamiento de Diesel de 200, 000 galones de capacidad, basado en la norma API 650, para la unidad minera Toquepala, departamento de Tacna” obtuvo resultados positivos, determinando los factores y parámetros que influyen a la hora de diseñar un tanque de almacenamiento, como son: las



cargas muertas, cargas vivas, esfuerzos permisibles, espesores de las planchas, materiales, entre otros factores, que se debe tener en cuenta al diseñar un tanque de almacenamiento, como son la capacidad de diseño, la capacidad de operación, el producto a almacenar, las presiones internas, condiciones ambientales, todas estas consideraciones trabajó bajo los rangos de temperatura específicos y cumpliendo con las normas bajo las cuales se rigen los tanques de almacenamiento. El autor coincide con nuestra investigación puesto que la aplicación correcta de los cálculos que la norma API 650 establece son esenciales para garantizar una larga vida útil al tanque ya que determina los factores y parámetros que influyen a la hora de diseñar como son la elección de material y junta de soldadura, diseño y cálculo del espesor del cuerpo, base y techo, selección de la unión cuerpo-base, anillo superior, accesorios, cálculo de carga del tanque y del viento.

En cuanto a la discusión con el trabajo referenciado de Noriega (2019) que tiene como objetivo establecer y proyectar un conjunto ordenado de procedimientos que permitan ejecutar y dar un seguimiento de inicio a fin a las actividades operativas que intervienen en el proceso de fabricación de 4 tanques de almacenamiento de hidrocarburos y 1 tanque de agua; de material estructural metálico ferroso, bajo normas, códigos, estándares y especificaciones técnicas, en donde sus resultados muestran que siguiendo los protocolos establecidos se logran desarrollar este tipo de proyectos metalmecánicos satisfactoriamente, realizando las actividades de forma segura y ordenada. Estos resultados coinciden con nuestro estudio, puesto que nosotros hemos demostrado que el uso del Estándar API 650 13th Edición, año 2020, es una herramienta fundamental que permite establecer un alto nivel de probabilidad que garantiza que el diseño del tanque atmosférico metálico de almacenamiento de diésel de 300 m<sup>3</sup> de capacidad no presente fallas en su construcción, el mismo que orienta al diseñador,



proporcionando herramientas útiles tanto para el diseño mecánico, métodos de fabricación, calificación y procedimientos de soldadura, montaje, inspección técnica, etc

Por otro lado, en contrastación con la investigación de Cortez (2016) la cual aporta información relevante con respecto a la presente investigación. El estudio realizado por el autor para calcular y diseñar un tanque de almacenamiento atmosférico para Gasolina de 90 octanos ha sido elaborado usando exclusivamente el Estándar API 650, 12th Edición, Año 2013 el cual es usado siempre cuando se requiere un proyecto de éste tipo, sin comprometer los estándares de alguno de los clientes de la empresa, obteniéndose un tanque de almacenamiento bastante genérico pero aun así cumpliendo los parámetros para ser aceptado por la Osinerming. Nuestro trabajo de investigación lo hicimos utilizando el Estándar API 650 13th Edición, año 2020 que no difiere mucho respecto a lo utilizado por Cortez, consideramos como una norma válida, fiable y realizable, el dimensionamiento hecho es comparable en cualquier parte del mundo, y su influencia tiende a dar estabilidad a la economía, ahorrar gastos, promover el empleo local en la zona de construcción y garantizar el funcionamiento rentable y seguro a las empresas metal mecánicas.

Finalmente, se comparó con la investigación realizada por Ticona (2016) la cual aporta valiosa información, puesto que nos abre un panorama para tener en cuenta cómo influyen diferentes factores al momento de realizar un control de calidad en tanques de almacenamiento y de la misma forma describe cuales son los criterios para seleccionar adecuados procedimientos de fabricación, con la finalidad de asegurar la aceptabilidad del producto final en nuestro caso para diseñar y construir un prototipo tanque atmosférico metálico de capacidad de 300 m<sup>3</sup> mediante la norma API 650.



