

Universidad Nacional de Ingeniería

Facultad de Ingeniería Mecánica



TESIS

**“Diseño Estructural de Tanque de Acero Empernado para Agua
con la Tecnología Disponible para Reducir los Costos de
Construcción en una Unidad Minera”**

Para obtener el Título Profesional de Ingeniero Mecánico.

Elaborado por

Carlos Alejandro Castañeda Okamura

 [0000-0002-7270-7625](https://orcid.org/0000-0002-7270-7625)

Asesor

Dr. Ing. Fortunato Alva Dávila

 [0009-0008-8168-661X](https://orcid.org/0009-0008-8168-661X)

LIMA – PERÚ

2024

Citar/How to cite	Castañeda Okamura [1]
Referencia/Reference	[1] C. Castañeda Okamura, " <i>Diseño de Tanque de Acero Empernado para Agua para Reducir los Costos de Construcción en una Unidad Minera con la Tecnología Disponible</i> " [Tesis de pregrado]. Lima (Perú): Universidad Nacional de Ingeniería, 2024.
Estilo/Style: IEEE (2020)	

Citar/How to cite	(Castañeda, 2024)
Referencia/Reference	Castañeda, C. (2024). <i>Diseño de Tanque de Acero Empernado para Agua para Reducir los Costos de Construcción en una Unidad Minera con la Tecnología Disponible</i> . [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional Cybertesis UNI.
Estilo/Style: APA (7ma ed.)	

Dedicatoria

*A mi mamá Carmen, a mi papá Mario, a mi tía Gaby y mi tío Victor que está en el
cielo. Su ejemplo ha marcado el norte de mi vida.*

Agradecimientos

Quiero agradecer:

- A Dios y a la Virgen María, por las gracias recibidas.
- A mi madre por vivir el proceso con mayor emoción que yo mismo.
- A mi padre por confiar en mí.
- A mi tío Víctor porque me tiene fe aún desde el cielo.
- A mi tía Gaby por sus oraciones.
- A mi prima Keiko por su guía.
- A la señora Adela de Romero por su acompañamiento durante todo este proceso.
- A la UNI y a sus docentes universitarios.

Resumen

En la actualidad la oferta de suministro de tanques empernados en Perú se da a través de representantes de marcas extranjeras e importaciones. La oferta local es escasa a pesar de que su utilización mitiga los problemas de construcción derivados de las condiciones climáticas adversas del país; esto se debe a restricciones de índole tecnológica y de adaptación. Con este estudio se ofrece una alternativa de diseño que se podría fabricar localmente.

El presente trabajo de investigación plantea como hipótesis que el diseño de un tanque de acero empernado para almacenamiento de agua en Perú es una alternativa más costo-eficiente que la de un tanque soldado, y que es posible diseñarlo y construirlo con un alto nivel de calidad, cumpliendo con normas internacionales y regulaciones locales vigentes. Se presenta el diseño de un tanque empernado para almacenar 561 m³ de agua en una unidad minera en Moquegua.

Se investigó sobre las opciones de suministro global de tanques empernados, sobre la normativa y regulaciones utilizadas en el diseño de tanques, y sobre la tecnología y recursos disponibles localmente. En base a esta información se desarrolló un diseño. Posteriormente se evaluó su competitividad respecto a la opción de tanque soldado mediante un análisis comparativo de costos y tiempos de construcción.

Los resultados confirman la hipótesis: El diseño de tanque empernado representa una ventaja económica del 15.63% sobre el diseño de tanque soldado y una disminución de 4.65% de la duración del cronograma total.

Palabras clave – Diseño, tanque, almacenamiento, empernado,

Abstract

At present, bolted tanks in Peru are supplied through foreign brand representatives and imports. The local supply is scarce even though its use mitigates the construction problems derived from the country's adverse climatic conditions; this is due to technological and know-how restrictions. This research work proposes a design alternative that can be manufactured locally.

The present research work hypothesizes that the design of water bolted steel tanks for water storage in Peru is a more cost-efficient alternative than welded tanks. Furthermore, it is feasible to design and construct these bolted tanks with a high level of quality, adhering to international standards and local regulations. A design of a bolted water storage tank with a capacity of 561 m³, for a mining unit in Moquegua, is proposed.

For this study, research has been conducted on the global supply options for bolted tanks, on the standards and regulations used in the design of tanks, and on technology and resources available locally. Based on these, a design has been developed. Subsequently, its competitiveness with respect to the welded tank design option has been evaluated through a comparative analysis of costs and construction times.

The results confirm the hypothesis: The bolted tank design represents an economic advantage of 15.63% over the welded tank design and a 4.65% decrease in the total schedule duration.

Keywords – Design, tank, storage, bolted.

Tabla de Contenido

Resumen	v
Abstract	vi
Prólogo	xvi
Capítulo I. Introducción	1
1.1. Generalidades	1
1.2. Descripción del problema de investigación	3
1.3. Objetivo del estudio	9
1.3.1. Objetivo general	9
1.3.2. Objetivos específicos	9
1.4. Antecedentes investigativos	9
1.4.1. Tesis nacionales	9
1.4.2. Tesis internacionales	10
1.4.3. Patentes	10
1.4.4. Papers y journal articles	11
1.4.5. Páginas web	13
Capítulo II. Marcos teórico y conceptual	15
2.1. Marco teórico	15
2.1.1. Diseño de los tanques de almacenamiento de agua	15
2.1.2. Tanques empernados	16
2.1.3. Ventajas de los tanques empernados	18
2.1.4. Uniones empernadas solapadas y bridadas	19
2.1.5. Fabricantes Internacionales de Tanques Empernados	21
2.1.6. Distribuidores de Tanques Empernados en el Perú	22
2.2. Marco conceptual	23
2.2.1. Tanque empernado	23
2.2.2. Tanque soldado	23

2.2.3. Paneles	23
2.2.4. Anillos.....	23
2.2.5. Casco.....	23
2.2.6. Rigidizador	23
2.2.7. Unión bridada.....	23
2.2.8. Unión solapada	24
2.2.9. Platinas	24
2.2.10. Bridas.....	24
2.2.11. Apriete.....	24
2.2.12. Precarga.....	24
2.2.13. Conexiones del tanque.....	24
Capítulo III. Hipótesis y operacionalización de variables.....	25
3.1. Hipótesis	25
3.1.1. Hipótesis General.....	25
3.1.2. Hipótesis Específica	25
3.2. Variables e indicadores	25
3.2.1. Variable independiente (VI)	25
3.2.2. Variable dependiente (VD)	25
Capítulo IV. Metodología de la investigación	27
4.1. Tipo y diseño de la investigación.....	27
4.2. Unidad de análisis	27
4.3. Matriz de consistencia	28
Capítulo V. Desarrollo del trabajo de investigación	29
5.1. Datos de entrada para el diseño.....	29
5.1.1. Datos del tanque	29
5.1.2. Datos del contenido.....	29
5.1.3. Condiciones de sitio	30
5.2. Estándares internacionales, normativas y regulaciones locales aplicables.....	30

5.3.	Tecnología disponible en el Perú para construcción de tanques emperrados.....	35
5.4.	Fórmulas y proceso de cálculo	46
5.4.1.	Diseño de casco de tanque	46
5.4.2.	Diseño de fondo de tanque.....	47
5.4.3.	Diseño de anillo rigidizador.....	48
5.4.4.	Cálculo por viento.....	49
5.4.5.	Cálculo por sismo.....	52
5.4.6.	Pernos de anclaje.....	63
5.4.7.	Cálculo de silletas	65
5.4.8.	Cálculo de uniones emperradas	68
5.5.	Diseño estructural y de detalle	78
5.5.1.	Diseño conceptual del tanque	78
5.5.2.	Cálculo de espesores de casco, fondo y perfil de anillo rigidizador	80
5.5.3.	Cálculo por viento y sismo: anclajes y silletas	83
5.5.4.	Cálculo analítico de uniones emperradas	90
5.5.5.	Comprobación FEM de bridas de uniones emperradas	95
5.5.6.	Método de sello de uniones de tanque	107
5.6.	Costos de fabricación	108
5.6.1.	Planilla de metrado de pesos y materiales	108
5.6.2.	Cronograma de realización de trabajos	111
5.6.3.	Estimación de costos.....	113
	Capítulo VI. Análisis y discusión de resultados	115
6.1.	Resumen del diseño del tanque emperrado	115
6.2.	Análisis de costo – eficiencia en la construcción de los tanques emperrados	118
	Conclusiones	121
	Recomendaciones	122
	Referencias bibliográficas	123
	Anexos	131

Lista de Tablas

Tabla 1: Tipos de Diseño de Tanques de Almacenamiento de Agua	15
Tabla 2: Operacionalización de Variables	26
Tabla 3: Matriz de Consistencia	28
Tabla 4: Datos de Entrada del Tanque.....	29
Tabla 5: Condiciones de Sitio	30
Tabla 6: Ángulos comercializados por Corporación Aceros Arequipa S.A.....	36
Tabla 7: Planchas ASTM A36 comercializadas por Corporación Aceros Arequipa S.A...37	
Tabla 8: Características de Roladoras de la Marca Davi Línea MCA	40
Tabla 9: Datos de Roladoras de Marca Krrass.....	40
Tabla 10: Mesas de Corte CNC por Plasma	43
Tabla 11: Esfuerzos Permisibles por Material	47
Tabla 12: Espesor de Planchas de Fondo	48
Tabla 13: Mínimo Tamaño de Perfil de Ángulos para Rigidización de los Tanques	48
Tabla 14: Grupo Sísmico de Utilización	56
Tabla 15: Factor de Importancia	57
Tabla 16: Definiciones de Clase de Sitio.....	57
Tabla 17: Valor de F_a	58
Tabla 18: Valor de F_v	58
Tabla 19: Factores de Modificación de Respuesta.....	59
Tabla 20: Criterio de Ratio de Anclaje.....	62
Tabla 21: Resistencia Nominal a la Tracción por Material de Perno	73
Tabla 22: Diámetros y Áreas de Roscas UNC y UNF	76
Tabla 23: Valores de Resistencia Mínima de Prueba para Pernos.....	77
Tabla 24: Datos Generales de Diseño del Tanque.....	80
Tabla 25: Planilla de Cálculo de Espesores de Casco	81
Tabla 26: Planilla de Cálculo de Espesores de Fondo	82

Tabla 27: Planilla de Cálculo de Rigidizador Superior.....	82
Tabla 28: Planilla de Cálculo de Rigidizador Intermedio	82
Tabla 29: Planilla de Comprobación de Estabilidad por Viento	83
Tabla 30: Planilla de Comprobación de Estabilidad por Sismo	84
Tabla 31: Planilla de Cálculo de Esfuerzos de Compresión por Sismo en el Casco.....	86
Tabla 32: Planilla de Cálculo de Esfuerzos Circunferenciales (Hoop Stress) por Sismo .	87
Tabla 33: Planilla de Cálculo de Pernos de Anclaje	87
Tabla 34: Planilla de Cálculo de Silletas	89
Tabla 35: Datos para Cálculo de Fuerzas Tangenciales en el Casco del Tanque.....	90
Tabla 36: Fuerzas Tangenciales actuantes en el Casco del Tanque	91
Tabla 37: Planilla de Cálculo de Pernos de Juntas Empernadas Verticales del Anillo 2..	92
Tabla 38: Planilla de Cálculo de Pernos de Juntas Empernadas Verticales del Anillo 3..	92
Tabla 39: Planilla de Cálculo de Espesor de Brida del Anillo 2	93
Tabla 40: Planilla de Cálculo de Espesor de Brida del Anillo 3	94
Tabla 41: Planilla de Cálculo de Precarga y Torque de Apriete	94
Tabla 42: Materiales de Elementos de Unión Empernada	96
Tabla 43: Carga de Prueba aplicable sobre Probeta de Unión Empernada Vertical.....	97
Tabla 44: Pesos del Casco del Tanque.....	104
Tabla 45: Carga de Prueba aplicable sobre Probeta de Unión Empernada Horizontal..	104
Tabla 46: Metrado de Pesos y Áreas del Tanque Empernado 2850-TK-081.....	109
Tabla 47: Metrado de Pesos y Áreas del Tanque Soldado 2850-TK-081	109
Tabla 48: Metrado de Pernería del Tanque Empernado 2850-TK-081	110
Tabla 49: Metrado de Pernería del Tanque Soldado 2850-TK-081	110
Tabla 50: Resumen de Presupuesto de Construcción de Tanque Empernado	113
Tabla 51: Resumen de Presupuesto de Construcción de Tanque Soldado.....	114
Tabla 52: Resumen de Datos Dimensionales del Tanque.....	116
Tabla 53: Comparación de pesos entre las alternativas soldada y empernada.....	117
Tabla 54: Comparación de áreas de pintura entre las alternativas soldada y empernada	118

Tabla 55: Comparación de pernería entre las alternativas soldada y empernada	118
Tabla 56: Comparación de tiempos de ejecución entre las alternativas soldada y empernada	119
Tabla 57: Comparativo de costos de construcción entre las alternativas soldada y empernada	120

Lista de Figuras

Figura 1: Demandas de agua en el Perú.....	1
Figura 2: Manejo del Agua en la Actividad Minera.	2
Figura 3: Mapa de Temperaturas Mínimas Promedio del Perú	4
Figura 4: Tanque Empernado de Patente US20130319552A1	6
Figura 5: Tanque Empernado de Patente US11059666B2 a favor de la empresa Newpark Mats & Integrated Services LLC	7
Figura 6: Tanque Empernado de Patente WO2023026046A2 de Permastore.	7
Figura 7: Procesos de Fabricación de Paneles Empernados de la empresa Total Tank Connection	8
Figura 8: Tanque Empernado de la Empresa CST Industries.	17
Figura 9: Tanque Empernado de la empresa Permastore.....	17
Figura 10: Tanque Empernado de la empresa Franklin Hodge Industries Limited.	18
Figura 11: Uniones Traslapadas en Tanque de Agua.	19
Figura 12: Uniones Bridadas en un Espesador.	20
Figura 13: Detalle de Brida Horizontal de Paneles de Casco según API 12B 16th Ed	32
Figura 14: Paneles de Casco según API 12B 16th Ed.	33
Figura 15: Roladora hidráulica marca Davi modelo MCA3028 de 4 rodillos.	39
Figura 16: Máquina Plegadora Power-Bend de la compañía Ermaksan	42
Figura 17: Máquina Plegadora TruBend Serie 5000 de la compañía Trumpf	42
Figura 18: Mesa de Corte Gemini – Ficep.....	43
Figura 19: Máquina de Soldadura Multiproceso Soldexa-Esab	44
Figura 20: Viradores para Manipulación de Tanques	45
Figura 21: Sistema de Automatización de Soldadura por Arco Sumergido	45
Figura 22: Sistema para Mecanización de Soldadura	45
Figura 23: Diagrama para Comprobación de Cargas de Viento sobre Tanques.....	52
Figura 24: Dimensiones de Silleta.....	67
Figura 25: Origen de Coordenadas para Aplicación de Fuerzas sobre el Casco del Tanque	71

Figura 26: Cargas Tangenciales sobre Uniones Verticales	72
Figura 27: Cargas sobre Uniones Horizontales.....	72
Figura 28: Separación de Bridas en la Unión Empernada.....	74
Figura 29: Esquema de Unión Empernada.	75
Figura 30: Vista Isométrica del Tanque Empernado	79
Figura 31: Vista Esquemática del Tanque 2850-TK-081	79
Figura 32: Uniones Bridadas Empernadas de Paneles	80
Figura 33: Esquema de Unión Empernada	96
Figura 34: Dimensiones de Probeta para Unión Empernada Vertical.....	97
Figura 35: Datos de Resistencia y Precarga de Pernos para Prueba.....	97
Figura 36: Probeta de Unión Empernada Vertical con Asignación de Cargas	98
Figura 37: Resultado de Análisis de Esfuerzos en Unión Empernada Vertical	98
Figura 38: Esfuerzo Máximo en el cordón de Soldadura de la Unión Empernada Vertical	99
Figura 39: Ubicación de Esfuerzo Máximo en Cordón de Soldadura de Unión Empernada Vertical	99
Figura 40: Iso Superficies de Esfuerzos mayores a 150 MPa en la Unión Vertical.....	100
Figura 41: Iso Superficies de Esfuerzos mayores a 200 MPa en la Unión Vertical.....	100
Figura 42: Segundo Gráfico de Iso Superficies de Esfuerzos mayores a 200 MPa en la Unión Vertical	101
Figura 43: Deformaciones en la Unión Vertical	101
Figura 44: Factor de Seguridad en los Pernos de la Unión Vertical	102
Figura 45: Dimensiones de Probeta para Unión Empernada Horizontal	103
Figura 46: Probeta de Unión Empernada Horizontal con Asignación de Cargas.....	105
Figura 47: Esfuerzo Máximo en el cordón de Soldadura de la Unión Empernada Horizontal	105
Figura 48: Iso Superficies de Esfuerzos mayores a 100 MPa en la Unión Horizontal	106
Figura 49: Deformaciones en la Unión Horizontal	106
Figura 50: Factor de Seguridad en los Pernos de la Unión Horizontal	107
Figura 51: Sistema de Sellado de Juntas con productos Sika.....	108

Figura 52: Lista de Actividades y Duración de Construcción de Tanque Empernado.....112

Figura 53: Lista de Actividades y Duración de Construcción de Tanque Soldado112

Prólogo

En el Perú hay muy poca oferta de fabricación local de tanques empernados para almacenamiento de agua; las opciones de suministro consisten en importaciones a través de representantes comerciales de marcas extranjeras especializadas. Asimismo, el Perú se beneficiaría de contar con una opción competitiva que pudiera mitigar las desventajas de construcción de los tanques soldados por las condiciones climáticas adversas que la presencia de la Cordillera de los Andes produce.

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo plantear una solución a esta problemática a través del diseño de un tanque empernado para almacenamiento de agua que cumpla con normativas internacionales y regulaciones locales, y que utilice la tecnología y recursos disponibles en el Perú para su construcción. Además, se buscará que el diseño del tanque empernado sea competitivo en cuanto a costos de construcción en comparación con el de un tanque soldado.

En el primer capítulo de este trabajo se profundiza sobre el planteamiento del problema de investigación, los objetivos de estudio y los antecedentes investigativos. En el segundo capítulo se describen los marcos teórico y conceptual de este estudio. En el tercer capítulo se realiza el planteamiento de la hipótesis, variables e indicadores de la investigación. En el cuarto capítulo se diseña la investigación y se presenta la matriz de consistencia.

En el quinto capítulo de esta tesis se desarrolla el trabajo de investigación. Para ello se identifican los datos de entrada aplicables para el diseño del caso de estudio seleccionado. Posteriormente se indaga en los estándares y normas utilizados a nivel global para el diseño de tanques, con la finalidad de seleccionar los que nos sean de mayor utilidad. A continuación, se investiga sobre la tecnología y los recursos disponibles en el Perú con la finalidad de obtener requisitos a tener en cuenta durante el diseño del tanque. Luego en función a la recolección de información realizada se plantean las fórmulas y proceso de cálculo del tanque empernado, y con ello se realiza el diseño estructural y de

detalle. En la última parte de este capítulo se realiza la evaluación comparativa de costo – eficiencia entre el tanque empernado calculado y la opción de diseñarlo soldado.

En el capítulo 6 se desarrolla el análisis y discusión de resultados.

Finalmente, se presentan las conclusiones y recomendaciones del estudio de investigación, así como las referencias bibliográficas consultadas. También se adjuntan como anexos los datos recolectados durante el estudio e información de apoyo.

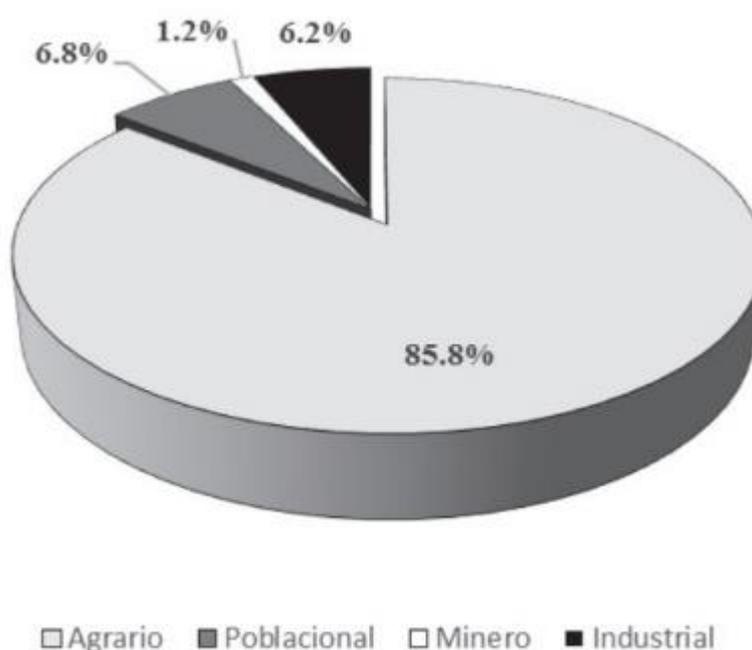
Capítulo I. Introducción

1.1. Generalidades

La sociedad ha tenido la necesidad de almacenar agua para varios propósitos desde tiempos inmemoriales; aplicaciones tempranas incluían agua para consumo humano, para irrigación, para supresión de incendios, preparación de alimentos y otros (Grabowski PE & Baldwin PE, 2016). En los tiempos modernos también se utiliza para los procesos minero-metalúrgicos, pero este recurso es compartido con otras actividades del mismo territorio geográfico de la mina, como se puede apreciar en la Figura 1.

Figura 1

Demandas de agua en el Perú.



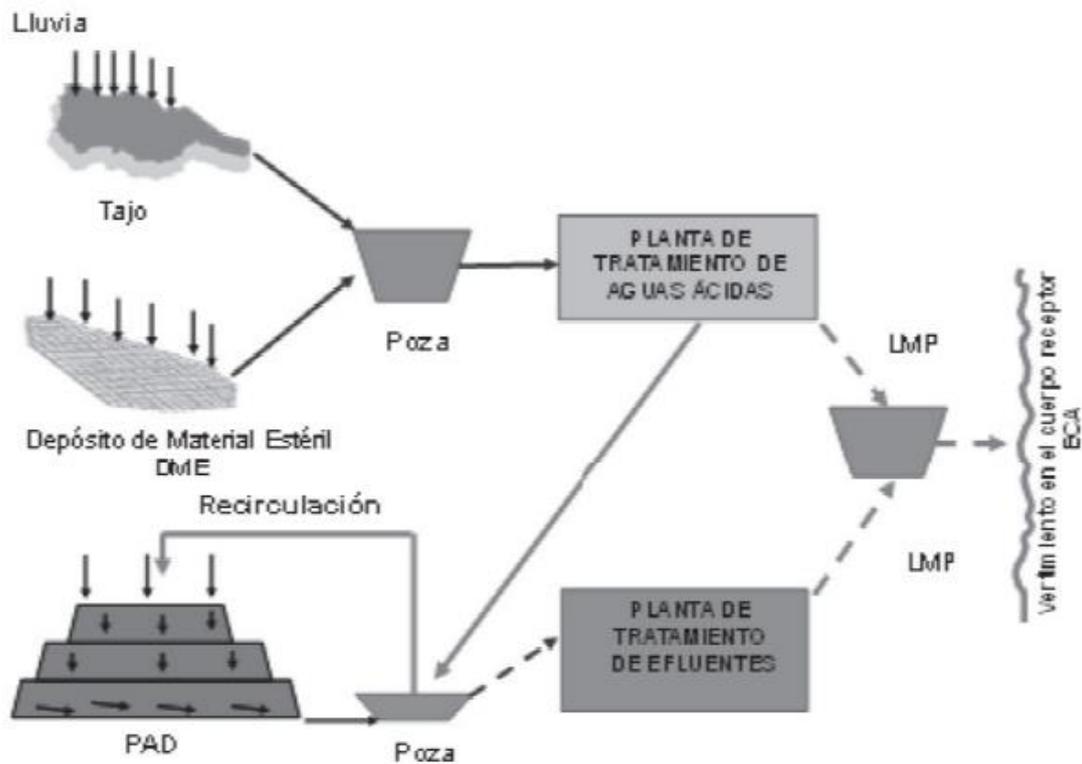
Nota: Recuperado de "Gestión de agua y minería en el Perú: manejo del agua en operaciones mineras e intervenciones en la cuenca" (Álvarez, 2013).

Se aprecia que la actividad minera es la industria que menos agua consume; no obstante en territorios hidrográficos de escala menor como microcuencas y subcuencas donde se suelen ubicar las actividades mineras, esta proporción no siempre es percibida como insignificante, generándose controversias por el funcionamiento de la minería por la percepción de la población que carecería de infraestructura hidráulica y por temores frente a posibles efectos de contaminación de las fuentes de agua (Álvarez, 2013).

Debido a ello la industria minera enfoca sus esfuerzos en demostrar que sus actividades son coherentes con el desarrollo sostenible, la protección del medio ambiente y de los recursos hídricos, implementando mecanismos que contribuyan a la disminución del consumo de agua fresca y su uso eficiente (Álvarez, 2013). Uno de estos mecanismos serán los procesos de recirculación y los de tratamiento de agua, que se aprecian en la Figura 2.

Figura 2

Manejo del Agua en la Actividad Minera.



Nota: Recuperado de "Gestión de agua y minería en el Perú: manejo del agua en operaciones mineras e intervenciones en la cuenca" (Álvarez, 2013).

En este contexto los tanques de almacenamiento de agua tienen un papel fundamental ya que es necesario contar con infraestructuras de almacenamiento eficientes y seguras para su posterior distribución y uso. Asimismo, es necesario que el mercado peruano cuente con la mayor cantidad de alternativas en lo que al diseño de estos tanques respecta. Una búsqueda web de los principales fabricantes de tanques de almacenamiento en el Perú: Cemprotec (*Tanques - CEMPROTEC, s/f*) y Haug (*HAUG, s/f*), y de los proyectos que han ejecutado sugiere que el diseño predominante de tanques de

almacenamiento de acero en el Perú es el de configuración de plancha soldada. Es por ello que esta tesis diseña un tanque de configuración empernada para almacenamiento de agua en el Perú considerando las condiciones climáticas y geográficas del país, así como la tecnología disponible.

1.2. Descripción del problema de investigación

En el Perú hay muy poca oferta de fabricación local de tanques empernados para almacenamiento de agua u otros líquidos, a pesar de que su utilización mitigaría retrasos y posibles daños en la construcción del tanque por condiciones ambientales severas. Existen restricciones de tecnología y adaptación que limitan su difusión.

En la revisión de las páginas web de las empresas de mayor representación en la fabricación de tanques como FIMA, CEMPROTEC y HAUG se comprueban que no ofrecen estos servicios. Los motivos de esto son inciertos porque no hay una investigación al respecto; además el problema se comprueba cuando a través de una búsqueda web se visualiza en los resultados que las opciones de suministro de tanques empernados en el Perú se dan a través de importadores y representantes de marcas extranjeras, entre ellos:

- Tecnofire Perú, es distribuidor oficial de la marca de tanques empernados Superior Tank Co. Inc. en Perú (*TECNIFIRE PERÚ – Soluciones Industriales, s/f*).
- Total Tank Perú es una empresa especializada en la venta, montaje, reparación y mantenimiento de tanques y silos. Según su página web (*Tanques y Silos, s/f*) realiza el suministro de tanques empernados vitrificados y tanques Pioneer de Australia.
- Green Global Solutions, entre sus líneas de negocio suministran tanques de las marcas GLS Tanks y Superior Tank Co. Inc (*<https://ggsperu.pe/>, s/f*).

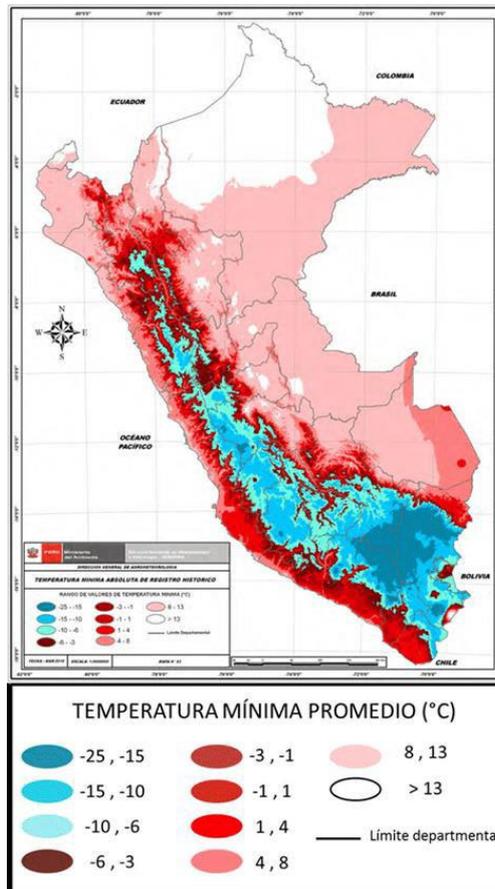
De acuerdo con la información existente en sus páginas web estas empresas son importadoras, pero no fabricantes. Adicionalmente, en relación con la presencia actual de los tanques empernados en el Perú existen dos trabajos de investigación que utilizan como objeto de estudio a tanques empernados de la Mina Toquepala de Southern Perú Copper

Corporation; tanto en el caso de la investigación de De la Cruz Pandal (2017) y la de Vera Noriega (2021) los tanques empernados fueron fabricados por la empresa extranjera CST Industries en Estados Unidos, con un diseño de uniones empernadas solapadas de acuerdo a AWWA D103.

Los tanques soldados cuentan con desventajas en su construcción respecto a los tanques empernados: El Perú es un país con condiciones climáticas adversas para la construcción de tanques por soldadura debido a la presencia de la Cordillera de Los Andes y los perfiles de altitud, temperaturas bajas y condiciones meteorológicas que genera. La investigación de Espinoza et al. (2015) nos proporciona un mapa de temperaturas en el Perú, según se visualiza en la Figura 3.

Figura 3

Mapa de Temperaturas Mínimas Promedio del Perú



Nota: Recuperado de (Espinoza et al., 2015).

De acuerdo con una investigación de Liu et al. (2021) las bajas temperaturas climáticas tienen los siguientes efectos adversos en la soldadura:

- Enfriamientos rápidos del cordón de soldadura, fragilizándola y aumentando la probabilidad de fisuras.
- Reducción del efecto de precalentamiento de la soldadura, lo que dificulta mantener la estabilidad de las temperaturas intercapa de la soldadura.
- Dificultad para la operación del soldador.

Según un artículo del Centro Australiano de Geomecánica (J.W. Rosart, 2010) las pobres condiciones climáticas (lluvia frecuente, nieve y clima frío) encarecen tanto a la soldadura de sitio y como a la aplicación de recubrimientos superficiales, además de sobre extender el tiempo que consumen. También menciona que la soldadura en locaciones remotas requiere personal más hábil y equipamiento que podría ser complicado de trasladar. Lo anteriormente mencionado es recalcado por la revista especializada Journal of Commerce (“Evolution of the Bolted Steel Water Tank: Tanks Should Be Viewed as Long Term Investments”, 2001), donde se afirma que para las construcciones en campo los tanques emperrados son una opción preferible por su ingeniería de taller, fabricación de precisión y sistemas de recubrimiento superiores.

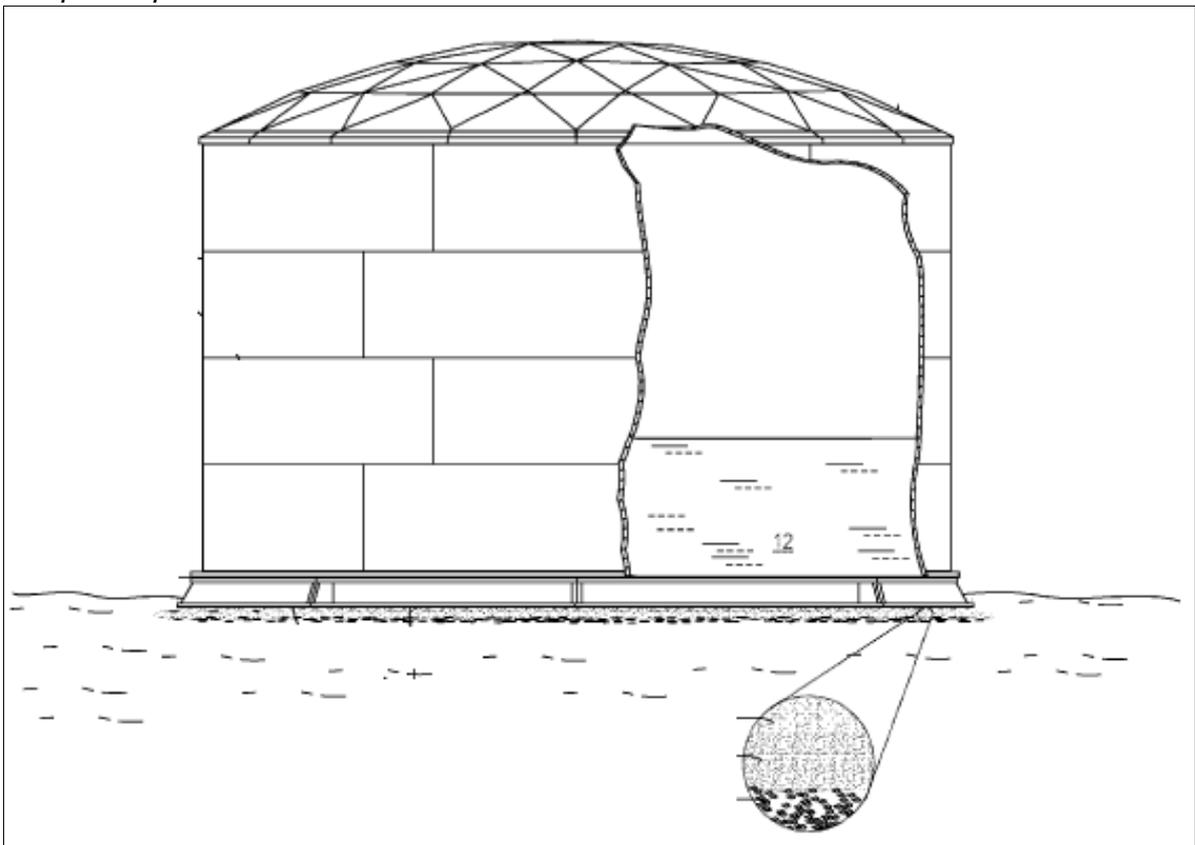
Asimismo, hay indicios de que el costo del ciclo de vida de un tanque soldado podría ser mayor al de un tanque emperrado: La revista profesional DEMM: Engineering & Manufacturing en un artículo (“A well-rounded benefits package.”, 2012) indica que, en Nelson City Council, New Zeland se construyen tanques emperrados de almacenamiento de agua por considerarse una alternativa con menores costos de construcción y de mantenimiento.

En relación con los tanques emperrados importados, la larga trayectoria de las empresas fabricantes sugiere que existe un alto grado de adaptación y “know how”, que podría ser un factor de impedimento de la adaptación de los diseños extranjeros en el Perú. Esta trayectoria varía desde los 107 años hasta los 39 años según se visualiza en las páginas web de fabricantes extranjeros de tanques emperrados como CST Industries (*Bolted Steel Tank Manufacturer | CST, s/f*), Superior Tank Co. Inc. (*Bolted Steel Tanks, s/f*), GLS Tanks (*GLS Tanks, s/f*) y Franklin Hodge Industries Limited (*Franklin Hodge, s/f*).

Asimismo, en las patentes de tanques empernados US20130319552A1 a favor de la empresa Chevron USA (Craig et al., 2012), US11059666B2 a favor de la empresa Newpark Mats & Integrated Services LLC (James et al., 2021) y WO2023026046A2 de Permastore (Cutri et al., 2022) se visualiza un alto grado de complejidad para su fabricación, existiendo varias partes plegadas o conformadas mecánicamente que requieren de un expertise alto y herramientas específicas, como se puede visualizar en la Figura 4, la Figura 5, y la Figura 6 respectivamente. Esto representa una barrera para la fabricación nacional de tanques empernados en el caso de que se asimilen los diseños extranjeros en su totalidad.

Figura 4

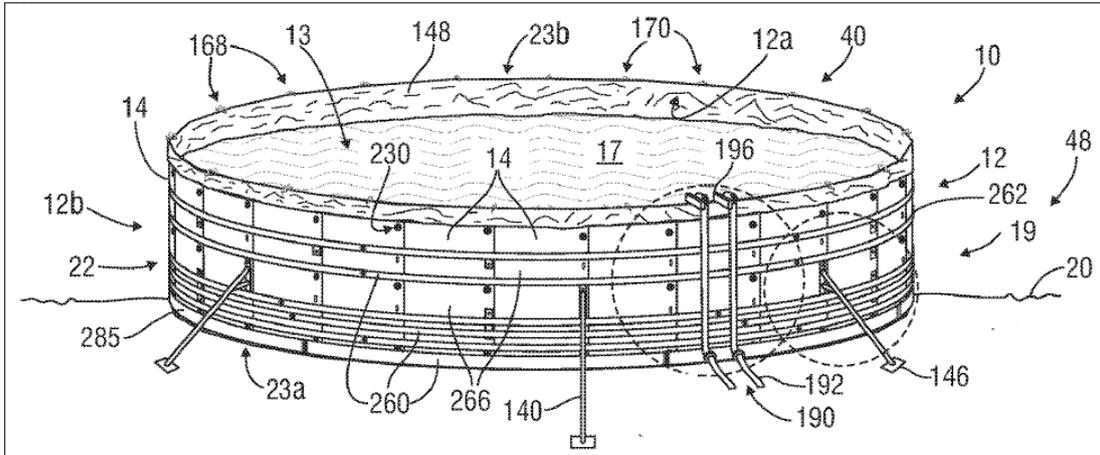
Tanque Empernado de Patente US20130319552A1



Nota: Recuperado de (Craig et al., 2012).

Figura 5

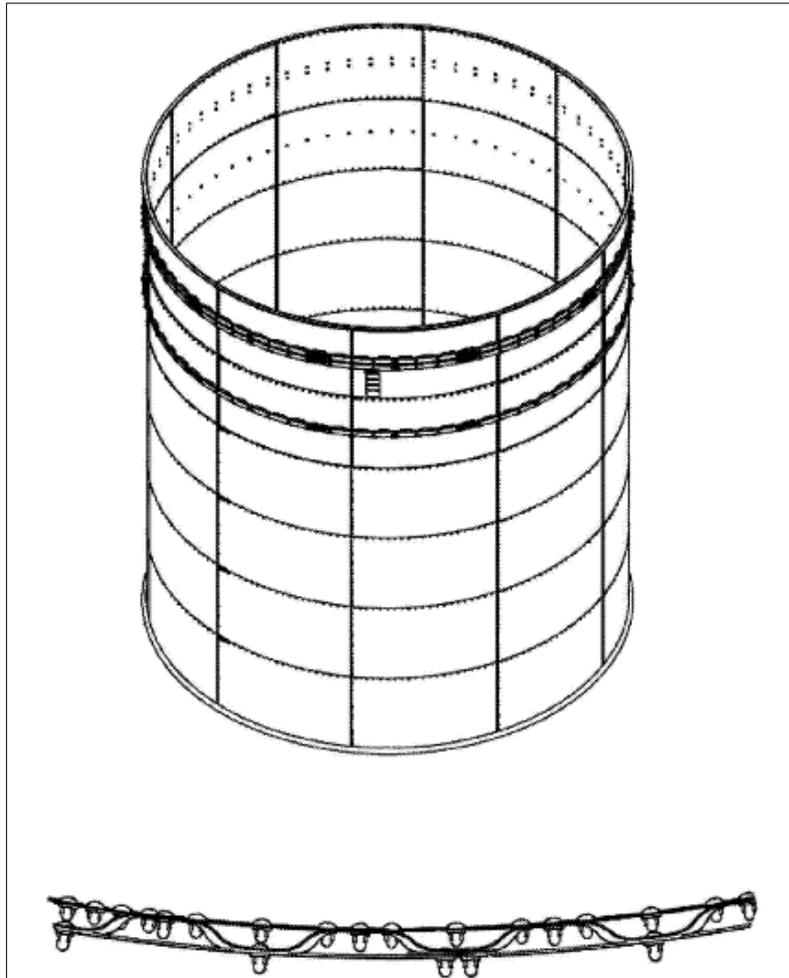
Tanque Empernado de Patente US1105966B2 a favor de la empresa Newpark Mats & Integrated Services LLC



Nota: Extracto de (James et al., 2021).

Figura 6

Tanque Empernado de Patente WO2023026046A2 de Permastore.



Nota: Recuperado de (Cutri et al., 2022).

De acuerdo con un artículo de la página web WaterWorld (Alexander, 2015) los tanques empernados modernos son manufacturas de precisión elaboradas en fábricas con tecnología de última generación con maquinaria especializada y sofisticados programas de manufactura que controlan la maquinaria de control numérico computarizado. Los componentes del tanque son soldados utilizando equipamiento de soldadura robótica para precisión extrema y juntas perfectas. Yeremias K Lusi (2020) señala que los procesos de fabricación involucrados en la fabricación de tanques empernados pueden ser: Corte, punzado, rolado, plegado y aplicación de recubrimientos en polvo. Asimismo, el fabricante de tanques empernados Tank Connection (2021) en una publicación describe gráficamente los procesos involucrados en la fabricación de sus paneles empernados, y donde se visualiza la utilización de tecnología avanzada con controles numéricos computacionales. Estos procesos se muestran en la Figura 7.

Figura 7

Procesos de Fabricación de Paneles Empernados de la empresa Total Tank Connection



Nota: Fuente https://www.tankconnection.com/assets/pdf/Custom_Fabrication_and_Coatings_4.pdf

En los diseños de los tanques de las empresas extranjeras mencionadas se utilizan conexiones empernadas solapadas según AWWA D103 y API 12B. En la industria metalmeccánica es una práctica común elaborar un modelo 3D del tanque en un software de diseño como Solidworks o Autocad y posteriormente desarrollar los planos de fabricación a partir de este; el modelado 3D de las conexiones empernadas de traslape de los paneles del tanque incrementa el nivel de complejidad de estas actividades y de posibilidad de error en los planos.

De acuerdo con lo mencionado en los párrafos anteriores se realiza la formulación del problema de investigación:

¿Es posible suministrar localmente tanques empernados para almacenar agua de manera eficiente y económica con la tecnología disponible en Perú, considerando las condiciones climáticas, geográficas y recursos disponibles en el Perú?