## V. CONCLUSIONES

1. Se ha demostrado que el uso del Estándar API 650 13th Edición, año 2020, es una herramienta fundamental que permite garantizar que el diseño del tanque atmosférico metálico de almacenamiento de diésel de 300 m<sup>3</sup> de capacidad no presente fallas en su construcción, el mismo que orienta al diseñador, proporcionando herramientas útiles tanto para el diseño mecánico, métodos de fabricación, calificación y procedimientos de soldadura, montaje, inspección técnica, etc.
2. Las dimensiones sugeridas del tanque son diámetro:7.5 m, altura:7.2.m y número de anillos:4, utilizándose planchas de acero estructural ASTM A131/A, para el cuerpo, fondo y techo del tanque de un espesor de 6 mm, ancho 1800 mm y largo 12000 mm, utilizándose 2 planchas por cada anillo, para las tuberías y accesorios forjados se utilizó el acero ASTM A 53 Grado B, para los pernos se utilizó el acero A 325M/ A 325 y finalmente el tanque cumple las condiciones de estabilidad frente al viento y no necesita ser anclado.
3. Se determinó que el diseño de junta para la conformación del cuerpo y del techo del tanque es con soldadura a tope, de doble lado y de penetración completa. Para la unión de las planchas según AWS, el pase de la raíz es con electrodo E6010 y para los pases de relleno con electrodos E7010 con posiciones de aplicación en forma plana, vertical, horizontal, techo sobre cabeza, con corriente eléctrica alterna o continua, considerando que la eficiencia del proceso SMAW para la deposición de electrodos es del 75% se tiene un peso de 120.95 kg de electrodos y el personal para la manufactura debe tener la certificación de 4G en soldadura.



## VI. RECOMENDACIONES

1. En la formación académica del profesional Metalurgista transformativo se debe dar énfasis en la utilización de estándares nacionales e internacionales para familiarizarlo con el manejo de estos ya que fortalecen la competencia de un ingeniero., realizando cursos especializados para mejorar la capacidad de los ingenieros ya que, al ser nuestro campo tan amplio, el conocimiento que se va adquiriendo puede ser absorbido en menor tiempo y ser aplicado de manera correcta.
2. Es importante que antes de iniciar el diseño del tanque se conozcan muy bien los parámetros de operación tales como hostilidad de la zona, tipo de líquido a almacenar, temperatura de almacenaje del producto, caudal de ingreso y caudal de salida, conociendo todos estos parámetros se procede a la elección del tipo de acero y desde ese punto se parte al diseño del tanque, ya que bajo normas utilizadas en el país y en el extranjero, unificamos los resultados, colocando en competencia con cualquier otro diseño que compañías ya establecidas pudieran diseñar.
3. Se requiere una mayor cantidad de laboratorios de materiales calificados, los cuales permitirán que los estudiantes estén familiarizados con la calificación de procedimientos de construcción, aplicados a estas y otras obras, además de mejorar la competencia de los profesionales tanto a nivel local como internacional, así mismo para definir los procedimientos de soldadura es necesario que un especialista asista primero a la zona del proyecto ya que muchas veces se puede definir un procedimiento de soldadura que según la experiencia del diseñador es la óptima pero en la zona pueden existir dificultades que no permitan o que dificulten la correcta ejecución de éste procedimiento.



## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- American Welding Society (1991). *Welding Handbook. Welding Processes*. Vol. 2. 8va edición. USA.
- American Society of Mechanical Engineers (2017). *Código de calderas y recipientes sujetos a presión*, Sección IX.
- American welding society (2010). *Código de soldaduras en estructuras de acero*.
- Ángel, M. (2018). *Mejoramiento del procedimiento de construcción de tanques de acero para reducir los costos de construcción en la empresa. Lagos* (tesis). Universidad Nacional del Centro del Perú-Huancayo.
- Aranda, P. (2011). *Diseño de tanques de acero soldado apoyados sobre el suelo para almacenamiento de hidrocarburos* (tesis). Universidad Ricardo Palma. Facultad de Ingeniería Escuela Profesional de Ingeniería Civil. Lima, Perú.
- Aro, A. (2018). *Diseño y cálculo de tanques de almacenamiento inglesa* (tesis) [En línea]. Disponible en: <http://www.inglesa.com.mx/books/DYCTA.PDF>. [Accedido: 9-abril 2020].
- ASME - Section IX (2019). *Boiler and pressure vessel Code and international Code*.
- Avalos, G. (1997). *Estudio y construcción de tanques de almacenamiento de Petróleo* (tesis de pregrado). Facultad de Ciencias e Ingeniería, Quito.
- Cabezas, R. y Núñez, W. (2011). *Diseño y simulación de un tanque de techo fijo para almacenar petróleo de 3.000 bls de capacidad en la plataforma del pozo SACHA 192, ubicada en la Provincia de Orellana* (tesis de licenciatura). Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.