1.3. Objetivo del estudio

1.3.1. Objetivo general

Diseñar un tanque de acero empernado para agua para reducir costos de construcción con la tecnología disponible en Perú.

1.3.2. Objetivos específicos

- a) Comparar los costos de construcción de tanques empernados y soldados.
- b) Comparar el tiempo de construcción de tanques empernados y soldados.

1.4. Antecedentes investigativos

1.4.1. Tesis nacionales

Vera Noriega (2021) realizó su tesis de titulación para obtener el título profesional de ingeniero mecánico sobre la planificación de la construcción de un tanque empernado en la Unidad Minera de Toquepala – Tacna. El tanque era de 27.2 m de diámetro y 10.26 m de altura, suministrado por CST Storage y estaba diseñado bajo la norma AWWA D103, con uniones empernadas solapadas.

De la Cruz Pandal (2017) realizó su trabajo de suficiencia profesional sobre el montaje de un tanque empernado en la Unidad Minera de Toquepala – Tacna. El tanque

era de 27.2 m de diámetro y 10.26 m de altura, suministrado por CST Storage y estaba diseñado bajo la norma AWWA D103, con uniones empernadas solapadas.

1.4.2. Tesis internacionales

Konečný (2016) en una tesis de la BRNO University of Technology realiza la optimización del grosor de las placas perimetrales de un tanque empernado de acero utilizando materiales con valores mecánicos más altos en comparación con el estado actual.

Konečný (2014) en una tesis de la BRNO University of Technology describe las alternativas de diseño existentes actualmente en lo que respecta a tanques empernados y realiza una descripción de su estructura y partes, basándose principalmente en normas europeas, en AWWA, en API y en NFPA.

Frost (2002) en una tesis de la Universidad de Queensland comparó el diseño de un tanque empernado de almacenamiento de agua por el método analítico clásico de casco lineal contra modelos de elementos finitos que consideraban el traslapamiento de las planchas por las uniones empernadas. Sus resultados mostraron que la aproximación analítica era apropiada para el diseño contra cargas hidrostáticas, pero ante cargas de viento podrían no ser adecuados por incrementos de esfuerzo más significativos.

1.4.3. Patentes

Cutri et al. (2022) patentó un diseño de tanque empernado basado en ribetes a favor de la empresa PERMASTORE.

James et al. (2021) registró la patente US11059666B2 a favor de la empresa NEWPARK MATS & INTEGRATED SERVICES LLC sobre un tanque contenedor de líquidos formado por paneles preformados e interconectables con pernos, capaz de contener 100,000 galones de líquido.

Craig et al. (2012) registró la patente US20130319552A1 a favor de la empresa Chevron USA sobre un diseño de tanques desmontables en el cual se utilizaban uniones empernadas.

1.4.4. Papers y journal articles

J.W. Rosart (2010) describe los beneficios de la construcción emperrada de tanques: Mayor eficiencia en la planificación y realización del ensamblaje y soldadura, las condiciones climáticas de obra (lluvia frecuente, nieve y clima frío) elevan el costo de la soldadura de sitio y de la preparación superficial, la inspección por parte de terceros se puede planificar y coordinar con fácil acceso, la pintura y el revestimiento de goma se pueden aplicar en interiores, en condiciones controladas donde la calidad se puede monitorear eficientemente, y no se requieren inspecciones de soldadura ni pruebas no destructivas (NDT) en el sitio. También describe que actualmente la empresa Outotec utiliza uniones emperradas bridadas, en contraste con las juntas solapadas más comunes en tanques de almacenamiento. Asimismo, concluye que el costo total de fabricar e instalar un espesador emperrado es 16% menor que el soldado.

En el año 2012 la revista profesional DEMM: Engineering & Manufacturing publica el artículo ("A well-rounded benefits package.", 2012) donde manifiesta que en Nelson City Council, New Zeland se construyen tanques emperrados de almacenamiento de agua por considerarse una alternativa con menores costos de construcción y de mantenimiento.

Un artículo del año 2001 de la revista especializada Journal of Commerce ("Evolution of the Bolted Steel Water Tank: Tanks Should Be Viewed as Long Term Investments", 2001) indica que conforme el tamaño de los tanques aumenta las construcciones en campo predominan, para lo cual los tanques emperrados son una opción preferible por su ingeniería de taller, fabricación de precisión y sistemas de recubrimiento superiores.

Grabowski PE & Baldwin PE (2016) en la revista especializada "Journal of the New England Water Works Association" publicaron un artículo sobre la evolución de los tanques de almacenamiento de agua. En él se menciona que existen alternativas de construcción de tanques de agua: De acero soldados, de acero emperrados, revestidos con fibra de vidrio, de concreto. Los tanques emperrados tienen la ventaja de tener un grado alto de

control de calidad debido a su construcción dentro de una planta metalmecánica, y también tiene un costo de construcción bajo.

Agboola et al. (2021) en la revista científica *Materials Today: Proceedings* presentó un artículo detallando una metodología de diseño basada en API 650 para tanques de construcción soldada.

Hosseini & Beskhyroun (2023) revisan varias técnicas de modelación dinámica para analizar el comportamiento de los tanques de almacenamiento de fluido bajo excitaciones sísmicas. Entre las técnicas descritas están: Método analíticos de modelamientos simplificados masa – resorte – amortiguamiento, métodos numéricos como FE (Elementos finitos), métodos semianalíticos y métodos probabilísticos como el de la simulación de Monte Carlo. Propone que hay interacciones fluido – casco y suelo – estructura – fluido. También menciona que los principales estándares que gobiernan los procedimientos de diseño actualmente son API 650, Eurocode 8 Part 4, NZSEE, ACI 350.3-06, AWWA D-100 entre otros.

Pan et al. (2021) publicaron en el *Journal of Mechanical Engineering* un modelo para analizar la rigidez de las uniones empernadas de un casco cilíndrico considerando que esta se comporta de manera no lineal.

Askarinejad et al. (2022) estudiaron mediante medios analíticos la respuesta sísmica de los tanques de acero para almacenamiento de agua, indagando en los efectos de la altura de tanque, espesor de su pared y tipo de fundación.

Moslemi & Kianoush (2022) en un artículo del *Canadian Journal of Civil Engineering* analizaron mediante métodos numéricos de elementos finitos el comportamiento de las uniones empernadas solapadas en tanques de almacenamiento de líquido apoyados sobre el suelo y diseñadas bajo los lineamientos de AWWA D103-09.

Radhakrishnan et al. (2014) publica en la revista "*Applied Composite Materials*" un estudio donde se analiza el desempeño de las uniones empernadas bridadas en tanques de GRP (glass reinforced plastic). Se explica que los tanques empernados de GRP son una alternativa respecto a los tanques de concreto para almacenamiento de agua, debido

a su facilidad de ensamblaje, producción, transporte y mantenimiento. Las conclusiones del estudio fueron que la iniciación de la falla en una junta atornillada de panel con brida GRP se produce en las esquinas de la junta en el área cruciforme debido a la máxima deflexión que ocurre en esta área, lo que lleva a una alta concentración de tensiones localizadas.

McGuire (2007) en un artículo de la revista *Processing* señala que los tanques empernados que utilizan un diseño de brida plegada a partir del panel cuentan con ventajas ya que esta le da una rigidez adicional al cuerpo del tanque tanto vertical como horizontalmente, en contraste con los de uniones empernadas traslapadas en la que es necesaria la adición de material. Además, en el diseño bridado se toma ventaja de las fuerzas de gravedad para generar un sello de compresión con las empaquetaduras; en el diseño solapado se cuenta con la tensión de apriete de los pernos para lograr el sello.

Olmedo & Santiuste (2012) a través de la Universidad Carlos III de Madrid publicaron una investigación donde se propuso un conjunto de unos nuevos criterios de falla en uniones empernadas de traslape simple (solapadas), diferenciándose de los existentes por la inclusión de un campo de estrés dimensional y la predicción de modos de falla fuera del plano, como la delaminación. De acuerdo con este modelo la carga máxima soportable por la unión sería menor a la de los modelos anteriores.

Liu et al. (2021) en una publicación de "IOP Conference Series: Earth and Environmental Science" analiza las características y los efectos negativos de la alta altitud y baja temperatura ambiental en regiones. En la investigación se indica que la temperatura ambiental baja tiene un efecto adverso en la calidad de la soldadura debido a que el enfriamiento repentino del cordón de soldadura puede producir fisuras y fragilizarla. También reduce el efecto de precalentamiento de la soldadura, lo que dificulta mantener la estabilidad de la temperatura intercapa de soldadura.

1.4.5. Páginas web

Alexander (2015) en un artículo de la página web *Waterworld* indicó que existen en las últimas décadas avances en el diseño y construcción de los tanques empernados:

Diseño en 3D mediante software BIM, estándares como AWWA D103, maquinaria especializada CNC, soldadura robótica, y la disponibilidad de nuevos sistemas de recubrimiento como fibra de vidrio o recubrimiento en polvo.

Capítulo II. Marcos teórico y conceptual

2.1. Marco teórico

2.1.1. Diseño de los tanques de almacenamiento de agua

La revista especializada “Journal of the New England Water Works Association” (Grabowski PE & Baldwin PE, 2016) indica que existen diversas alternativas modernas de diseño de tanques de almacenamiento de agua:

- Tanques soldados de almacenamiento de acero, han existido desde 1930.
- Tanques empernados de acero con recubrimiento de fibra de vidrio, utilizados para almacenamiento de agua desde 1970.
- Tanques de concreto armado vaciados en sitio por debajo del grado.
- Tanques de concreto armado elevados vaciados en sitio. En uso desde 1930.

En la Tabla 1 se describen las ventajas y desventajas de cada uno.

Tabla 1

Tipos de Diseño de Tanques de Almacenamiento de Agua

Tipo	Ventajas	Desventajas
Tanques de concreto armado	<p>Estructura permanente, mantenimiento mínimo.</p> <p>Construible en varias formas para acomodarse al sitio.</p> <p>Construcción enterrada elimina visibilidad.</p>	<p>Calidad de la construcción varía dependiendo del contratista.</p> <p>Costo de construcción puede ser más alto dependiendo de su configuración.</p> <p>Paredes diseñadas en tensión, potencial de fugas a través de sus paredes.</p> <p>Techo limitado a placa plana o domo de aluminio.</p>
Tanques de concreto pretensado bobinado	<p>Estructura permanente, mantenimiento mínimo.</p> <p>Puede ser construido sobre terreno o elevado dependiendo de la necesidad.</p> <p>Alto grado de control de calidad.</p> <p>Bajo costo de propiedad a largo plazo.</p>	<p>Alto costo inicial de construcción.</p> <p>Altura de tanque limitada a 90 pies.</p> <p>Los tanques no pueden ser desmontados o modificados.</p> <p>La construcción requiere un espacio adecuado en el sitio de obra.</p>

Tipo	Ventajas	Desventajas
	Opciones de techo incluyen un domo de concreto o placa plana.	
Tanques de acero soldado	<p>Desempeño de largo plazo cuando se le aplica el mantenimiento apropiado.</p> <p>Altura y diámetro ilimitados.</p> <p>Alto grado de control de calidad.</p> <p>Costo inicial de construcción bajo.</p> <p>Opciones de techo incluyen domo de acero o placas soportadas por estructura.</p>	<p>Mantenimiento regular requerido para recubrimiento protector.</p> <p>Tanque fuera de servicio cuando se aplica pintura.</p> <p>Protección catódica sugerida.</p> <p>Limitada a instalaciones por encima de terreno.</p>
Tanques de acero empernado	<p>Costo inicial de construcción bajo.</p> <p>Alturas de hasta 139 pies.</p> <p>Alto grado de control de calidad debido a fabricación en planta.</p> <p>Recubrimiento epóxico o de fibra de vidrio.</p> <p>Expandible.</p>	<p>Estanqueidad dependiente de sellantes.</p> <p>Vulnerable a daño por impacto y vandalismo.</p> <p>Estructura dependiente en prevención de formación de hielo.</p> <p>Protección catódica sugerida.</p> <p>Configuraciones limitadas, basadas en placas prefabricadas.</p> <p>Limitada a instalaciones por encima de terreno.</p>

Fuente: "Evolution of Water Storage Tanks" (Grabowski PE & Baldwin PE, 2016).

2.1.2. *Tanques empernados*

De acuerdo con una tesis de la BRNO University of Technology (Konečný, 2014) los tanques empernados son un tipo de tanque de almacenamiento fabricados de acero y contruidos a partir de paneles (láminas) prefabricados pintados o esmaltados que se unen mecánicamente mediante una conexión con pernos y químicamente mediante un adhesivo sellador.

La misma tesis indica que actualmente el diseño y producción de estos tanques se rigen por las normas publicadas por instituciones internacionales como American Water Works Association (AWWA), American Petroleum Institute (API) y National Fire Protection Association (NFPA). Asimismo, la empresa estadounidense Columbian Steel Tank Company (CST Industries) fue la primera en producir tanques empernados. Las empresas

Permastored Limited y Franklin Hodge Industries Limited serían los principales fabricantes del mercado europeo.

Figura 8

Tanque Empernado de la Empresa CST Industries.



Nota: Extraído de Bolted Steel Tank Manufacturer | CST (s/f).

Figura 9

Tanque Empernado de la empresa Permastore



Nota: Extraído de Bulk Storage Tanks & Grain Silos - PERMASTORE® (s/f).

Figura 10

Tanque Empernado de la empresa Franklin Hodge Industries Limited.



Nota: Extraído de Franklin Hodge (s/f).

2.1.3. Ventajas de los tanques empernados

J.W. Rosart (2010) señala las siguientes ventajas:

- Mayores eficiencias y menores costos, al maximizar las horas hombre de taller y minimizar las horas de trabajo de sitio.
- Riesgo más bajo: Menores demoras en la instalación por clima, montaje más seguro al no tener actividades de soldadura o arenado, menos riesgo de dañar la pintura.
- Que la mayor parte de la construcción del tanque empernado se realice en el taller metalmecánico facilita la aceleración del cronograma con turnos noche y recursos extra, y proporciona mejor acceso a materiales y equipamiento para cambios tardíos de la ingeniería.

- Para un tanque pintado la opción emperrada representa un 16% menos de costo.
- La calidad puede ser garantizada en un diseño emperrado debido a que: Manipulación de las piezas en un taller metalmecánico es más fácil, la inspección por un tercero puede ser planificada y coordinada con acceso simple, la aplicación de la pintura y enjebado se producen en ambientes controlados, no es necesaria la aplicación de ensayos no destructivos en obra.

2.1.4. Uniones emperradas solapadas y bridadas

De acuerdo con J.W. Rosart (2010) la junta más común utilizada en tanques emperrados de almacenamiento de líquidos y polvos es la unión solapada. No obstante, la empresa Outotec ha implementado en sus espesadores un detalle de unión bridada emperrada, como se aprecia en la Figura 11 y en la Figura 12.

Figura 11

Uniones Traslapadas en Tanque de Agua.



Nota: Recuperado de “Advantages of bolted tank construction for paste thickeners” (J.W. Rosart, 2010).

Figura 12

Uniones Bridadas en un Espesador.



Nota: Recuperado de “Advantages of bolted tank construction for paste thickeners” (J.W. Rosart, 2010).

Las juntas emperradas solapadas son encontradas en varios estándares actuales como AWWA D103. En palabras de J.W. Rosart (2010) aunque las juntas traslapadas requieren más pernos en comparación a las uniones bridadas, emplean menos acero en la construcción de los tanques y son más adaptables para la producción en masa. Por otro lado, las juntas emperradas bridadas pueden ser encontradas en solo unos pocos códigos de diseño como API 12B que utiliza una combinación de juntas traslapadas y juntas bridadas, pero para tanques relativamente pequeños de almacenamiento de combustible. Para la empresa Outotec (J.W. Rosart, 2010) el número de pernos y la simplicidad del diseño de unión bridada son importantes, sobre todo para sus espesadores que no son producidos en masa.

De acuerdo con la revista *Processing* (McGuire, 2007) las juntas empernadas solapadas tendrían las siguientes desventajas respecto a las juntas empernadas de tipo bridada:

- Falta de rigidez en el cuerpo del tanque tanto vertical como horizontalmente, siendo necesaria la adición de material para lograrla.
- El sello de compresión con las empaquetaduras depende de la tensión de apriete de los pernos. En el caso del diseño bridado este sello de compresión toma ventaja de las fuerzas de gravedad.

Un artículo del *Canadian Journal of Civil Engineering* (Moslemi & Kianoush, 2022) concluyó que en tanques empernados cilíndricos de almacenamiento de líquido diseñado con juntas empernadas solapadas bajo los lineamientos de AWWA D103 se forman grandes deflexiones en la unión antes de alcanzar su máxima capacidad, lo que sugiere la necesidad de introducir un criterio de deformación limitada que se utilice como base para el diseño hermético a fugas de estas uniones. Asimismo, una investigación de la Universidad Carlos III de Madrid (Olmedo & Santiuste, 2012) concluyó que la carga máxima soportable por una unión empernada solapada simple es menor a la obtenida con métodos anteriores a ese estudio, ya que en la junta existirían campos de estrés dimensional y modos de falla fuera del plano como delaminación.

2.1.5. Fabricantes Internacionales de Tanques Empernados

CST Industries es una empresa estadounidense que fabrica y distribuye a nivel mundial tanques empernados para almacenamiento de líquidos y sólidos, cumpliendo con las normas AWWA, NFPA, FM y API 12-B (*Bolted Steel Tank Manufacturer | CST, s/f*), desde el año 1916. La empresa cuenta con dos diseños de junta empernada: panel de timbre empernado (aplicable para juntas horizontales) y paneles planos traslapados, en concordancia con API 12-B.

Superior Tank Co. Inc. Es una empresa americana que fabrica tanques de acero empernados desde 1984 (*Bolted Steel Tanks, s/f*). Atienden a los Estados Unidos, Canadá

y México. Sus tanques de agua cumplen con los estándares AWWA, mientras que sus tanques para las industrias petroleras y químicas cumplen con el estándar API 12B.

Permastore es una empresa del Reino Unido (*Bulk Storage Tanks & Grain Silos - PERMASTORE®*, s/f) que fabrica tanques y silos de acero empernado desde 1959. Brinda soluciones de almacenamiento desde los 150 m³ hasta los 28,000 m³. Utilizar un diseño propio con juntas empernadas de paneles traslapados.

GLS Tanks es una empresa austriaca fabricante de tanques de acero vitrificado de uniones empernadas desde 1987 (*GLS Tanks*, s/f).

Franklin Hodge Industries Limited es un fabricante de tanques empernados de almacenamiento de agua con capacidades desde 10 m³ hasta 5000 m³ con sede en el Reino Unido. Cuentan con más de 20 años en el mercado (*Franklin Hodge*, s/f) y tanques instalados en todos los continentes en múltiples condiciones climáticas. Asimismo, en las fotos que han publicado se aprecia que sus diseños utilizan un esquema de unión empernada solapada.

2.1.6. Distribuidores de Tanques Empernados en el Perú

Tecnifire Perú es una empresa especializada en protección contra incendios (*TECNIFIRE PERÚ – Soluciones Industriales*, s/f). Son distribuidores oficiales de Superior Tank Co. Inc. en Perú, incluyendo entre sus suministros tanques empernados tipo AWWA D103 y realizando la instalación de estos.

Total Tank Perú (*Tanques y Silos*, s/f) es una empresa especializada en la venta, montaje, reparación y mantenimiento de tanques y silos. Realizan el suministro de tanques empernados vitrificados y tanques Pioneer de Australia.

Green Global Solutions es una empresa peruana especialista en el manejo y control de fluidos (<https://ggsperu.pe/>, s/f). Suministran tanques de las marcas GLS Tanks y Superior Tank Co.

Hedaga S.A. es una empresa colombiana que realiza el suministro, instalación y mantenimiento de tanques empernados pre-fabricados en acero para almacenamiento de

líquidos, de acuerdo con las normas NFPA-22, FM-4020, AWWA-D103, NSF-61 y API-12B (Hedaga S.A. - *Ingeniería contra incendio*, s/f).

2.2. Marco conceptual

2.2.1. Tanque empernado

Se refiere a un tanque de almacenamiento vertical donde las uniones de las piezas de su casco se ensamblan total o parcialmente con pernos.

2.2.2. Tanque soldado

Se refiere a un tanque de almacenamiento vertical donde las uniones de las piezas de su casco se ensamblan totalmente con soldadura de penetración completa.

2.2.3. Paneles

Se refiere a cada una de las láminas o partes del casco, fondo o techo del tanque que serán enviados a obra como producto terminado para su ensamblaje mediante empernamiento.

2.2.4. Anillos

Se refiere a las secciones circulares horizontales de la pared de un tanque, formadas por paneles que se unen entre ellos verticalmente, y que tienen un espesor de plancha uniforme.

2.2.5. Casco

Se refiere al cuerpo cilíndrico de un tanque, puede estar formado por uno o más anillos.

2.2.6. Rigidizador

Se refiere al anillo de rigidización de un tanque que se coloca en el exterior de su cuerpo cilíndrico para mantener su redondez cuando el tanque está sometido a cargas de viento o vacío.

2.2.7. Unión bridada

Se refiere a la conexión empleada para unir dos o más piezas del cuerpo de un tanque y consiste en dos bridas planas con orificios y un sellante intermedio, que se colocan una frente a la otra y se sujetan mediante pernos y tuercas.

2.2.8. Unión solapada

Se refiere a la unión empernada por traslape de planchas.

2.2.9. Platinas

Se refiere a las piezas metálicas soldadas a las láminas del casco y techo del tanque que cumplen la función de brida.

2.2.10. Bridas

Se refiere a las platinas de la unión bridada del cuerpo del tanque empernado.

2.2.11. Apriete

Se refiere al efecto de la carga ejercida sobre un perno a través de la aplicación de un torque, que contribuye a evitar la separación de las piezas conectadas.

2.2.12. Precarga

Se refiere a la tensión de apriete de un perno, es decir a la carga axial aplicada al perno para lograr una unión adecuada entre dos piezas de material.

2.2.13. Conexiones del tanque

Se refiere a las boquillas de terminación bridada o roscada que conectan al tanque con los sistemas de tuberías de planta, o a los venteos.

Capítulo III. Hipótesis y operacionalización de variables

3.1. Hipótesis

3.1.1. *Hipótesis General*

El diseño de un tanque empernado para agua reduciría los costos de construcción.

3.1.2. *Hipótesis Específica*

- a) La alternativa de tanque empernado mejora el costo de construcción respecto a su contraparte soldada.
- b) La alternativa de tanque empernado mejora el tiempo de construcción respecto a su contraparte soldada.

3.2. Variables e indicadores

3.2.1. *Variable independiente (VI)*

Diseño de tanque empernado.

3.2.2. *Variable dependiente (VD)*

Reducción de costos.

Tabla 2

Operacionalización de Variables

Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Operacionalización		Escala de Medición
			Dimensiones	Indicadores	
VI: Diseño de tanque empernado	Diseño se refiere al método de ensamble predominante en las planchas del casco del tanque (empernado o soldado). La diferencia entre ambos es la existencia de juntas empernadas de casco.	El diseño del tanque consiste en el cálculo de los espesores del cuerpo del tanque considerando la adaptación a la realidad nacional para la reducción de costos de construcción.	Configuración	Tipo de junta predominante entre los paneles del casco del tanque	Empernado / Soldado
			Adaptación	Consideración de Tecnología y Recursos Disponibles en Perú	Sí / No
VD: Reducción de costos	Reducción de costos se refiere al costo y tiempo necesarios para la fabricación de los componentes del tanque en un taller metalmecánico y su montaje en su ubicación final.	La evaluación de la reducción de costos del tanque consistirá en la elaboración de un presupuesto y de un cronograma de construcción total (fabricación más montaje).	Presupuesto	Costo estimado de construcción	Dólares
			Cronograma	Tiempo estimado de construcción	Días

Capítulo IV. Metodología de la investigación

4.1. Tipo y diseño de la investigación

El diseño de la investigación es de tipo no experimental, ya que se realizará una propuesta teórica de diseño sin manipulación de variables, y del subtipo transeccional descriptiva porque las mediciones se realizarán en un momento único.

De acuerdo con el enfoque la investigación es de tipo cuantitativa ya que es de tipo secuencial y aprobatoria, orientada a contrastar la hipótesis con la realidad (Hernández Sampieri, 2018). Asimismo, se maneja el método deductivo, a partir de unos datos de entrada y realizando un diseño para contrastar la hipótesis.

El tipo de alcance del estudio es descriptivo porque busca presentar y caracterizar una alternativa de diseño y construcción de tanques empernados para almacenamiento de agua en Perú. También busca verificar si el diseño propuesto de tanques empernados es una alternativa más costo-eficiente que la construcción de tanques soldados.

4.2. Unidad de análisis

La unidad de investigación será un tanque cilíndrico vertical metálico de almacenamiento de agua de techo abierto de 561 m³, de diámetro 8.8 m y altura 9.53 m que será instalado en una unidad minera ubicada en la provincia de Sánchez Cerro, región de Moquegua, Perú a 4850 msnm.

4.3. Matriz de consistencia

Tabla 3

Matriz de Consistencia

Título: Diseño Estructural de Tanque de Acero Empernado para Agua con la Tecnología Disponible para Reducir los Costos de Construcción en una Unidad Minera				
Problema	Objetivo	Hipótesis	Variables	Metodología
<u>Problema General</u>	<u>Objetivo General</u>	<u>Hipótesis General</u>	<u>Variable Independiente (VI)</u>	<u>Tipo de Investigación:</u> Aplicada.
¿Es posible suministrar localmente tanques emperrados para almacenar agua de manera eficiente y económica con la tecnología disponible en Perú, considerando las condiciones climáticas, geográficas y recursos disponibles en el Perú?	Diseñar un tanque de acero emperrado para agua para reducir costos de construcción con la tecnología disponible en Perú.	El diseño de un tanque emperrado para agua reduciría los costos de construcción.	Diseño de tanque emperrado.	<u>Enfoque de Investigación:</u> Cuantitativo. <u>Alcance de Investigación:</u> Descriptivo. <u>Diseño:</u> No experimental.
<u>Problemas Específicos</u>	<u>Objetivos Específicos</u>	<u>Hipótesis Específicas</u>	<u>Variable Dependiente (VD)</u>	<u>Unidad de Análisis:</u> Será un tanque cilíndrico vertical metálico de almacenamiento de agua de techo abierto de 561 m ³ , de diámetro 8.8 m y altura 9.53 m que será instalado en una unidad minera ubicada en la provincia de Sánchez Cerro, región de Moquegua, Perú a 4850 msnm.
a) ¿Es posible que el costo de construcción de un tanque emperrado suministrado localmente en Perú sea menor que el de su contraparte soldada? b) ¿Es posible que el tiempo de construcción de un tanque emperrado suministrado localmente en Perú sea menor que el de su contraparte soldada?	a) Comparar los costos de construcción de tanques emperrados y soldados. b) Comparar el tiempo de construcción de tanques emperrados y soldados.	a) La alternativa de tanque emperrado mejora el costo de construcción respecto a su contraparte soldada. b) La alternativa de tanque emperrado mejora el tiempo de construcción respecto a su contraparte soldada.	Construcción del Tanque.	<u>Técnicas e Instrumentos de recolección de datos:</u> Hoja de datos del tanque, planilla de metrados, presupuesto de construcción, cronograma de construcción. <u>Técnicas e instrumentos de análisis y procesamiento de datos:</u> MS Excel.

Capítulo V. Desarrollo del trabajo de investigación

5.1. Datos de entrada para el diseño

El objeto de estudio es un tanque cilíndrico vertical para almacenamiento de agua que será instalado en una unidad minera ubicada en la provincia de Sánchez Cerro, región de Moquegua. Los datos de entrada como las dimensiones requeridas del tanque, contenido, temperatura de operación y presión de trabajo son determinados por una ingeniería de procesos fuera del alcance de este estudio, pero serán de utilidad para el análisis estructural del tanque emperrado.

5.1.1. Datos del tanque

Se consideran de acuerdo con la Tabla 4:

Tabla 4

Datos de Entrada del Tanque

DESCRIPCIÓN	VALOR
Volumen V	561 m ³
Diámetro D	8800 mm
Altura H	9530 mm
Material del cuerpo	ASTM A36
Material de los anclajes	ASTM F1554 Gr. 36
Nivel del Líquido Hd	9230 mm
Tipo de techo	Abierto
Tolerancia a la corrosión	2 mm
Aislamiento térmico	No
Agitación	No
Enjebado Interno	No
Estructura externa (escalera de gato, plataforma y barandas)	No
Soporte	Fundación de concreto

5.1.2. Datos del contenido

Se consideran:

- Contenido: Agua tratada.
- Gravedad específica $SG = 1.0$.

- Temperatura del fluido: Ambiente.
- PH del fluido: 7 – 8.
- Presión de trabajo: Atmosférica.

5.1.3. Condiciones de sitio

Se consideran de acuerdo con la Tabla 5

Tabla 5

Condiciones de Sitio

DESCRIPCIÓN	VALOR
Ubicación	Distrito Ichuña, provincia General Sánchez Cerro, región Moquegua, Perú
Elevación del sitio	4850 msnm
Máxima temperatura ambiental	15 °C
Mínima temperatura ambiental	-5 °C
Velocidad de viento de diseño	80 km/h
Velocidad máxima de viento de diseño	104 km/h
Cargas sísmicas	De acuerdo con Norma E.030 Diseño Sismorresistente
Zona sísmica	Zona 3
Factor de zona	0.35g
Aceleración pico de suelo (Peak ground acceleration PGA)	0.363g por un período de 475 años
Cargas de nieve y otros	De acuerdo con Norma E.020 Cargas

5.2. Estándares internacionales, normativas y regulaciones locales aplicables

API 650 13th ed. “Welded Tanks for Oil Storage” es un estándar que contiene requerimientos mínimos para los materiales, diseño, fabricación, montaje e inspección de tanques de almacenamiento verticales, cilíndricos, apoyados sobre terreno, de techo abierto o cerrado, fabricados por soldadura en varios tamaños y capacidades para presiones internas similares a la atmosférica (American Petroleum Institute (API), 2021). Contiene fórmulas para el cálculo de espesores de fondo, casco techo y demás elementos de los tanques de almacenamiento. Las fórmulas tienen en cuenta la gravedad específica del líquido contenido, por lo cual este estándar puede aplicarse al diseño de tanques de almacenamiento de agua tratada. En Perú es uno de los estándares más difundidos para

el diseño de tanques ya que cuenta con varios trabajos de investigación relacionados y varias empresas que lo incluyen en su base de conocimiento.

AWWA D103-19 “Factory-Coated Bolted Carbon Steel Tanks for Water Storage” es un estándar con requerimientos mínimos para el diseño, construcción, inspección y pruebas de tanques de acero al carbono empernados, nuevos y cilíndricos para el almacenamiento de agua; no contiene toda la información administrativa y de ingeniería normalmente encontrada en las especificaciones (AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION, 2019). Dentro de su contenido se identifican los siguientes requisitos generales:

- Los tanques de almacenamiento de agua potable deben tener techo para proteger el contenido de la contaminación y el medio ambiente. Sin embargo, este requerimiento no es necesario cuando el contenido no es agua potable.
- Expresa el efecto del empernamiento como un factor de diseño aplicado sobre las fórmulas de cálculo de espesores del casco, basado en el ratio del espaciado entre los centros de pernos y entre los bordes de los agujeros perforados para estos.
- La distancia entre los pernos no debe ser menor a 2 veces sus diámetros.
- La distancia del centro de un perno a un borde o cordón de soldadura no debe ser menor a $\frac{3}{4}$ pulgada.
- Se permiten uniones empernadas horizontales bridadas, pero deben cumplir con las tolerancias de API 12B. También se permiten uniones empernadas horizontales solapadas.

API 12B 16th ed. “Specification for Bolted Tanks for Storage of Production Liquids” es un estándar que contiene requerimientos mínimos para los materiales, diseño, fabricación, montaje e inspección de tanques de almacenamiento verticales, cilíndricos, apoyados sobre terreno, de techo abierto o cerrado, empernados en varios tamaños y capacidades para presiones internas similares a la atmosférica (American Petroleum

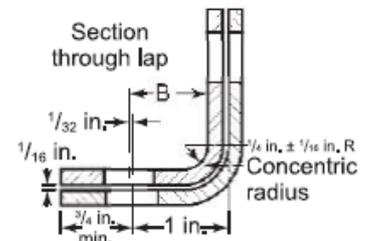
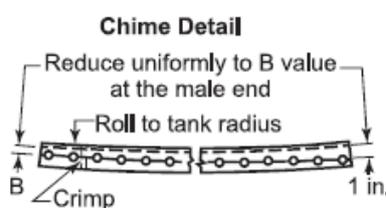
Institute (API), 2014). Dentro de su contenido se identifican los siguientes requisitos generales:

- Las planchas del tanque deben estar de acuerdo con la última edición de ASTM A36 o ASTM A572.
- La pernería debe cumplir con la última revisión de ASTM A307 Gr. A.
- Cumplimiento de dimensiones determinadas en la Tabla 1 Sección 4.2 API 12B 16th ed.
- Espesores de fondo, pared y techo de acuerdo con la Tabla 2 API 12B 16th ed.
- Configuraciones de fondo, casco y techo de acuerdo con las Figuras 3, 4 y 5 de API 12B 16th ed. El fondo se divide en secciones radiales empernadas a solapamiento de la misma forma que el techo. El casco se compone de paneles unidos entre sí por uniones empernadas traslapadas verticalmente y uniones empernadas bridadas horizontalmente como se muestra en la Figura 14; la brida de la unión horizontal se pliega a partir de la plancha del panel. La posición de los agujeros en la brida tiene un espaciamiento variable respecto a la pared del tanque, como se aprecia en la Figura 13.
- Todos los pernos serán de diámetro 0.5 pulgadas, salvo por los de las conexiones del tanque.

Figura 13

Detalle de Brida Horizontal de Paneles de Casco según API 12B 16th Ed

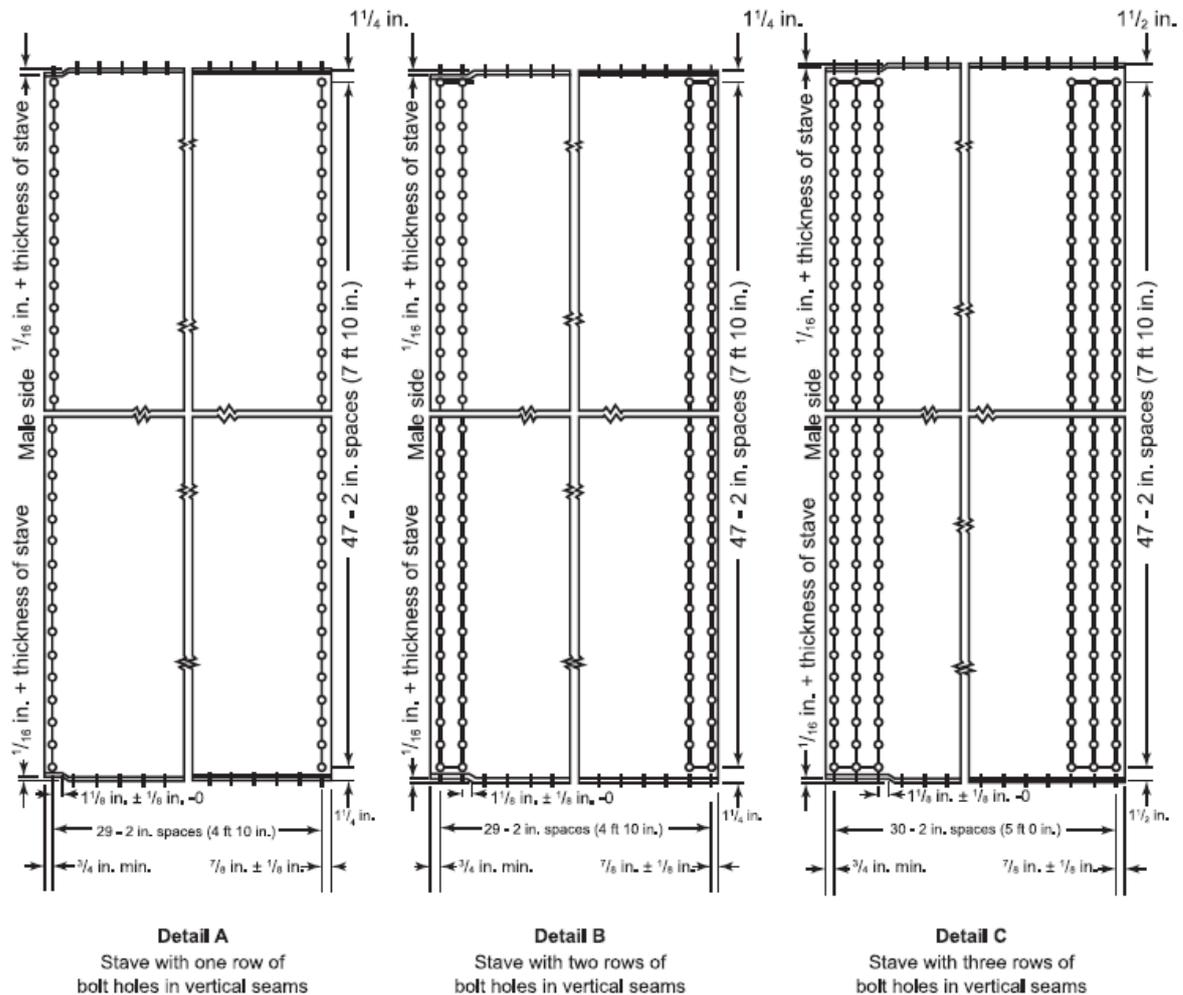
Values of B	
Nominal stave thickness	B
0.105 in.	$\frac{55}{64}$ in.
0.135 in.	$\frac{53}{64}$ in.
$\frac{3}{16}$ in.	$\frac{25}{32}$ in.
$\frac{1}{4}$ in.	$\frac{23}{32}$ in.



Nota: Extraído de (American Petroleum Institute (API), 2014).

Figura 14

Paneles de Casco según API 12B 16th Ed.



Nota: Extraído de (American Petroleum Institute (API), 2014).

NFPA 22 ed. 2018 “Standard for Water Tanks for Private Fire Protection” es un estándar que provee requerimientos para el diseño, construcción, instalación y mantenimiento de tanques y equipamiento accesorio de suministro de agua para protección contra incendios (National Fire Protection Association, 2018). En relación con los tanques emperrados la norma señala que el diseño debe realizarse de acuerdo con AWWA D103.

AISC 360-16 “Specification for Structural Steel Buildings” es una especificación que provee los requisitos para el diseño, fabricación y construcción de estructuras de acero estructural (American Institute of Steel Construction - AISC, 2016). Este estándar también registra lineamientos para el diseño de conexiones estructurales emperradas.

ASCE 7-16 “Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures” es un estándar que provee cargas mínimas, niveles de peligro, criterios asociados, y metas de desempeño para edificaciones, otras estructuras, y sus componentes no estructurales sujetos a requerimientos de códigos de construcción (American Society of Civil Engineers, 2016). Este estándar es utilizado según sea referenciado por las normas de diseño como API 650, API 12B, AWWA D103 y AISC 360-16; por ejemplo, proporciona las combinaciones de carga aplicables en los cálculos de conexiones estructurales.

AWS D1.1-2020 “Structural Welding Code – Steel” es un código que contiene los requerimientos de soldadura para cualquier estructura soldada elaborada de aceros al carbono y de baja aleación (American Welding Society (AWS), 2020). Este código es utilizado según sea referenciado por las normas de diseño como API 650, API 12B y AWWA D103.

El apartado E.020 “Cargas” del Reglamento Nacional de Edificaciones peruano proporciona los valores mínimos de cargas que serán empleados en los diseños de elementos estructurales en suelo peruano (Ministerio de Vivienda, 2020a). Esta norma indica:

- Valores mínimos de carga básica de nieve sobre el suelo y de carga de nieve sobre los techos.
- De acuerdo con su Anexo 2 Mapa Eólico del Perú en la zona de instalación del tanque la velocidad de servicio del viento es de 80 km/h. Multiplicándolo por un factor del 30% la velocidad de diseño será 104 km/h.
- Las fuerzas térmicas se considerarán a partir de un cambio mínimo de temperatura de 30°C para construcciones de metal. Para el caso de este tanque la variación es de 20°C, por lo cual no será necesario.
- Se considera como peso unitario del acero 7850 kgf/m³.

El apartado E.030 “Diseño Sismorresistente” del Reglamento Nacional de Edificaciones peruano establece las condiciones mínimas para el diseño sísmico de las edificaciones (Ministerio de Vivienda, 2020b). Además, en su capítulo II proporciona valores que deberán ser utilizados y amplificados de acuerdo con su importancia para estructuras tales como tanques y aquellas cuyo comportamiento sísmico difiera del de las edificaciones, mientras no se cuente con normas nacionales específicas. Se identifica lo siguiente:

- De acuerdo con la zonificación de peligro sísmico E.030 Capítulo II artículo 10 al lugar de instalación del tanque le corresponde la zona 3, con un factor Z igual a 0.35 que se interpreta como la aceleración máxima horizontal en un suelo rígido con una probabilidad de 10% de ser excedida en 50 años.
- De acuerdo con la categoría de las edificaciones E.030 Capítulo III Artículo 15, por ser una instalación común al tanque le corresponde la categoría “C” y el factor de uso U igual a 1,0.

El apartado E.090 “Estructuras Metálicas” del Reglamento Nacional de Edificaciones peruano se constituye en una norma de diseño, fabricación y montaje de estructuras metálicas en el suelo peruano (Ministerio de Vivienda, 2020c). Comparte varios datos en común con AISC 360-16, como por ejemplo los datos de resistencia nominal de los pernos según su material.

5.3. Tecnología disponible en el Perú para construcción de tanques emperrados

Para el fin de desarrollar un diseño de tanques emperrados de acero para almacenamiento de agua que puedan ser fabricados sin mayores restricciones en Perú, se requiere un conocimiento de los recursos disponibles en el país en términos de materiales y equipos. Esta información es crucial para garantizar la viabilidad de fabricación de los tanques emperrados en Perú.

En relación con los materiales disponibles en el Perú, se realiza la consulta en los catálogos de los mayores productores e importadores de acero en el país. El primero de ellos es Corporación Aceros Arequipa S.A., quien ocupa el puesto 33 de las empresas con

mejor reputación en el Perú en el ranking MERCO Empresas 2023 (*Ranking Merco Empresas Perú, s/f*). Realiza tanto la manufactura de perfiles y planchas en su planta de Ica, así como la importación de productos desde China, Turquía y Estados Unidos. La revisión de su catálogo web indica que suministran principalmente perfiles de norma americana cumpliendo con las dimensiones de perfiles y planchas de acuerdo con la especificación de AISC (American Institute of Steel Construction - AISC, 2017) y con la norma de material ASTM A36. De acuerdo con sus catálogos web los perfiles lineales como canales, platinas y barras se suministran en longitudes de 6 m (*Perfiles de Acero | Aceros Arequipa Perú., s/f*) como se visualiza en la Tabla 6, y los productos planos como las planchas se comercializan en formatos de hasta 3 m x 12 m dependiendo del espesor (*Planchas de Acero - Laminación caliente (LAC) o en frío (LAF) | Aceros Arequipa Perú., s/f*) como se aprecia en la Tabla 7. Otro proveedor de acero en el Perú es Tradi S.A. quienes son principalmente importadores y tienen suministros similares a los de Corporación Aceros Arequipa S.A. (*Planchas y Bobinas | TRADISA, s/f*).

Tabla 6

Ángulos comercializados por Corporación Aceros Arequipa S.A.

Material	Dimensiones pulg	Longitud Comercial	Peso nominal kg/m
ASTM A36 / A572 G50.	1.1/2"x1.1/2"x3/32"	6 m	1.38
ASTM A36 / A572 G50.	1.1/2"x1.1/2"x1/8"	6 m	1.83
ASTM A36 / A572 G50.	1.1/2"x1.1/2"x3/16"	6 m	2.68
ASTM A36 / A572 G50.	1.1/2"x1.1/2"x1/4"	6 m	3.48
ASTM A36 / A572 G50.	2"x2"x1/8"	6 m	2.46
ASTM A36 / A572 G50.	2"x2"x3/16"	6 m	3.63
ASTM A36 / A572 G50.	2"x2"x1/4"	6 m	4.75
ASTM A36 / A572 G50.	2"x2"x3/8"	6 m	6.99
ASTM A36 / A572 G50.	2.1/2"x2.1/2"x3/16"	6 m	4.57
ASTM A36 / A572 G50.	2.1/2"x2.1/2"x1/4"	6 m	6.1
ASTM A36 / A572 G50.	2.1/2"x2.1/2"x3/8"	6 m	8.78
ASTM A36 / A572 G50.	3"x3"x1/4"	6 m	7.29
ASTM A36 / A572 G50.	3"x3"x5/16"	6 m	9.08
ASTM A36 / A572 G50.	3"x3"x3/8"	6 m	10.72
ASTM A36 / A572 G50.	3"x3"x1/2"	6 m	13.99
ASTM A36 / A572 G50.	4"x4"x1/4"	6 m	9.82
ASTM A36 / A572 G50.	4"x4"x5/16"	6 m	12.2
ASTM A36 / A572 G50.	4"x4"x3/8"	6 m	14.58

Material	Dimensiones pulg	Longitud Comercial	Peso nominal kg/m
ASTM A36 / A572 G50.	4"x4"x1/2"	6 m	19.05

Nota: Elaborado en base a información extraída de la página web de Corporación Aceros Arequipa S.A.

Tabla 7

Planchas ASTM A36 comercializadas por Corporación Aceros Arequipa S.A.

Espesor de Plancha (mm)	Peso teórico por formato en kg/plancha			
	1,200x2,400 (mm)	1,200x6,000 (mm)	1,500x6,000 (mm)	2,400x6,000 (mm)
1.5	33.91			
1.8	40.69			
1.9	42.96			
2.0	45.22	113.04		
2.2	49.74	124.34		
2.3	52.00	130.00		
2.4	54.26	135.65		
2.5	56.52	141.30		
2.9	65.56	163.91		
3.0			211.95	
3.9	88.17	220.43		
4.0			282.60	
4.4	99.48	248.69		
4.5			317.93	
4.8			339.12	
5.0				565.20
5.9	133.39	333.47		
6.0	135.65	339.12	423.90	
6.35	143.56	358.90		
6.40			452.16	723.46
8.0	180.86	452.16	565.20	904.32
9.0	203.47		635.85	1,017.36
9.5			671.18	1,073.88
12.0	271.30		847.80	1,356.48
12.5			883.13	1,413.00
16.0	361.73		1,130.40	1,808.64
19.0			1,342.35	2,147.76
20.0	452.16			2,260.80
22.0			1,554.30	2,486.88
25.0	565.20		1,766.25	2,826.00
32.0	723.46		2,260.80	3,617.28
38.0	859.10		2,684.70	4,295.52
50.0	1,130.40		3,532.50	5,652.00
63.0	1,424.30		4,450.95	7,121.52

Espesor de Plancha (mm)	Peso teórico por formato en kg/plancha			
	1,200x2,400 (mm)	1,200x6,000 (mm)	1,500x6,000 (mm)	2,400x6,000 (mm)
75.0	1,695.60		5,298.75	8,478.00
100.0	2,260.80		7,065.00	11,304.00
125.0			8,831.25	14,130.00

Nota: Elaborado en base a información extraída de la página web de Corporación Aceros Arequipa S.A.

En relación con el diseño, modelado 3D y elaboración de planos para la fabricación del tanque empernado, existen alternativas de software disponibles en el mercado nacional. Resaltan 3 programas como los de mayor difusión y acceso a herramientas de aprendizaje: Solidworks, Autodesk Inventor y Autocad. Autocad es un software de diseño asistido por ordenador (CAD) que se utiliza para dibujar, diseñar, y modelar en 2D y 3D de forma precisa con sólidos, superficies, etc (*Software de AutoCAD | Autodesk, s/f*); es particularmente útil para la edición y distribución de planos 2D en formatos “dwg” y “pdf”, pero su edición de archivos 3D es laboriosa y complicada, careciendo de características de parametría, es decir la capacidad de asignar variables a las cotas de modo que el cambio en alguna dimensión afecte automáticamente a las dependientes.

Autodesk Inventor® es un software CAD 3D que ofrece herramientas profesionales para el diseño mecánico, la elaboración de documentación y la simulación de productos (*Software Inventor, s/f*); entre sus funciones cuenta con la parametría de modelos, ensamblajes de piezas, diseño y preparación de productos complejos de chapas para el sector de la fabricación y creación de dibujos.

Solidworks es un software que ofrece una solución de fabricación y diseño 3D; junto con la funcionalidad del dibujo 2D, ensamblaje y pieza, se incluyen herramientas especializadas para chapas, soldaduras, superficies, moldes, simulaciones de movimiento y análisis de elementos finitos (*SolidWorks CAD 3D - Cadso, s/f*). Tanto Inventor como Solidworks son herramientas útiles para el diseño 3D de los tanques empernados y existe facilidad de acceso a recursos de aprendizaje de estos programas. No obstante dado el volumen de información que manejan estos programas es recomendable que el diseño y modelado tengan el mayor grado de simplicidad posible; como se mencionó en el acápite

1.2, el modelado 3D de conexiones empernadas traslapadas en el tanque incrementa el nivel de complejidad de estas actividades y el riesgo de que los planos tengan errores.

Un aspecto clave en la fabricación de tanques es el rolado de las planchas que forman el casco; por ello es importante conocer las limitaciones que se puedan tener en este proceso. El diámetro de rolado y el ancho de plancha que se pueden rolar están limitados por el tamaño de los rodillos de la roladora (ver Figura 15), mientras que el espesor máximo de plancha a rolar depende de la potencia de la máquina. De acuerdo con lo consultado en la página web del fabricante italiano de máquinas roladoras Davi (*Roladora de Chapa Davi, s/f*) su línea de productos MCA puede rolar planchas de hasta 14 mm de espesor, y en la línea MCB planchas de hasta 28 mm de espesor. El diámetro mínimo de rolado se encontraría entre los 300 – 400 mm, mientras que el ancho máximo posible de rolado de planchas para estas máquinas es de 3000 mm, ya que sus rodillos tienen una longitud máxima de 3100 mm (ver Tabla 8). Lo mismo sucede con las roladoras de la marca internacional Krrass (*Krrass Rolling Plate Bending Machines, s/f*), las cuales tienen una longitud máxima de 3100 mm (ver Tabla 9).

Figura 15

Roladora hidráulica marca Davi modelo MCA3028 de 4 rodillos.



Nota: Recuperado de página web de fabricante Davi (Roladora de Chapa Davi, s/f).

Tabla 8*Características de Roladoras de la Marca Davi Línea MCA*

MODELOS	ANCHO RODILLOS MM	ROLLING MM
MCA 2019	2050	9
MCA 2020	2050	11
MCA 2024	2050	16
MCA 2527	2550	15
MCA 2520	2550	8
MCA 2522	2550	10
MCA 3020	3100	7
MCA 3022	3100	9
MCA 3028	3100	14
MCA 3030	3100	15

Nota: Datos obtenidos de la página web del fabricante italiano Davi (*Roladora de Chapa Davi, s/f*).

Tabla 9*Datos de Roladoras de Marca Krass*

Modelo	Máximo Espesor de Rolado	Longitud Efectiva de Rolado	Esfuerzo de Fluencia de Material Base
	(mm)	(mm)	(Mpa)
W12-4x2000	4	2050	245
W12-4x2500	4	2550	245
W12-4x3000	4	3100	245
W12-6x2000	6	2050	245
W12-6x2500	6	2550	245
W12-6x3000	6	3100	245
W12-8x2000	8	2050	245
W12-8x2500	8	2550	245
W12-8x3000	8	3100	245
W12-10x2000	10	2050	245
W12-10x2500	10	2550	245
W12-10x3000	10	3100	245
W12-12x2000	12	2050	245
W12-12x2500	12	2550	245
W12-12x3000	12	3100	245
W12-16x2000	16	2050	245
W12-16x2500	16	2550	245
W12-16x3000	16	3100	245
W12-20x2000	20	2050	245
W12-20x2500	20	2550	245
W12-20x3000	20	3100	245
W12-25x2000	25	2050	245

Modelo	Máximo Espesor de Rolado	Longitud Efectiva de Rolado	Esfuerzo de Fluencia de Material Base
	(mm)	(mm)	(Mpa)
W12-25x2500	25	2550	245
W12-25x3000	25	3100	245
W12-30x2000	30	2050	245
W12-30x2500	30	2550	245
W12-30x3000	30	3100	245
W12-35x2000	35	2050	245
W12-35x2500	35	2550	245
W12-35x3000	35	3100	245
W12-40x2000	40	2050	245
W12-40x2500	40	2550	245
W12-40x3000	40	3100	245
W12-45x2000	45	2050	245
W12-45x2500	45	2550	245
W12-50x2000	50	2050	245
W12-50x3000	50	3100	245
W12-60x3000	60	3100	245

Nota: Datos obtenidos de la página web del fabricante internacional Krrass (*Krrass Rolling Plate Bending Machines, s/f*).

De acuerdo con API 12B (American Petroleum Institute (API), 2014) las bridas horizontales de los paneles de casco son porciones de este que han sido plegadas para ser perpendiculares a él, como se aprecia en la Figura 13. La curvatura de las planchas roladas determina la necesidad de que la maquina plegadora tenga una adaptación y una potencia suficiente para doblar planchas curvas de alto espesor. La consulta con los fabricantes americanos de máquinas plegadoras Ermaksan (*ERMAKSAN - Press Brake, s/f*) y Trumpf (*Máquinas de plegado | TRUMPF, s/f*) señala que estos equipos serían lineales, es decir realizan plegados rectos, como se visualiza en la Figura 16 y la Figura 17. Con esta maquinaria no sería posible desarrollar el diseño propuesto por API 12B a menos que se realice el plegado previamente al rolado de las planchas, lo que conlleva otros problemas.

Figura 16

Máquina Plegadora Power-Bend de la compañía Ermaksan



Nota: Extraído de página web del fabricante (ERMAKSAN - Press Brake, s/f).

Figura 17

Máquina Plegadora TruBend Serie 5000 de la compañía Trumpf



Nota: Extraído de página web del fabricante (Máquinas de plegado | TRUMPF, s/f).

Para la preparación y corte de las planchas que conformarán el cuerpo del tanque en el Perú está presente la tecnología de corte por control numérico computacional, por tecnología de corte plasma y también oxicorte. En la Tabla 10 se visualiza un resumen de algunas opciones presentes en el mercado peruano y sus características, junto con una foto en la Figura 18.

Tabla 10

Mesas de Corte CNC por Plasma

PROVEEDOR	MODELO	TECNOLOGÍA
MECA CORTE	MASTER 30D	Máquina de Corte CNC con 01 soplete de oxicorte + 01 antorcha plasma. Área útil de corte: 2600 x 4500 mm. Corta planchas de hasta 120 mm de espesor.
IP - TECOI	TEKNOS 4000	Máquina de Corte CNC con 01 antorcha plasma, sistema de perforación controlada (taladrado) y cabezal de biselado BEVEL ARC. Área útil de corte: 3100 x 12200 mm. Corta planchas de hasta 300 mm de espesor.
FICEP	GEMINI G254HPE	Máquina de Corte CNC con 01 antorcha plasma y sistema de perforación controlada (taladrado). Área útil de corte: 2540 x 24400 mm. Corta planchas de hasta 80 mm de espesor.

Nota: Elaboración propia

Figura 18

Mesa de Corte Gemini – Ficep



Nota: Extraído de página web del fabricante (GEMINI - Ficep, s/f).

Finalmente, es necesario realizar una revisión de la tecnología de soldadura disponible en el Perú para la fabricación de los tanques. La página web y el catálogo de Soldexa-Esab, un proveedor de equipos y consumibles de soldadura de gran presencia en el Perú, señala que comercializan en Perú equipos con capacidad multiproceso (ver Figura 19), es decir que pueden utilizarse en todos los procesos de soldadura manual: FCAW, GMAW, GTWAT y SMAW (*Equipos para Soldadura Soldexa - Esab, s/f*). Además, también suministran equipos de apoyo para la manipulación de los elementos a soldar (ver Figura 20) y para la automatización de la soldadura (ver Figura 21 y Figura 22).

Figura 19

Máquina de Soldadura Multiproceso Soldexa-Esab



[Comparar](#)

Warrior 350i MV

El sistema de soldadura Warrior empareja la Warrior 350i MV de voltaje múltiple y multiproceso con c...

Proceso
FCAW, GMAW, GTAW, SMAW, ACAG

Voltaje de fase/entrada
3 ph, 220-440 V ($\pm 10\%$)

Ciclo de trabajo
60% @ 350 A



*Nota: Extraído de página web del fabricante (*Equipos para Soldadura Soldexa - Esab, s/f*).*

Figura 20

Viradores para Manipulación de Tanques

Viradores



- Se componen de un equipo motriz y un equipo libre, el cual en conjunto pueden realizar el giro de piezas como virolas, tanques.
- Dependiendo del modelo permite manipular cargas desde 7 hasta 150 toneladas.
- Especialmente diseñados para soportar el trabajo exigente en el proceso de soldadura

Nota: Extraído de página web del fabricante (*Equipos para Soldadura Soldexa - Esab, s/f*)

Figura 21

Sistema de Automatización de Soldadura por Arco Sumergido



TRACTOR/COLUMNA/PORTICO
CONTROLADOR
ALIMENTADOR
FUENTE LAF DC/
ARISTO AC/DC

Nota: Extraído de página web del fabricante (*Equipos para Soldadura Soldexa - Esab, s/f*)

Figura 22

Sistema para Mecanización de Soldadura

MagneticTrac ETP 2 MIG/MAG

Solución para soldadura GMAW (MIG/MAG) y alambre tubular



- Robusto y compacto
- Movimiento estable y regular
- Versátil
- Fácil manejo
- Fácil automatización
- Mayor calidad y homogeneidad de la soldadura
- Antorcha ajustable

Características técnicas	
MagneticTrac ETP 2 MIG/MAG	
Tensión de Alimentación	220 Vac
Tensión de Control	24 Vdc
Velocidad de desplazamiento	50 - 900 mm/min
Alcance de torcha	
1 - Ángulo de ajuste	40°-50°
2 - Movimiento vertical	50 mm
3 - Movimiento horizontal	50 mm
Capacidad de desplazamiento de carga	25 kg
Dimensiones (L x A x A)	275 x 215 x 215 mm
Peso	8,5 kg

Nota: Extraído de página web del fabricante (*Equipos para Soldadura Soldexa - Esab, s/f*)

5.4. Fórmulas y proceso de cálculo

El proceso de cálculo se realizará en dos partes: Cálculo de espesores del cuerpo del tanque y cálculo de uniones empernadas. La primera parte se realizará de acuerdo con API 650 13th ed. (American Petroleum Institute (API), 2021) por ser la norma más difundida en el Perú y de mayor acceso a capacitaciones. Para la segunda parte se realizará un análisis analítico específico según AISC (American Institute of Steel Construction - AISC, 2017).

5.4.1. Diseño de casco de tanque

Según API 650 13th ed. sección 5.6.1 el espesor requerido de casco será el de mayor valor entre el espesor de diseño de casco incluyendo la tolerancia a la corrosión y el espesor de casco de prueba hidrostática; además el valor del espesor no debe ser inferior a 5 mm para tanques de diámetro menor a 15 m, 6 mm para tanques cuyo diámetro se encuentre entre 15 y 36 m, 8 mm para tanques cuyo diámetro sea mayor a 36 m pero menor a 60 m.

Para el cálculo de los espesores de casco se utilizará el método de 1 pie, el cual computa los espesores requeridos en puntos 0.3 metros por arriba de la parte inferior de cada anillo de casco: este método no debe ser utilizado para tanques cuyo diámetro sea mayor a 61 m. El espesor mínimo requerido de casco se obtiene como el mayor de los valores resultantes de las ecuaciones (1) y (2).

$$t_d = \frac{4.9 * D * (H - 0.3) * G}{S_d} + CA \quad (1)$$

$$t_t = \frac{4.9 * D * (H - 0.3)}{S_t} \quad (2)$$

En estas ecuaciones t_d y t_t son los espesores casco de diseño y de prueba hidrostática respectivamente, D es el diámetro nominal de tanque, H el nivel de diseño de líquido, G es la gravedad específica del líquido contenido y CA la tolerancia a la corrosión en mm. Los valores del esfuerzo máximo admisible del producto S_d y del esfuerzo máximo admisible de prueba hidrostática S_t dependen del material seleccionado para el tanque y

se calculan como los 2/3 y 3/4 del valor del esfuerzo de fluencia del material respectivamente o como 2/5 y 3/7 del valor del esfuerzo de rotura del material respectivamente, dependiendo de cual valor sea menor. Los valores para materiales de común uso se visualizan en la Tabla 11.

Tabla 11

Esfuerzos Permisibles por Material

ASTM Specification	Grade	Minimum Yield Strength, MPa	Minimum tensile Strength, MPa	Product Design Stress Sd, MPa	Hydrostatic Test Stress St, MPa
A283M	C	205	380	137	154
A285M	c	205	380	137	154
A131M	A, B	235	400	157	171
A36M	-	250	400	160	171
A131M	EH 36	360	490	196	210
A573M	400	220	400	147	165
A57311	450	240	450	160	180
A573M	485	290	485	193	208
AS 1611	380	205	380	137	154
A516M	415	220	415	147	165
A516M	450	240	450	111	180
A516M	485	260	485	173	195
A662M	B	275	450	180	193

Nota: Elaborado en base a Tabla 5.2a de API 650 13th ed. (American Petroleum Institute (API), 2021).

5.4.2. Diseño de fondo de tanque

De acuerdo con la sección 5.4 de API 650 13th ed. todas las planchas de fondo deben tener un espesor de plancha corroído no menor a 6 mm. Además, según API 650 13th Ed. 5.5.3 el espesor de fondo será el mayor de los espesores determinados utilizando la Tabla 12. Para el uso de esta tabla, el valor del esfuerzo en el primer anillo se asumirá como el mayor del esfuerzo de producto y el esfuerzo de prueba hidrostática calculado con las ecuaciones (3) y (4).

$$Product\ Stress = \left(\frac{(t_d - CA)}{Corroded\ t} \right) \times S_d \quad (3)$$

$$Hydrostatic\ Test\ Stress = \left(\frac{(t_t)}{Nominal\ t} \right) \times S_t \quad (4)$$

Tabla 12*Espesor de Planchas de Fondo*

Espesor de Plancha del Primer Anillo del Casco (mm)	Esfuerzo en el Primer Anillo del Casco (MPa)			
	≤ 190	≤ 210	≤ 220	≤ 250
$t \leq 19$	6	6	7	9
$19 < t \leq 25$	6	7	10	11
$25 < t \leq 32$	6	9	12	14
$32 < t \leq 40$	8	11	14	17
$40 < t \leq 45$	9	13	16	19

Nota: Recuperado de Tabla 5.1a de API 650 13th ed. (American Petroleum Institute (API), 2021).

5.4.3. Diseño de anillo rigidizador

Se presentan las fórmulas seleccionadas para determinar el módulo de sección mínimo requerido para el anillo rigidizador superior y para comprobar la necesidad de un rigidizador intermedio en el tanque.

5.4.3.1. Anillo de rigidez superior

De acuerdo con la norma API 650 13th Ed. 5.9 es necesario comprobar el requerimiento de anillos rigidizadores superiores en el tanque contra la carga del viento. Asimismo, el punto 5.1.9.1.e proporciona los ángulos normalizados para poder rigidizar el tanque según su diámetro, la cual se presenta en la Tabla 13:

Tabla 13*Mínimo Tamaño de Perfil de Ángulos para Rigidización de los Tanques*

Diámetro del Tanque (D)	Tamaño Mínimo de Ángulo	Tamaño Mínimo de Ángulo
	Superior (mm)	Superior (pulg)
$D \leq 11$ m	50 x 50 x 5	2 x 2 x 3/16
11 m < $D \leq 18$ m	50 x 50 x 6	2 x 2 x 1/4
$D > 18$ m	75 x 75 x 10	3 x 3 x 3/8

Nota: Recuperado de Tabla 5.1a de API 650 13th ed. (American Petroleum Institute (API), 2021).

El módulo de sección mínimo requerido del anillo de rigidez superior se determina mediante la ecuación (6) donde D es el diámetro nominal del tanque en m, H_2 es la altura total del tanque en m, F_y es el esfuerzo de fluencia mínimo del material del casco del tanque en MPa, y P_{wd} es la presión de viento de diseño incluyendo arrastre interno en kPa calculada en base a la velocidad de diseño del viento V según la ecuación (5).

$$P_{wd} = 1.48 * \left(\frac{V}{190}\right)^2 + 0.24 \quad (5)$$

$$Z_{req} = \frac{6 * H_2 * D^2}{0.5 * \min(F_y; 210)} * \left(\frac{P_{wd}}{1.72}\right) \quad (6)$$

5.4.3.2. Anillo de rigidez intermedio

Para determinar la necesidad de un anillo de rigidez intermedio en el tanque se calcula la altura máxima de casco no atiesado H_1 con la fórmula (7) de API 650 13th Ed. 5.9.6.1, en la cual t es el espesor de casco del tanque más delgado en mm, D es el diámetro nominal del tanque en m, y P_{wd} es la presión de viento de diseño incluyendo arrastre interno en kPa:

$$H_1 = 9.47 * t * \sqrt{\left(\frac{t}{D}\right)^3 * \left(\frac{1.72}{P_{wd}}\right)} \quad (7)$$

5.4.4. Cálculo por viento

Es necesario comprobar la estabilidad por viento y la necesidad de anclajes para evitar el volteo del tanque por los efectos del viento; para ello se calculará la presión ejercida por el viento sobre el casco y el techo del tanque, posteriormente se verificará si el tanque puede ser anclado por su propio peso o no contra los efectos del viento. Se utilizan las siguientes notaciones:

CA : Tolerancia a la corrosión, en mm.

D : Diámetro del tanque, en m.

F_{by} : Esfuerzo de fluencia de las planchas de fondo, en MPa.

F_p : Factor de combinación de presión.

F_{Wc} : Carga horizontal del viento sobre el cuerpo, en kN.

F_{Wt} : Carga vertical del viento sobre el techo, en kN.

H : Altura nominal del tanque, en m.

H_{liq} : Altura de diseño del líquido, en m.

M_{Pi} : Momento de volteo respecto a la unión casco-fondo por la presión de diseño interna del viento, en N*m.

M_W : Momento de volteo respecto a la unión casco-fondo por la presión de diseño del viento vertical y horizontal, en N*m.

M_{DL} : Momento respecto a la unión casco-fondo por el peso nominal del casco y de la estructura de techo soportada en él y no sujeta a las planchas de techo, en N*m.

M_F : Momento respecto a la unión casco-fondo por el peso del líquido, en N*m.

M_{DLR} : Momento respecto a la unión casco-fondo por el peso nominal de las planchas de techo más sus elementos estructurales anexados, en N*m.

M_{WS} : Momento de volteo respecto a la unión casco-fondo por la presión de viento horizontal, en N*m.

P_i : Presión interna del tanque, en kPa.

P_{WS} : Presión de viento de diseño en el casco, en kPa.

P_{WR} : Presión de viento de levante de diseño en el techo, en kPa.

t_b : Espesor corroído de las planchas de fondo, en mm.

V : Velocidad de diseño del viento, en km/h.

w_L : Peso del contenido del tanque por unidad de longitud de la circunferencia del casco, en N/m.

$W_{casco-corr}$: Peso del casco corroído, en kg.

$W_{techo-corr}$: Peso del techo corroído más elementos estructurales anexados, en kg.

5.4.4.1. Presión del viento sobre el tanque

De acuerdo con API 650 13th Ed. 5.2.1.k la presión de viento horizontal utilizada para el diseño será la correspondiente a la ecuación (8); esta corresponde a la presión actuante sobre el casco del tanque. Asimismo, la presión de viento vertical, es decir la ejercida en forma vertical sobre el techo, se calculará con la ecuación (9).

$$P_{WS} = 0.89 * \left(\frac{V}{190}\right)^2 \quad (8)$$

$$P_{WR} = 1.48 * \left(\frac{V}{190}\right)^2, \text{ si es que tiene techo.} \quad (9)$$

5.4.4.2. Momento producido por la acción del viento

De acuerdo con API 650 13th Ed. 5.11.2.1 los tanques no anclados deberán cumplir con las condiciones mostradas en las ecuaciones (10), (11) y (12); de no hacerlo se requerirán anclajes. Además, el factor de combinación de presión F_p se calcula como el ratio de la presión interna de operación normal sobre la presión interna de diseño, con un valor mínimo de 0.4.

$$0.6M_W + M_{Pi} < \frac{M_{DL}}{1.5} + M_{DLR} \quad (10)$$

$$M_W + F_p * (M_{Pi}) < \frac{(M_{DL} + M_F)}{2} + M_{DLR} \quad (11)$$

$$M_{WS} + F_p * (M_{Pi}) < \frac{(M_{DL})}{1.5} + M_{DLR} \quad (12)$$

Los valores de los momentos se calcularán de acuerdo con las ecuaciones (13), (14), (15), (16), (17), (18), (19) y (20) así como en base a la Figura 23. w_L se obtiene de acuerdo con API 650 13th Ed. 5.11.2.3 como el menor valor resultante entre las ecuaciones (21) y (22). La altura de diseño del líquido H_{liq} es el resultado del producto de la gravedad específica del contenido por la altura del tanque, o 0.7 veces la altura del tanque, lo que sea menor.

$$M_{Pi} = P_i * \frac{D}{2} * \frac{\pi * D^2}{4} \quad (13)$$

$$M_W = F_{Wc} * \frac{H}{2} + F_{Wt} * \frac{D}{2} \quad (14)$$

$$F_{Wc} = P_{WS} * D * H \quad (15)$$

$$F_{Wt} = P_{WR} * \pi * \frac{D^2}{4}, \text{ si es que tiene techo.} \quad (16)$$

$$M_{DL} = W_{casco-corr} * 9.81 * \frac{D}{2} \quad (17)$$

$$M_F = w_L * \pi * \frac{D^2}{2} \quad (18)$$

$$M_{DLR} = W_{techo-corr} * 9.81 * \frac{D}{2} \quad (19)$$

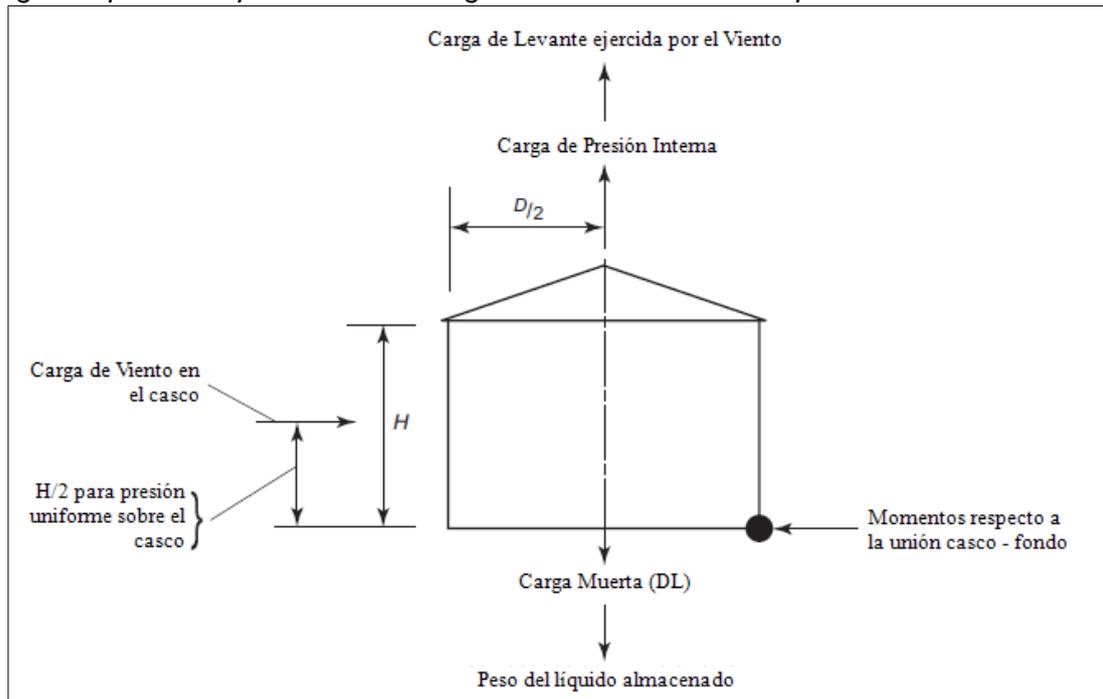
$$M_{WS} = F_{Wc} * \frac{H}{2} \quad (20)$$

$$w_L = 70.4 * H * D \quad (21)$$

$$w_L = 59 * (t_b - CA) * \sqrt{F_{by} * H_{liq}} \quad (22)$$

Figura 23

Diagrama para Comprobación de Cargas de Viento sobre Tanques



Nota: Recuperado de Figura 5.27 de API 650 13th (American Petroleum Institute (API), 2021).

5.4.5. Cálculo por sismo

El análisis sísmico del tanque consistirá en la comprobación del requerimiento de anclajes mecánicos para evitar el volteo del tanque por los efectos de un sismo y en la comprobación de que el esfuerzo de compresión longitudinal en la membrana del casco del tanque y los esfuerzos circunferenciales dinámicos originados por las fuerzas sísmicas sean inferiores a sus respectivos valores máximos permisibles. Para esto se determinarán los parámetros sísmicos que afectarán al tanque de acuerdo con las características de la zona donde estará ubicado y al servicio para el cual se utilizará el tanque; posteriormente con esos datos de entrada se determinarán los coeficientes de respuesta sísmica considerando dos modos de vibración del tanque y su contenido: impulsivo y convectivo.

El modo impulsivo es el modo de vibración del sistema tanque-líquido en donde el líquido se mueve de forma solidaria con el tanque. El modo convectivo corresponde a la porción del líquido no solidaria al cuerpo del tanque y que experimenta un movimiento oscilatorio respecto a un eje horizontal que coincide con el diámetro. Finalmente se calcularán las fuerzas sísmicas y sus centros de acción, con lo cual se podrá realizar el análisis sísmico del tanque. Se utilizarán las siguientes notaciones:

A_c : Parámetro de aceleración espectral convectiva de diseño, %g.

A_i : Parámetro de aceleración espectral impulsiva de diseño, %g.

A_v : Parámetro de aceleración vertical de terremoto, %g.

D : Diámetro nominal del tanque, m.

F_a : Coeficiente de sitio basado en la aceleración.

F_c : Máximo esfuerzo longitudinal de compresión de membrana de casco admisible, MPa.

$F_{hoop-max}$: Máximo esfuerzo circunferencial admisible en el casco del tanque, MPa.

F_p : Ratio de la presión normal de operación respecto a la presión de diseño con un valor mínimo de 0.4.

F_{ty} : Mínimo esfuerzo de fluencia especificado para el anillo de casco, MPa.

F_v : Coeficiente de sitio basado en la velocidad.

F_{weld-y} : Mínimo esfuerzo de fluencia especificado para el material de soldadura, MPa.

F_y : Mínimo esfuerzo de fluencia especificado para el fondo, MPa.

g : Gravedad terrestre, m/s².

G : Gravedad específica del contenido.

G_e : Gravedad específica efectiva incluyendo efectos sísmicos.

H_d : Nivel máximo de contenido de tanque, m.

$h_{freeboard}$: Altura libre de fluido en la parte superior del tanque, m.

I : Factor de importancia.

J : Ratio de anclaje.

K : Coeficiente de ajuste de amortiguamiento de aceleración espectral de 5% a 0.5%.

K_S : Coeficiente de período de balanceo.

M_{rw} : Momento de volteo actuante en el perímetro de la base del casco, N.m.

N_c : Fuerza convectiva circunferencial de membrana en el casco del tanque, N/mm.

N_h : Carga hidrostática en el casco del tanque, N/mm.

N_i : Fuerza impulsiva circunferencial de membrana en el casco del tanque, N/mm.

Q : Factor de escalamiento del máximo terremoto considerado de riesgo a la aceleración espectral de diseño.

R_{wc} : Factor de reducción de fuerza para el modo convectivo utilizando el método ASD.

R_{wi} : Factor de reducción de fuerza para el modo impulsivo utilizando el método ASD.

S_d : Esfuerzo máximo admisible de producto, determinado en la sección 5.4.1 de este documento, MPa.

S_p : Parámetro de aceleración pico de suelo de diseño para sitios no considerados en los métodos ASCE, %g.

S_S : Parámetro de aceleración espectral para intervalos cortos (0.2 seg) con 5% de amortiguamiento para el máximo terremoto considerado de riesgo, %g.

S_0 : Parámetro de aceleración espectral para un período de 0 seg con 5% de amortiguamiento para el máximo terremoto considerado de riesgo, %g.

S_1 : Parámetro de aceleración espectral para un período de 1 seg con 5% de amortiguamiento para el máximo terremoto considerado de riesgo, %g.

t : Espesor del anillo de casco bajo evaluación excluyendo la tolerancia a la corrosión, mm.

t_a : Espesor del anillo de fondo excluyendo la tolerancia a la corrosión, mm.

T_C : Período natural convectivo del líquido contenido (balanceo), seg.

T_L : Período de transición dependiente de la región para períodos largos de movimiento de suelo, seg.

t_s : Espesor del anillo inferior del casco excluyendo la tolerancia a la corrosión, mm.

V : Fuerza de corte en la base, N.

V_c : Fuerza de corte en la base debido a la porción convectiva efectiva del líquido contenido, N.

V_i : Fuerza de corte en la base debido a la porción impulsiva del líquido contenido y a la masa del tanque, N.

w_a : Fuerza resistente al levantamiento en la región anular, N/m.

W_c : Peso de la porción convectiva efectiva del líquido contenido, N.

W_f : Peso del fondo del tanque, N.

W_i : Peso de la porción impulsiva efectiva del líquido contenido, N.

w_{int} : Carga de elevación debido a la presión de diseño por unidad de longitud circunferencial, N/m.

W_p : Peso total del contenido del tanque basado en el peso específico de diseño del producto, N.

W_r : Peso total del contenido del techo fijo del tanque incluyendo armazón estructural, accesorios y 10% de la carga de diseño de nieve sobre el techo, N.

w_{rs} : Carga del techo actuante en el casco, incluyendo el 10% de la carga de diseño de nieve sobre el techo, N/m.

W_s : Peso total del casco del tanque y boquillas, N.

w_t : Peso del tanque y techo actuante en la base del casco, N/m.

X_c : Altura desde la base del casco del tanque hasta el centro de acción de la fuerza sísmica lateral relacionada con la porción convectiva del líquido para el momento en la base de la pared del tanque, m.

X_i : Altura desde la base del casco del tanque hasta el centro de acción de la fuerza sísmica lateral relacionada con la porción impulsiva del líquido para el momento en la base de la pared del tanque, m.

X_r : Altura desde la base del casco del tanque hasta el centro de gravedad del techo y sus accesorios, m.

X_s : Altura desde la base del casco del tanque hasta el centro de gravedad del casco, m.

Y : Altura desde la superficie del líquido hasta el punto de análisis (positivo hacia abajo), m.

σ_c : Máximo esfuerzo longitudinal de compresión de casco, MPa.

σ_t : Máximo esfuerzo circunferencial combinado de casco, MPa.

5.4.5.1. Determinación de parámetros sísmicos

Es necesario obtener los parámetros sísmicos del tanque para caracterizar su zona de trabajo y función. El primer parámetro será el de grupo sísmico, el cual está clasificado en tres grupos de utilización de acuerdo con API 650 13th Ed. E3.1, como se muestra en la Tabla 14. Con este dato se obtiene el factor de importancia I en alineamiento con API 650 13th Ed. E5.1.2 y con la Tabla 15. El tercer parámetro es la aceleración espectral del sitio, la cual de acuerdo con API 650 13th E.4 puede ser determinada a través del método ASCE 7 para locaciones dentro de los Estados Unidos de América; en ubicaciones fuera de EE.UU. donde los requerimientos regulatorios para determinar el movimiento de suelo de diseño difieren de los descritos en ASCE 7 y teniendo como dato de entrada a la aceleración pico de suelo se pueden definir las aceleraciones espectrales de acuerdo con las ecuaciones (23), (24) y (25).

Tabla 14

Grupo Sísmico de Utilización

Grupo	Descripción
Grupo Sísmico III	Para tanques que proveen servicios a instalaciones esenciales para la recuperación post-terremoto y para la vida y salud públicas, o tanques conteniendo sustancias dañinas sin la posibilidad de un control adecuado para prevenir exposición pública.

Grupo	Descripción
Grupo Sísmico II	Para tanques que almacenan materiales potencialmente dañinos y que no tienen controles secundarios para prevenirlo, o tanques que proveen servicio directo a instalaciones principales como plantas de producción e instituciones del estado.
Grupo Sísmico I	Para los tanques que no se encuentran ni en el grupo sísmico III ni en el II.

Nota: Extraído de API 650 13th ed. E.3 (American Petroleum Institute (API), 2021).

Tabla 15

Factor de Importancia

Grupo Sísmico	Factor de Importancia I
I	1.0
II	1.25
III	1.5

Nota: Extraído de API 650 13th ed. Tabla E.5 (American Petroleum Institute (API), 2021).

$$S_S = 2.5 * S_P \quad (23)$$

$$S_1 = 1.25 * S_P \quad (24)$$

$$S_0 = S_P \quad (25)$$

Además, la caracterización de la zona donde se ubicará el tanque será completada con la determinación de los coeficientes de sitio, para lo cual será necesario conocer la clase de sitio. Este último parámetro de acuerdo con API 650 13th E4.4 tiene 6 clasificaciones, las cuales se muestran en la Tabla 16. Asimismo, cuando las propiedades del suelo no son conocidas con el detalle suficiente para determinar la clase de sitio, debe asumirse el tipo D salvo indicación expresa de la jurisdicción del lugar. Posteriormente el coeficiente de sitio basado en la aceleración y el coeficiente de sitio basado en la velocidad serán determinados con la Tabla 17 y con la Tabla 18 respectivamente como función de la clase de sitio y de los parámetros de aceleración espectral.

Tabla 16

Definiciones de Clase de Sitio

Clase de Sitio	Descripción	Velocidad de la Onda de Corte (m/s)
A	Suelo de roca dura.	Mayor a 1500 m/s.
B	Suelo de roca.	Entre 760 m/s y 1500 m/s.
C	Suelo denso con roca suave.	Entre 360 m/s y 760 m/s.
D	Suelo rígido.	Entre 180 m/s y 360 m/s.

Clase de Sitio	Descripción	Velocidad de la Onda de Corte (m/s)
E	Suelo suave.	Menor a 180 m/s.
F	Suelos vulnerables a falla o colapso bajo carga sísmica	

Nota: Extraído de API 650 13th ed. E.4.4 (American Petroleum Institute (API), 2021).

Tabla 17

Valor de Fa

Clase de Sitio	Parámetro de aceleración espectral para intervalos cortos (0.2 seg) con 5% de amortiguamiento para el máximo terremoto considerado de riesgo				
	$S_s \leq 0.25$	$S_s = 0.50$	$S_s = 0.75$	$S_s = 1.0$	$S_s \geq 1.25$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
D	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
E	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9

Nota: Para la clase de sitio F se requiere investigación geotécnica y de respuesta dinámica específica para el sitio. Recuperado de API 650 13th ed. Tabla E.1 (American Petroleum Institute (API), 2021).

Tabla 18

Valor de Fv

Clase de Sitio	Parámetro de aceleración espectral para un período de 1 seg con 5% de amortiguamiento para el máximo terremoto considerado de riesgo				
	$S_1 \leq 0.1$	$S_1 = 0.2$	$S_1 = 0.3$	$S_1 = 0.4$	$S_1 \geq 0.5$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
D	2.4	2.0	1.8	1.6	1.5
E	3.5	3.2	2.8	2.4	2.4

Nota: Para la clase de sitio F se requiere investigación geotécnica y de respuesta dinámica específica para el sitio. Recuperado de API 650 13th ed. Tabla E.2 (American Petroleum Institute (API), 2021).

Para caracterizar el movimiento libre del contenido dentro del tanque bajo fuerzas externas se calculará el período con el que el líquido se desplaza de un lado a otro del tanque en forma de ondas, generando fuerzas internas que actúan sobre su estructura interna. De acuerdo con API 650 13th E4.5.2 se calculará el coeficiente de período de balanceo con la ecuación (26); el período convectivo (de balanceo) del contenido del tanque se determinará con la ecuación (27).

$$K_S = \frac{0.578}{\sqrt{\tanh\left(\frac{3.68 * H_d}{D}\right)}} \quad (26)$$

$$T_C = 1.8 * K_S * \sqrt{D} \quad (27)$$

El tipo de construcción del tanque, es decir si son anclados mecánicamente o con su propio peso, será caracterizado mediante los factores de modificación de respuesta impulsivo y convectivo, que serán determinados de acuerdo con API 650 13th E5.1.1 y con la Tabla 19.