- Castillo, M. y Ochoa, N. (2008). *Diseño y cálculo de un tanque de almacenamiento de queroseno con diámetro 80ft x 40 ft de altura bajo la norma API 650* (tesis de licenciatura). Instituto Politécnico Nacional, México.
- De la Cadena, C. y Larrea, P. (2012). *Diseño de un tanque de almacenamiento de petróleo tipo techo flotante de 100000 barriles de capacidad para la empresa TESCA Ingeniería del Ecuador* (tesis de licenciatura). Escuela Politécnica Nacional, Ecuador.
- Espinoza, C. (2014). *Metodología de la investigación tecnológica - Pensando en sistemas* (2da ed.). (C. Espinoza, Ed.). Huancayo, Perú: Soluciones Gráficas SAC.
- Estándar API 650, 13th Edición, Año 2020 (2020). *Diseño, montaje y construcción de tanques soldados de acero*.
- Gonza, V. (2014). *Diseño y cálculo de un tanque para almacenamiento de petróleo para 3000 BBLs* (tesis de Ingeniero Mecánico). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba.
- Jimenez, C. (2012). *Diseño de un tanque de almacenamiento atmosférico de 20 000 BLS de capacidad* (tesis de Ingeniero Civil). Universidad Veracruzana, Facultad de Ingeniería, México.
- Larrea, P. (2012). *Diseño de un tanque de almacenamiento de petróleo tipo techo flotante de 100000 barriles de capacidad para la Empresa Tesca Ingeniería del Ecuador* (tesis de Ingeniería Mecánica). Escuela Politécnica Nacional, Ecuador.
- Pejerrey, G. E. (2017). *Diseño y cálculo de un tanque de almacenamiento atmosférico de 60,000 barriles para almacenaje de gasolina de 90 octanos en la selva*. Universidad Tecnológica del Perú. Lima, Perú.



PERUPETRO (2016). *Reporte estadística petrolera mensual setiembre 2016*. Pp. 10-20

Rodríguez, D. (2010). *Soldadura, tecnología y técnica de los procesos de soldadura*.