Tabla 19

Factores de Modificación de Respuesta

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

Nota: Extraído de API 650 13th ed. Tabla E.4 (American Petroleum Institute (API), 2021).

5.4.5.2. Determinación de los coeficientes de respuesta sísmica

Se calcularán los coeficientes de respuesta sísmica para los modos de movimiento impulsivo y convectivo. De acuerdo con API 650 13th E4.6.1 en ubicaciones fuera de EE. UU. donde los requerimientos regulatorios para determinar el movimiento de suelo de diseño difieren de los descritos en ASCE 7, el período T_L debe tomar el valor de 4 segundos y el factor Q será igual a uno salvo la regulación local lo indique de otra forma, como se señala en las ecuaciones (28) y (29). El valor del parámetro de aceleración espectral impulsiva se determinará con la ecuación (30); si el valor calculado es inferior a 0.007 se utilizará la ecuación (31); en el caso de que el valor de S_1 sea mayor o igual a 0.6 el valor de la aceleración espectral impulsiva además deberá cumplir con la ecuación (32). El parámetro de aceleración espectral convectiva se calculará con las ecuaciones (33) y (34), teniendo como valor máximo el calculado para A_i . El valor de K será igual a 1.5 según lo señalado en API 650 13th E2.2. Adicionalmente, de acuerdo con API 650 13th E6.1.3 los efectos verticales del movimiento telúrico serán considerandos a través del parámetro de aceleración vertical A_v , a determinarse mediante la ecuación (35).

$$T_L = 4.0 \quad (28)$$

$$Q = 1.0 \quad (29)$$

$$A_i = 2.5 * Q * F_a * S_0 * \left(\frac{I}{R_{wi}} \right) \quad (30)$$

$$A_i \geq 0.007 \quad (31)$$

$$Si S_1 \geq 0.6 \rightarrow A_i \geq 0.5 * S_1 * \left(\frac{I}{R_{wi}} \right) \quad (32)$$

$$Si T_C \leq T_L \rightarrow A_c = 2.5 * K * Q * S_0 * \frac{F_v * S_1}{T_C * S_S} * \frac{I}{R_{wc}} \leq A_i \quad (33)$$

$$Si T_C > T_L \rightarrow A_c = 2.5 * K * Q * S_0 * \frac{F_v * S_1 * T_L}{T_C^2 * S_S} * \frac{I}{R_{wc}} \leq A_i \quad (34)$$

$$A_v = 0.47 * Q * F_a * S_S \quad (35)$$

5.4.5.3. Cálculo de fuerzas sísmicas de diseño

Los movimientos sísmicos provocarán la aparición de fuerzas de corte laterales en el tanque, ejercidas por la masa de su cuerpo, por la porción de su contenido que se mueve solidaria a él (impulsiva) y por la porción de su contenido que oscila libremente (convectiva). De acuerdo con API 650 13th E6.1 para el diseño la porción impulsiva del peso del producto será determinada por las ecuaciones (36) y (37), y la porción convectiva por la ecuación (38). Asimismo, los puntos de aplicación de las fuerzas laterales producidas por la porción impulsiva y convectiva del producto serán calculados con las ecuaciones (39), (40) y (41). La fuerza lateral de corte total actuante sobre la base del tanque se obtendrá con la ecuación (42), es decir será la resultante de la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de sus componentes impulsiva y convectiva, las cuales a su vez serán determinados con las ecuaciones (43) y (44).

$$Si \frac{D}{H_d} \geq 1.33 \rightarrow W_i = \frac{\tanh\left(0.866 * \frac{D}{H_d}\right)}{0.866 * \frac{D}{H_d}} * W_p \quad (36)$$

$$Si \frac{D}{H_d} < 1.33 \rightarrow W_i = \left(1.0 - 0.218 * \frac{D}{H_d}\right) * W_p \quad (37)$$

$$W_c = 0.230 * \frac{D}{H_d} * \tanh\left(\frac{3.67 * H_d}{D}\right) * W_p \quad (38)$$

$$\text{Si } \frac{D}{H_d} \geq 1.33 \rightarrow X_i = 0.375 * H_d \quad (39)$$

$$\text{Si } \frac{D}{H_d} < 1.33 \rightarrow X_i = \left(0.5 - 0.094 * \frac{D}{H_d}\right) * H_d \quad (40)$$

$$X_c = \left(1.0 - \frac{\cosh\left(\frac{3.67 * H_d}{D}\right) - 1}{\frac{3.67 * H_d}{D} * \sinh\left(\frac{3.67 * H_d}{D}\right)}\right) * H_d \quad (41)$$

$$V = \sqrt{V_i^2 + V_c^2} \quad (42)$$

$$V_i = A_i * (W_s + W_r + W_f + W_i) \quad (43)$$

$$V_c = A_c * W_c \quad (44)$$

5.4.5.4. Comprobación de la estabilidad del tanque y requerimiento de anclajes

De acuerdo con API 650 13th E6.2.1 un tanque deberá tener anclajes mecánicos si se determina que la fuerza resistente al vuelco ejercida por una porción del contenido del tanque no garantiza la estabilidad del tanque ante un movimiento telúrico. Se calcularán las magnitudes del momento de volteo M_{rw} y la fuerza resistente al levantamiento w_a con las ecuaciones (45), (46) y (47). Posteriormente se obtendrá el valor del ratio de anclaje J a partir de las ecuaciones (48) y (49), el cual servirá como un indicador de la estabilidad del tanque: Si su valor es mayor a 1.54 se requerirán anclajes mecánicos, como se indica en la Tabla 20.

$$M_{rw} = \sqrt{[A_i * (W_i * X_i + W_s * X_s + W_r * X_r)]^2 + [A_c * (W_c * X_c)]^2} \quad (45)$$

$$G_e = G * (1 - 0.4 * A_v) \quad (46)$$

$$w_a = 99 * t_a * \sqrt{F_y * H_d * G_e} \leq 201.1 * H_d * D * G_e \quad (47)$$

$$w_t = \frac{W_s}{\pi * D} + w_{rs} \quad (48)$$

$$J = \frac{M_{rw}}{D^2 * [w_t * (1 - 0.4 * A_v) + w_a - F_p * w_{int}]} \quad (49)$$

Tabla 20**Criterio de Ratio de Anclaje**

Ratio de Anclaje J	Criterio
$J \leq 0.785$	No hay levantamiento por el momento de vuelco. El tanque no requiere anclajes mecánicos por sismo
$0.785 \leq J \leq 1.54$	Hay levantamiento, pero el tanque es estable si los requerimientos de compresión por sismo son cumplidos. El tanque no requiere anclajes mecánicos por sismo.
$1.54 < J$	El tanque no es estable, requiere anclajes mecánicos por sismo.

Nota: Recuperado de API 650 13th ed. Tabla E.6 (American Petroleum Institute (API), 2021).

5.4.5.5. Esfuerzos de compresión longitudinales en el casco por sismo

De acuerdo con API 650 13th E6.2.2 se comprueban los máximos esfuerzos de en el casco por cargas de compresión longitudinales originadas en movimientos telúricos, de modo que se evite el pandeo del cuerpo del tanque. El máximo esfuerzo de compresión longitudinal σ_c dependerá de si el tanque tiene anclajes mecánicos o no, es decir del ratio de anclaje J , y se calculará con las fórmulas (50), (51) y (52). Por otro lado, el máximo esfuerzo longitudinal de compresión de membrana permisible en el casco del tanque F_c será obtenido con las fórmulas (53) y (54). Si $\sigma_c > F_c$ se deberá replantear el diseño.

$$\text{Si } J \leq 0.875 \rightarrow \sigma_c = \left(w_t * (1 + 0.4 * A_v) + \frac{1.273 * M_{rw}}{D^2} \right) * \frac{1}{1000 * t_s} \quad (50)$$

$$\text{Si } 0.785 < J \leq 1.54 \rightarrow \sigma_c = \left(\frac{w_t * (1 + 0.4 * A_v) + w_a}{0.604 - 0.18667 * J^{2.3}} - w_a \right) * \frac{1}{1000 * t_s} \quad (51)$$

$$\text{Si } 1.54 < J \rightarrow \sigma_c = \left(w_t * (1 + 0.4 * A_v) + \frac{1.273 * M_{rw}}{D^2} \right) * \frac{1}{1000 * t_s} \quad (52)$$

$$\text{Si } \frac{G * H_d * D^2}{t^2} \geq 44 \rightarrow F_c = 83 * \frac{t_s}{D} \quad (53)$$

$$\text{Si } \frac{G * H_d * D^2}{t^2} < 44 \rightarrow F_c = 83 * \frac{t_s}{2.5 * D} + 7.5 * \sqrt{G * H_d} < 0.5 * F_{ty} \quad (54)$$

5.4.5.6. Esfuerzos circunferenciales dinámicos (hoop stresses)

Se comprobarán los máximos esfuerzos circunferenciales en el casco por cargas de tensión originadas en movimientos telúricos, de modo que se eviten deformaciones excesivas del cuerpo del tanque. De acuerdo con API 650 13th E6.2.4 el esfuerzo máximo permisible para la combinación de los efectos hidrostáticos del producto y circunferenciales

dinámicos en el casco deberá considerarse como el menor de los valores calculados con las ecuaciones (55) y (56). Los esfuerzos dinámicos circunferenciales actuantes en el casco del tanque por el movimiento sísmico del líquido para la posición Y se calcularán las cargas impulsivas y convectivas según API 650 13th E6.1.4 con las ecuaciones (57), (58), (59) y (60). La carga hidrostática en el punto de análisis se determinará con la ecuación (61). Finalmente, el esfuerzo circunferencial actuante en la posición Y por efectos telúricos e hidrostáticos será obtenida mediante la ecuación (62); deberá ser menor a $F_{hoop-max}$, o si no se replantearía el diseño.

$$F_{hoop-max} = 1.33 * S_d \quad (55)$$

$$F_{hoop-max} = 0.9 * \min\{F_{ty} ; F_{weld-y}\} \quad (56)$$

$$\begin{aligned} Si \frac{D}{H_d} \geq 1.33 \rightarrow N_i \\ = 8.48 * A_i * G * D * H_d * \left[\frac{Y}{H_d} - 0.5 * \left(\frac{Y}{H_d} \right)^2 \right] \\ * \tanh \left(0.866 * \frac{D}{H_d} \right) \end{aligned} \quad (57)$$

$$\begin{aligned} Si \frac{D}{H_d} < 1.33 \wedge Y < 0.75 * D \rightarrow N_i \\ = 5.22 * A_i * G * D^2 * \left[\frac{Y}{0.75 * D} - 0.5 * \left(\frac{Y}{0.75 * D} \right)^2 \right] \end{aligned} \quad (58)$$

$$Si \frac{D}{H_d} < 1.33 \wedge Y \geq 0.75 * D \rightarrow N_i = 2.6 * A_i * G * D^2 \quad (59)$$

$$N_c = \frac{1.85 * A_c * G * D^2 * \cosh \left[\frac{3.68 * (H_d - Y)}{D} \right]}{\cosh \left[\frac{3.68 * H_d}{D} \right]} \quad (60)$$

$$N_h = 4.905 * D * (Y) * G \quad (61)$$

$$\sigma_t = \frac{N_h \pm \sqrt{N_i^2 + N_c^2 + \left(\frac{A_v * N_h}{2.5} \right)^2}}{t} \quad (62)$$

5.4.6. Pernos de anclaje

El diámetro y cantidad de los pernos de anclaje serán calculados según los lineamientos de API 650 13th 5.12 para las cargas de sismo, para el criterio de resistencia

a la tracción. Adicionalmente se realizará la verificación por corte con las cargas de API 650 13th E6.1 y la sección 5.4.5.3 de este documento. Se utilizará la siguiente notación:

A_V : Parámetro de aceleración vertical de terremoto, %g.

D : Diámetro nominal del tanque, m.

F_{y-anch} : Mínimo esfuerzo de fluencia especificado para el material del anclaje, MPa.

M_{rw} : Momento de volteo actuante en el perímetro de la base del casco, N.m.

N : Cantidad de pernos de anclaje.

T_b : Carga de tracción por cada perno de anclaje, N.

U : Carga de levantamiento sobre el tanque, N.

V : Fuerza de corte en la base, N.

V_b : Carga de corte por cada perno de anclaje, N.

V_s : Resistencia al deslizamiento, N.

W_f : Peso del fondo del tanque, N.

W_p : Peso total del contenido del tanque basado en el peso específico de diseño del producto, N.

W_r : Peso total del contenido del techo fijo del tanque incluyendo armazón estructural, accesorios y 10% de la carga de diseño de nieve sobre el techo, N.

W_s : Peso total casco del tanque y boquillas, N.

W_2 : Peso corroído del techo, casco y sus accesorios permanentes, N.

ϕ_b : Diámetro del perno de anclaje, mm.

σ_b : Esfuerzo de tracción actuante en el anclaje, MPa.

$\sigma_{max-anch}$: Máximo esfuerzo de tracción admisible en el anclaje, MPa.

τ_b : Esfuerzo de corte actuante en el anclaje, MPa.

$\tau_{max-anch}$: Máximo esfuerzo de corte admisible en el anclaje, MPa.

μ : Coeficiente de fricción entre el fondo del tanque y el piso.

La carga de levantamiento por efectos sísmicos y el esfuerzo de tracción admisible por el perno de anclaje se obtendrán de API 650 13th 5.12 Tabla 5.20a con las ecuaciones (63) y (64). La carga de tracción sobre cada perno de anclaje se obtiene con la ecuación (65). El esfuerzo de tracción actuante en cada perno se calcula con la ecuación (66).

$$U = \left(4 * \frac{M_{rw}}{D} \right) - W_2 * (1 - 0.4 * A_v) \quad (63)$$

$$\sigma_{max-anchor} = 0.8 * \min (F_{y-anchor}; 380) \quad (64)$$

$$T_b = \frac{U}{N} \quad (65)$$

$$\sigma_b = \frac{4 * T_b}{\pi * \phi_b^2} \quad (66)$$

De acuerdo con API 650 13th E7.6 la transferencia de la carga de corte por movimientos sísmicos entre el fondo del tanque y la superficie donde se apoya deberá ser considerada; no obstante, la fricción entre ellas ofrece una resistencia al deslizamiento que será estimada con la ecuación (68), en la cual el coeficiente de fricción μ tendrá como valor máximo 0.4. La resistencia al corte de los anclajes será verificada si la carga sísmica de corte calculada con la fórmula (42) de la sección 5.4.5.3 es mayor a la resistencia al deslizamiento. El esfuerzo admisible de corte se considerará como la mitad del esfuerzo de tracción admisible, según la ecuación (67). La fuerza de corte en cada perno de anclaje se calculará con la ecuación (69) y el esfuerzo de corte actuante con la ecuación (70).

$$\tau_{max-anchor} = 0.4 * \min (F_{y-anchor}; 380) \quad (67)$$

$$V_S = \mu * (W_s + W_r + W_f + W_p) * (1.0 - 0.4 * A_v) \quad (68)$$

$$V_b = \frac{V}{N} \quad (69)$$

$$\tau_b = \frac{4 * V_b}{\pi * \phi_b^2} \quad (70)$$

5.4.7. Cálculo de silletas

De acuerdo con lo señalado en API 650 13th 5.12.7 el ensamble de los pernos de anclaje al casco debe realizarse con ensambles de tipo silleta rigidizada y su diseño se

realizará con el procedimiento indicado en AISI Steel Plate Engineering Data Vol. 2 Part. 5 “Anchor Bolt Chairs” (American Iron and Steel Institute (AISI), 2011). Las dimensiones de la silleta se considerarán de acuerdo con la Figura 24 y tendrá la siguiente nomenclatura:

a: Ancho de silleta, pulgadas.

b: Longitud de silleta en dirección radial, pulgadas.

c: Espesor de placa superior de silleta, pulgadas.

d: Diámetro de perno de anclaje, pulgadas.

e: Excentricidad de perno de anclaje, pulgadas.

f: Distancia desde el borde del perno de anclaje hasta el borde de la placa superior, pulgadas.

F_{ty} : Esfuerzo de fluencia del material del primer anillo del tanque, ksi.

g: Distancia entre placas verticales de silleta, pulgadas.

h: Altura de silleta, pulgadas.

j: Espesor de placas verticales de silleta, pulgadas.

k: Ancho promedio de placas verticales de silleta, pulgadas.

m: Espesor de fondo de tanque, pulgadas.

P: Carga de diseño del perno de anclaje, kips.

R: Radio nominal del tanque, pulgadas.

T_b : Carga de tracción por cada perno de anclaje, kips.

t_{casco} : Espesor del casco corroído, pulgadas.

$t_{refuerzo}$: Espesor del refuerzo de silleta, pulgadas.

$S_{silleta-adm}$: Esfuerzo máximo admisible en la silleta, ksi.

S_{psup} : Esfuerzo en la placa superior de la silleta, ksi.

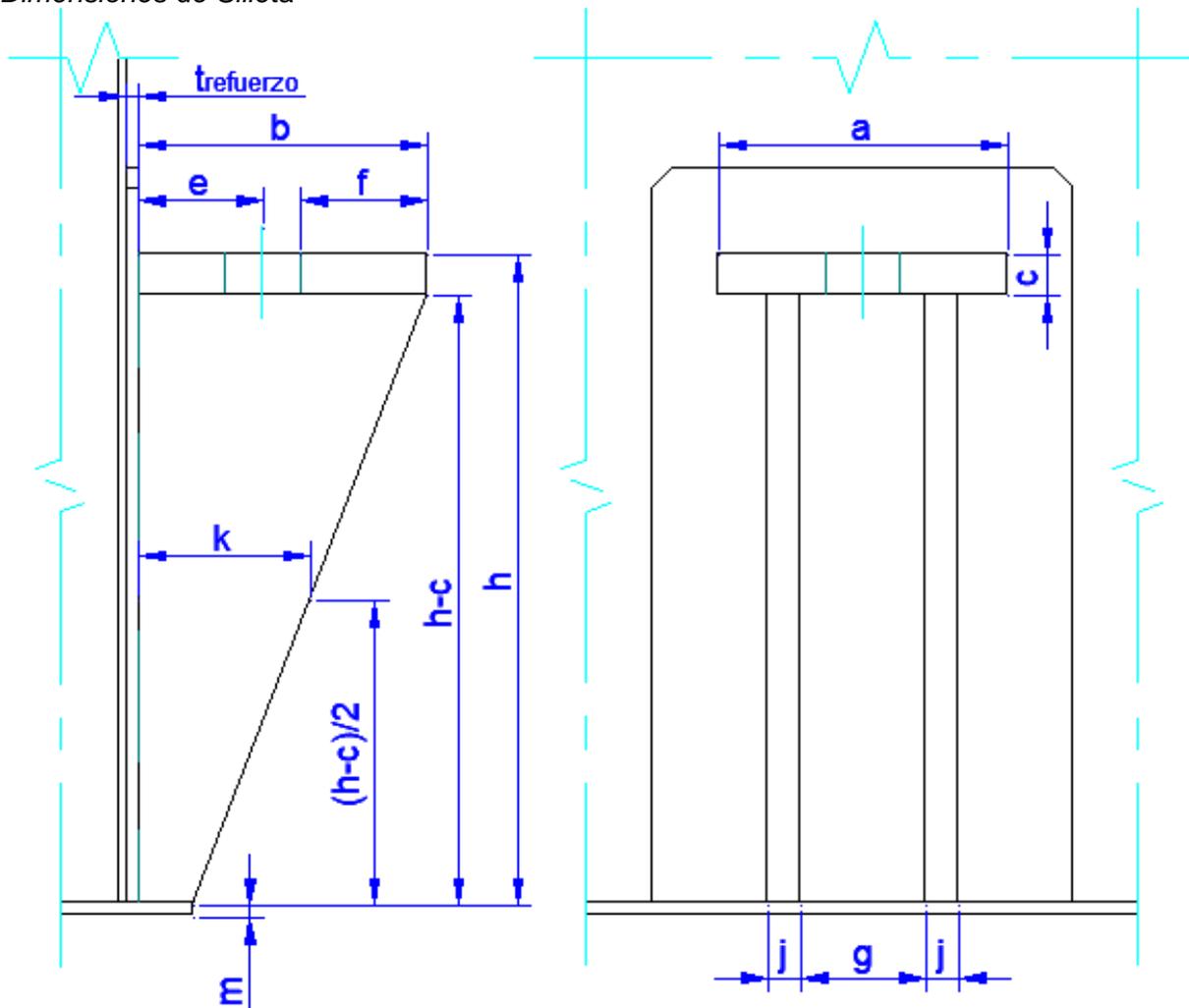
S_{pver} : Esfuerzo en las placas verticales de las silletas, ksi.

Z: Factor de reducción.

$\sigma_{max-anchor}$: Máximo esfuerzo de tracción admisible en el anclaje, ksi.

Figura 24

Dimensiones de Silleta



Nota: Elaboración propia.

El esfuerzo máximo permisible en la silleta se considerará como el menor entre el valor de 25 ksi recomendado por AISI Steel Plate Engineering Data Vol. 2 Part. 5 “Anchor Bolt Chairs” (American Iron and Steel Institute (AISI), 2011) y el valor obtenido de API 650 13th 5.12 Tabla 5.20 correspondiente a el esfuerzo de fluencia del material del primer anillo del tanque F_{ty} por 5/6, de acuerdo con la fórmula (77). La carga de diseño P será tomará como el menor valor entre la máxima carga admisible por cada perno de anclaje y 1.5 veces la carga actuante en cada uno de acuerdo con los datos obtenidos en la sección 5.4.6, como se muestra en la ecuación (75). Se asumirán números para las dimensiones de las silletas mostradas en la Figura 24, y se realizará un proceso iterativo de selección de números hasta que se cumplan las fórmulas (71), (72), (73), (74) y (76). Los esfuerzos

calculados con las fórmulas (78), (79) y (80) deberán ser menores al esfuerzo máximo admisible.

$$6 \leq h \leq 3 * a \quad (71)$$

$$f \text{ mínimo} = \frac{d}{2} + \frac{1}{8} \quad (72)$$

$$g \text{ mínimo} = d + 1 \quad (73)$$

$$j \text{ mínimo} = \max(0.5 ; 0.04 * (h - c)) \quad (74)$$

$$P = \min \left(\sigma_{\max-anch} * d^2 * \frac{\pi}{4} ; 1.5 * T_b \right) \quad (75)$$

$$j * k \geq \frac{P}{25} \quad (76)$$

$$S_{\text{silleta-adm}} = \min \left(25 ; \frac{5}{6} * F_{ty} \right) \quad (77)$$

$$S_{psup} = \frac{P}{f * c^2} * (0.375 * g - 0.22 * d) \quad (78)$$

$$S_{pver} = \frac{P * e}{t_{casco}^2} * \left[\frac{1.32 * Z}{\frac{1.43 * a * h^2}{R * t_{casco}} + (4 * a * h^2)^{0.333}} + \frac{0.031}{\sqrt{R * t_{casco}}} \right] \quad (79)$$

$$Z = \frac{1.0}{\frac{0.177 * a * m}{\sqrt{R * t}} * \left(\frac{m}{t} \right)^2 + 1.0} \quad (80)$$

5.4.8. Cálculo de uniones empernadas

El diseño de las conexiones empernadas del casco del tanque consistirá en la determinación del diámetro de los pernos a emplear y su espaciamiento para asegurar la resistencia mecánica de las uniones; además se realizará la comprobación del espesor de las bridas de casco para evitar la separación de los pernos. En esta sección se utilizarán las siguientes notaciones:

A_b : Área de sección transversal del perno sin considerar la rosca, mm².

A_t : Área de esfuerzo de la parte roscada del perno sometida a tensión, mm².

A_v : Parámetro de aceleración vertical de terremoto, %g.

b : Distancia entre centro de perno y centro de plancha de casco, pulg.

b' : Distancia entre borde de perno y centro de plancha de casco, pulg.

C : Constante de rigidez de la unión empernada.

d_b : Diámetro nominal del perno, mm.

d_{b1} : Diámetro nominal del perno, pulg.

d_1 : Separación entre centros de pernos de uniones bridadas, mm.

d_1' : Separación entre centros de pernos de uniones bridadas, pulg.

E : Módulo de Young del acero, MPa.

F_i : Precarga seleccionada para el perno, N.

F_{nt} : Resistencia nominal a la tracción del material del perno, ksi.

F_u : Mínima tensión de rotura especificada para el material de las bridas, ksi.

L : Largo del perno, mm.

l : Longitud de agarre de la unión, mm.

l_d : Longitud de la parte sin rosca del perno en el agarre de la unión, mm.

L_T : Longitud de rosca del perno, mm.

l_t : Longitud de la parte roscada en el agarre de la unión, mm.

K : Coeficiente del par de Torsión.

k_b : Rigidez efectiva estimada del perno, N/mm.

k_m : Rigidez efectiva estimada de los elementos conectados, N/mm.

n_p : Factor de seguridad contra la fluencia por esfuerzo estático.

n_0 : Factor de carga contra la separación de la unión.

N_c : Fuerza convectiva circunferencial de membrana en el casco del tanque, N/mm.

N_h : Carga hidrostática en el casco del tanque, N/mm.

N_i : Fuerza impulsiva circunferencial de membrana en el casco del tanque, N/mm.

N_{total} : Fuerza tangencial resultante actuante en el casco del tanque, N/mm.

P : Carga externa de tensión aplicada a la unión (considerando 01 perno), N.

P_b : Parte de P que genera tracción en el perno, N.

P_m : Parte de P que genera descompresión de los elementos conectados, N.

p : Longitud tributaria, pulg.

S_p : Resistencia de prueba mínima del perno, MPa.

T : Torque de apriete para lograr la precarga seleccionada, N*m.

T_{act} : Carga de tracción actuante en los pernos de las uniones verticales, N.

T_{adm} : Carga de tracción admisible en los pernos de las uniones verticales del tanque, N.

$t_{arandela}$: Espesor de la arandela plana, mm.

t_{np} : Espesor de brida requerido para eliminar acción separadora en las bridas con factores de LRFD, pulg.

T_u : Carga de tracción de diseño en los pernos de las uniones verticales del tanque según combinaciones de carga de LRFD, N.

T_{u1} : Carga de tracción de diseño en los pernos de las uniones verticales del tanque según combinaciones de carga de LRFD, kips.

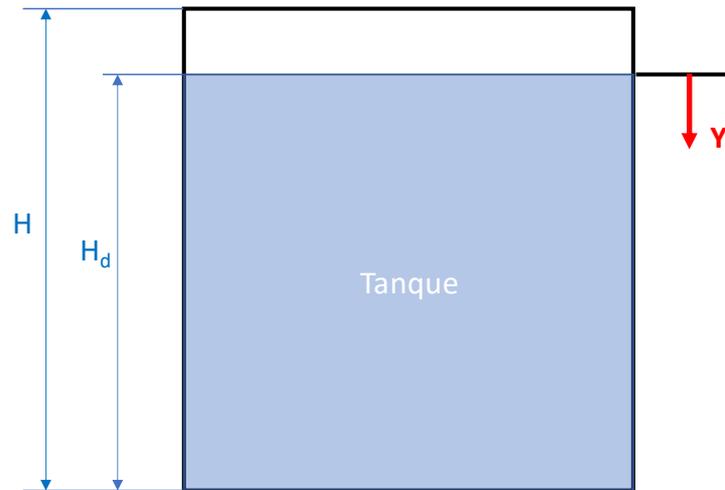
Φ : Factor de seguridad LRFD.

5.4.8.1. Determinación de diámetro y espaciamento de pernos

Para realizar el diseño de las conexiones empernadas es necesario conocer las cargas actuantes en el casco del tanque, las cuales son la carga hidrostática ejercida por el fluido y las cargas sísmicas circunferenciales convectiva e inductiva. Estas fuerzas y su resultante serán calculadas para los diferentes niveles del tanque utilizando las fórmulas (57) hasta la (61) del apartado 5.4.5.6 de este documento. Se seleccionará la fuerza resultante de valor más alto a la que estén sometidos los pernos, para el análisis. La coordenada "Y" indicará la profundidad de cada nivel del tanque y se medirá desde la parte superior de este, como se muestra en la Figura 25.

Figura 25

Origen de Coordenadas para Aplicación de Fuerzas sobre el Casco del Tanque



El tanque se considera un recipiente cilíndrico de paredes delgadas, por lo que las fuerzas actuantes sobre su casco podrán ser de tensión tangencial o axial, considerándose las de tensión radial despreciables (Gere & Goodno, 2009). Como el tanque tendrá su parte superior abierta y su contenido a presión atmosférica, no existen cargas axiales por presión interna. Por lo tanto, el análisis considerará solo las fuerzas tangenciales en el casco del tanque. De la ecuación (62) de la sección 5.4.5.6 se induce que la resultante de las fuerzas tangenciales hidrostática y sísmicas será la mostrada en la ecuación (81).

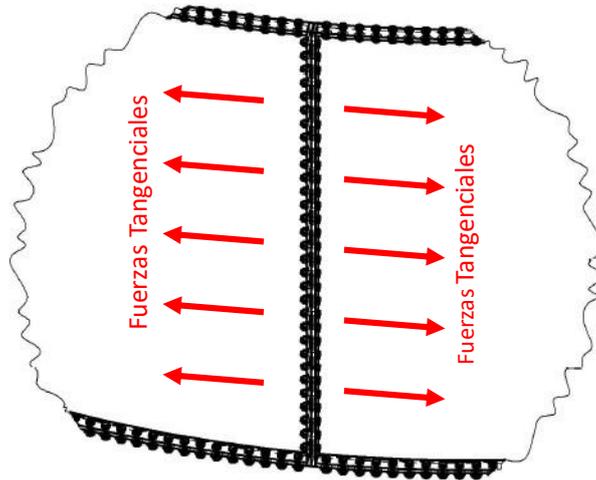
$$N_{total} = N_h + \sqrt{N_i^2 + N_c^2 + \left(\frac{A_v * N_h}{2.5}\right)^2} \quad (81)$$

El casco del tanque será construido mediante paneles ensamblados con pernos y bridas en las uniones verticales y horizontales. Estas uniones transmiten las cargas tangenciales actuantes en el casco del tanque a los pernos de las juntas verticales, que funcionan como elementos de tracción (ver Figura 26). El peso del tanque y sus componentes se soporta por la estructura del casco y se considera que no afecta a los pernos de las uniones bridadas (ver Figura 27). Para el caso de las uniones bridadas horizontales las fuerzas tangenciales del casco se absorben por la estructura del tanque y no por sus pernos, que principalmente soportan la carga la ejercida por el torque de apriete que se aplica para sellar la unión, siguiendo las especificaciones del fabricante de la

pernería y respetando los límites de resistencia de su material. Por lo tanto, el análisis se centrará en los pernos de las uniones bridadas verticales del casco.

Figura 26

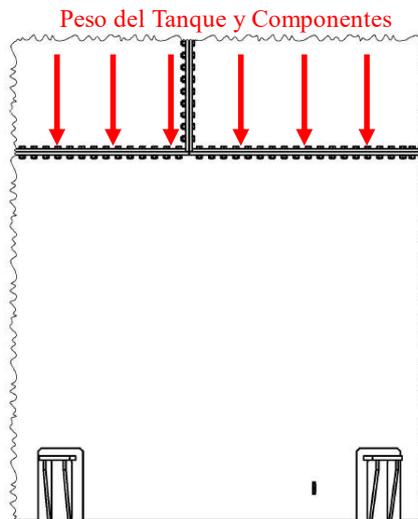
Cargas Tangenciales sobre Uniones Verticales



Nota: Elaboración propia.

Figura 27

Cargas sobre Uniones Horizontales



Nota: Elaboración propia.

Se verificará que la carga de tracción de diseño en los pernos de las bridas verticales no sea mayor a su carga máxima admisible (ver ecuación (82)). Esta última se determinará con el método LRFD del AISC 360-16 "Specification for Structural Steel Buildings" en su apartado J3.6 (American Institute of Steel Construction - AISC, 2016) multiplicando la resistencia nominal a la tracción del material del perno (ver Tabla 21)

por su área de sección transversal sin rosca y multiplicándolo por un factor de seguridad $\phi = 2$, como se visualiza en las ecuaciones (83) y (84). La conexión empernada deberá ser de tipo pretensionada para evitar la separación de las bridas del tanque. Por otro lado, la carga de tracción actuante en los pernos se determinará como el producto del espaciamiento entre el centro de estos por la carga tangencial total en el casco del tanque (ver ecuación (85)). La separación entre pernos se asignará en alineamiento con AISC 360-16 J3.3 (ver ecuación (86)), considerando que la diferencia entre el agujero para el perno y su diámetro es de 1.5 mm. La carga de diseño en los pernos se obtendrá con las combinaciones de carga de la sección 2.3 de ASCE 7-16 (American Society of Civil Engineers, 2016), considerando a la carga actuante como carga viva (ver ecuación 87).

Tabla 21

Resistencia Nominal a la Tracción por Material de Perno

Material	Resistencia Nominal a la Tracción F_{nt} (MPa)
ASTM A307	310
ASTM A325	620
ASTM A490	780
ASTM F3043	1040

Nota: Elaborado en base a AISC 360-16 Tabla J3.2 (American Institute of Steel Construction - AISC, 2016).

$$T_{act} < T_u \quad (82)$$

$$T_{adm} = \phi * F_{nt} * A_b \quad (83)$$

$$\phi = 0.75 \quad (84)$$

$$T_{act} = d_1 * N_{total} \quad (85)$$

$$d_1 \geq \max\left(\frac{8}{3} * d_b; 2 * d_b + 3\right) \quad (86)$$

$$T_u = 1.6 * T_{act} \quad (87)$$

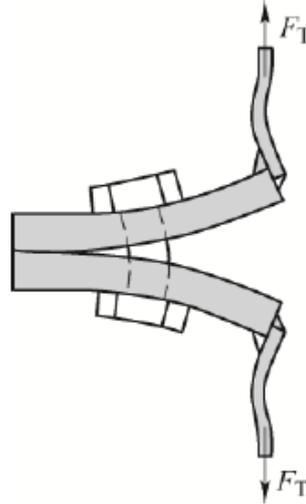
5.4.8.2. Cálculo de espesor mínimo de brida para evitar separación de pernos

El espesor de la brida debe ser calculado para mitigar la separación de las placas en contacto de la unión empernada por la acción de las fuerzas de tracción actuantes en el casco, y las fuerzas de palanca a las que originarían (ver Figura 28). De acuerdo con el capítulo 9 del AISC Steel Construction Manual(American Institute of Steel Construction -

AISC, 2017), el espesor requerido según el método LRFD para evitar la separación de los pernos en una unión empernada sometida a cargas de tracción se determina por las ecuaciones (88), (89), (90) y (91).

Figura 28

Separación de Bridas en la Unión Empernada.



Nota: Recuperado de “Nonlinear Stiffness Analysis of Bolted Flange Connection in Cylindrical Shell Structure” (Pan et al., 2021).

$$b' = b - \frac{d_{b1}}{2} \quad (88)$$

$$\Phi = 0.90 \quad (89)$$

$$p = \min(3.5 * b ; d_1') \quad (90)$$

$$t_{np} = \sqrt{\frac{4 * T_{u1} * b'}{\Phi * p * F_u}} \quad (91)$$

5.4.8.3. Cálculo de precarga y torque de apriete de pernos de juntas verticales

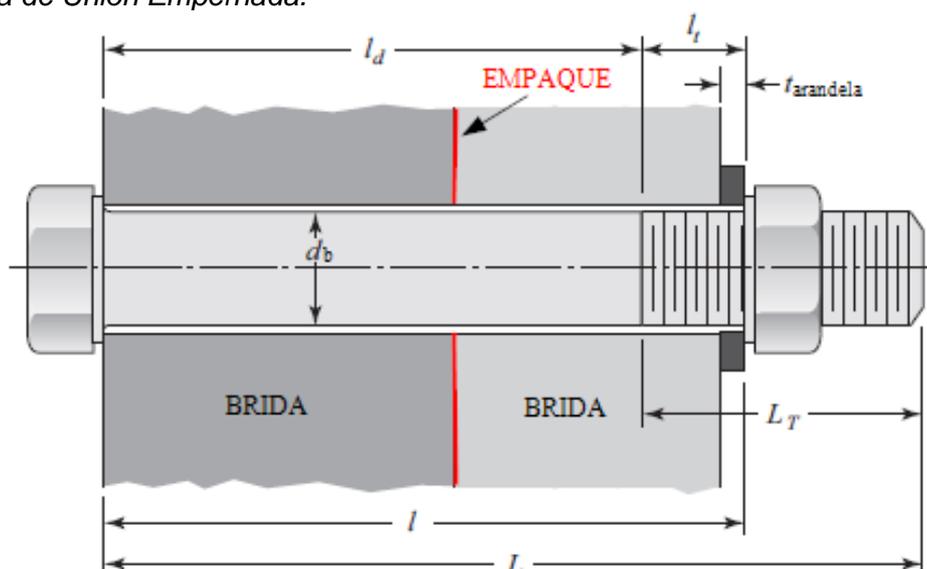
Las uniones empernadas del casco del tanque serán de tipo pretensionadas de acuerdo con la sección 4.2 de “Specification for Structural Joints Using High-Strength Bolts” (Research Council on Structural Connections (RCSC), 2020) porque es necesaria la aplicación de una precarga axial al perno para resistir las fuerzas tangenciales actuantes en el casco del tanque y evitar la separación de sus bridas, mediante la aplicación de un torque de apriete. Se considera que trabajarán a tensión y cargadas en forma estática. Las fórmulas de cálculo para la obtención de esos valores y los conceptos que se registran en

esta sección han sido asimilados del libro “Diseño en ingeniería mecánica de Shigley 9ª Ed.” (Budynas & Nisbett, 2012).

En la Figura 29 se muestra el esquema de la conexión empernada; como se visualiza en la Figura 26 esta unión estará sometida a tensión por las fuerzas tangenciales actuantes en el casco del tanque. Una parte de esta carga externa será tomada por el perno y la otra por los elementos unidos, por lo que es importante determinar la constante de rigidez del perno k_b y la rigidez de los elementos unidos k_m . Para ello se utilizarán las fórmulas 92, 93, 94 y 95. El área de esfuerzo de la parte roscada sometida a tensión se obtiene de la Tabla 22. Además, aunque la presencia de una empaquetadura suave reduce el valor de k_m provocando que se necesiten valores de precarga más bajos, este efecto se ignorará en este estudio. Esta simplificación se justifica para la facilitación del análisis y porque se elegirán valores de precarga cercanos a la carga de prueba de los pernos; según el libro de diseño de Shigley (Budynas & Nisbett, 2012) los pernos de buena calidad se pueden precargar en el intervalo plástico para que desarrollen más resistencia sin fracturarse durante su vida útil: La fractura del perno solo ocurrirá durante el apriete, o no sucederá en absoluto.

Figura 29

Esquema de Unión Empernada.



Nota: Extraído de “Diseño en ingeniería mecánica de Shigley 9ª Ed.” (Budynas & Nisbett, 2012).

Tabla 22

Diámetros y Áreas de Roscas UNC y UNF

Designación de Tamaño	Diámetro Mayor Nominal	Serie gruesa UNC			Serie Fina UNC		
		Roscas por Pulgada, N	Área de esfuerzo de tensión At, pulg2	Área del diámetro menor Ar, pulg2	Roscas por Pulgada, N	Área de esfuerzo de tensión At, pulg2	Área del diámetro menor Ar, pulg2
0	0.0600				80	0.01800	0.00151
1	0.0730	64	0.00263	0.00218	72	0.00278	0.00237
2	0.0860	56	0.00370	0.00310	64	0.00394	0.00339
3	0.0990	48	0.00487	0.00406	56	0.00523	0.00451
4	0.1120	40	0.00604	0.00496	48	0.00661	0.00566
5	0.1250	40	0.00796	0.00672	44	0.00880	0.00744
6	0.1380	32	0.00909	0.00745	40	0.01015	0.00874
8	0.1640	32	0.01400	0.01196	36	0.01474	0.01285
10	0.1900	24	0.01750	0.01450	32	0.02000	0.01750
12	0.2160	24	0.0242	0.0206	28	0.0258	0.0226
1/4	0.2500	20	0.0318	0.0269	28	0.0364	0.0326
5/16	0.3125	18	0.0524	0.0454	24	0.0580	0.0524
3/8	0.3750	16	0.0775	0.0678	24	0.0878	0.0809
7/16	0.4375	14	0.1063	0.0933	20	0.1187	0.1090
1/2	0.5000	13	0.1419	0.1257	20	0.1599	0.1486
9/16	0.5625	12	0.182	0.162	18	0.203	0.189
5/8	0.6250	11	0.226	0.202	18	0.256	0.240
3/4	0.7500	10	0.334	0.302	16	0.373	0.351
7/8	0.8750	9	0.462	0.419	14	0.509	0.480
1	1.0000	8	0.606	0.551	12	0.663	0.625
1.1/4	1.2500	7	0.969	0.890	12	1.073	1.024
1.1/2	1.5000	6	1.405	1.294	12	1.581	1.521

Nota: Tabla 8-2 de "Diseño en ingeniería mecánica de Shigley 9ª Ed." (Budynas & Nisbett, 2012).

$$l_d = L - L_T \tag{92}$$

$$l_t = l - l_d \tag{93}$$

$$k_b = \frac{A_b * A_t * E}{A_b * l_t + A_t * l_d} \tag{94}$$

$$k_m = \frac{0.5774 * \pi * E * d_b}{2 * \ln \left(5 * \frac{0.5774 * l + 0.5 * d_b}{0.5774 * l + 2.5 * d_b} \right)} \tag{95}$$

La carga externa de tensión P aplicada a la unión se considerará igual a la carga de tracción de diseño T_u en los pernos de las uniones verticales del tanque (ver ecuación

96). La constante de rigidez de la unión C y las porciones de la carga externada asimiladas por el perno y los elementos conectados se determinarán con las ecuaciones 97, 98 y 99. La selección del valor de la precarga se realizará con los criterios de las ecuaciones 100, 101 y 102. En la Tabla 23 se muestra el valor de la resistencia mínima de prueba para varios materiales de pernos. Finalmente, el valor del torque de apriete necesario para lograr la precarga seleccionada se calculará con las ecuaciones 103 y 104.