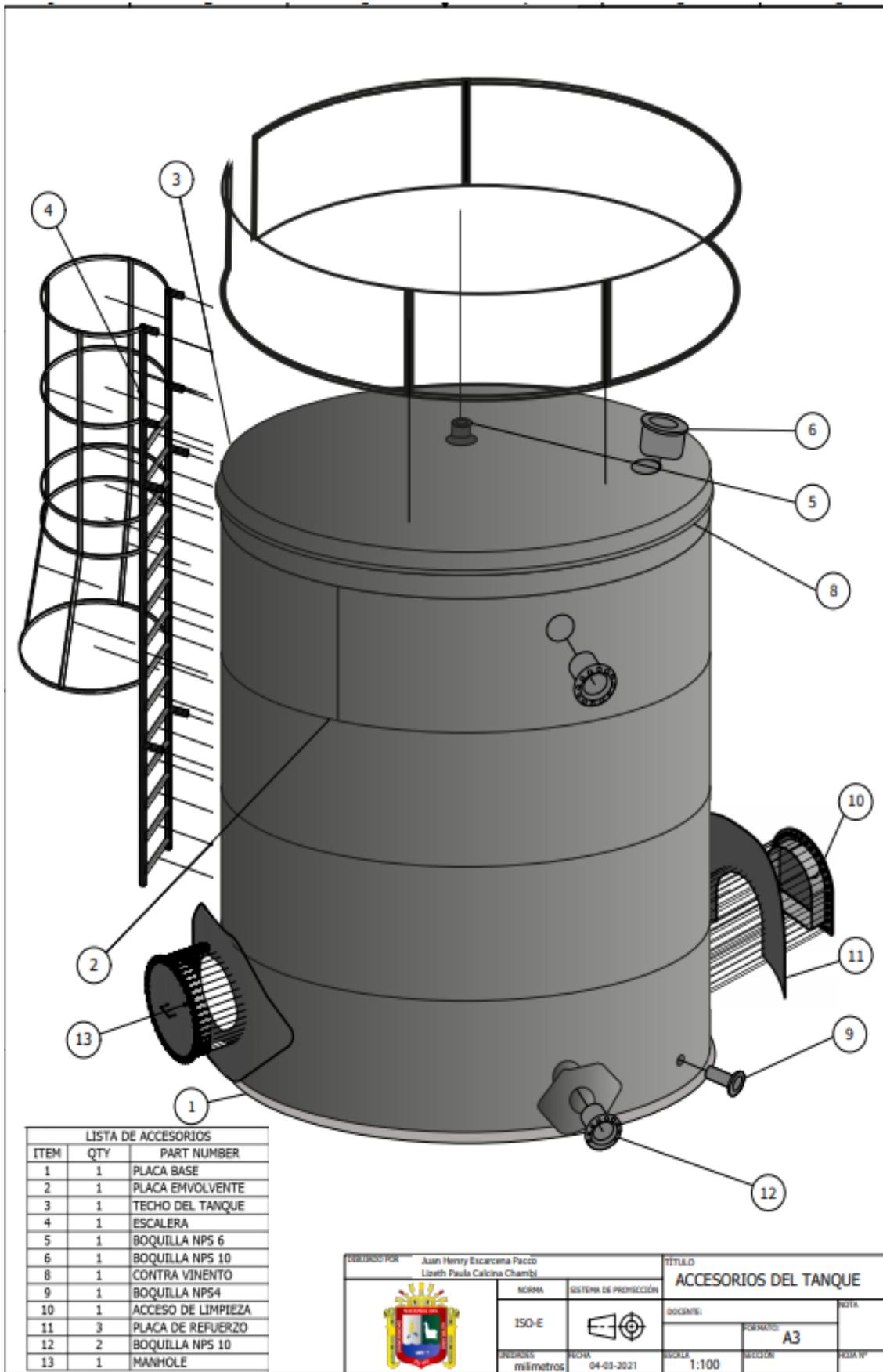
Saldaña, Y. (2020). *Diseño de tanques de agua con capacidad hasta 1200 m<sup>3</sup> con techo cónico bajo norma API 650 con Excel y SolidWorks* (tesis). Facultad de ingeniería, Escuela Académico Profesional de Ingeniería mecánica eléctrica- Universidad Cesar Vallejo-Perú.