Tabla 23

Valores de Resistencia Mínima de Prueba para Pernos

Designación ASTM	Intervalos de Diámetros, pulg.	Resistencia Mínima de Prueba, ksi.
A307	1/4 a 1.1/2	33
A325 Tipo 1	1/2 a 1	85
	1.1/8 a 1.1/2	74
A325 Tipo 2	1/2 a 1	85
	1.1/8 a 1.1/2	74
A325 Tipo 3	1/2 a 1	85
	1.1/8 a 1.1/2	74
A490 Tipo 1	1/2 a 1.1/2	120
A490 Tipo 3	1/2 a 1.1/2	120

Nota: Tabla 8-10 de "Diseño en ingeniería mecánica de Shigley 9ª Ed." (Budynas & Nisbett, 2012).

$$P = T_u \quad (96)$$

$$C = \frac{k_b}{k_b + k_m} \quad (97)$$

$$P_b = C * P \quad (98)$$

$$P_m = (1 - C) * P \quad (99)$$

$$F_i = 0.90 * A_t * S_p \quad (100)$$

$$n_p = \frac{S_p * A_t}{P_b + F_i} \geq 1 \quad (101)$$

$$n_0 = \frac{F_i}{P_m} \geq 1 \quad (102)$$

$$K = 0.20 \quad (103)$$

$$T = K * F_i * d_b \quad (104)$$

5.5. Diseño estructural y de detalle

Se planteará un diseño conceptual del tanque empernado, en el cual se definirán sus características más generales, como número de anillos, tipo de uniones, cantidad de paneles, entre otros, teniendo en cuenta la disponibilidad en Perú de recursos materiales y tecnología descrita en la sección 5.3. Posteriormente se utilizarán las fórmulas planteadas en la sección 5.4 para establecer los parámetros estructurales del tanque sobre el diseño planteado. Finalmente se realizarán comprobaciones de las uniones empernadas utilizando un software de modelamiento por elementos finitos.

5.5.1. Diseño conceptual del tanque

En la Figura 30 y en la Figura 31 se muestra un esquema del tanque, el cual contará con las siguientes características:

- El cuerpo del tanque estará formado por cuatro anillos, y la altura máxima de cada uno será de 2.4 m para simplificar su fabricación, en base a los formatos de plancha disponibles en Perú. A excepción del primero, estos anillos estarán formados por paneles que se unirán entre sí mediante uniones empernadas verticales y horizontales de tipo bridado (ver Figura 32).
- El primer anillo del casco y el fondo del tanque serán de construcción soldada para simplificar la impermeabilización de la base del tanque. El primer anillo del casco se unirá al siguiente mediante uniones bridadas horizontales.
- El ancho máximo de los paneles empernados será de 3 m para facilitar su transporte y manipulación durante las labores de instalación; se consideran 10 paneles por anillo. Además, será menos probable que se deformen durante su despacho a obra y almacenamiento.
- Las uniones bridadas empernadas serán impermeabilizadas con la aplicación de un sistema de doble barrera con productos de Sika, consistentes en la instalación de una cinta de tripolímero de isobutileno “Sikalastomer 95” y la aplicación de una espuma sellante de la junta “Sikaflex PRO-3”.

- Las silletas, conexiones, manhole y otros anexos al casco del tanque se considerarán soldados al cuerpo.

Figura 30

Vista Isométrica del Tanque Empernado

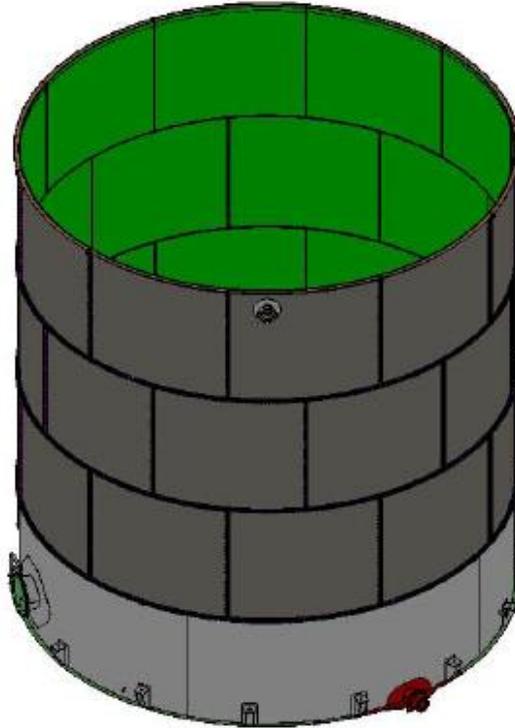


Figura 31

Vista Esquemática del Tanque 2850-TK-081

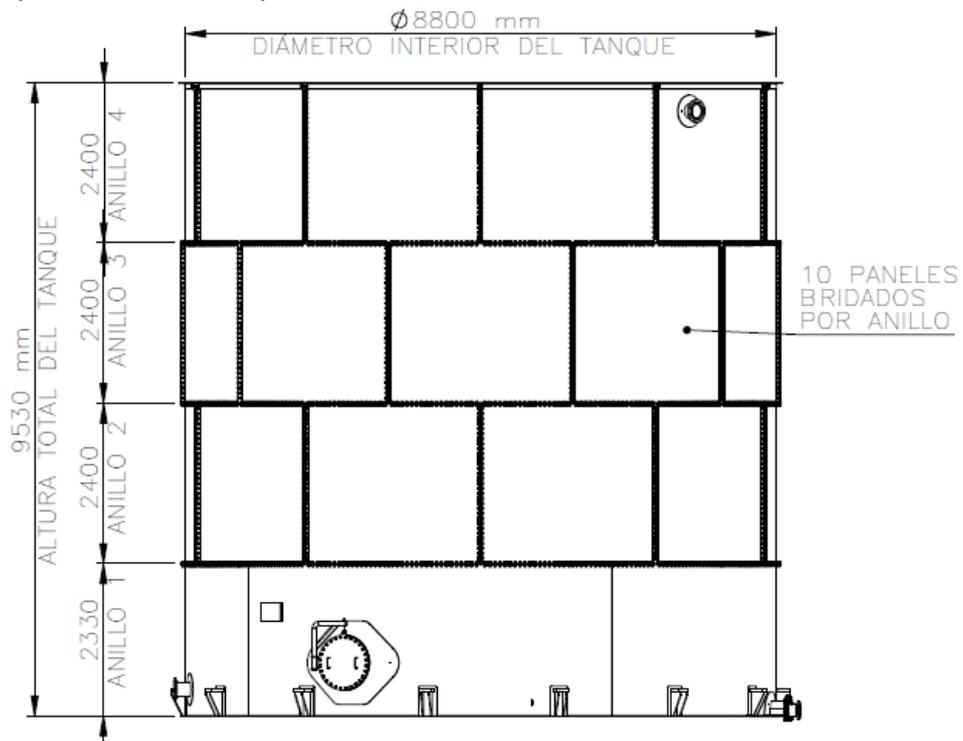
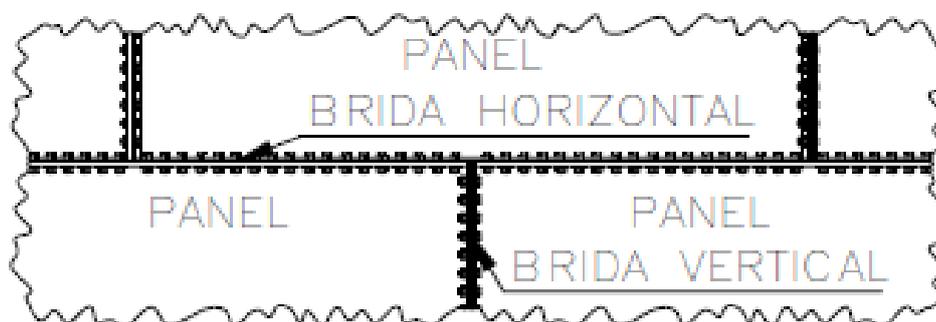


Figura 32

Uniones Bridadas Empernadas de Paneles



5.5.2. Cálculo de espesores de casco, fondo y perfil de anillo rigidizador

En la Tabla 24 se resumen los datos de entrada para el diseño del tanque. En las Tabla 25, Tabla 26, Tabla 27 y Tabla 28 se realizan los cálculos de espesores del cuerpo del tanque y sus anillos rigidizadores empleando las fórmulas de los apartados 5.4.1, 5.4.2 y 5.4.3.

Tabla 24

Datos Generales de Diseño del Tanque

DATOS GENERALES	SÍMBOLO	VALOR	UND
Diámetro nominal del Tanque	D	8.80	m
Altura nominal de tanque	H	9.53	m
Nivel máximo de contenido de tanque	Hd	9.23	m
Tolerancia a la corrosión	CA	2.00	mm
Gravedad específica del contenido	G	1.00	---
Tipo de techo		Abierto	
Material de fabricación de tanque	Acero	ASTM A36	---
Esfuerzo máximo admisible de producto	S _d	160.00	MPa
Esfuerzo máximo admisible de prueba hidrostática	S _t	171.00	MPa
Esfuerzo de fluencia del material del tanque	F _y	250.00	MPa
Velocidad máxima del viento	V	104.00	km/h
Temperatura de Operación		15.00	°C
Volumen del tanque	V	561.38	m ³
Zona sísmica		3	
Aceleración pico de suelo (Peak ground acceleration PGA) por un período de 475 años		0.363	*g
Requiere aceleración vertical	¿Av?	SI	---

Tabla 25

Planilla de Cálculo de Espesores de Casco

	DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	VALOR	UND
DATOS GENERALES	Diámetro nominal de tanque	D	8.80	m
	Altura nominal de tanque	H	9.53	m
	Corrosión Admisible	CA	2.00	mm
	Gravedad específica del contenido	G	1.00	---
	Eficiencia de junta soldada	E	1	---
	Esfuerzo máximo admisible de producto	S _d	160	MPa
	Esfuerzo máximo admisible de prueba hidrostática	S _t	171	MPa
	PRIMER ANILLO	Altura de anillo	H _{anillo}	2.33
Espesor calculado por condiciones de diseño		t _d	4.49	mm
Espesor calculado por condiciones de prueba hidrostática		t _t	2.33	mm
Espesor seleccionado		t_c	6.00	mm
SEGUNDO ANILLO	Altura de anillo	H _{anillo}	2.40	m
	Espesor calculado por condiciones de diseño	t _d	3.86	mm
	Espesor calculado por condiciones de prueba hidrostática	t _t	1.74	mm
	Espesor seleccionado	t_c	6.00	mm
TERCER ANILLO	Altura de anillo	H _{anillo}	2.40	m
	Espesor calculado por condiciones de diseño	t _d	3.21	mm
	Espesor calculado por condiciones de prueba hidrostática	t _t	1.13	mm
	Espesor seleccionado	t_c	6.00	mm
CUARTO ANILLO	Altura de anillo	H _{anillo}	2.40	m
	Espesor calculado por condiciones de diseño	t _d	2.57	mm
	Espesor calculado por condiciones de prueba hidrostática	t _t	0.53	mm
	Espesor seleccionado	t_c	6.00	mm
PESOS	Peso de Casco Corroído	Wcasco corroído	8,272.85	kg
	Peso de Casco	Wcasco	12,409.27	kg

Tabla 26*Planilla de Cálculo de Espesores de Fondo*

DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	VALOR	UND
Corrosión Admisible	CA	2.00	mm
Espesor corroído de la plancha del primer anillo del casco	Corroded t	4.00	mm
Espesor de diseño de la plancha del primer anillo	t _d	4.49	mm
Esfuerzo máximo admisible de producto	S _d	160.00	MPa
Esfuerzo de producto	Product stress	99.50	MPa
Espesor de prueba hidrostática del primer anillo	t _t	2.33	mm
Espesor nominal del primer anillo	Nominal t	6.00	mm
Esfuerzo máximo admisible de prueba hidrostática	St	171.00	MPa
Esfuerzo de prueba hidrostática	Hydrostatic test stress	66.33	MPa
Espesor de piso según Tabla 9		6.00	mm
Espesor de piso considerando la corrosión admisible		8.00	mm
Espesor de fondo seleccionado	tb	8.00	mm
Peso del Fondo	Wfondo	3,819.57	kg

Tabla 27*Planilla de Cálculo de Rigidizador Superior*

DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	VALOR	UND
Diámetro nominal de tanque	D	8.80	m
Altura total de tanque	H ₂	9.53	m
Esfuerzo de fluencia del material	F _y	250	MPa
Velocidad de diseño del viento	V	104.00	km/h
Presión de viento de diseño	P _{wd}	0.68	kPa
Módulo de sección mínimo requerido	Z _{req}	16.76	cm ³
Módulo de sección seleccionado	Z_{sug} - L4x4x3/8	24.60	cm³
¿Se cumple criterio Z_{sug} > Z_{req}?		OK	

Tabla 28*Planilla de Cálculo de Rigidizador Intermedio*

DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	VALOR	UND
Diámetro nominal de tanque	D	8.80	m
Altura total de tanque	H ₂	9.53	m
Espesor del casco del tanque (de la capa más delgada)	t	6.00	mm
Presión de viento de diseño	P _{wd}	0.68	kPa

DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	VALOR	UND
Altura máxima de casco no atiesado	H1	80.51	m
Altura no atiesada real	h1	9.53	m
	¿Se cumple criterio H1 > h1?	>h1, NO	ATIEZAR

5.5.3. Cálculo por viento y sismo: anclajes y silletas

En la Tabla 29 se comprueba la necesidad de anclajes por estabilidad contra el viento utilizando las fórmulas del apartado 5.4.4. Posteriormente en la Tabla 30, Tabla 31 y Tabla 32 se realiza lo respectivo para el caso de sismo empleando lo expuesto en el apartado 5.4.5.

Tabla 29

Planilla de Comprobación de Estabilidad por Viento

DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	VALOR	UND
Diámetro nominal de tanque	D	8.80	m
Altura nominal del tanque	H	9.53	m
Velocidad de diseño del viento	V	104.00	km/h
Esfuerzo de fluencia del material del fondo	F _{by}	250	MPa
Corrosión Admisible	CA	2.00	mm
Peso de Casco Corroído	Wcasco corr	8,272.85	kg
Peso de Techo Corroído	Wtecho-corr	0.00	kg
¿Tiene techo?		NO	---
Presión interna del tanque	P _i	0.00	kPa
Presión de viento de diseño en el casco	P _{W_S}	0.27	kPa
Presión de viento de levante de diseño en el techo	P _{W_R}	0.00	kPa
Factor de combinación de presión	F _p	0.40	---
Carga horizontal del viento sobre el cuerpo	F _{wc}	22.36	kN
Carga vertical del viento sobre el techo	F _{wt}	0.00	kN
Altura de diseño del líquido	H _{liq}	6.67	m
Peso del contenido del tanque por unidad de longitud de la circunferencia del casco	w _L	5,904.03	N/m
Momento de volteo respecto a la unión casco-fondo por la presión de diseño interna del viento	M _{pi}	0.00	N.m

DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	VALOR	UND
Momento de volteo respecto a la unión casco-fondo por la presión de diseño del viento vertical y horizontal	M_w	106,558.47	N.m
Momento respecto a la unión casco-fondo por el peso nominal del casco y de la estructura de techo soportada en él y no sujeta a las planchas de techo	M_{DL}	357,089.25	N.m
Momento respecto a la unión casco-fondo por el peso del líquido	M_F	718,180.24	N.m
Momento respecto a la unión casco-fondo por el peso nominal de las planchas de techo más sus elementos estructurales anexados	M_{DLR}	0.00	N.m
Momento de volteo respecto a la unión casco-fondo por la presión de viento horizontal	M_{ws}	106,558.47	N.m
Condición 1	$0.6M_w + M_{pi} < M_{DL}/1.5 + M_{DLR}$	CUMPLE	
Condición 2	$M_w + F_p(M_{pi}) < (M_{DL} + M_F)/2 + M_{DLR}$	CUMPLE	
Condición 3	$M_{ws} + F_p(M_{pi}) < M_{DL}/1.5 + M_{DLR}$	CUMPLE	
	¿Requiere anclajes por viento?	NO	

Tabla 30

Planilla de Comprobación de Estabilidad por Sismo

CÁLCULO POR SISMO

DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	VALOR	UND
Diámetro nominal de tanque	D	8.80	m
Altura nominal de tanque	H	9.53	m
Nivel máximo de contenido de tanque	Hd	9.23	m
Gravedad específica del contenido	G	1.00	
Grupo Sísmico de Utilización		1	---
Factor de Importancia	I	1	---
Parámetro de aceleración pico de suelo de diseño para sitios no considerados en los métodos ASCE	S_p	0.363	*g
Parámetro de aceleración espectral para intervalos cortos (0.2 seg) con 5% de amortiguamiento para el máximo terremoto considerado de riesgo	S_s	0.908	*g
Parámetro de aceleración espectral para un período de 1 seg con 5% de amortiguamiento para el máximo terremoto considerado de riesgo	S_1	0.454	*g

CÁLCULO POR SISMO			
DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	VALOR	UND
Parámetro de aceleración espectral para un período de 0 seg con 5% de amortiguamiento para el máximo terremoto considerado de riesgo, %g.	S ₀	0.363	*g
Clase de Sitio	Clase de sitio	D	---
Coeficiente de sitio basado en la aceleración	F _a	1.137	---
Coeficiente de sitio basado en la velocidad	F _v	1.546	---
Coeficiente de período de balanceo	K _s	0.578	---
Período natural convectivo del líquido contenido (balanceo)	T _c	3.088	seg
Factor de reducción de fuerza para el modo impulsivo utilizando el método ASD	R _{wi}	4	---
Factor de reducción de fuerza para el modo convectivo utilizando el método ASD	R _{wc}	2	---
Período de transición dependiente de la región para períodos largos de movimiento de suelo	T _L	4.00	seg
Factor de escalamiento del máximo terremoto considerado de riesgo a la aceleración espectral de diseño	Q	1.00	---
Coeficiente de ajuste de amortiguamiento de aceleración espectral de 5% a 0.5%	K	1.50	---
Parámetro de aceleración espectral impulsiva de diseño	A _i	0.26	%g
Parámetro de aceleración espectral convectiva de diseño	A _c	0.17	%g
Parámetro de aceleración vertical de terremoto	A _v	0.48	%g
Peso total del contenido del tanque basado en el peso específico de diseño del producto	W _P	5,507,138	N
Peso de la porción impulsiva efectiva del líquido contenido	W _i	4,362,512	N
Peso de la porción convectiva efectiva del líquido contenido	W _c	1,206,538	N
Peso total del casco del tanque y boquillas	W _s	121,735	N
Peso total del contenido del techo fijo del tanque incluyendo armazón estructural, accesorios y 10% de la carga de diseño de nieve sobre el techo	W _r	0.00	N
Peso del fondo del tanque	W _f	37,470	N
Altura desde la base del casco del tanque hasta el centro de acción de la fuerza sísmica lateral relacionada con la porción impulsiva del líquido para el momento en la base de la pared del tanque	X _i	3.79	m
Distancia al centro de gravedad inductivo Momento Losa	X _{is}	5.14	m

CÁLCULO POR SISMO			
DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	VALOR	UND
Altura desde la base del casco del tanque hasta el centro de acción de la fuerza sísmica lateral relacionada con la porción convectiva del líquido para el momento en la base de la pared del tanque	X_C	6.93	m
Distancia al centro de gravedad convectivo Momento Losa	X_{cs}	7.03	m
Altura desde la base del casco del tanque hasta el centro de gravedad del casco	X_S	4.77	m
Altura desde la base del casco del tanque hasta el centro de gravedad del techo y sus accesorios	X_r	9.53	m
Fuerza de corte en la base debido a la porción impulsiva del líquido contenido y a la masa del tanque	V_i	1,166,408	N
Fuerza de corte en la base debido a la porción convectiva efectiva del líquido contenido	V_c	205,619	N
Fuerza de corte en la base	V	1,184,393	N
Momento de volteo actuante en el perímetro de la base del casco	M_{rw}	4,636,723	N.m
Momento de losa	M_s	6,110,584	N.m
Espesor del anillo de fondo excluyendo la tolerancia a la corrosión	t_a	6.00	mm
Mínimo esfuerzo de fluencia especificado para el fondo	F_y	250.00	MPa
Gravedad específica efectiva incluyendo efectos sísmicos	G_e	0.81	----
Fuerza resistente al levantamiento en la región anular	w_a	13,165.59	N/m
Peso del tanque y techo actuante en la base del casco	w_t	4,403.35	N/m
Ratio de presión de operación normal respecto a presión de diseño	F_p	0.40	
Carga de elevación debido a la presión de diseño por unidad de longitud circunferencial	w_{int}	0.00	N/m
Ratio de anclaje	J	3.58	---
	¿Se requiere anclajes?	SI	

Tabla 31

Planilla de Cálculo de Esfuerzos de Compresión por Sismo en el Casco

DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	VALOR	UND
Díámetro nominal de tanque	D	8.80	m
Nivel máximo de contenido de tanque	Hd	9.23	m
Mínimo esfuerzo de fluencia especificado para el casco	F_{ty}	250.00	MPa

DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	VALOR	UND
Espesor de primer anillo menos margen por corrosión	t_s	4.00	mm
Máximo esfuerzo longitudinal de compresión de casco	σ_c	20.37	MPa
Máximo esfuerzo longitudinal de compresión de membrana de casco admisible	F_c	37.73	MPa
Comprobación $F_c > \sigma_c$ para que no se tenga Falla		OK	

Tabla 32

Planilla de Cálculo de Esfuerzos Circunferenciales (Hoop Stress) por Sismo

DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	VALOR	UND
Diámetro nominal de tanque	D	8.80	m
Nivel máximo de contenido de tanque	Hd	9.23	m
Altura desde la superficie del líquido hasta el punto de análisis (positivo hacia abajo)	Y	9.23	m
Ratio D/H	D/Hd	0.95	----
Espesor de primer anillo menos margen por corrosión	t_s	4.00	
Esfuerzo máximo admisible de producto	S_d	160	MPa
Esfuerzo de fluencia del material del tanque	F_y	250	MPa
Máximo esfuerzo circunferencial admisible en el casco del tanque	$F_{hoop-max}$	212.80	MPa
Fuerza impulsiva circunferencial de membrana en el casco del tanque	N_i	51.94	N/mm
Fuerza convectiva circunferencial de membrana en el casco del tanque	N_c	1.03	N/mm
Carga hidrostática en el casco del tanque	N_h	398.40	N/mm
Máximo esfuerzo circunferencial combinado de casco	σ_t	122.88	MPa
Comprobación Allowable seismic hoop stress $> \sigma_T$ para que no se tenga Falla		OK	

Se ha determinado la necesidad de anclajes para el caso de sismo. En la Tabla 33 y en la Tabla 34 se emplean las fórmulas de los apartados 5.4.6 y 5.4.7 para realizar el dimensionamiento de los pernos de anclaje y silletas.

Tabla 33

Planilla de Cálculo de Pernos de Anclaje

DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	VALOR	UND
Diámetro nominal de tanque	D	8.80	m
Cantidad de pernos de anclaje	N	14	

DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	VALOR	UND
Espaciamiento entre pernos	Distancia entre pernos	1.97	m
Material Perno Anclaje	F1554 Gr36		
Mínimo esfuerzo de fluencia especificado para el material del anclaje	F_{y-anch}	250	MPa
Parámetro de aceleración vertical de terremoto	A_v	0.48	%g
CÁLCULO RESISTENCIA TRACCIÓN DE PERNOS			
Máximo esfuerzo de tracción admisible en el anclaje	$\sigma_{max-anch}$	200	MPa
Momento de volteo actuante en el perímetro de la base del casco	M_{rw}	4,636,723	N.m
Peso corroído del techo, casco y sus accesorios permanentes	W_2	81,156.65	N
Carga de levantamiento sobre el tanque	U	2,042,187.67	N
Carga de tracción por cada perno de anclaje	T_b	145,870.55	N
Diámetro del perno de anclaje	\varnothing_b	1.50	pulg
Diámetro del perno de anclaje	\varnothing_b	38.10	mm
Esfuerzo de tracción actuante en el anclaje	σ_b	127.95	MPa
Carga admisible del perno seleccionado		228,018.37	N
Comprobación Esfuerzo de tracción admisible $\sigma_{max-anch}$ > Esfuerzo de tracción actuante en el anclaje σ_b			OK
CÁLCULO RESISTENCIA CORTE DE PERNOS			
Esfuerzo cortante admisible de perno de anclaje	$T_{max-anch}$	100	MPa
Coeficiente de fricción entre el fondo del tanque y el piso	μ	0.4	
Fuerza de corte en la base	V	1,184,393.11	N
Peso total del casco del tanque y boquillas	W_s	121,735	N
Peso total del contenido del techo fijo del tanque incluyendo armazón estructural, accesorios y 10% de la carga de diseño de nieve sobre el techo	W_r	0.00	N
Peso del fondo del tanque	W_f	37,470	N
Peso total del contenido del tanque basado en el peso específico de diseño del producto	W_P	5,507,138	N
Resistencia al deslizamiento	V_s	1,826,866.12	N
¿Se comprueba $V > V_s$? De ser afirmativo se verificarán los pernos por corte.	$V > V_s$	NO	
Carga de corte por cada perno de anclaje	V_b	N.A	N
Esfuerzo de corte actuante en el anclaje	T_b	N.A	MPa
Comprobación Esf admisible corte > Esfuerzo corte por perno		N.A	

Tabla 34*Planilla de Cálculo de Silletas*

DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	VALOR	UND	VALOR	UND
Carga de diseño del perno de anclaje	P	218,805.82	N	49.19	kips
Radio nominal del tanque	R	4.40	m	173.23	pulg
Espesor del casco corroído	t_{casco}	4.00	mm	0.16	pulg
Espesor de fondo de tanque	m	8	mm	0.31	pulg
Ancho de silleta	a	190	mm	7.48	pulg
Longitud de silleta en dirección radial	b	200	mm	7.87	pulg
Espesor de placa superior de silleta	c	25	mm	0.98	pulg
Diámetro de perno de anclaje	d	38	mm	1.50	pulg
Excentricidad de perno de anclaje	e	95	mm	3.74	pulg
Distancia desde el borde del perno de anclaje hasta el borde de la placa superior	f	83	mm	3.26	pulg
Distancia entre placas verticales de silleta	g	110	mm	4.33	pulg
Altura de silleta	h	400	mm	15.75	pulg
Espesor de placas verticales de silleta	j	16	mm	0.63	pulg
Espesor del refuerzo de silleta	t_{refuerzo}	9.00	mm	0.35	pulg
Distancia de fondo sobresaliente al casco	kb	41.00	mm	1.61	pulg
Ancho promedio de placas verticales de silleta	k	121	mm	4.74	pulg
Comprobación de altura de silleta	$6 \text{ pulg} \leq h \leq 3a$	CUMPLE		CUMPLE	
Comprobación de distancia mínima desde el borde del perno de anclaje hasta el borde de la placa superior	$f > d/2 + 1/8 \text{ pulg}$	CUMPLE		CUMPLE	
Comprobación de distancia mínima entre placas verticales de silleta	$g > d + 1 \text{ pulg}$	CUMPLE		CUMPLE	
Comprobación de espesor mínimo de placas verticales de silleta	$j > \text{máx} [0.5; 0.04*(h-c)]$	CUMPLE		CUMPLE	
Comprobación de placas verticales	$j * k \geq P/25$	CUMPLE		CUMPLE	
Esfuerzo de fluencia del material del primer anillo del tanque	F_{ty}	250.00	MPa	36.00	ksi

DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	VALOR	UND	VALOR	UND
Esfuerzo máximo admisible en la silleta	$S_{\text{silleta-adm}}$	172.37	MPa	25.00	ksi
Esfuerzo en la placa superior de la silleta	S_{psup}	139.01	MPa	20.16	ksi
Factor de reducción	Z	0.98	----	0.98	-----
Esfuerzo en las placas verticales de las silletas	S_{pver}	143.28	MPa	20.78	ksi
¿El diseño cumple AISI?		SI			

5.5.4. Cálculo analítico de uniones emperradas

Se calcula el diámetro y espaciado de los pernos de las uniones verticales utilizando las fórmulas y conceptos descritos en la sección 5.4.8.1. Los resultados del caso de mayor carga (anillo 2) se asimilarán para el resto del tanque, así como para las uniones horizontales. Las fuerzas tangenciales actuantes en el casco del tanque se determinan con los datos de la Tabla 35 y se muestran en la Tabla 36 considerando las coordenadas de la Figura 25. Los datos resultantes para los pernos se registran en la Tabla 37 y en la Tabla 38.

Tabla 35

Datos para Cálculo de Fuerzas Tangenciales en el Casco del Tanque

DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	VALOR	UND
Diámetro nominal de tanque	D	8.80	m
Altura nominal de tanque	H	9.53	m
Nivel máximo de contenido de tanque	Hd	9.23	m
Parámetro aceleración espectral impulsivo	A_i	0.26	%g
Parámetro aceleración espectral convectivo	A_c	0.17	%g
Parámetro de aceleración vertical de terremoto	A_v	0.48	%g
Gravedad específica del contenido	G	1.00	----
Ratio D/H	D/H_d	0.95	----
Ratio 0.75D	0.75D	6.60	----

Tabla 36*Fuerzas Tangenciales actuantes en el Casco del Tanque*

Y	Ni (N/mm)	Nc (N/mm)	Nh (N/mm)	N total (N/mm)	Anillo	Localización
0.00	0.00	24.42	0.00	24.42	Anillo 4	
0.30	4.63	21.54	12.95	35.12	Anillo 4	
0.60	9.05	19.00	25.90	47.54	Anillo 4	
0.90	13.25	16.77	38.85	61.51	Anillo 4	
1.20	17.24	14.79	51.80	76.63	Anillo 4	
1.50	21.01	13.05	64.75	92.48	Anillo 4	
1.80	24.56	11.52	77.70	108.73	Anillo 4	
2.10	27.90	10.17	90.64	125.15	Anillo 3-4	Unión
2.40	31.02	8.97	103.59	141.63	Anillo 3	
2.70	33.93	7.92	116.54	158.08	Anillo 3	
3.00	36.63	7.00	129.49	174.45	Anillo 3	
3.30	39.10	6.18	142.44	190.72	Anillo 3	
3.60	41.37	5.46	155.39	206.86	Anillo 3	
3.90	43.41	4.83	168.34	222.88	Anillo 3	
4.20	45.24	4.28	181.29	238.75	Anillo 3	
4.50	46.86	3.79	194.24	254.49	Anillo 2-3	Unión
4.80	48.26	3.36	207.19	270.08	Anillo 2	
5.10	49.44	2.98	220.14	285.54	Anillo 2	
5.40	50.41	2.65	233.09	300.86	Anillo 2	
5.70	51.17	2.37	246.03	316.05	Anillo 2	
6.00	51.71	2.12	258.98	331.11	Anillo 2	
6.30	52.03	1.90	271.93	346.05	Anillo 2	
6.60	51.94	1.72	284.88	360.74	Anillo 2	
6.90	51.94	1.56	297.83	375.54	Anillo 1-2	Unión
7.13	51.94	1.45	307.76	386.90	Anillo 1	
7.43	51.94	1.33	320.71	401.76	Anillo 1	
7.73	51.94	1.24	333.66	416.65	Anillo 1	
8.03	51.94	1.16	346.61	431.58	Anillo 1	
8.33	51.94	1.10	359.56	446.52	Anillo 1	
8.63	51.94	1.06	372.51	461.50	Anillo 1	
8.93	51.94	1.04	385.45	476.50	Anillo 1	
9.23	51.94	1.03	398.40	491.52	Anillo 1	Soldado

Tabla 37*Planilla de Cálculo de Pernos de Juntas Empernadas Verticales del Anillo 2*

DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	VALOR	UND
Material del perno a utilizar		A325 Tipo 2	
Diámetro del perno	d_b	19.05	mm
Área de sección transversal del perno sin considerar la rosca	A _b	285.02	mm ²
Resistencia nominal a la tracción del material del perno	F _{nt}	90	ksi
Resistencia nominal a la tracción del material del perno	F _{nt}	620	Mpa
Factor de seguridad LRFD	Φ	0.75	
Carga de tracción admisible en los pernos de las uniones verticales del tanque	T _{adm}	132,535.68	N
Separación entre centros de pernos de uniones bridadas	d₁	76.20	mm
Verificación de separación mínima de pernos d ₁ ≥ max (8/3*d _b ; 2*d _b +3)		OK	
Fuerza tangencial resultante actuante en el casco del tanque - Anillo 2	N_{total}	375.54	N/mm
Carga de tracción actuante en los pernos de las uniones verticales del tanque - Anillo 2	T _{act}	28,615.79	N/perno
Carga de tracción de diseño en los pernos de las uniones verticales del tanque según combinaciones de carga de LRFD - Anillo 2	T _u	45,785.27	N/perno
Verificación de pernos T_{adm} > T_u		OK	

Tabla 38*Planilla de Cálculo de Pernos de Juntas Empernadas Verticales del Anillo 3*

DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	VALOR	UND
Material del perno a utilizar		A325 Tipo 2	
Diámetro del perno	d_b	19.05	mm
Área de sección transversal del perno sin considerar la rosca	A _b	285.02	mm ²
Resistencia nominal a la tracción del material del perno	F _{nt}	90	ksi
Resistencia nominal a la tracción del material del perno	F _{nt}	620	Mpa
Factor de seguridad LRFD	Φ	0.75	
Carga de tracción admisible en los pernos de las uniones verticales del tanque	T _{adm}	132,535.68	N
Separación entre centros de pernos de uniones bridadas	d₁	76.20	mm
Verificación de separación mínima de pernos d ₁ ≥ max (8/3*d _b ; 2*d _b +3)		OK	

DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	VALOR	UND
Fuerza tangencial resultante actuante en el casco del tanque - Anillo 3	N_{total}	254.49	N/mm
Carga de tracción actuante en los pernos de las uniones verticales del tanque - Anillo 3	T _{act}	19,391.86	N/perno
Carga de tracción de diseño en los pernos de las uniones verticales del tanque según combinaciones de carga de LRFD - Anillo 3	T _u	31,026.97	N/perno
Verificación de pernos Tadm > Tu		OK	

Se realizará la comprobación del espesor de las bridas de casco para evitar la separación de los pernos considerando que serán de material ASTM A709 GR.50 a diferencia del cuerpo del tanque que es ASTM A36. Se utilizarán las fórmulas del apartado 5.4.8.2. Los resultados se muestran en la Tabla 39 y en la Tabla 40.

Tabla 39

Planilla de Cálculo de Espesor de Brida del Anillo 2

DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	VALOR	UND
Diámetro del perno	d _{b1}	3/4	pulg
Factor de seguridad LRFD	Φ	0.90	
Carga de tracción de diseño en los pernos de las uniones verticales del tanque según combinaciones de carga de LRFD - Anillo 2	T _u	10.29	kips
Mínima tensión de rotura especificada para el material de las bridas A709 GR.50	F _u	65.00	ksi
Distancia entre centro de perno y centro de plancha de casco	b	1.50	pulg
Distancia entre borde de perno y centro de plancha de casco	b'	1.13	pulg
Separación entre centros de pernos de uniones bridadas	d _{1'}	3.00	pulg
Longitud tributaria	p	3.00	pulg
Espesor de brida requerido para eliminar acción separadora en las bridas con factores de LRFD.	tnp	0.51	pulg
Espesor de brida requerido para eliminar acción separadora en las bridas con factores de LRFD.	tnp	13.05	mm
Espesor de brida seleccionado - Anillo 2	tbrida	19.00	mm

Tabla 40*Planilla de Cálculo de Espesor de Brida del Anillo 3*

DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	VALOR	UND
Diámetro del perno	d_{b1}	3/4	pulg
Factor de seguridad LRFD	Φ	0.90	
Carga de tracción de diseño en los pernos de las uniones verticales del tanque según combinaciones de carga de LRFD - Anillo 3	T_u	6.98	kips
Mínima tensión de rotura especificada para el material de las bridas A709 GR.50	F_u	65.00	ksi
Distancia entre centro de perno y centro de plancha de casco	b	1.50	pulg
Distancia entre borde de perno y centro de plancha de casco	b'	1.13	pulg
Separación entre centros de pernos de uniones bridadas	d_1'	3.00	pulg
Longitud tributaria	p	3.00	pulg
Espesor de brida requerido para eliminar acción separadora en las bridas con factores de LRFD.	t_{np}	0.42	pulg
Espesor de brida requerido para eliminar acción separadora en las bridas con factores de LRFD.	t_{np}	10.74	mm
Espesor de brida seleccionado - Anillo 3	t_{brida}	16.00	mm

Se ejecutará la determinación de la precarga y del torque de apriete de los pernos de las juntas verticales del anillo 2 utilizando las fórmulas del inciso 5.4.8.3 y considerando pernos $\varnothing 3/4'' \times 2.1/2''$ longitud ASTM A325 tipo 2. Los valores calculados para el anillo 2 serán válidos para los anillos superiores porque la carga actuante en las uniones empernadas es menor. Los resultados se muestran en la Tabla 41.

Tabla 41*Planilla de Cálculo de Precarga y Torque de Apriete*

DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	VALOR	UND
Diámetro del perno	d_b	19.05	mm
Área de sección transversal del perno sin considerar la rosca	A_b	285.02	mm ²
Área de esfuerzo de la parte roscada del perno sometida a tensión	A_t	215.48	mm ²
Módulo de Young del acero	E	210,000	MPa
Largo del perno	L	69.85	mm
Longitud de rosca del perno	L_T	44.45	mm
Espesor de la arandela plana	$t_{arandela}$	3.18	mm
Espesor de brida seleccionado - Anillo 2	t_{brida}	19.00	mm

DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	VALOR	UND
Longitud de agarre de la unión	I	41.18	mm
Longitud de la parte sin rosca del perno en el agarre de la unión	l_d	25.40	mm
Longitud de la parte roscada en el agarre de la unión	l_t	15.78	mm
Rigidez efectiva estimada del perno	Kb	1,293,531	N/mm
Rigidez efectiva estimada de los elementos conectados	Km	4,285,125	N/mm
Carga de tracción de diseño en los pernos de las uniones verticales del tanque según combinaciones de carga de LRFD - Anillo 2	T_u	45,785	N/perno
Carga externa de tensión aplicada a la unión	P	45,785	N/perno
Resistencia de prueba mínima del perno ASTM A325 Tipo 2 para $\varnothing < 1"$	Sp	85,000	psi
Resistencia de prueba mínima del perno ASTM A325 Tipo 2 para $\varnothing < 1"$	Sp	586.05	MPa
Constante de rigidez de la unión empernada	C	0.23	
Parte de P que genera tracción en el perno	Pb	10,616	N
Parte de P que genera descompresión de los elementos conectados	Pm	35,169	N
Precarga seleccionada para el perno	Fi	113,657	N
Factor de seguridad contra la fluencia por esfuerzo estático	n_p	1.02	
ζn_p es mayor a 1?		OK	
Factor de carga contra la separación de la unión	n_o	3.23	
ζn_o es mayor a 1?		OK	
Coefficiente del par de Torsión	K	0.20	
Torque de apriete para lograr la precarga seleccionada	T	433.03	N*m

5.5.5. Comprobación FEM de bridas de uniones empernadas

Las planchas del casco del tanque se unirán mediante bridas fijadas entre sí con pernos; a su vez estas bridas estarán fijadas a las planchas de casco por soldadura de filete como se muestra en la Figura 33. Se realizarán ensayos en un software de elementos finitos para comprobar que los esfuerzos presentes tanto en la brida como en el cordón de soldadura no superan al límite de fluencia para sus respectivos materiales. Se considerarán dos probetas: Una que represente las uniones verticales del casco, y la otra para las uniones horizontales. En la Tabla 42 se especifica el material correspondiente a cada miembro de la unión y su respectivo límite de fluencia.

Tabla 42

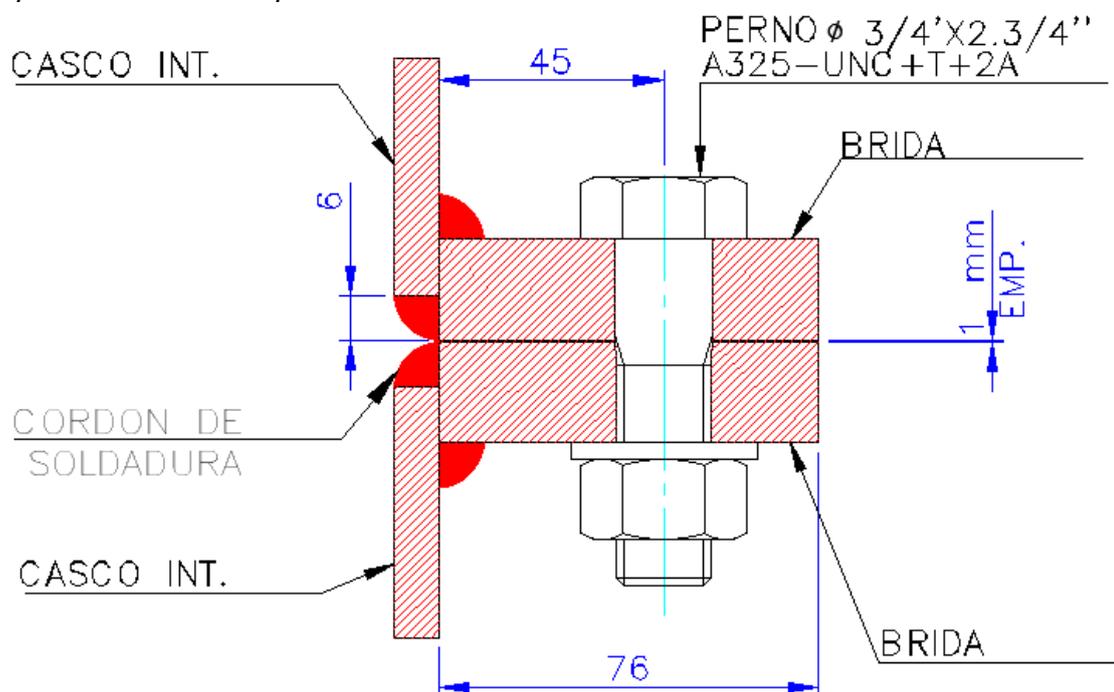
Materiales de Elementos de Unión Empernada

ELEMENTO	MATERIAL	LÍMITE DE FLUENCIA (MPa)
Plancha de Casco	ASTM A36	250
Brida	ASTM A709 GR.50	345
Cordón de Soldadura	AWS E71T1-C1	490
Perno	ASTM A325 Tipo 2	634

Nota: Elaboración propia en base a información técnica seleccionada.

Figura 33

Esquema de Unión Empernada



5.5.5.1. Unión vertical

En la Figura 34 se muestran las dimensiones de la probeta de la unión vertical, la cual corresponde a un extracto de la sección inferior de los anillos bridados del tanque sometidos a tracción por las fuerzas tangenciales mostradas en la Tabla 36. En la Tabla 43 se ha calculado el módulo de la carga a aplicar en el ensayo como el producto de la fuerza tangencial de mayor valor en el anillo en N/mm y la altura de la probeta en mm, Se ha seleccionado la carga correspondiente al anillo 2 por ser la de mayor magnitud. Se utiliza el valor de la precarga calculada en la sección 5.5.4 (ver Figura 35). La probeta con asignación de cargas se visualiza en la Figura 36.

Tabla 43

Carga de Prueba aplicable sobre Probeta de Unión Empernada Vertical

UBICACIÓN	N TOTAL (N/MM)	ALTURA DE PROBETA (MM)	Nprueba (N)
Anillo 2	375.54	228.60	85,848
Anillo 3	254.49	228.60	58,176
Anillo 4	125.15	228.60	28,611

Figura 34

Dimensiones de Probeta para Unión Empernada Vertical

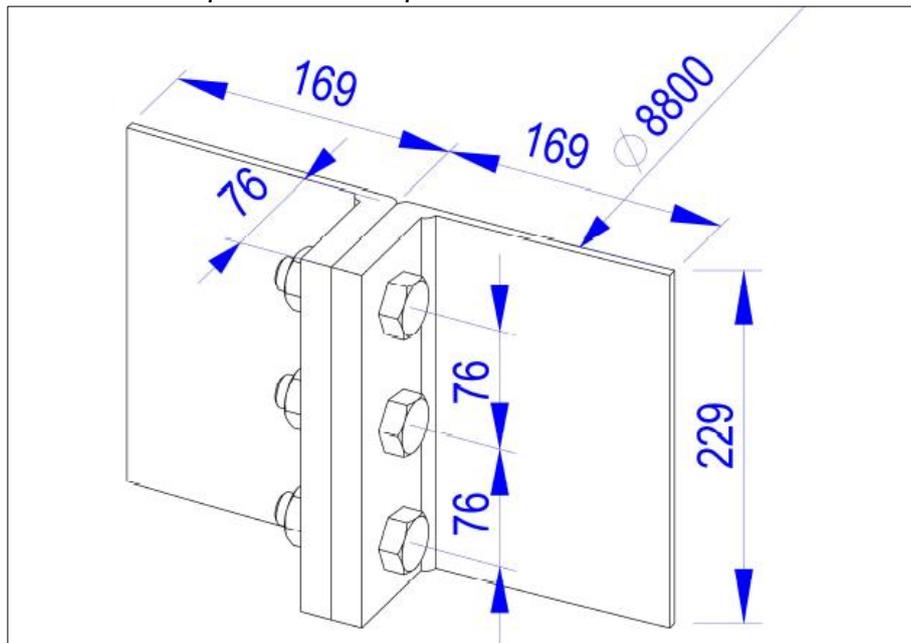


Figura 35

Datos de Resistencia y Precarga de Pernos para Prueba

Datos de resistencia

Zona del límite de tensión conocida
 Zona del límite de tensión calculada

10 roscas/mm

Resistencia del perno

92000 psi

Factor de seguridad

1

Precarga

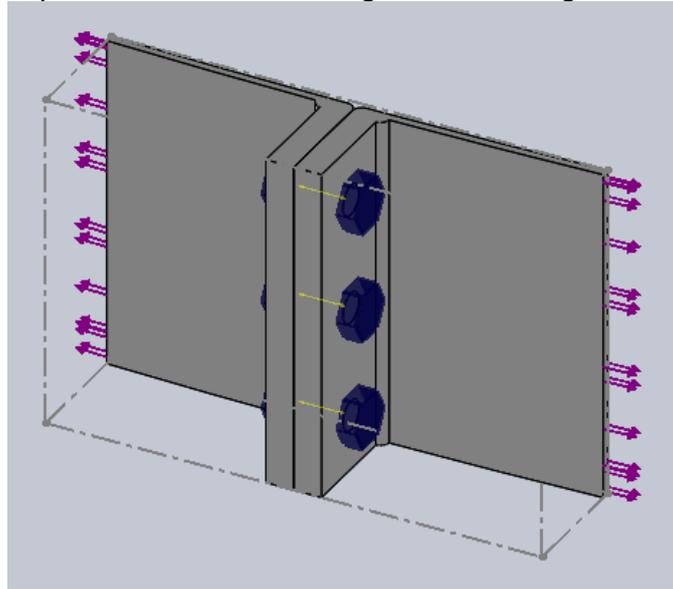
SI

Axial
 Torsión

113657 N

Figura 36

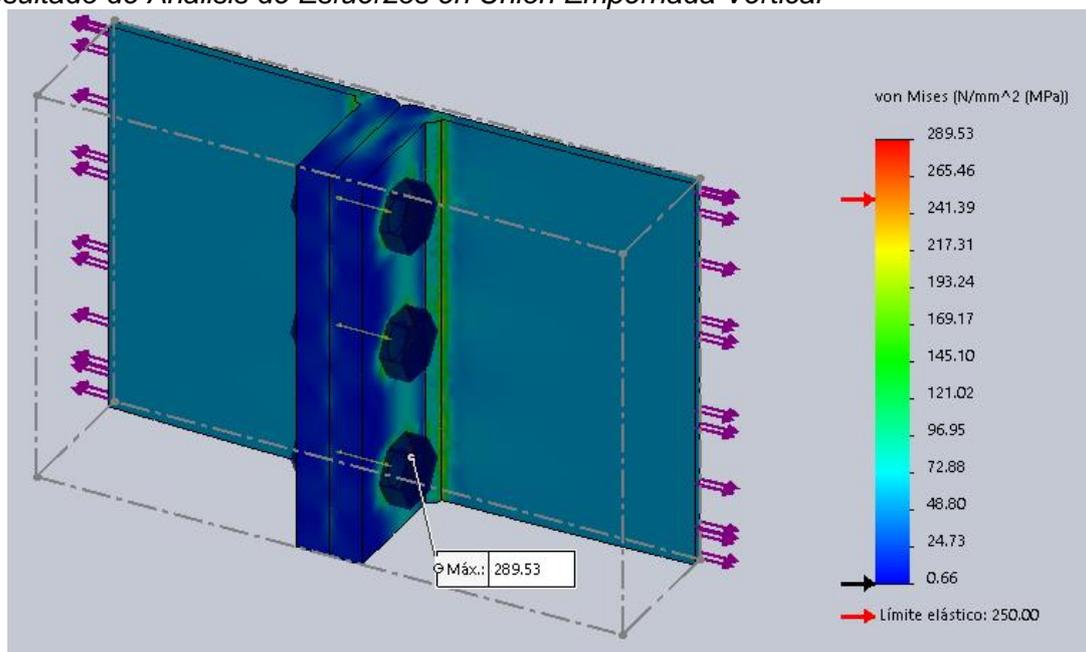
Probeta de Unión Empernada Vertical con Asignación de Cargas



A continuación, se describen los resultados de la prueba por elementos finitos: Los esfuerzos registrados en cada elemento de la probeta se encuentran dentro del límite elástico correspondiente a sus respectivos materiales (Tabla 42). El esfuerzo máximo de la prueba alcanzo el valor de 289.53 MPa y se produce en el área de contacto entre la cabeza del perno y la brida (Figura 37).

Figura 37

Resultado de Análisis de Esfuerzos en Unión Empernada Vertical



El mayor esfuerzo registrado en el cordón de soldadura asciende a 248.51 MPa (Figura 38 y Figura 39). Los esfuerzos se concentran en el borde de los agujeros para los pernos y en los bordes del cordón de soldadura (Figura 40, Figura 41 y Figura 42) sin representar más del 10 % del volumen de la probeta. Las deformaciones en la prueba se encuentran en el rango de centésimas de milímetro (Figura 43). Finalmente, el factor de seguridad en los pernos es de 1.57 (Figura 44).

Figura 38

Esfuerzo Máximo en el cordón de Soldadura de la Unión Empernada Vertical

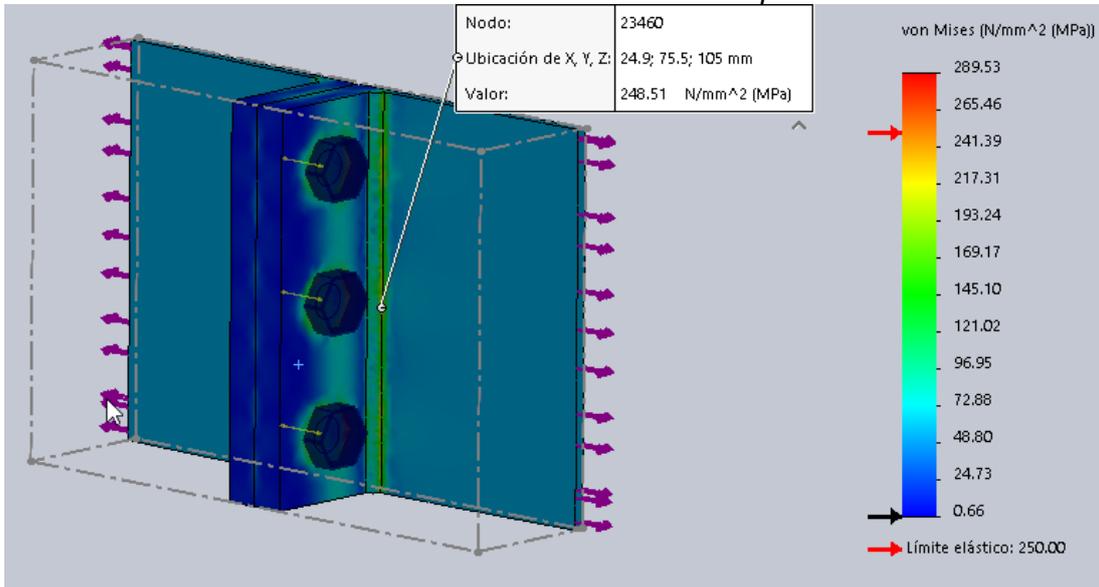


Figura 39

Ubicación de Esfuerzo Máximo en Cordón de Soldadura de Unión Empernada Vertical

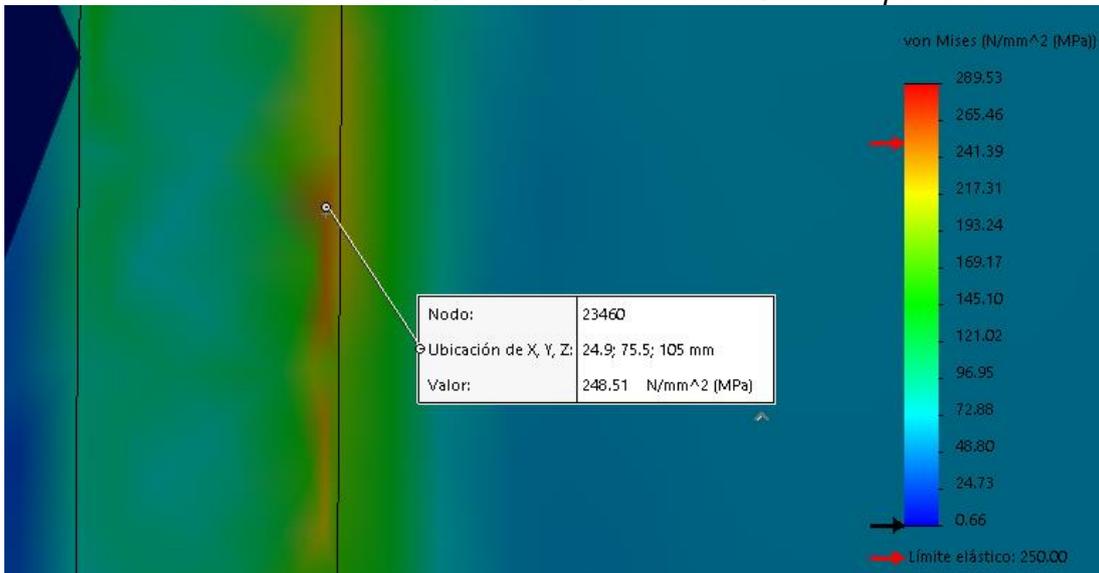


Figura 40

Iso Superficies de Esfuerzos mayores a 150 MPa en la Unión Vertical

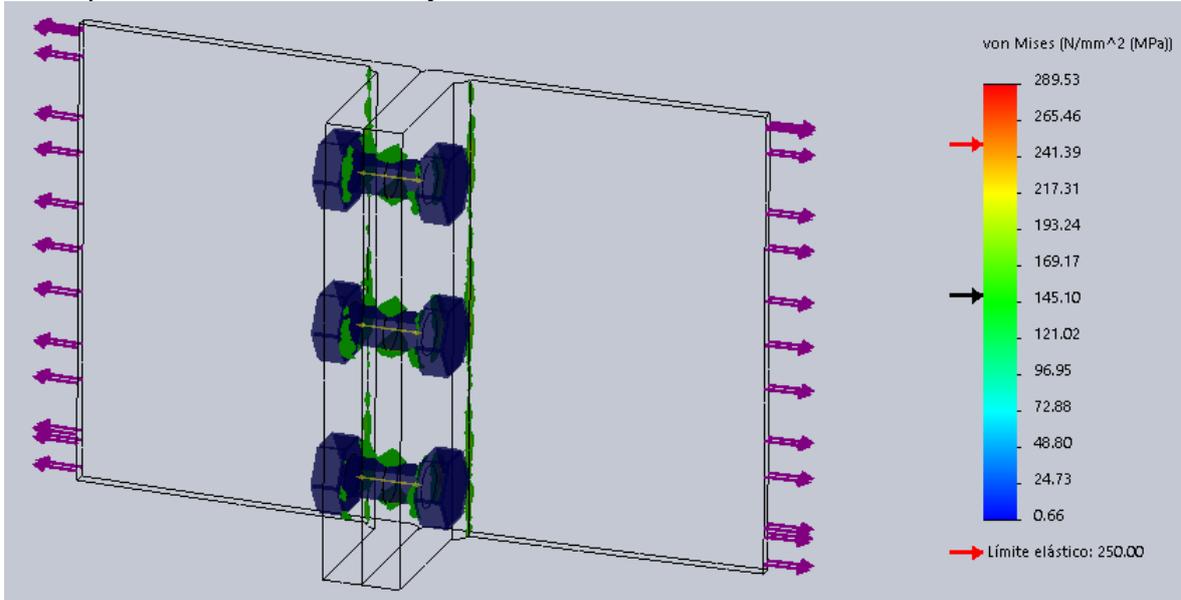


Figura 41

Iso Superficies de Esfuerzos mayores a 200 MPa en la Unión Vertical

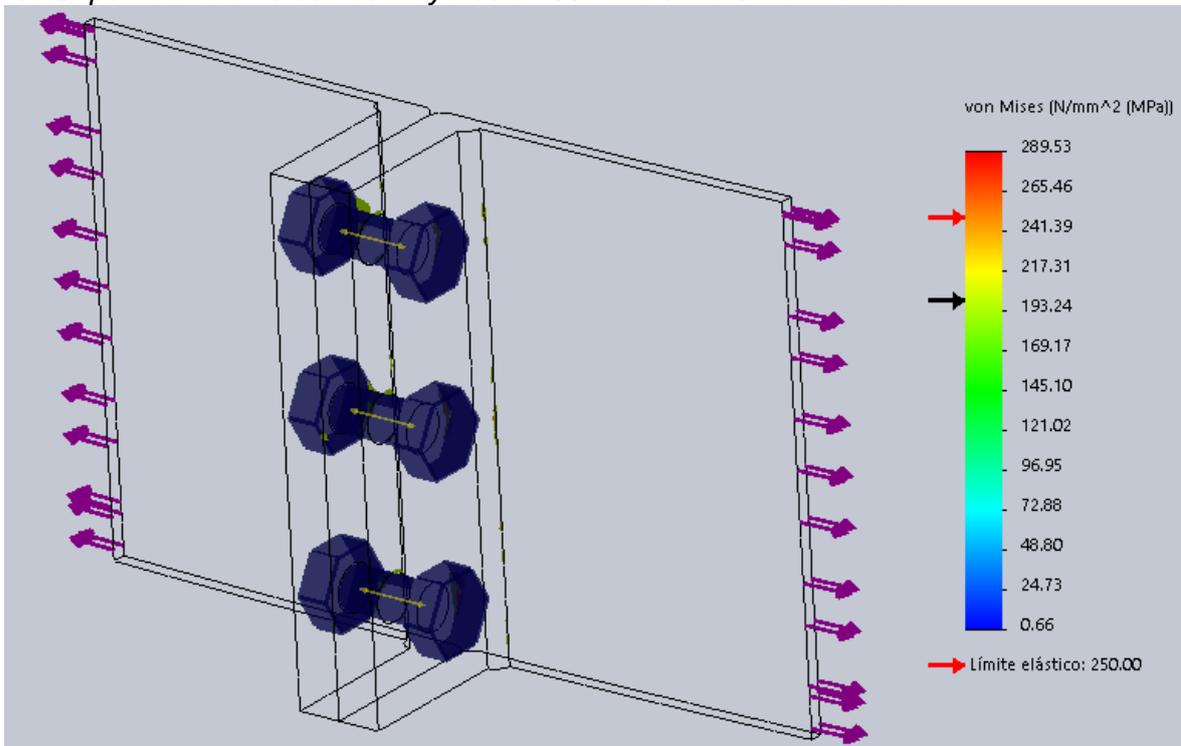


Figura 42

Segundo Gráfico de Iso Superficies de Esfuerzos mayores a 200 MPa en la Unión Vertical

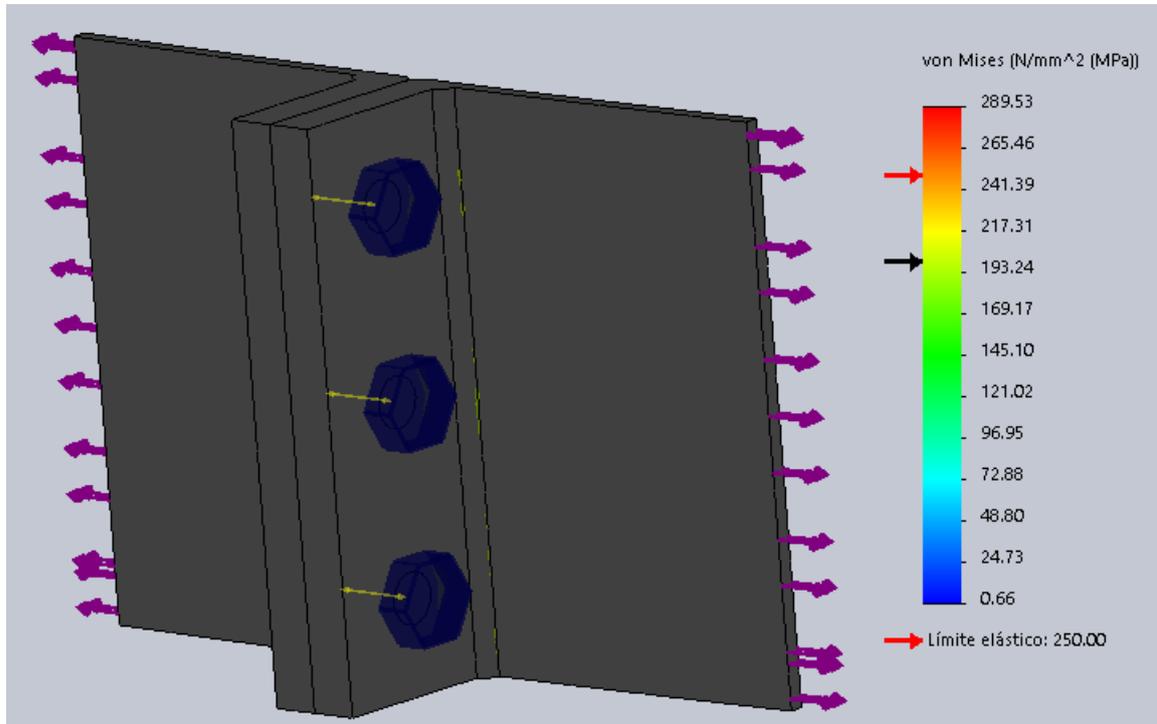


Figura 43

Deformaciones en la Unión Vertical

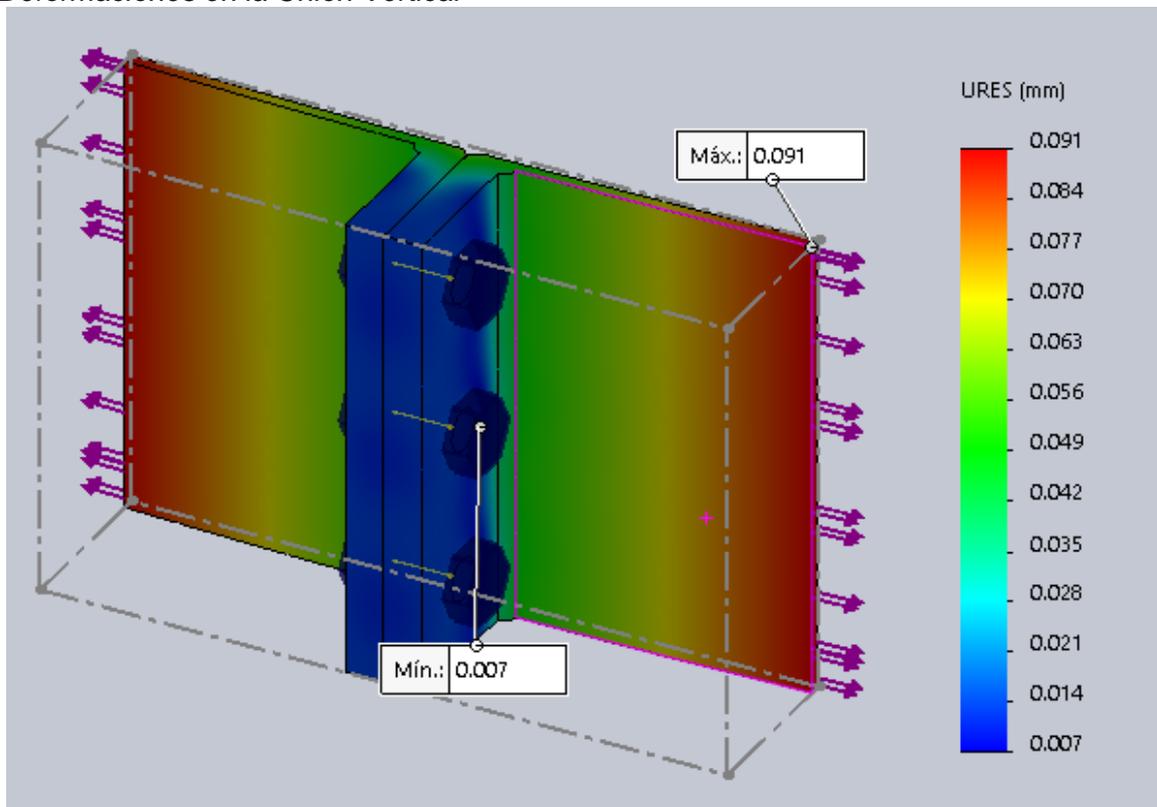
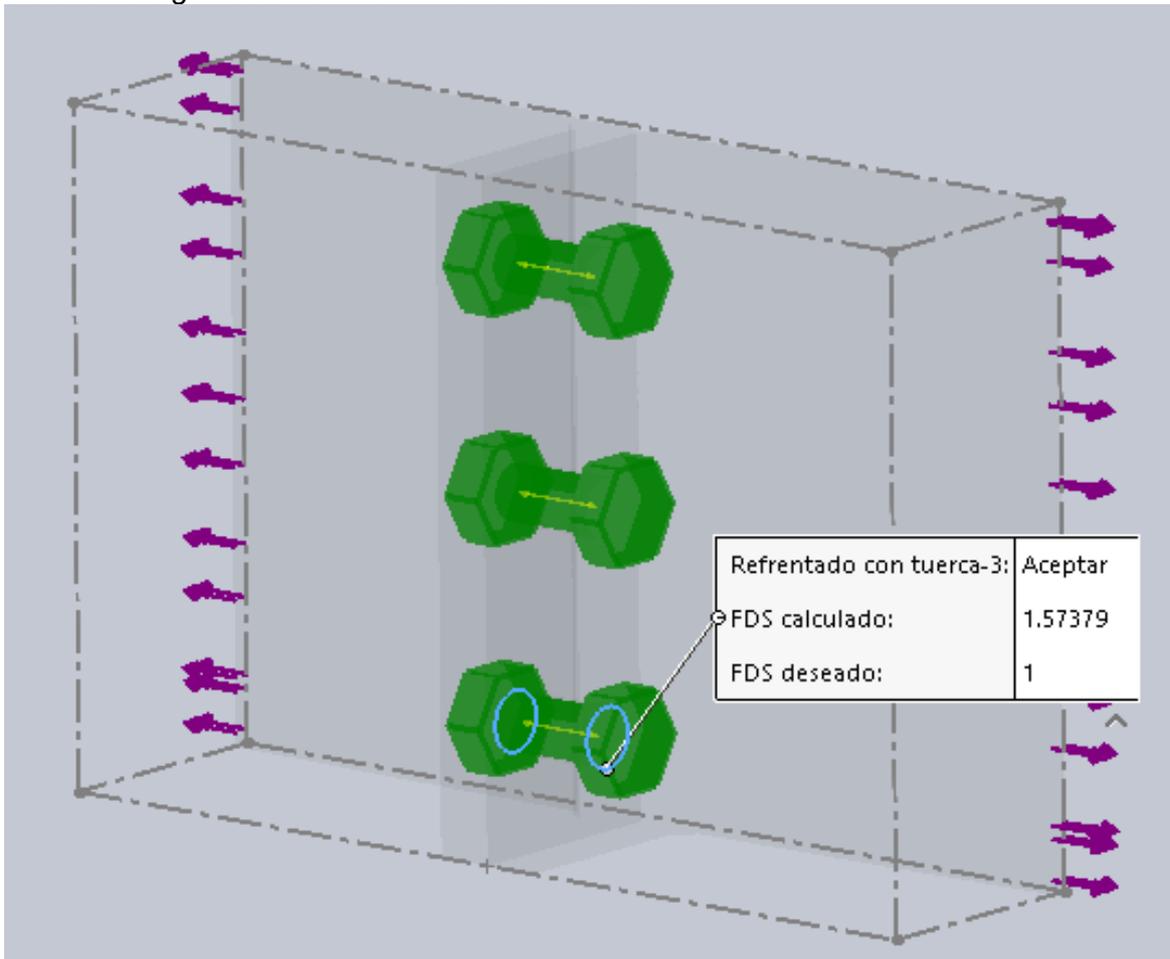


Figura 44

Factor de Seguridad en los Pernos de la Unión Vertical



5.5.5.2. Unión horizontal

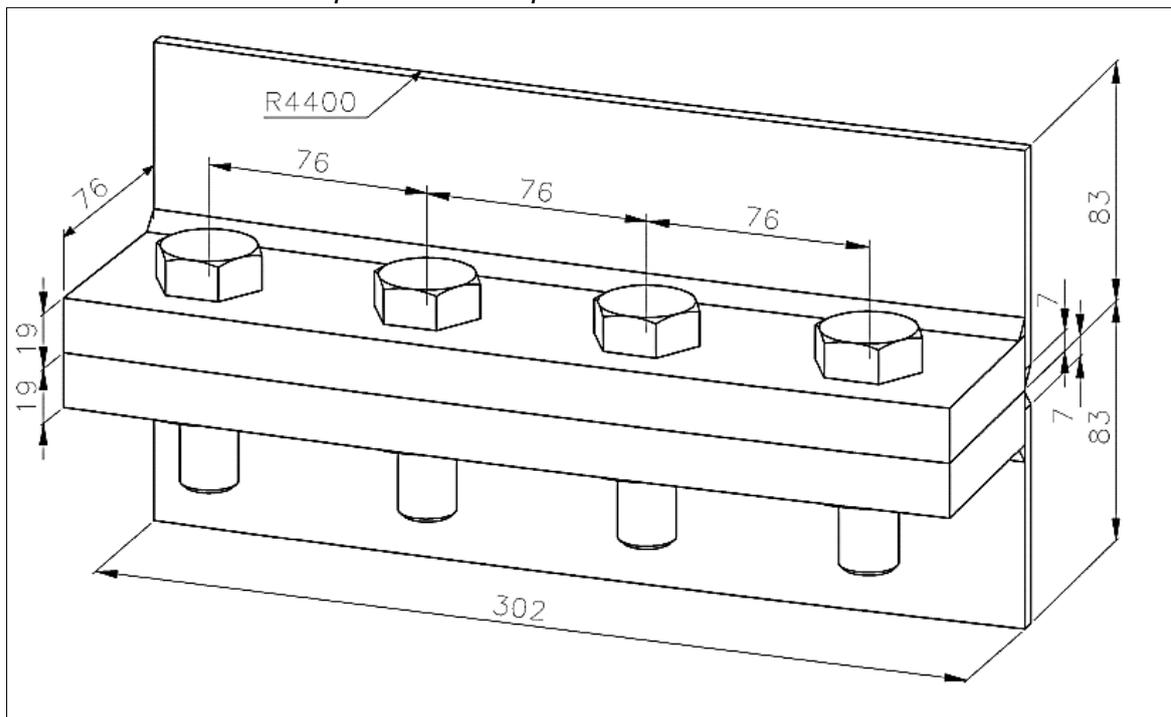
En la Figura 45 se muestran las dimensiones de la probeta para la unión emperrada horizontal. El objetivo de este análisis será evaluar los esfuerzos actuantes en los cordones de soldadura y en las bridas de la unión. Se realizan las siguientes suposiciones:

- Aunque las bridas y los cordones de soldadura de la unión forman parte de la estructura del casco se considera que no será afectadas significativamente por las cargas circunferenciales por la presión hidrostática del contenido y las cargas sísmicas actuantes en el casco. Estas cargas se soportan principalmente por el cuerpo cilíndrico, por lo que para simplificar el análisis no se considerarán en la probeta.

- El cordón de soldadura y las bridas de la unión empernada horizontal tendrán la función de soportar el peso del tanque y sus componentes.
- Los pernos soportarán principalmente la carga ejercida por el torque de apriete aplicado para sella la unión y para de evitar la separación de las bridas en la dirección vertical. No estarán sometidos a cargas de corte.

Figura 45

Dimensiones de Probeta para Unión Empernada Horizontal



La comprobación de la resistencia de esta unión se centrará en validar que la soldadura entre la brida y el casco pueda resistir las cargas originadas por el peso de los componentes superiores sin exceder su límite elástico. En la Tabla 44 se muestra el cálculo de los pesos de los anillos del casco. Para la prueba se selecciona la unión entre el anillo 1 y el anillo 2 por ser la que está sometida a una carga más alta. El cálculo de la carga de prueba se muestra en la Tabla 45. Se utiliza el valor de la precarga calculada en la sección 5.5.4 (ver Figura 35). La probeta con asignación de cargas se visualiza en la Figura 46.

Tabla 44*Pesos del Casco del Tanque*

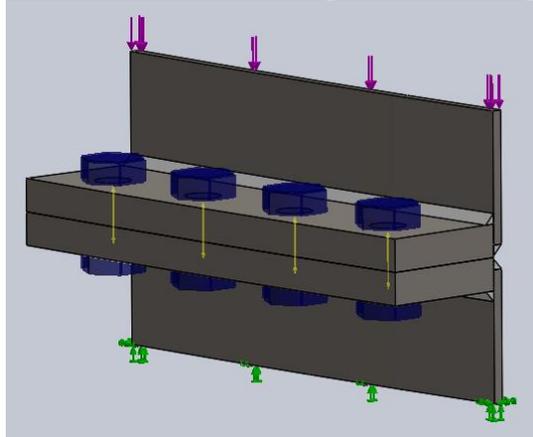
DESCRIPCIÓN	PESO	UND
Planchas de Casco - Anillo 1	3,033.96	kg
Bridas de Casco - Anillo 1	313.38	kg
Peso del Anillo 1	3,347.34	kg
Planchas de Casco - Anillo 2	3,125.11	kg
Bridas de Casco - Anillo 2	1,170.86	kg
Peso del Anillo 2	4,295.96	kg
Planchas de Casco - Anillo 3	3,125.11	kg
Bridas de Casco - Anillo 3	985.98	kg
Peso del Anillo 3	4,111.09	kg
Planchas de Casco - Anillo 4	3,125.11	kg
Bridas de Casco - Anillo 4	722.09	kg
Anillo Rigidizador - Anillo 4	403.63	kg
Peso del Anillo 4	4,250.82	kg
Peso del Casco	16,005.21	kg

Tabla 45*Carga de Prueba aplicable sobre Probeta de Unión Empernada Horizontal*

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
Peso de Anillos 2, 3 y 4	12,657.88	kg
10% por otros componentes	1,265.79	kg
Carga Vertical Total incidente sobre la Unión Anillo 1 - Anillo 2	136,591.17	N
Carga Lineal Circunferencial	4.94	N/mm
Longitud de Probeta	302.00	mm
Carga de Prueba Nprueba	1,492.10	N

Figura 46

Probeta de Unión Empernada Horizontal con Asignación de Cargas



Los resultados de la prueba realizada utilizando software de elementos finitos señalan que el máximo esfuerzo registrado en la probeta asciende a 209.97 MPa y se ubica en la zona de contacto entre la cabeza del perno y la brida (ver Figura 47). Los esfuerzos en los cordones de soldadura se mantienen por debajo de 15 MPa, mientras que los esfuerzos más elevados se concentran alrededor de los agujeros de los pernos (ver Figura 48). Las deformaciones en la prueba se encuentran en el rango de centésimas de milímetro (Figura 49). Finalmente, el factor de seguridad en los pernos es de 1.57 (Figura 50).

Figura 47

Esfuerzo Máximo en el cordón de Soldadura de la Unión Empernada Horizontal

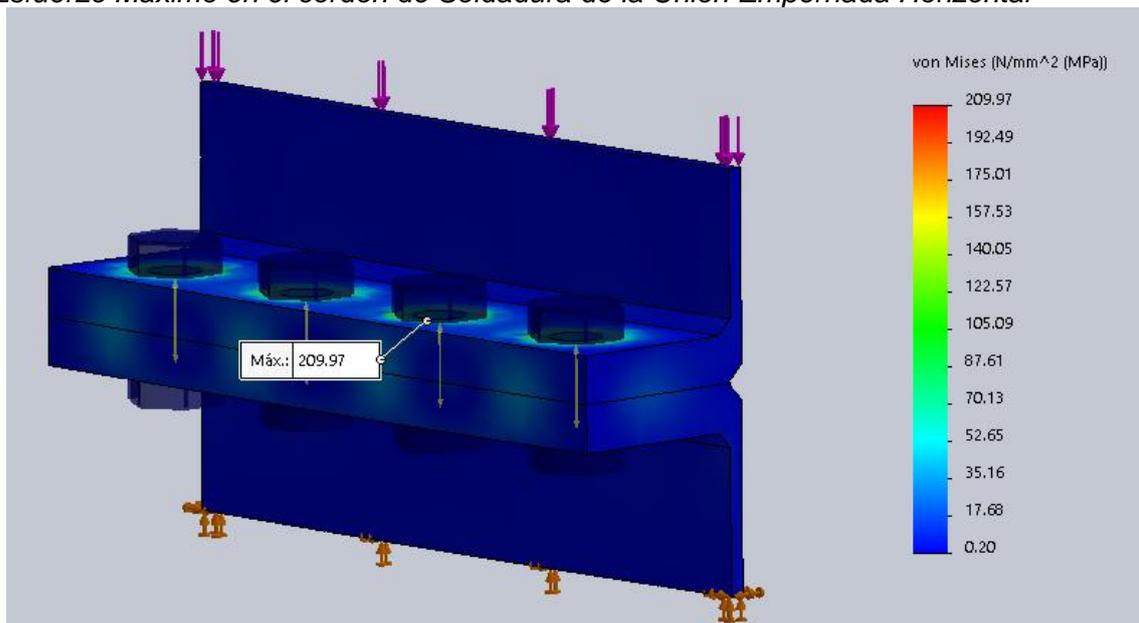


Figura 48

Iso Superficies de Esfuerzos mayores a 100 MPa en la Unión Horizontal

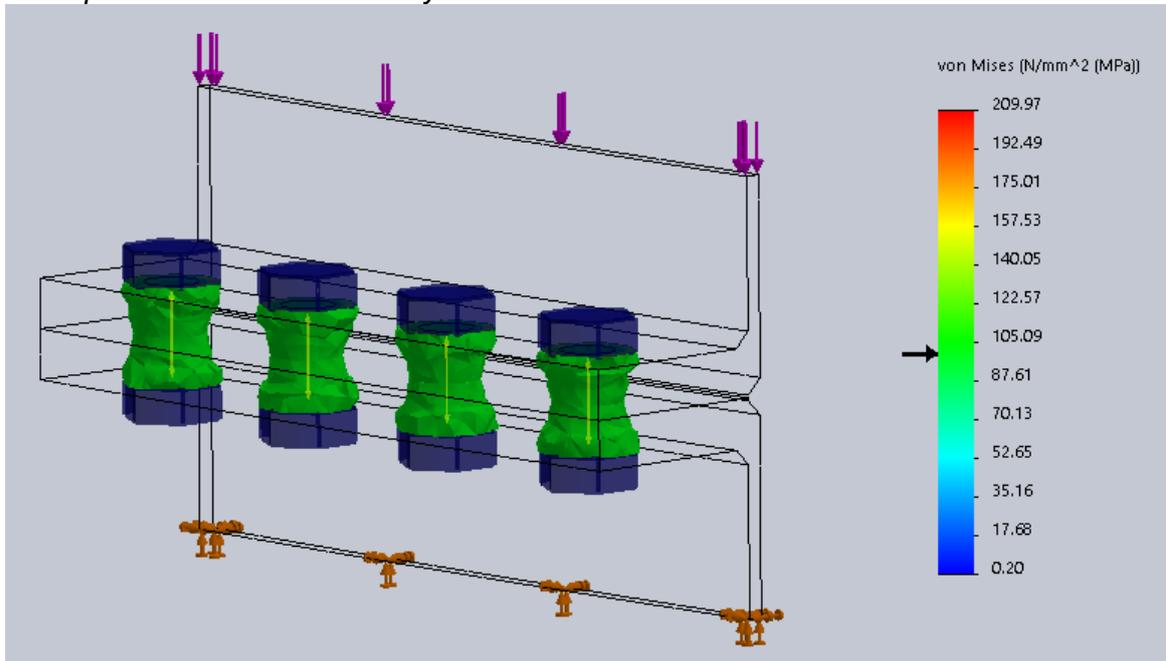


Figura 49

Deformaciones en la Unión Horizontal

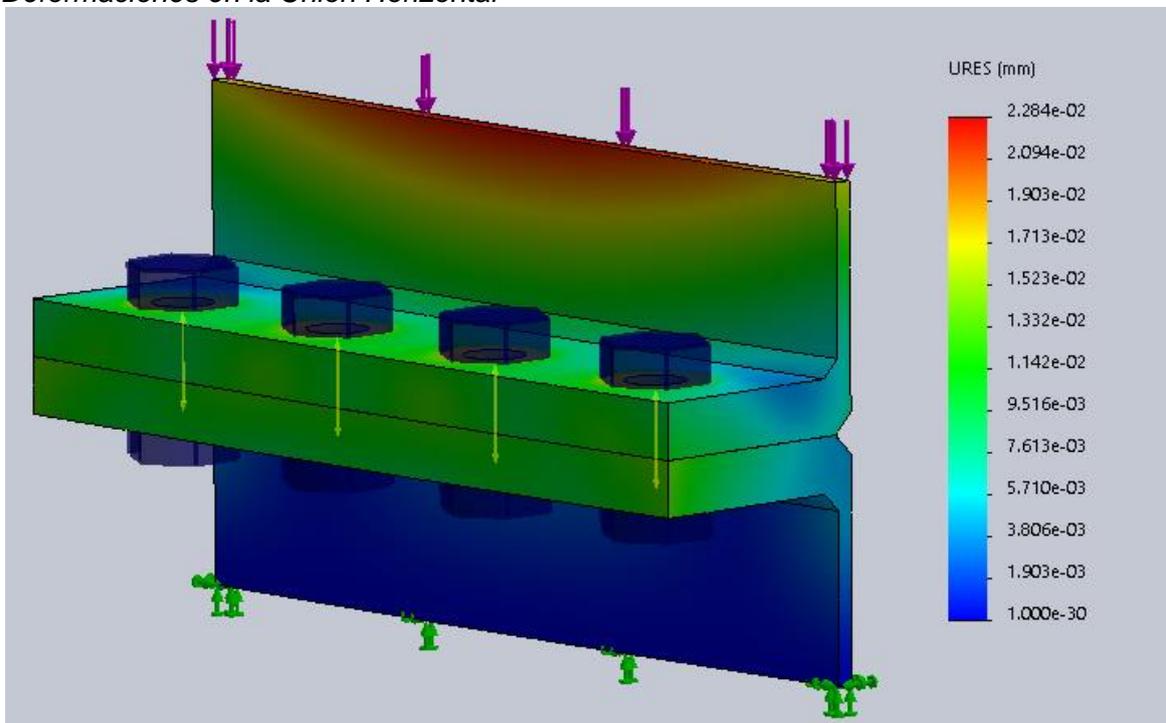
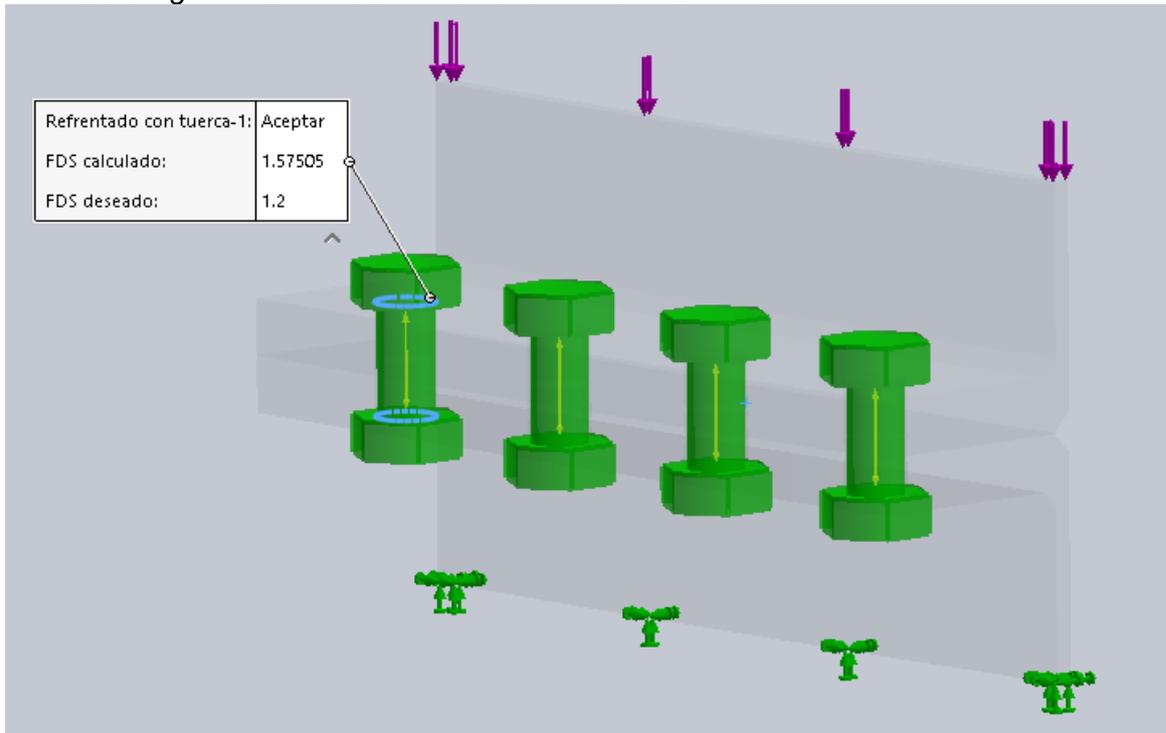


Figura 50

Factor de Seguridad en los Pernos de la Unión Horizontal



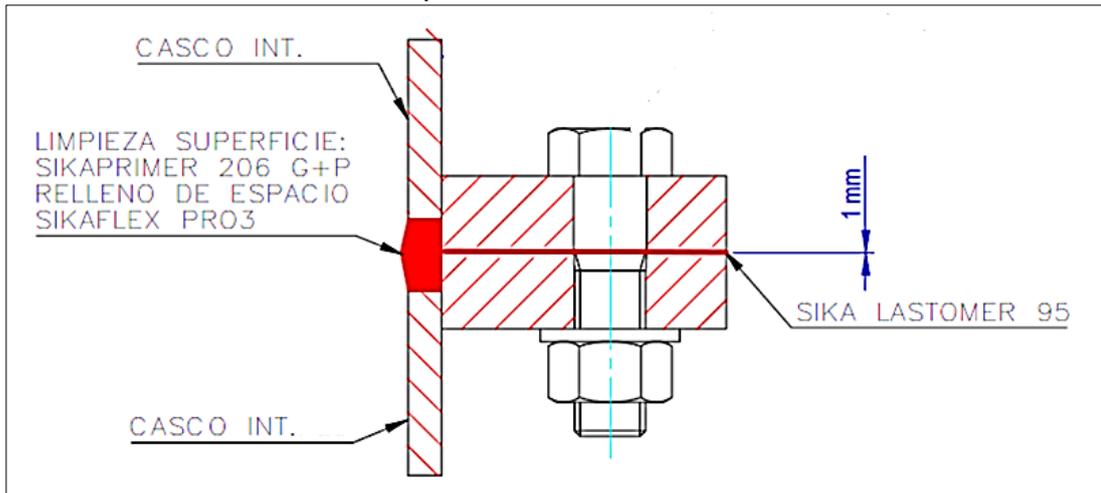
5.5.6. Método de sello de uniones de tanque

Las uniones bridadas empernadas serán impermeabilizadas con la aplicación de un sistema de doble barrera con productos de Sika (ver Figura 51), consistente:

- Instalación de 01 capa del tripolímero de isobutileno “Sikalastomer 95” entre las bridas, previa limpieza simple con alcohol isopropílico.
- Limpieza de superficie en la espalda de la brida adyacente al interior del tanque con “Sikaprimer 206 G+P” posteriormente a la aplicación de la precarga sobre los pernos.
- Aplicación de “Sikaflex PRO3” en el respaldo de la junta empernada hasta rellenar el espacio existente entre las planchas de los paneles de casco.