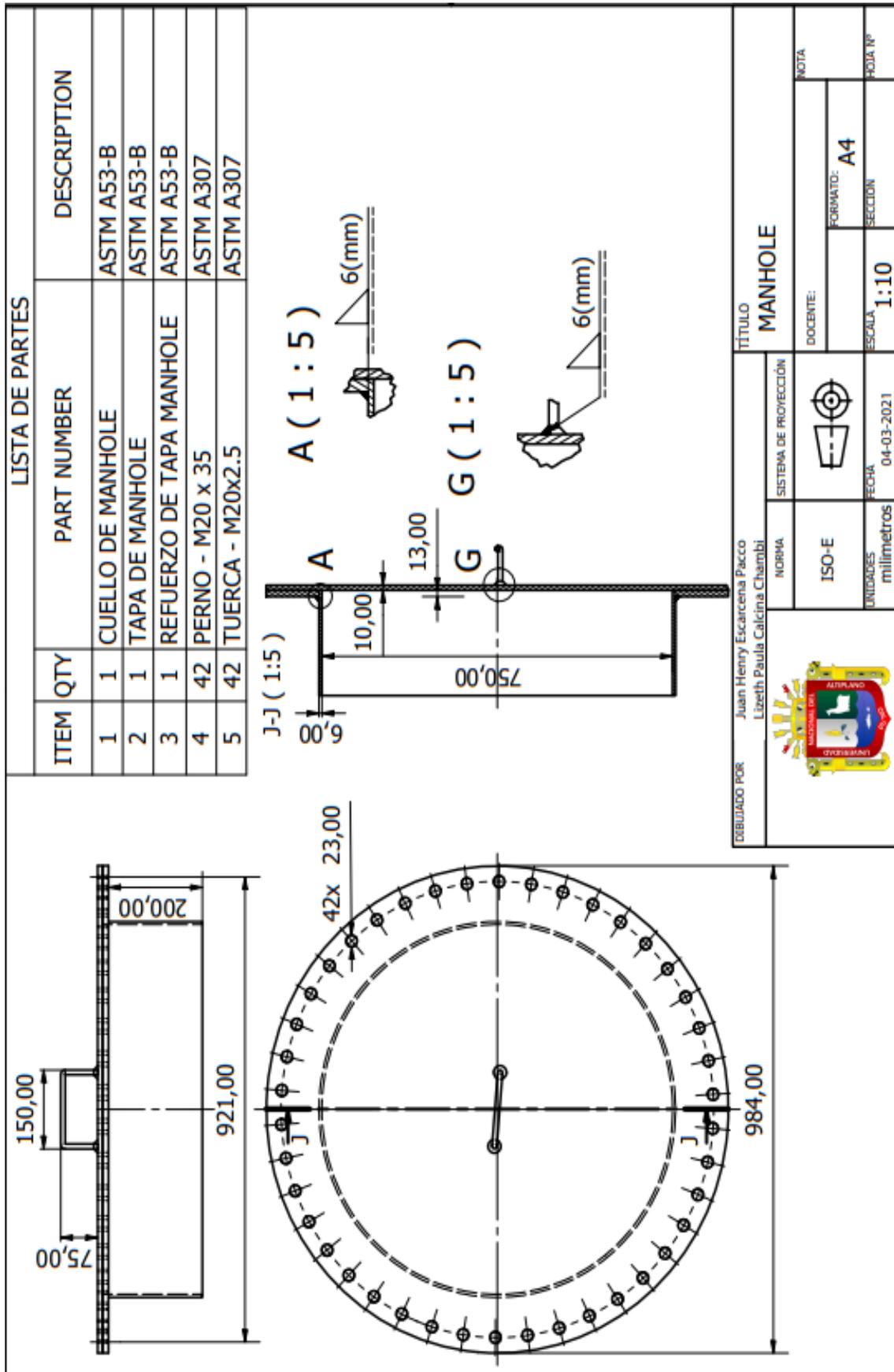
Sánchez, G. y Hugo, V. (2014). *Diseño y cálculo de un tanque para almacenamiento de petróleo para 3000 BBLs* (tesis de licenciatura). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador.

Ticona, P. (2016). *Aplicación de ensayos no destructivos y control de calidad en la fabricación de tanques de almacenamiento atmosférico empleando acero ASTM-A36 según norma API-650* (tesis). Universidad Nacional de San Agustín-Arequipa - Facultad de Ingeniería de Procesos Escuela Profesional de Ingeniería de Materiales.



# ANEXOS





LISTA DE PARTES BOQUILLA NPS 10			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	1	CUELLO DE BOQUILLA NPS 12	ASTM A53-B
2	1	REFUERZO DE TAPA NPS 12	ASTM A53-B
LISTA DE PARTES BOQUILLA NPS 4			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	1	CUELLO DE BOQUILLA NPS 4	ASTM A53-B
2	1	REFUERZO DE TAPA NPS 4	ASTM A53-B

**BOQUILLA NPS 4**

**BOQUILLA NPS 10**

**BOQUILLA NPS 10**

DISEÑADO POR Juan Henry Escarcena Pacco Lizeth Paula Calcina Chambi	NORMA ISO-E	SISTEMA DE PROYECCIÓN 	FECHA 04-03-2021	TÍTULO <b>BOQUILLAS DEL CUERPO</b>
UNIDADES milímetros			DOCENTE: A4	ESCALA <b>1:10</b>
				SECCIÓN
				NOTA
				HOJA Nº