Figura 51

Sistema de Sellado de Juntas con productos Sika



Nota: Elaboración propia

5.6. Costos de fabricación

Se realiza el cálculo estimado de costos de construcción del tanque emperrado 2850-TK-081 incluyendo el costo de fabricación en taller y el costo de montaje en el sitio de obra. Para propósitos de comparación también se obtendrá el estimado de costos para un tanque de configuración soldada con las mismas dimensiones y datos de entrada; el diseño será similar al del emperrado exceptuando el cálculo de pernos. Para esto será necesario obtener la planilla de metrado de pesos y el cronograma de duración de los trabajos.

5.6.1. Planilla de metrado de pesos y materiales

El peso del tanque se calcula en función de los componentes que lo conforman. Los cálculos de metrados realizados se presentan en los anexos de este trabajo de investigación. La Tabla 46 resume el metrado de peso obtenido para el tanque 2850-TK-081 con configuración emperrada y las áreas de las superficies externas e internas del tanque que se protegerán con pintura; por otro lado, la Tabla 47 presenta lo correspondiente para el tanque con su configuración soldada. Asimismo, el metrado de pernería para la opción emperrada y para la soldada se visualiza en la Tabla 48 y Tabla 49 respectivamente.

Tabla 46*Metrado de Pesos y Áreas del Tanque Empernado 2850-TK-081*

ENTREGABLE	PESO TOTAL (kg)	ÁREA DE PINTURA EXTERNA (m2)	ÁREA DE PINTURA INTERNA (m2)
FONDO	4,057.75	0.00	66.90
ANILLO 1	3,288.69	67.35	63.10
ANILLO 2	4,307.08	82.22	66.40
ANILLO 3	4,120.79	82.22	66.40
ANILLO 4	4,263.11	89.35	66.40
CONEXIONES	802.73	14.71	0.00
MANHOLE	203.08	3.80	0.56
SILLETAS	394.06	5.45	0.00
SOPORTE DE PLACA	6.16	0.26	0.00
TOTAL	21,443.44	345.36	329.75

Tabla 47*Metrado de Pesos y Áreas del Tanque Soldado 2850-TK-081*

ENTREGABLE	PESO TOTAL (kg)	ÁREA DE PINTURA EXTERNA (m2)	ÁREA DE PINTURA INTERNA (m2)
FONDO	4,057.75	0.00	66.90
ANILLO 1	3,036.03	64.46	64.46
ANILLO 2	3,127.24	66.40	66.40
ANILLO 3	3,127.24	66.40	66.40
ANILLO 4	3,536.10	77.78	66.40
CONEXIONES	802.73	14.71	0.00
MANHOLE	203.08	3.80	0.56
SILLETAS	394.06	5.45	0.00
SOPORTE DE PLACA	6.16	0.26	0.00
TOTAL	18,290.36	299.25	331.10

Tabla 48*Metrado de Pernería del Tanque Empernado 2850-TK-081*

UBICACIÓN	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	CANT	PESO UNIT (KG/UND)	PESO TOTAL (kg)
CUERPO	PERNO HEXAGONAL Ø3/4"x2.3/4" UNC	ASTM A325	1040	0.224	232.96
CUERPO	PERNO HEXAGONAL Ø3/4"x2.1/2" UNC	ASTM A325	1000	0.210	210.00
CUERPO	TUERCA HEXAGONAL Ø3/4" UNC	ASTM A194 2H	2040	0.076	155.04
CUERPO	ARANDELA PLANA Ø3/4"	ASTM F436	2040	0.022	44.88
MANHOLE	PERNO HEXAGONAL Ø3/4"x2.1/2" UNC	ASTM A325	28	0.210	5.88
MANHOLE	TUERCA HEXAGONAL Ø3/4" UNC	ASTM A194 2H	28	0.076	2.13
MANHOLE	ARANDELA PLANA Ø3/4"	ASTM F436	28	0.022	0.62
MANHOLE	PERNO HEXAGONAL Ø5/8"x2" UNC	ASTM A325	1	0.117	0.12
MANHOLE	TUERCA HEXAGONAL Ø5/8" UNC	ASTM A194 2H	3	0.045	0.14
MANHOLE	ARANDELA PLANA Ø5/8"	ASTM F436	2	0.015	0.03
CONEXIÓN DRENAJE	PERNO HEXAGONAL Ø3/4"x2.1/2" UNC	ASTM A325	16	0.210	3.36
CONEXIÓN DRENAJE	TUERCA HEXAGONAL Ø3/4" UNC	ASTM A194 2H	16	0.076	1.22
CONEXIÓN DRENAJE	ARANDELA PLANA Ø3/4"	ASTM F436	16	0.022	0.35
				TOTAL	656.71

Tabla 49*Metrado de Pernería del Tanque Soldado 2850-TK-081*

UBICACIÓN	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	CANT	PESO UNIT (KG/UND)	PESO TOTAL (kg)
MANHOLE	PERNO HEXAGONAL Ø3/4"x2.1/2" UNC	ASTM A325	28	0.210	5.88
MANHOLE	TUERCA HEXAGONAL Ø3/4" UNC	ASTM A194 2H	28	0.076	2.13
MANHOLE	ARANDELA PLANA Ø3/4"	ASTM F436	28	0.022	0.62

UBICACIÓN	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	CANT	PESO UNIT (KG/UND)	PESO TOTAL (kg)
MANHOLE	PERNO HEXAGONAL Ø5/8"x2" UNC	ASTM A325	1	0.117	0.12
MANHOLE	TUERCA HEXAGONAL Ø5/8" UNC	ASTM A194 2H	3	0.045	0.14
MANHOLE	ARANDELA PLANA Ø5/8"	ASTM F436	2	0.015	0.03
CONEXIÓN DRENAJE	PERNO HEXAGONAL Ø3/4"x2.1/2" UNC	ASTM A325	16	0.210	3.36
CONEXIÓN DRENAJE	TUERCA HEXAGONAL Ø3/4" UNC	ASTM A194 2H	16	0.076	1.22
CONEXIÓN DRENAJE	ARANDELA PLANA Ø3/4"	ASTM F436	16	0.022	0.35
				TOTAL	13.83

5.6.2. Cronograma de realización de trabajos

La estimación del tiempo de construcción del tanque se determina en función de las actividades necesarias para su fabricación y montaje. La alternativa de tanque empernado y de tanque soldado se diferencian en que el primero necesita labores de soldadura de platinas a las planchas del casco para la conformación de los paneles bridados y un preensamble de componentes en el taller, lo que prolonga el tiempo de fabricación; por otro lado, para la opción soldada la mayor parte de la ejecución de soldaduras se realiza durante el montaje en mina, lo que alarga su duración. Los cronogramas de actividades estimados se presentan en los anexos de este trabajo de investigación. La Figura 52 ilustra el listado de actividades secuenciales y la duración estimada para la construcción del tanque empernado 2850-TK-081; en la Figura 53 se presenta lo respectivo para el tanque soldado 2850-TK-081.

Figura 52

Listado de Actividades y Duración de Construcción de Tanque Empernado

Layout: Classic Schedule Layout		Filter: All Activities			
Activity ID	Activity Name	Original Duration	Start	Finish	Predecessor
E002	TANQUE DE ACERO EMPERNADO 2850-TK-081	82	05-Feb-24	09-May-24	
A1000	INICIO	0	05-Feb-24		
A5000	FIN	0		09-May-24	A4110
E002.1	FABRICACIÓN	38	05-Feb-24	19-Mar-24	
A2000	ELABORACION DE PLANOS DE FABRICACIÓN	7	05-Feb-24	12-Feb-24	A1000
A2010	HABILITADO DE PLANCHAS Y PERFILES	10	13-Feb-24	23-Feb-24	A2000
A2020	ARMADO DE PANELES, MH Y CONEXIONES	7	24-Feb-24	02-Mar-24	A2010
A2030	PREENSAMBLE DE PANELES	4	04-Mar-24	07-Mar-24	A2020
A2040	SOLDEO DE PANELES, MH Y CONEXIONES	7	08-Mar-24	15-Mar-24	A2030
A2050	APLICACIÓN DE PINTURA	3	16-Mar-24	19-Mar-24	A2040
E002.2	TRANSPORTE	5	20-Mar-24	25-Mar-24	
A3000	TRANSPORTE DE PARTES DE TANQUE A OBRA	5	20-Mar-24	25-Mar-24	A2050
E002.3	MONTAJE	39	26-Mar-24	09-May-24	
A4000	MOVILIZACION Y OBRAS PRELIMINARES	5	26-Mar-24	30-Mar-24	A3000
A4010	MONTAJE DE FONDO (CONSTRUCCIÓN SOLDADA)	6	01-Apr-24	06-Apr-24	A4000
A4020	MONTAJE DE ANILLO 4 (CONSTRUCCIÓN EMPERNADA)	1	08-Apr-24	08-Apr-24	A4010
A4030	MONTAJE DE ANILLO 3 (CONSTRUCCIÓN EMPERNADA)	1	09-Apr-24	09-Apr-24	A4020
A4040	MONTAJE DE ANILLO 2 (CONSTRUCCIÓN EMPERNADA)	1	10-Apr-24	10-Apr-24	A4030
A4050	MONTAJE DE ANILLO 1 (CONSTRUCCIÓN SOLDADA)	6	11-Apr-24	17-Apr-24	A4040
A4060	MONTAJE DE MH Y CONEXIONES DEL PRIMER ANILLO	2	18-Apr-24	19-Apr-24	A4050
A4070	INSTALACIÓN DE SILLETAS	2	20-Apr-24	22-Apr-24	A4060
A4080	PRUEBA HIDROSTÁTICA	5	23-Apr-24	27-Apr-24	A4070
A4090	PRUEBA DE VERTICALIDAD Y REDONDEZ (TOPOGRAFÍA)	3	29-Apr-24	01-May-24	A4080
A4100	RESANES DE PINTURA	2	02-May-24	03-May-24	A4090
A4110	DESMOVILIZACIÓN	5	04-May-24	09-May-24	A4100

Figura 53

Listado de Actividades y Duración de Construcción de Tanque Soldado

Layout: Classic Schedule Layout		Filter: All Activities			
Activity ID	Activity Name	Original Duration	Start	Finish	Predecessor
E001	TANQUE DE ACERO SOLDADO 2850-TK-081 PA	86	05-Feb-24	14-May-24	
A1000	INICIO	0	05-Feb-24		
A5000	FIN	0		14-May-24	A4110
E001.1	FABRICACIÓN	25	05-Feb-24	04-Mar-24	
A2000	ELABORACION DE PLANOS DE FABRICACIÓN	7	05-Feb-24	12-Feb-24	A1000
A2010	HABILITADO DE PLANCHAS Y PERFILES	10	13-Feb-24	23-Feb-24	A2000
A2020	ARMADO DE MANHOLE Y CONEXIONES	2	24-Feb-24	26-Feb-24	A2010
A2030	SOLDEO DE MANHOLE, CONEXIONES Y ELEMENTOS PREAF	3	27-Feb-24	29-Feb-24	A2020
A2040	APLICACIÓN DE PINTURA	3	01-Mar-24	04-Mar-24	A2030
E001.2	TRANSPORTE	5	05-Mar-24	09-Mar-24	
A3000	TRANSPORTE DE PARTES DE TANQUE A OBRA	5	05-Mar-24	09-Mar-24	A2040
E001.3	MONTAJE	56	11-Mar-24	14-May-24	
A4000	MOVILIZACION Y OBRAS PRELIMINARES	5	11-Mar-24	15-Mar-24	A3000
A4010	MONTAJE DE FONDO (CONSTRUCCIÓN SOLDADA)	6	16-Mar-24	22-Mar-24	A4000
A4020	MONTAJE DE ANILLO 4 (CONSTRUCCIÓN SOLDADA)	6	23-Mar-24	29-Mar-24	A4010
A4030	MONTAJE DE ANILLO 3 (CONSTRUCCIÓN SOLDADA)	6	30-Mar-24	05-Apr-24	A4020
A4040	MONTAJE DE ANILLO 2 (CONSTRUCCIÓN SOLDADA)	6	06-Apr-24	12-Apr-24	A4030
A4050	MONTAJE DE ANILLO 1 (CONSTRUCCIÓN SOLDADA)	6	13-Apr-24	19-Apr-24	A4040
A4060	MONTAJE DE MH Y CONEXIONES DEL PRIMER ANILLO	2	20-Apr-24	22-Apr-24	A4050
A4070	INSTALACIÓN DE SILLETAS	2	23-Apr-24	24-Apr-24	A4060
A4080	PRUEBA HIDROSTÁTICA	5	25-Apr-24	30-Apr-24	A4070
A4090	PRUEBA DE VERTICALIDAD Y REDONDEZ (TOPOGRAFÍA)	3	01-May-24	03-May-24	A4080
A4100	RESANES DE PINTURA	4	04-May-24	08-May-24	A4090
A4110	DESMOVILIZACIÓN	5	09-May-24	14-May-24	A4100

5.6.3. Estimación de costos

Los costos de construcción del tanque se calculan en función de sus metrados de pesos y materiales, así como de las actividades involucradas y su duración. Los presupuestos detallados realizados se presentan en los anexos de este trabajo de investigación.

La Tabla 50 resume el presupuesto estimado para la construcción del tanque empernado 2850-TK-081 suponiendo que las labores de fabricación se realizan en Lima, y las de montaje en Moquegua en las instalaciones de la mina; la mina provee energía eléctrica y agua; el personal técnico administrativo incluye un ingeniero residente responsable de la obra, un supervisor mecánico, un supervisor de calidad, un ingeniero de seguridad, un ingeniero de planeamiento, un almacenero y un administrador de obra. La Tabla 51 muestra el resumen de presupuesto para la alternativa soldada con las mismas condiciones.

Tabla 50

Resumen de Presupuesto de Construcción de Tanque Empernado

ITEM	DESCRIPCIÓN	Und	Cant	Precio US\$	Sub total US\$
SUMINISTRO Y FABRICACIÓN					
1.0	TANQUE 2850-TK-081 Ø8.8m x H9.53m Suministro, fabricación y pintura. Entregado como paneles bridados. Primer anillo y fondo habilitados para soldar en obra.	kg	21,443.44	\$3.91	\$83,843.85
2.0	PERNERIA Para ensamble de Tanque	kg	656.71	\$5.14	\$3,375.49
3.0	PORTAROLAS Para transporte de Tanque.	kg	200.00	\$2.50	\$500.00
TRANSPORTE					
4.0	Transporte a Sitio de obra Lima - Moquegua	vje	3.00	\$3,840.65	\$11,521.95
MONTAJE					
5.0	TANQUE 2850-TK-081 Ø8.8m x H9.53m Construcción de Tanque Empernado en sitio de obra. Incluye movilización de recursos, mano de obra, equipos y pruebas de calidad.	glb	1.00	\$91,189.03	\$91,189.03

ITEM	DESCRIPCIÓN	Und	Cant	Precio US\$	Sub total US\$
	Suministro de energía eléctrica y agua a cargo de la mina.				
6.0	COSTOS INDIRECTOS del Montaje Personal staff técnico - administrativo, gastos en personal, facilidades, costos de operación, seguros y fianzas.	glb	1.00	\$64,607.38	\$64,607.38
TOTAL (NO INCLUYE IGV) US\$					\$255,037.70

Tabla 51

Resumen de Presupuesto de Construcción de Tanque Soldado

ITEM	DESCRIPCIÓN	Und	Cant	Precio US\$	Sub total US\$
SUMINISTRO Y FABRICACIÓN					
1.0	TANQUE 2850-TK-081 Ø8.8m x H9.53m Suministro, fabricación y pintura. Entregado como planchas habilitadas y anexos terminados para soldar en obra.	kg	18,290.36	\$3.24	\$59,260.77
2.0	PERNERIA Para ensamble de Manhole	kg	17.83	\$5.14	\$91.65
3.0	PORTAROLAS Para transporte de Tanque.	kg	800.00	\$2.46	\$1,968.00
TRANSPORTE					
4.0	Transporte a Sitio de obra Lima - Moquegua	vje	3.00	\$3,840.65	\$11,521.95
MONTAJE					
5.0	TANQUE 2850-TK-081 Ø8.8m x H9.53m Construcción de Tanque Soldado en sitio de obra. Incluye movilización de recursos, mano de obra, equipos y pruebas de calidad. Suministro de energía eléctrica y agua a cargo de la mina.	glb	1.00	\$107,432.03	\$107,432.03
6.0	COSTOS INDIRECTOS del Montaje Personal staff técnico - administrativo, gastos en personal, facilidades, costos de operación, seguros y fianzas.	glb	1.00	\$100,694.64	\$100,694.64
TOTAL (NO INCLUYE IGV) US\$					\$280,969.03

Capítulo VI. Análisis y discusión de resultados

6.1. Resumen del diseño del tanque emperrado

De acuerdo con lo desarrollado en las secciones 5.4 y 5.5, el método de diseño propuesto para un tanque emperrado vertical de almacenamiento de agua se basa principalmente en los lineamientos de diseño de las normas API 650 (American Petroleum Institute (API), 2021) para la estructura del tanque y AISC 360-16 (American Institute of Steel Construction - AISC, 2016) para las conexiones emperradas del casco; la selección de estas normas responde a la investigación realizada en la sección 5.2. Además, en adecuación a los recursos disponibles en Perú (sección 5.3), se han tomado las siguientes consideraciones para el diseño:

- A excepción del primer anillo, el cuerpo del tanque está formado por paneles unidos entre sí mediante uniones emperradas de tipo bridado.
- El primer anillo del casco y el fondo del tanque son de construcción soldada simplificando la impermeabilización de la base del tanque. El primer anillo se une al siguiente mediante uniones emperradas bridadas horizontales.
- La altura máxima de los anillos del tanque es de 2.4 m, para adecuarse a los formatos de planchas disponibles en Perú.
- El ancho máximo de los paneles emperrados es de 3 m para facilitar su transporte y manipulación durante las labores de instalación.
- Las uniones bridadas emperradas son impermeabilizadas con la aplicación de un sistema de doble barrera con productos de Sika, consistentes en la instalación de una cinta de tripólmero de isobutileno “Sikalastomer 95” y la aplicación de una espuma sellante de la junta “Sikaflex PRO-3”.
- Las silletas, conexiones, manhole y otros anexos al casco del tanque se consideran soldados al cuerpo.

En lo relacionado a la unidad de análisis del presente trabajo de investigación, en la Tabla 52 se resumen los datos dimensionales del tanque empinado 2850-TK-081 en base a la información de entrada de la sección 5.1 y a los resultados obtenidos del cálculo en la sección 5.5. La hoja de datos del tanque y su plano de diseño se presentan dentro de los anexos de este documento.

Tabla 52

Resumen de Datos Dimensionales del Tanque

DESCRIPCIÓN	VALOR	UND
Diámetro nominal del Tanque	8.80	m
Altura nominal de tanque	9.53	m
Nivel máximo de contenido de tanque	9.23	m
Tolerancia a la corrosión	2.00	mm
Volumen del tanque	561	m ³
Contenido	Agua Tratada	
Gravedad específica del contenido	1.00	
Tipo de techo	Abierto	
Temperatura de Operación	- 5 @ 15	°C
Material del Cuerpo del Tanque	ASTM A36	
Cantidad de Anillos del Casco	4	und
Espesor de plancha de casco del primer anillo	6.00	mm
Espesor de plancha de casco del segundo anillo	6.00	mm
Espesor de plancha de casco del tercer anillo	6.00	mm
Espesor de plancha de casco del cuarto anillo	6.00	mm
Espesor de fondo del tanque	8.00	mm
Anillo Rigidizador Superior	L4"X4"X3/8"	
Anillo Rigidizador Intermedio	No necesario.	
Material Perno Anclaje	ASTM F1554 Gr36	
Cantidad de pernos de anclaje	14	und
Diámetro del perno de anclaje	1 1/2	pulg
Material de las Silletas	ASTM A36	
Espesor de placa superior de silleta	25.00	mm
Espesor de placas verticales de silleta	16.00	mm
Espesor del refuerzo de silleta	9.00	mm
Altura de silleta	400	mm
Ancho de silleta	190	mm

DESCRIPCIÓN	VALOR	UND
Longitud de silleta en dirección radial	200	mm
Excentricidad de perno de anclaje	95	mm
Distancia entre placas verticales de silleta	110	mm
Material de pernos de uniones bridadas del casco	ASTM A325 Tipo 2	
Diámetro de pernos de uniones bridadas del casco	3/4	pulg
Material de platinas de uniones bridadas del casco	ASTM A709 GR.50	
Espesor de bridas del segundo anillo	19.00	mm
Espesor de bridas del tercer y cuarto anillo	16.00	mm

Como se ha descrito en la sección 5.6 de acuerdo con el procedimiento de diseño desarrollado, la diferencia entre el tanque empernado y el tanque en su configuración soldada radica en la presencia de las uniones bridadas empernadas. En la Tabla 53 se visualiza que para el caso de estudio el peso del tanque empernado es 17.24% superior al de uno de diseño soldado; en la

Tabla 54 se visualiza que el área para proteger con pintura es 7.1% superior en un tanque empernado con respecto a uno soldado. El peso de la pernería aumenta en 4648.45% según lo visualizado en la Tabla 55.

Tabla 53

Comparación de pesos entre las alternativas soldada y empernada

ENTREGABLE	PESO TANQUE SOLDADO (kg)	PESO TANQUE EMPERNADO (kg)	VARIACIÓN
FONDO	4,057.75	4,057.75	0.00%
ANILLO 1	3,036.03	3,288.69	8.32%
ANILLO 2	3,127.24	4,307.08	37.73%
ANILLO 3	3,127.24	4,120.79	31.77%
ANILLO 4	3,536.10	4,263.11	20.56%
CONEXIONES	802.73	802.73	0.00%
MANHOLE	203.08	203.08	0.00%
SILLETAS	394.06	394.06	0.00%
SOPORTE DE PLACA	6.16	6.16	0.00%
TOTAL	18,290.36	21,443.44	17.24%

Tabla 54*Comparación de áreas de pintura entre las alternativas soldada y empernada*

ENTREGABLE	ÁREA DE PINTURA TANQUE SOLDADO (m2)	ÁREA DE PINTURA TANQUE EMPERNADO (m2)	VARIACIÓN
FONDO	66.90	66.90	0.00%
ANILLO 1	128.92	130.45	1.19%
ANILLO 2	132.79	148.61	11.91%
ANILLO 3	132.79	148.61	11.91%
ANILLO 4	144.17	155.75	8.03%
CONEXIONES	14.71	14.71	0.00%
MANHOLE	4.35	4.35	0.00%
SILLETAS	5.45	5.45	0.00%
SOPORTE DE PLACA	0.26	0.26	0.00%
TOTAL	630.35	675.10	7.10%

Tabla 55*Comparación de pernería entre las alternativas soldada y empernada*

ENTREGABLE	PESO TANQUE SOLDADO (kg)	PESO TANQUE EMPERNADO (kg)	VARIACIÓN
PERNERIA	13.83	656.71	4648.45%

6.2. Análisis de costo – eficiencia en la construcción de los tanques empernados

El análisis de costo eficiencia se realiza comparando los datos estimados de cronogramas y presupuestos en las secciones 5.6.2 y 5.6.3 para dos tipos de tanques: el empernado y el soldado. Según la Tabla 56 la alternativa de tanque empernado para el caso de estudio tiene una ventaja de 4 días en el tiempo total de ejecución, ya que, aunque su tiempo de fabricación es más prolongando que el del tanque soldado, su montaje es más rápido y sencillo.

Tabla 56*Comparación de tiempos de ejecución entre las alternativas soldada y empernada*

ACTIVIDADES	DURACIÓN	DURACIÓN	VARIACIÓN
	(DÍAS) TANQUE SOLDADO	(DÍAS) TANQUE EMPERNADO	
FABRICACIÓN	25	39	56.00%
Elaboración de planos de fabricación	7	7	0.00%
Habilitado	10	10	0.00%
Armado	2	7	250.00%
Preensamble		7	
Soldadura	3	3	0.00%
Aplicación de pintura	3	5	66.67%
TRANSPORTE	5	5	0.00%
Transporte de partes de tanque a obra	5	5	0.00%
MONTAJE	56	38	-32.14%
Movilización y obras preliminares	5	6	20.00%
Montaje de fondo	6	1	-83.33%
Montaje de anillo 4	6	1	-83.33%
Montaje de anillo 3	6	1	-83.33%
Montaje de anillo 2	6	6	0.00%
Montaje de anillo 1	6	2	-66.67%
Montaje de MH y conexiones del primer anillo	2	2	0.00%
Instalación de silletas	2	5	150.00%
Prueba hidrostática	5	3	-40.00%
Prueba de verticalidad y redondez (topografía)	3	2	-33.33%
Resanes de pintura	4	5	25.00%
Desmovilización	5	4	-20.00%
TIEMPO TOTAL	86	82	-4.65%

En lo referente a los costos, en la Tabla 57 se visualiza que el costo de fabricación del tanque empernado para el caso de estudio sería un 43.05% mayor que el tanque soldado, debido al mayor peso de su cuerpo y pernería, además de mayor área de pintura; los trabajos de soldadura que se realizan entre las platinas y las planchas del casco del tanque también son un factor que incrementa el costo de fabricación. Sin embargo, el costo de montaje del tanque empernado es 25.14% menor que el de la alternativa soldada,

principalmente por el ahorro de recursos en el montaje de los anillos 2 al 4 y resanes de pintura. En resumen, para el tanque 2850-TK-081 la opción empernada representa un ahorro de costo del 15.63% respecto a la opción soldada.

Tabla 57

Comparativo de costos de construcción entre las alternativas soldada y empernada

DESCRIPCIÓN	TANQUE SOLDADO Sub total US\$	TANQUE EMPERNADO Sub total US\$	Variación
SUMINISTRO Y FABRICACIÓN	\$61,320.41	\$87,719.34	43.05%
TANQUE 2850-TK-081 Ø8.8m x H9.53m Suministro, fabricación y pintura.	\$59,260.77	\$83,843.85	41.48%
PERNERIA Para ensamble de elementos	\$91.65	\$3,375.49	3583.17%
PORTAROLAS Para transporte de Tanque.	\$1,968.00	\$500.00	-74.59%
TRANSPORTE	\$11,521.95	\$11,521.95	0.00%
Transporte a Sitio de obra Lima - Moquegua	\$11,521.95	\$11,521.95	0.00%
MONTAJE	\$208,126.67	\$155,796.41	-25.14%
TANQUE 2850-TK-081 Ø8.8m x H9.53m Construcción de Tanque Soldado en sitio de obra.	\$107,432.03	\$91,189.03	-15.12%
COSTOS INDIRECTOS del Montaje	\$100,694.64	\$64,607.38	-35.84%
TOTAL (NO INCLUYE IGV) US\$	\$500,617.65	\$422,356.06	-15.63%

Conclusiones

1. Se ha diseñado un tanque empernado de 561 m³ para almacenamiento de agua con la tecnología disponible en Perú cumpliendo con normativas internacionales y regulaciones locales, considerando como factor la eficiencia en su construcción, para mejorar los costos de construcción. Se comprueba la hipótesis del trabajo de investigación.
2. Para el caso de estudio, el diseño de tanque empernado representa una ventaja económica del 15.63% sobre el diseño de tanque soldado. El factor más influyente en esta reducción es el costo del montaje que disminuye en un 25.14%, compensando el incremento del costo de fabricación que es un 43.05%.
3. Para el caso de estudio la opción de diseño empernada tiene una duración menor que la opción de tanque soldado, con una diferencia de 4.65% en el cronograma total. La variación en el tiempo de montaje fue de 32.14% menos que la opción soldada.

Recomendaciones

1. Se invita a que futuras investigaciones puedan ampliar el caso de estudio para tanques empernados con techo cerrado, agitación o cargas de plataformas superiores. Para esos casos se recomienda que además del procedimiento analítico presentado en este trabajo de investigación se realice una simulación en software de cálculo estructural como CSI SAP2000, CSI Etabs y Autodesk Robot Structural, siguiendo los lineamientos marcados por la norma peruana E.090 Estructuras Metálicas y E.030 Diseño Sismoresistente o su equivalente en el país de instalación del tanque.
2. Si recomienda investigar cual sería el diseño óptimo para el caso de un tanque empernado con agitación mecánica de su contenido; se debería reevaluar el método de sello propuesto en este trabajo por la posibilidad de que sea erosionado por el fluido en movimiento.
3. Se recomienda que una futura investigación pueda implementar en el diseño del tanque empernado el caso de análisis sísmico modal empleado frecuentemente en las estructuras metálicas. El presente estudio ha empleado el método de la norma API 650, pero se puede realizar el análisis sísmico conforme a la norma peruana de estructuras E.030.
4. Futuras investigaciones podrían profundizar en la identificación de métodos de fabricación y montaje de mayor eficiencia para tanques empernados. En todos los casos se recomienda la contemplación de tareas de premontaje en taller de los paneles del casco para mitigar la posibilidad de agujeros no coincidentes.

Referencias bibliográficas

- A well-rounded benefits package. (2012). *DEMM: Engineering & Manufacturing*, 20–21.
<https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=bsu&AN=71895087&lang=es>
- Agboola, O. O., Akinnuli, B. O., Kareem, B., & Akintunde, M. A. (2021). Optimum detailed design of 13,000 m³ oil storage tanks using 0.8 height-diameter ratio. *Materials Today: Proceedings*, 44, 2837–2842. <https://doi.org/10.1016/J.MATPR.2020.12.1165>
- Alexander, B. (2015). *These Aren't Your Father's Bolted Steel Tanks | WaterWorld*.
<https://www.waterworld.com/home/article/16193864/these-arent-your-fathers-bolted-steel-tanks>
- Álvarez, Á. E. (2013). Gestión del agua y minería en el Perú: manejo del agua en operaciones mineras e intervenciones en la cuenca. *Revista Geográfica*, 154, 31–46.
<https://www.proquest.com/scholarly-journals/gestión-del-agua-y-minería-en-el-perú-manejo/docview/1697780460/se-2?accountid=43860>
- American Institute of Steel Construction - AISC. (2016). ANSI/AISC 360-16: Specification for Structural Steel Buildings. En *American Institute of Steel Construction (AISC)*.
- American Institute of Steel Construction - AISC. (2017). *AISC Construction Manual* (15th ed.).
- American Iron and Steel Institute (AISI). (2011). *Steel Plate Engineering Data* (2011a ed., Vol. 2). Steel Market Development Institute.
- American Petroleum Institute (API). (2014). *API 12B Specification for Bolted Tanks for Storage of Production Liquids* (16th ed.). American Petroleum Institute (API).
- American Petroleum Institute (API). (2021). API 650 Welded Steel Tanks for Oil Storage. En *Policy* (13th ed., Número 3). American Petroleum Institute (API).

https://www.apiwebstore.org/standards/650?__hstc=23321061.7720b64ff13554eb6a384b06d24a5ec6.1680572071569.1680572071569.1680604653878.2&__hssc=23321061.1.1680604653878&__hsfp=2234997708

American Society of Civil Engineers. (2016). *ASCE/SEI 7-16 Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures* (2016a ed.).

AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION. (2019). *AWWA D103-19 FACTORY-COATED BOLTED CARBON STEEL TANKS FOR WATER STORAGE*. AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION.
<https://engage.awwa.org/PersonifyEbusiness/Bookstore/Product-Details/productId/80453600>

American Welding Society (AWS). (2020). *AWS D1.1/D1.1M:2020 Structural Welding Code - Steel* (24th ed.).

Askarinejad, H., Park, J.-U., & Pourbehi, M. S. (2022). SEISMIC EVALUATION OF FLEXIBLE STEEL WATER STORAGE TANKS. *Proceedings of International Structural Engineering and Construction*.
[https://doi.org/10.14455/ISEC.2022.9\(2\).STR-28](https://doi.org/10.14455/ISEC.2022.9(2).STR-28)

Bolted Steel Tank Manufacturer | CST. (s/f). Recuperado el 8 de marzo de 2023, de <https://www.cstindustries.com/bolted-steel-storage-tanks-manufacturer/>

Bolted Steel Tanks. (s/f). Recuperado el 11 de marzo de 2023, de <https://superiortank.com/our-tanks/bolted-steel-tanks/>

Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2012). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley* (M. T. Zapata, Ed.; Novena). McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.

Bulk Storage Tanks & Grain Silos - PERMASTORE®. (s/f). Recuperado el 13 de marzo de 2023, de <https://www.permastore.com/>

Craig, T., Matthew, D., William, T., Michael, S., Glenn, R., & Eugene, A. (2012). *DECONSTRUCTABLE TANKS FOR USE IN HIGH VOLUME FLUID TRANSFER OPERATIONS AND METHODS AND SYSTEMS USING SAID TANKS* (Patent US2013031952A1). Chevron USA Inc.,.

Cutri, F., Brook, J., & Gare, A. (2022). *Tank and silo system* (Patent GB2610188). PERMASTORE LIMITED.
https://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?CC=GB&NR=2610188A&KC=A&FT=D&ND=3&date=20230301&DB=&locale=en_EP

De la Cruz Pandal, W. M. (2017). *Montaje electromecánico y puesta en operación de un tanque empernado para el almacenamiento de 5800 m3 de agua. Planta concentradora Mina Toquepala-Tacna*. <http://hdl.handle.net/20.500.12952/5727>

Equipos para Soldadura Soldexa - Esab. (s/f). Recuperado el 9 de abril de 2023, de https://esab.com/pe/sam_es/products-solutions/categories/arc-welding-equipment/

ERMAKSAN - Press Brake. (s/f). Recuperado el 9 de abril de 2023, de <http://www.ermakusa.com/usa/Machine/Press-Brake>

Espinoza, R., Molina, J., Horn, M., & Gómez, M. (2015). CONCEPTOS BIOCLIMÁTICOS Y SU APLICABILIDAD A LA ZONA RURAL ALTOANDINA: CASO COMUNIDAD SAN FRANCISCO DE RAYMINA (SFR)-AYACUCHO BIOCLIMATIC CONCEPTS AND THEIR APPLICABILITY TO ANDEAN RURAL AREA: SAN FRANCISCO DE RAYMINA COMMUNITY (SFR) CASE-AYACUCHO. *TECNIA*, 25, 5.

Evolution of the bolted steel water tank: tanks should be viewed as long term investments. (2001). *Journal of Commerce*, 90(60), 7. <https://www.proquest.com/trade-journals/evolution-bolted-steel-water-tank-tanks-should-be/docview/215178620/se-2?accountid=43860>

Franklin Hodge. (s/f). Recuperado el 15 de marzo de 2023, de <https://www.franklinhodge.com/>

Frost, M. (2002). *Design of Steel Bolted Cylindrical Water Tanks*. <https://espace.library.uq.edu.au/view/UQ:373259>

GEMINI - Ficep. (s/f). Recuperado el 9 de abril de 2023, de <https://ficepgroup.com/en/products/gemini/>

Gere, J. M., & Goodno, B. J. (2009). *Mecánica de Materiales*. En S. R. Cervantes Gonzáles (Ed.), *Cengage Learning* (7th ed.). Cengage Learning Editores, S.A.

GLS Tanks. (s/f). Recuperado el 14 de marzo de 2023, de <https://www.glstanks.com/en>

Grabowski PE, P. J., & Baldwin PE, E. G. (2016). Evolution of Water Storage Tanks. *Journal of the New England Water Works Association*, 130(1), 17–24. <https://www.proquest.com/scholarly-journals/evolution-water-storage-tanks/docview/1805763478/se-2?accountid=43860>

HAUG. (s/f). Recuperado el 28 de marzo de 2023, de <https://www.haug.com.pe/proyecto/terminales-del-peru/>

Hedaga S.A. - *Ingeniería contra incendio*. (s/f). Recuperado el 14 de marzo de 2023, de <https://www.hedaga.com/tanques-apernados.php>

Hernández Sampieri, R. (2018). *Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta* (C. P. Mendoza Torres, Ed.). México, D.F. McGraw Hill Education. [https://mcgrawia-
ip.vitalsource.com/#/books/9781456262020/epubcfi/6/16%5B%3Bvnd.vst.idref%3Dc
ontents%5D!/4/60%5Bpagexiv%5D%400:40.2](https://mcgrawia-
ip.vitalsource.com/#/books/9781456262020/epubcfi/6/16%5B%3Bvnd.vst.idref%3Dc
ontents%5D!/4/60%5Bpagexiv%5D%400:40.2)

Hosseini, S. E. A., & Beskhyroun, S. (2023). Fluid storage tanks: A review on dynamic behaviour modelling, seismic energy-dissipating devices, structural control, and

structural health monitoring techniques. *Structures*, 49, 537–556.
<https://doi.org/10.1016/J.ISTRUC.2023.01.146>

<https://ggsperu.pe/>. (s/f). Recuperado el 14 de marzo de 2023, de <https://ggsperu.pe/>

James, M., Brennan, R., Agrawal, G., & Kerwin, J. (2021). *Large-capacity modular holding container and related methods* (Patent US11059666B2). NEWPARK MATS & INTEGRATED SERVICES LLC.

J.W. Rosart. (2010). Advantages of bolted tank construction for paste thickeners. *Paste 2010: Thirteenth International Seminar on Paste and Thickened Tailings, 2010 3-6 May, Toronto*, 403–410. https://doi.org/10.36487/ACG_REP/1063_35_ROSART

Konečný, J. (2014). *Montované ocelové nádrže: Assembled Steel Tanks* [Brno University of Technology].
<http://oatd.org/oatd/record?record=handle%2F11012%2F32316&q=bolted%20tanks>

Konečný, J. (2016). *Optimalizace tloušťky plechů montované ocelové nádrže* [Brno University of Technology]. <http://dspace.vutbr.cz/handle/11012/59684>

Krrass Rolling Plate Bending Machines. (s/f). Recuperado el 16 de abril de 2023, de <https://www.krrassgroup.com/four-roll-plate-bending-machine/>

Liu, J., Qin, K., Xie, G., - , al, Zhang, P.-P., Guo, Y.-Q., Qiao, B.-Q., Ji, F., Fan, L., Kuang, X., Yang, J., & Li, M. (2021). Construction Characteristics and Quality Control Measures Under High Altitude and Cold Conditions. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 676(1), 012109. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/676/1/012109>

Máquinas de plegado | TRUMPF. (s/f). Recuperado el 9 de abril de 2023, de https://www.trumpf.com/es_INT/productos/maquinas-sistemas/maquinas-de-plegado/

McGuire, K. (2007). THE FUTURE OF TANK DESIGN. *Processing (08968659)*, 20(5), 38–40.

<https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=bsu&AN=27163868&lang=es>

Ministerio de Vivienda, C. y S. de P. (2020a). NORMA E.020 CARGAS. En Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción - SENCICO (Ed.), *Reglamento Nacional de Edificaciones* (Vol. E020).

Ministerio de Vivienda, C. y S. de P. (2020b). NORMA E.030 DISEÑO SISMORRESISTENTE. En *Reglamento Nacional de Edificaciones: Vol. E.030* (2020a ed.).

Ministerio de Vivienda, C. y S. de P. (2020c). NORMA E.090 ESTRUCTURAS METÁLICAS. En Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción - SENCICO (Ed.), *Reglamento Nacional de Edificaciones* (2020a ed.).

Moslemi, M., & Kianoush, M. R. (2022). Behaviour of bolted lap joints in above-ground liquid-filled steel cylindrical tanks. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 49(4), 536–547.

<https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=eih&AN=156053389&lang=es>

National Fire Protection Association. (2018). *NFPA 22 Standard for Water Tanks for Private Fire Protection* (2018a ed.). National Fire Protection Association. <https://www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codes-and-standards/detail?code=22>

Olmedo, Á., & Santiuste, C. (2012). On the prediction of bolted single-lap composite joints. *Composite Structures*, 94(6), 2110–2117. <https://doi.org/10.1016/J.COMPSTRUCT.2012.01.016>

- Pan, J., Guan, Z., Zeng, Y., & Sun, W. (2021). Nonlinear Stiffness Analysis of Bolted Flange Connection in Cylindrical Shell Structure. *Journal of Mechanical Engineering*, 57(1), 28–39. <https://doi.org/10.3901/JME.2021.01.028>
- Perfiles de Acero | Aceros Arequipa Perú.* (s/f). Recuperado el 6 de abril de 2023, de <https://acerosarequipa.com/pe/es/categorias/94/perfiles-de-acero>
- Planchas de Acero - Laminación caliente (LAC) o en frío (LAF) | Aceros Arequipa Perú.* (s/f). Recuperado el 6 de abril de 2023, de <https://acerosarequipa.com/pe/es/categorias/87/productos-planos-planchas-de-acero#postban>
- Planchas y Bobinas | TRADISA.* (s/f). Recuperado el 6 de abril de 2023, de <https://www.tradisa.net/planchas-y-bobinas-1>
- Radhakrishnan, S. M., Dyer, B., Kashtalyan, M., Akisanya, A. R., Guz, I., & Wilkinson, C. (2014). Analysis of bolted flanged panel joint for GRP sectional tanks. *Applied Composite Materials*, 21(1), 247–261. <https://doi.org/10.1007/S10443-014-9385-4>
- Ranking Merco Empresas Perú.* (s/f). Recuperado el 6 de enero de 2024, de <https://www.merco.info/pe/ranking-merco-empresas#!>
- Research Council on Structural Connections (RCSC). (2020). *Specification for Structural Joints Using High-Strength Bolts* (RCSC Committee A.1, Ed.; 2020a ed.). www.boltcouncil.org
- Roladora de Chapa Davi.* (s/f). Recuperado el 7 de abril de 2023, de <https://www.davi.com/pe/es/roladoras>
- Software de AutoCAD | Autodesk.* (s/f). Recuperado el 7 de abril de 2023, de <https://www.autodesk.es/products/autocad/overview?term=1-YEAR&tab=subscription>

Software Inventor. (s/f). Recuperado el 7 de abril de 2023, de <https://www.autodesk.es/products/inventor/overview?term=1-YEAR&tab=subscription>

SolidWorks CAD 3D - Cadso. (s/f). Recuperado el 7 de abril de 2023, de <https://cadsolutions.pe/producto/cad-3d/>

Tank Connection. (2021). *Bolted Storage Tanks | Steel Storage Tanks.* <https://www.tankconnection.com/>

Tanques - CEMPROTEC. (s/f). Recuperado el 28 de marzo de 2023, de <https://cemprotec.com.pe/servicios/tanques/>

Tanques y Silos. (s/f). Recuperado el 14 de marzo de 2023, de <http://totaltankperu.com/>

TECNIFIRE PERÚ – Soluciones Industriales. (s/f). Recuperado el 14 de marzo de 2023, de <https://www.tecnifireperu.com/>

Vera Noriega, J. R. (2021). *Metodología del diseño de la construcción de un tanque empernado para mejorar la eficiencia, en la planta concentradora de la U. M. de Toquepala - Tacna.* <http://hdl.handle.net/20.500.12952/6422>

Yeremias K Lusi. (2020, agosto 9). *Bolted Steel Tanks: Design and Construction.* <https://whatispiping.com/bolted-tanks-bolted-steel-tanks-design-and-construction/>

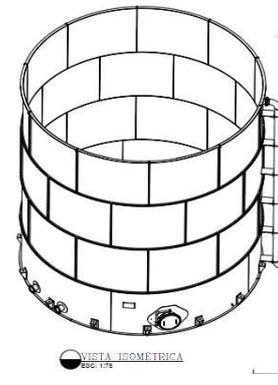
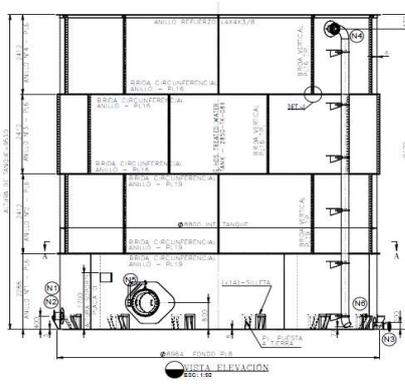
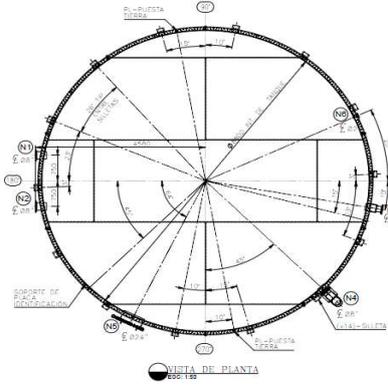
Anexos

Anexo 1: Hoja de Datos del Tanque Empernado 2850-TK-081.....	1
Anexo 2: Plano de Diseño del Tanque Empernado 2850-TK-081	2
Anexo 3: Planilla de Metrados del Tanque Empernado 2850-TK-081	3
Anexo 4: Planilla de Metrados del Tanque Soldado 2850-TK-081.	4
Anexo 5: Presupuesto Detallado de Construcción del Tanque Empernado 2850-TK-081 .	5
Anexo 6: Presupuesto Detallado de Construcción del Tanque Soldado 2850-TK-081	6
Anexo 7: Cronograma de Construcción del Tanque Empernado 2850-TK-081	7
Anexo 8: Cronograma de Construcción del Tanque Soldado 2850-TK-081	8
Anexo 9: Hoja de Datos de Electrodo de Soldadura AWS E71T1-C1	9
Anexo 10: Ficha Técnica de Productos sellantes SIKA.....	10
Anexo 11: Ficha Técnica de Planchas de Acero Estructural de Aceros Arequipa	11
Anexo 12: Ficha Técnica de Serie MCA de roladoras marca DAVI.....	12
Anexo 13: Extracto de API 650 13th. Ed.....	13
Anexo 14: Extracto de AISC 360-16	14

Anexo 1 Hoja de Datos del Tanque Empernado 2850-TK-081

HOJA DE DATOS DEL TANQUE EMPERNADO 2850-TK-081

TAG:		2850-TK-081
EQUIPMENT NAME		HDS TREATED WATER TANK
1.00	GENERAL	DESCRIPCIÓN
1.01	CICLO DE TRABAJO	24 h/day, 365 days/year
1.02	TIEMPO DE VIDA ÚTIL	15 años
2.00	CONDICIONES DE SITIO	
2.01	UBICACIÓN	Distrito Ichuña, provincia General Sánchez Cerro, Región Moquegua, Perú
2.02	ELEVACIÓN DEL SITIO	4 850
2.03	TEMPERATURA AMBIENTAL	-5 @ 15 °C
2.04	VELOCIDAD MÁXIMA DE VIENTO	104 km/h
2.05	ZONA SÍSMICA	Zona 3
2.06	FACTOR DE ZONA	0.35g
2.07	ACELERACIÓN PICO DE SUELO	0.363 g por un período de 475 años
2.08	LOCACIÓN	Exteriores
3.00	DATOS DEL CONTENIDO	
3.01	CONTENIDO	Agua Tratada
3.02	GRAVEDAD ESPECÍFICA	1.0
3.03	TEMPERATURA FLUIDO	Ambiente
3.04	PH DEL FLUIDO	7-8
3.05	PRESIÓN DE TRABAJO	Atmosférica
4.00	DATOS DEL TANQUE	
4.01	DIÁMETRO	8800 mm
4.02	ALTURA DE TANQUE	9530 mm
4.03	NIVEL DE LÍQUIDO	9230 mm
4.04	VOLUMEN DE TANQUE	561 m3
4.05	TIPO DE TECHO	Abierto
4.06	AGITACIÓN	No
4.07	AISLAMIENTO TÉRMICO	No
4.08	CALEFACCIÓN	No
4.09	SOPORTE	Fundación de concreto
4.10	ENJEBADO INTERNO	No
4.11	ESTRUCTURA EXTERNA	No

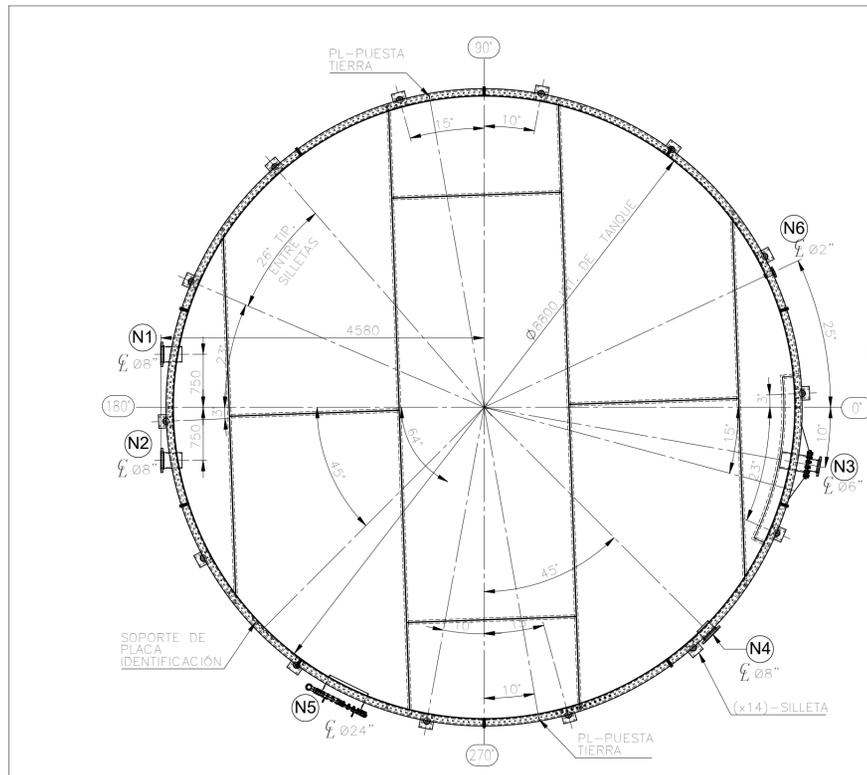


NOZZLE SCHEDULE							
Nozzle	Size	Rating	Orient.	Height(mm)	Proj (mm)	Duty	Location
N1	8"	ANSI #150	180°	400	238	Outlet	Shell
N2	8"	ANSI #150	180°	400	238	Outlet	Shell
N3	6"	ANSI #150	350°	77	431	Drain	Shell
N4	8"	ANSI #150	315°	9100	475	Overflow	Shell
N5	24"	API 650	244°	800		Manhole	Shell
N6	2"	ANSI #150	25°	400	134	LEVEL SENSOR	Shell

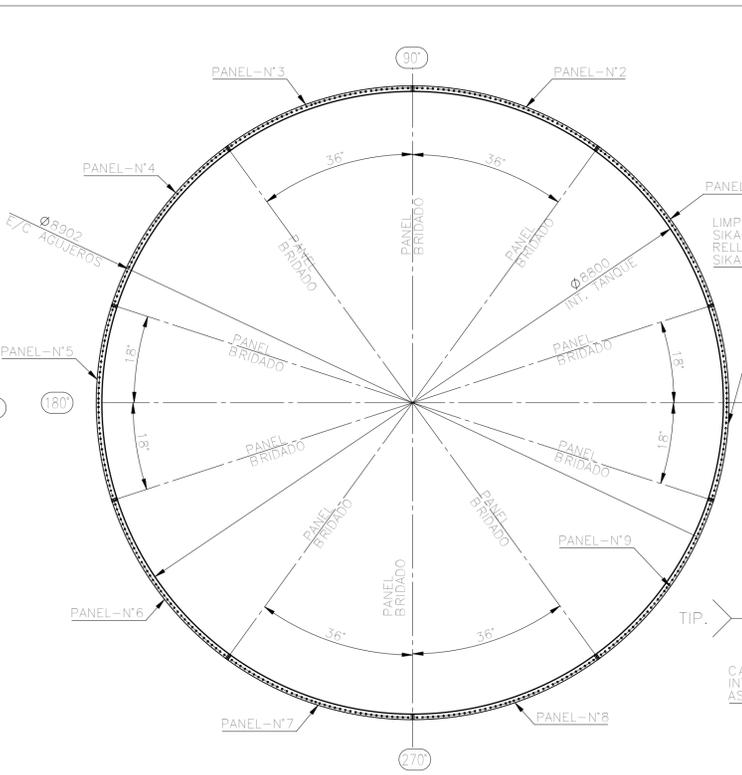
HOJA DE DATOS DEL TANQUE EMPERNADO 2850-TK-081

TAG:		2850-TK-081	
EQUIPMENT NAME		HDS TREATED WATER TANK	
5.00	DATOS TÉCNICOS		
5.01	PRESIÓN INTERNA DE TRABAJO	Atmospheric	
5.02	CÓDIGO DE DISEÑO DE TANQUE	API 650 / AISC 360, solo como referencia.	
5.03	TOLERANCIA A LA CORROSIÓN	2 mm	
5.04	TIPO DE CONSTRUCCIÓN	Soldada: Fondo y primer anillo. Empernada: Segundo, tercer y cuarto anillo.	
5.05	MATERIAL DEL CUERPO	ASTM A36	
5.06	ESPESOR DE CASCO	6 mm	
5.07	ESPESOR DE FONDO	8 mm	
5.08	MATERIAL DE PERNOS DE ANCLAJE	ASTM F1554 Gr36	
5.09	CANTIDAD DE PERNOS DE ANCLAJE	14 und	
5.10	DIÁMETRO DE PERNOS DE ANCLAJE	1.1/2"	
5.11	MATERIAL DE PERNOS DE UNIONES DEL CASCO	ASTM A325 tipo 2	
5.12	DIÁMETRO DE PERNOS DE UNIONES BRIDADAS DEL CASCO	3/4"	
5.13	MATERIAL DE BRIDAS DE UNIONES DEL CASCO	ASTM A709 GR.50	
5.14	ESPESOR DE BRIDAS DE CASCO	19 mm (segundo anillo) / 16 mm (tercer y cuarto anillo)	
6.00	PROTECCIÓN SUPERFICIAL		
6.01	PREPARACIÓN SUPERFICIAL	SSPC - SP10	
6.02	SISTEMA DE PINTURA	Epóxico exterior e interior	
6.03	PAINT FILM THICKNESS	10 mils	
7.00	PESOS		
7.01	PESO MÁXIMO DE CARGA DURANTE MONTAJE	0.65 TON	
7.02	PESO INSTALADO TOTAL	21.44 TON	
7.03	DIMENSIONES MÁXIMAS DE PIEZAS	2.4 M X 3 M, 2.4 M X 6 M	

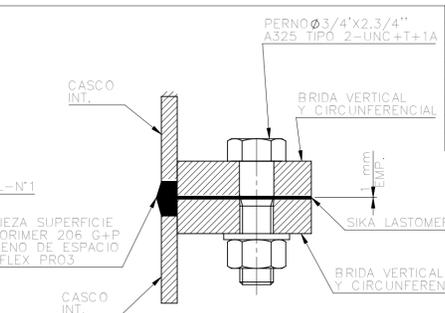
Anexo 2 Plano de Diseño del Tanque Empernado 2850-TK-081



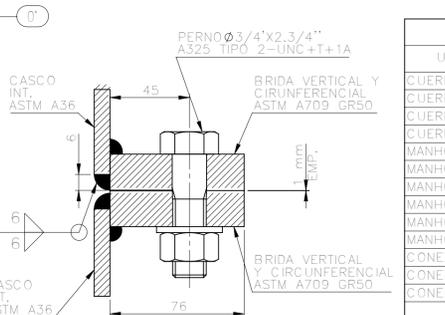
VISTA DE PLANTA
ESC: 1:50



SECCIÓN A-A
ESC: 1:50



DET. UNIÓN DE SELLADO DE JUNTAS CON PRODUCTO SIKA
ESC: 1:5



DET. UNIÓN BRIDAS CIRCUNFERENCIALES Y VERTICALES
ESC: 1:5

ACCESORIOS											
MARCA	CANT.	TAMAÑO	CLASE	CARA	SCH.	TIPO	PROJ.	ALT.	ORIENT.	DESCRIPCION	UBICACION
N1	01	Ø8"	150#	RF	40	SO	180	400	180°	OUTLET	CASCO
N2	01	Ø8"	150#	RF	40	SO	180	400	180°	OUTLET	CASCO
N3	01	Ø6"	150#	RF	40	SO	425	77	350°	DRAIN VER NOTA 7	CASCO
N4	01	Ø8"	150#	RF	40	SO	160	9100	315°	OVERFLOW	CASCO
N5	01	Ø24"	A36	-	-	-	245	800	244°	MANHOLE VER NOTA 6	CASCO
N6	01	Ø2"	150#	RF	40	SO	135	400	25°	SENSOR DE NIVEL	CASCO

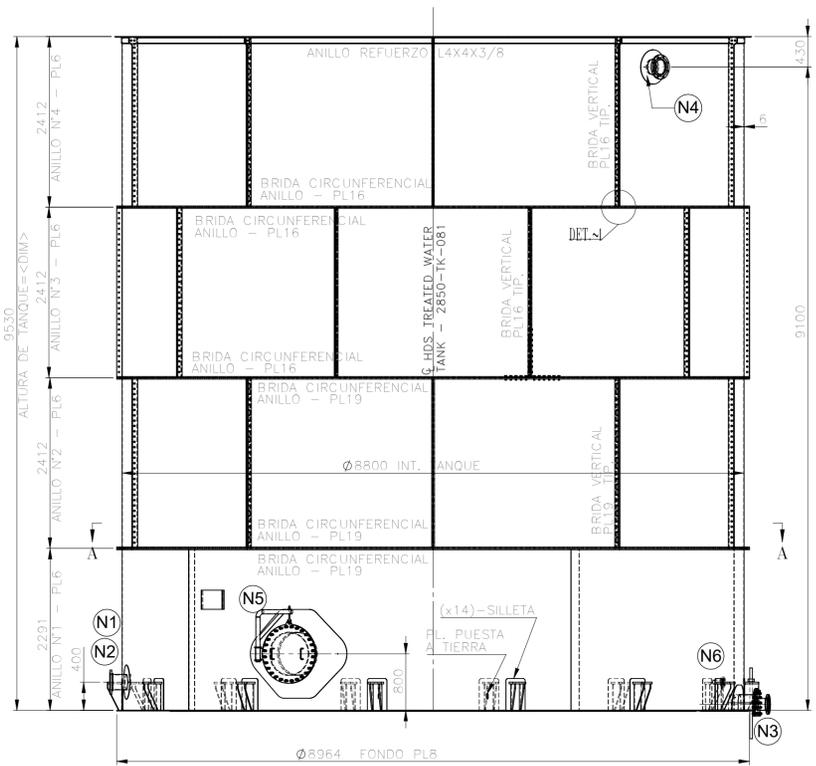
ENTREGABLE	PESO TOTAL (kg)	AREA DE PINTURA EXTERNA (m2)	AREA DE PINTURA INTERNA (M2)
FONDO	4057.75	0.00	66.90
ANILLO 1	3288.69	67.35	63.10
ANILLO 2	4307.08	82.22	66.40
ANILLO 3	4120.79	82.22	66.40
ANILLO 4	4263.11	89.35	66.40
CONEXIONES	802.73	14.71	0.00
MANHOLE	203.08	3.40	0.56
SILLETAS	394.06	5.45	0.00
SOPORTE DE PLACA	6.16	0.26	0.00
TOTAL	21443.44	345.36	329.75

LISTADO DE PERNERIA					
UBICACION	DESCRIPCION	MATERIAL	CANT.	PESO UNIT. (KG/UNID)	PESO TOTAL (kg)
CUERPO	PERNO HEXAGONAL Ø3/4"x2.1/2" UNC	ASTM A325 TIPO 2	1000	0.210	210.00
CUERPO	TUERCA HEXAGONAL Ø3/4" UNC	ASTM A194 2H	2040	0.076	155.04
CUERPO	PERNO HEXAGONAL Ø3/4"x2.3/4" UNC	ASTM A325 TIPO 2	1040	0.224	232.96
CUERPO	ARANDELA PLANA Ø3/4" UNC	ASTM F436	2040	0.022	44.88
MANHOLE	PERNO HEXAGONAL Ø3/4"x2.1/2" UNC	ASTM A325 TIPO 2	28	0.210	5.88
MANHOLE	TUERCA HEXAGONAL Ø3/4" UNC	ASTM A194 2H	28	0.076	2.13
MANHOLE	ARANDELA PLANA Ø3/4" UNC	ASTM F436	28	0.022	0.62
MANHOLE	PERNO HEXAGONAL Ø5/8"x2" UNC	ASTM A325 TIPO 2	1	0.117	0.12
MANHOLE	TUERCA HEXAGONAL Ø5/8" UNC	ASTM A194 2H	3	0.045	0.14
MANHOLE	ARANDELA PLANA Ø5/8" UNC	ASTM F436	2	0.015	0.03
CONEXIÓN DRENAJE	PERNO HEXAGONAL Ø3/4"x2.1/2" UNC	ASTM A325 TIPO 2	16	0.210	3.36
CONEXIÓN DRENAJE	TUERCA HEXAGONAL Ø3/4" UNC	ASTM A194 2H	16	0.076	1.22
CONEXIÓN DRENAJE	ARANDELA PLANA Ø3/4" UNC	ASTM F436	16	0.022	0.35
				TOTAL	656.71

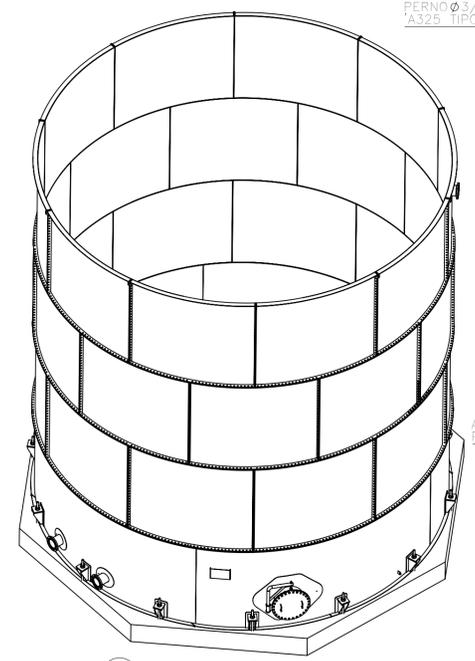
CONDICIONES DE DISEÑO	
PRODUCTO	: AGUA TRATADA
NORMA DE DISEÑO	: API 650/AISC 360 (COMO REFERENCIA)
PRESIÓN DE DISEÑO	: ATMOSFÉRICA
PRESIÓN DE OPERACIÓN	: ATMOSFÉRICA
GRAVEDAD ESPECIFICA	: 1
T° DISEÑO	: -5°C A 15°C
TOLERANCIA CORROSIÓN	: 2mm
CAP. NOMINAL	: 561 m3
DIÁMETRO NOMINAL	: 8.8m
ALTURA	: 9.53m
PH FLUIDO	: 7-8
TECHO	: ABIERTO
CASCO	: -ANILLO 1 - 6mm -ANILLO 2,3,4 - 6mm
FONDO	: 8mm
MATERIAL	: ASTM-A36
ANILLO RIGIDIZADOR SUP.	: L4X4X3/8"
MATERIAL PERNO ANCLAJE	: ASTM- F1554 GR36
DISEÑO SISMICO	: SEGON API 650, APENDICE E
INSPECCIÓN Y PRUEBAS	: SEGON API 650, SECCIÓN 6 Y 7
SOLDADURA	: -PROCESO SMAW; AWS 5.1 E6010 -PROCESO FCAW; AWS 5.20 E71T-C1

SISTEMA DE PINTURA	
INTERIOR- SISTEMA DE PINTURA PS2	
1ERA CAPA (PINTURA BASE)	: EPOXI POLIAMIDA DE ALTOS SOLIDOS. : 5 MILS
2DA CAPA (ACABADO)	: EPOXI POLIAMIDA DE ALTOS SOLIDOS. : 5 MILS
EXTERIOR- SISTEMA DE PINTURA PS2	
1ERA CAPA (PINTURA BASE)	: EPOXI POLIAMIDA DE ALTOS SOLIDOS. : 5 MILS
2DA CAPA (ACABADO)	: EPOXI POLIAMIDA DE ALTOS SOLIDOS. : 5 MILS

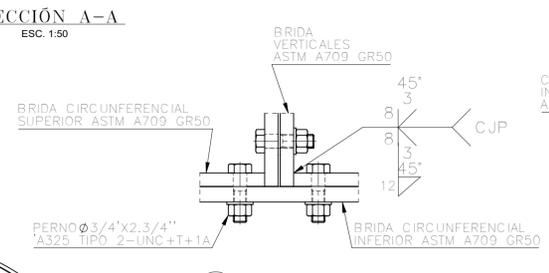
DESCRIPCION DE ANCLAJE	
MATERIAL DE ANCLAJE	: F1554 GR36
DIAMETRO DE ANCLAJE	: 1-1/2"
CANTIDAD DE ANCLAJE	: 14 UNIDADES



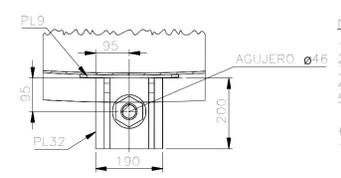
VISTA ELEVACIÓN
ESC: 1:50



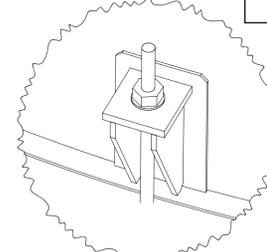
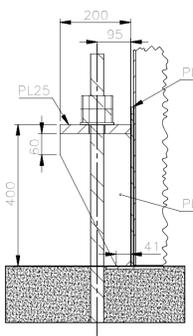
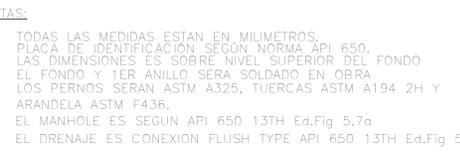
VISTA ISOMÉTRICA
ESC: 1:75



DETALLE 1
ESC: 1:5



DET. DE SILLETA ANCLAJE
ESC: 1:10



CONFIDENCIAL

ESTE PLANO Y LA INFORMACIÓN CONTENIDA SERÁ DE UN TANQUE CILINDRICO VERTICAL METÁLICO DE ALMACENAMIENTO DE AGUA DE TECHO ABIERTO DE 561 M3, DIAMETRO 8.8m Y ALTURA 9.53m QUE SERÁ INSTALADO EN UNA UNIDAD MINERA UBICADA EN LA PROVINCIA DE SANCHEZ CERRO, REGION DE MOQUEGUA, PERU A 4850 msnm.

SE PROHIBE LA REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL DE ESTE PLANO Y LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN EL.

PLANO N°	REFERENCIAS	N° REV.	FECHA	DESCRIPCION	POR	REV.	APR.	CLIENT.	OBSERVACIONES	FIRMAS
		0	19/01/2024	EMITIDO PARA CONSTRUCCIÓN	C.C.	C.C.	C.C.			

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL INGENIERIA

PROYECTO: DISEÑO DE TANQUE DE ACERO EMPERNADO DE 561 M3 PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA PARA UNA UNIDAD MINERA CON LA TECNOLOGIA DISPONIBLE EN PERU

PLANO: HDS TREATED WATER TANK - 2850-TK-081

ARREGLO GENERAL

ESC: IND PROYECTO N°: UNI-001 PLANO N°: ING-DET-PL-001

PROY. DIB./REV. 0

Anexo 3 Planilla de Metrados del Tanque Empernado 2850-TK-081

Planilla de Metrados del Tanque Empernado 2850-TK-081

UBICACIÓN	DESCRIPCIÓN	LARGO (mm)	ANCHO (mm)	CANTIDAD TOTAL	ÁREA UNIT (m2)	UND	PESO UNIT (Kg)	UND	ÁREA DE PINTURA (m2)	ÁREA EXTERNA (m2)	AREA INTERNA (M2)	PESO TOTAL (Kg)	PARTIDA	TIPO DE PERFIL
FONDO	PL8	7944.14	7944.14	1	1.00	M2/m2	62.80	KG/M2	63.11		63.11	3,963.27	TK EMPERNADO	PLANCHA
FONDO	PLT1/4"X2"	5315.00		2	0.10	M2/M	2.53	KG/M	1.08		1.08	26.92	TK EMPERNADO	PLATINA
FONDO	PLT1/4"X2"	8635.00		2	0.10	M2/M	2.53	KG/M	1.75		1.75	43.73	TK EMPERNADO	PLATINA
FONDO	PLT1/4"X2"	2353.00		4	0.10	M2/M	2.53	KG/M	0.96		0.96	23.83	TK EMPERNADO	PLATINA
ANILLO 1	PL6	27664.86	2281.00	1	2.00	M2/m2	47.10	KG/M2	126.21	63.10	63.10	2,972.18	TK EMPERNADO	PLANCHA
ANILLO 1	PL19	1456.75	1456.75	1	2.00	M2/m2	149.15	KG/M2	4.24	4.24		316.51	TK EMPERNADO	PLANCHA
ANILLO 2	PL6	27664.86	2400.00	1	2.00	M2/m2	47.10	KG/M2	132.79	66.40	66.40	3,127.24	TK EMPERNADO	PLANCHA
ANILLO 2	PL19	1456.75	1456.75	2	2.00	M2/m2	149.15	KG/M2	8.49	8.49		633.02	TK EMPERNADO	PLANCHA
ANILLO 2	PL19	2412.00	76.00	20	2.00	M2/m2	149.15	KG/M2	7.33	7.33		546.82	TK EMPERNADO	PLANCHA
ANILLO 3	PL6	27664.86	2400.00	1	2.00	M2/m2	47.10	KG/M2	132.79	66.40	66.40	3,127.24	TK EMPERNADO	PLANCHA
ANILLO 3	PL16	1456.75	1456.75	2	2.00	M2/m2	125.60	KG/M2	8.49	8.49		533.07	TK EMPERNADO	PLANCHA
ANILLO 3	PL16	2412.00	76.00	20	2.00	M2/m2	125.60	KG/M2	7.33	7.33		460.48	TK EMPERNADO	PLANCHA
ANILLO 4	PL6	27664.86	2400.00	1	2.00	M2/m2	47.10	KG/M2	132.79	66.40	66.40	3,127.24	TK EMPERNADO	PLANCHA
ANILLO 4	PL16	1456.75	1456.75	1	2.00	M2/m2	125.60	KG/M2	4.24	4.24		266.54	TK EMPERNADO	PLANCHA
ANILLO 4	PL16	2412.00	76.00	20	2.00	M2/m2	125.60	KG/M2	7.33	7.33		460.48	TK EMPERNADO	PLANCHA
ANILLO 4	L4x4x3/8"	28004.16		1	0.41	M2/M	14.60	KG/M	11.38	11.38		408.86	TK EMPERNADO	ANGULO
CONEXIÓN N1	TUBO A53 SCH40 Ø8"	290.00		1	0.69	M2/M	42.55	KG/M	0.20	0.20		12.34	TK EMPERNADO	TUBO
CONEXIÓN N1	BRIDA S.O. A105 CL150 RF Ø8"	1848.16	1848.16	1	0.05	M2/und	13.60	KG/und	0.05	0.05		13.60	TK EMPERNADO	BRIDA
CONEXIÓN N1	PL6	388.12	388.12	1	2.00	M2/m2	47.10	KG/M2	0.30	0.30		7.10	TK EMPERNADO	PLANCHA
CONEXIÓN N2	TUBO A53 SCH40 Ø8"	290.00		1	0.69	M2/M	42.55	KG/M	0.20	0.20		12.34	TK EMPERNADO	TUBO
CONEXIÓN N2	BRIDA S.O. A105 CL150 RF Ø8"	1848.16	1848.16	1	0.05	M2/und	13.60	KG/und	0.05	0.05		13.60	TK EMPERNADO	BRIDA
CONEXIÓN N2	PL6	388.12	388.12	1	2.00	M2/m2	47.10	KG/M2	0.30	0.30		7.10	TK EMPERNADO	PLANCHA
CONEXIÓN N3	PL6	494.97	494.97	1	2.00	M2/m2	47.10	KG/M2	0.49	0.49		11.54	TK EMPERNADO	PLANCHA
CONEXIÓN N3	PL16	539.00	367.00	1	2.00	M2/m2	125.60	KG/M2	0.40	0.40		24.85	TK EMPERNADO	PLANCHA
CONEXIÓN N3	PL16	346.41	346.41	1	2.00	M2/m2	125.60	KG/M2	0.24	0.24		15.07	TK EMPERNADO	PLANCHA
CONEXIÓN N3	PL16	854.40	854.40	1	2.00	M2/m2	125.60	KG/M2	1.46	1.46		91.69	TK EMPERNADO	PLANCHA
CONEXIÓN N3	PL6	367.42	367.42	1	2.00	M2/m2	47.10	KG/M2	0.27	0.27		6.36	TK EMPERNADO	PLANCHA
CONEXIÓN N3	PLT1/4"X2"	211.00		2	0.10	M2/M	2.53	KG/M	0.04	0.04		1.07	TK EMPERNADO	PLATINA
CONEXIÓN N3	PL16	367.42	367.42	1	2.00	M2/m2	125.60	KG/M2	0.27	0.27		16.96	TK EMPERNADO	PLANCHA
CONEXIÓN N3	TUBO A53 SCH40 Ø6"	157.00		1	0.53	M2/M	28.26	KG/M	0.08	0.08		4.44	TK EMPERNADO	TUBO
CONEXIÓN N3	BRIDA S.O. A105 CL150 RF Ø6"			1	0.04	M2/und	8.60	KG/und	0.04	0.04		8.60	TK EMPERNADO	BRIDA
CONEXIÓN N6	TUBO A53 SCH40 Ø2"	149.00		1	0.19	M2/M	5.44	KG/M	0.03	0.03		0.81	TK EMPERNADO	TUBO
CONEXIÓN N6	BRIDA S.O. A105 CL150 RF Ø2"			1	0.01	M2/und	2.30	KG/und	0.01	0.01		2.30	TK EMPERNADO	BRIDA
MANHOLE	PL6	1060.66	1060.66	1	1.00	M2/m2	47.10	KG/M2	1.13	1.13		52.99	TK EMPERNADO	PLANCHA
MANHOLE	PL9	744.98	744.98	1	2.00	M2/m2	70.65	KG/M2	1.11	0.56	0.56	39.21	TK EMPERNADO	PLANCHA
MANHOLE	PL12	533.85	533.85	1	2.00	M2/m2	94.20	KG/M2	0.57	0.57		26.85	TK EMPERNADO	PLANCHA
MANHOLE	TUBO A53 SCH40 Ø2.1/2"	168.00		1	0.23	M2/M	8.63	KG/M	0.04	0.04		1.45	TK EMPERNADO	TUBO
MANHOLE	PL16	758.29	758.29	1	2.00	M2/m2	125.60	KG/M2	1.15	1.15		72.22	TK EMPERNADO	PLANCHA
MANHOLE	BR1/2"	283.00		2	0.04	M2/M	0.99	KG/M	0.02	0.02		0.56	TK EMPERNADO	BARRA
MANHOLE	TUBO A53 SCH40 Ø2"	630.00		1	0.19	M2/M	5.44	KG/M	0.12	0.12		3.43	TK EMPERNADO	TUBO
MANHOLE	CODO 90 A234 STD RL Ø2"			1	0.03	M2/und	0.65	KG/und	0.03	0.03		0.65	TK EMPERNADO	FITTING
MANHOLE	TUBO A53 SCH40 Ø2"	454.00		1	0.19	M2/M	5.44	KG/M	0.09	0.09		2.47	TK EMPERNADO	TUBO
MANHOLE	PL6	48.74	48.74	2	2.00	M2/m2	47.10	KG/M2	0.01	0.01		0.22	TK EMPERNADO	PLANCHA
MANHOLE	PL12	70.71	70.71	2	2.00	M2/m2	94.20	KG/M2	0.02	0.02		0.94	TK EMPERNADO	PLANCHA
MANHOLE	PLT1/4"X2"	525.00		1	0.10	M2/M	2.53	KG/M	0.05	0.05		1.33	TK EMPERNADO	PLATINA
MANHOLE	BR5/8"	183.00		1	0.05	M2/M	1.55	KG/M	0.01	0.01		0.28	TK EMPERNADO	BARRA
MANHOLE	PL12	70.71	70.71	1	2.00	M2/m2	94.20	KG/M2	0.01	0.01		0.47	TK EMPERNADO	PLANCHA
SILLETAS	PL9	450.00	281.00	14	1.00	M2/m2	70.65	KG/M2	1.77	1.77		125.07	TK EMPERNADO	PLANCHA
SILLETAS	PL25	201.00	190.00	14	2.00	M2/m2	196.25	KG/M2	1.07	1.07		104.93	TK EMPERNADO	PLANCHA
SILLETAS	PL16	215.99	215.99	28	2.00	M2/m2	125.60	KG/M2	2.61	2.61		164.06	TK EMPERNADO	PLANCHA

Planilla de Metrados del Tanque Empernado 2850-TK-081

UBICACIÓN	DESCRIPCIÓN	LARGO (mm)	ANCHO (mm)	CANTIDAD TOTAL	ÁREA UNIT (m2)	UND	PESO UNIT (Kg)	UND	ÁREA DE PINTURA (m2)	ÁREA EXTERNA (m2)	AREA INTERNA (M2)	PESO TOTAL (Kg)	PARTIDA	TIPO DE PERFIL
CONEXIÓN N4	PL6	382.15	382.15	1	2.00	M2/m2	47.10	KG/M2	0.29	0.29		6.88	TK EMPERNADO	PLANCHA
CONEXIÓN N4	TUBO A53 SCH40 Ø8"	180.00		1	0.69	M2/M	42.55	KG/M	0.12	0.12		7.66	TK EMPERNADO	TUBO
CONEXIÓN N4	BRIDA S.O. A105 CL150 RF Ø8"			2	0.05	M2/und	13.60	KG/und	0.09	0.09		27.20	TK EMPERNADO	BRIDA
CONEXIÓN N4	TUBO A53 SCH40 Ø8"	90.00		1	0.69	M2/M	42.55	KG/M	0.06	0.06		3.83	TK EMPERNADO	TUBO
CONEXIÓN N4	CODO 90 A234 STD RL Ø8"			1	0.42	M2/und	20.00	KG/und	0.42	0.42		20.00	TK EMPERNADO	FITTING
CONEXIÓN N4	TUBO A53 SCH40 Ø8"	5995.00		1	0.69	M2/M	42.55	KG/M	4.13	4.13		255.09	TK EMPERNADO	TUBO
CONEXIÓN N4	CODO 90 A234 STD RL Ø8"			1	0.42	M2/und	20.00	KG/und	0.42	0.42		20.00	TK EMPERNADO	FITTING
CONEXIÓN N4	PL9	255.60	255.60	6	2.00	M2/m2	70.65	KG/M2	0.78	0.78		27.69	TK EMPERNADO	PLANCHA
CONEXIÓN N4	PL9	561.00	340.00	6	2.00	M2/m2	70.65	KG/M2	2.29	2.29		80.85	TK EMPERNADO	PLANCHA
CONEXIÓN N4	TUBO A53 SCH40 Ø8"	2439.00		1	0.69	M2/M	42.55	KG/M	1.68	1.68		103.78	TK EMPERNADO	TUBO
SOPORTE DE PLACA	PL6	484.00	270.00	1	2.00	M2/m2	47.10	KG/M2	0.26	0.26		6.16	TK EMPERNADO	PLANCHA
TOTAL									675.10	345.36	329.75	21,443.44		

Anexo 4 Planilla de Metrados del Tanque Soldado 2850-TK-081.

Planilla de Metrados del Tanque Soldado 2850-TK-081

UBICACIÓN	DESCRIPCIÓN	LARGO (mm)	ANCHO (mm)	CANTIDAD TOTAL	ÁREA UNIT (m2)	UND	PESO UNIT (Kg)	UND	ÁREA DE PINTURA (m2)	ÁREA EXTERNA (m2)	AREA INTERNA (M2)	PESO TOTAL (Kg)	PARTIDA	TIPO DE PERFIL
FONDO	PL8	7944.14	7944.14	1	1.00	M2/m2	62.80	KG/M2	63.11		63.11	3,963.27	TK SOLDABLE	PLANCHA
FONDO	PLT1/4"X2"	5315.00		2	0.10	M2/M	2.53	KG/M	1.08		1.08	26.92	TK SOLDABLE	PLATINA
FONDO	PLT1/4"X2"	8635.00		2	0.10	M2/M	2.53	KG/M	1.75		1.75	43.73	TK SOLDABLE	PLATINA
FONDO	PLT1/4"X2"	2353.00		4	0.10	M2/M	2.53	KG/M	0.96		0.96	23.83	TK SOLDABLE	PLATINA
ANILLO 1	PL6	27664.86	2330.00	1	2.00	M2/m2	47.10	KG/M2	128.92	64.46	64.46	3,036.03	TK SOLDABLE	PLANCHA
ANILLO 2	PL6	27664.86	2400.00	1	2.00	M2/m2	47.10	KG/M2	132.79	66.40	66.40	3,127.24	TK SOLDABLE	PLANCHA
ANILLO 3	PL6	27664.86	2400.00	1	2.00	M2/m2	47.10	KG/M2	132.79	66.40	66.40	3,127.24	TK SOLDABLE	PLANCHA
ANILLO 4	PL6	27664.86	2400.00	1	2.00	M2/m2	47.10	KG/M2	132.79	66.40	66.40	3,127.24	TK SOLDABLE	PLANCHA
ANILLO 4	L4x4x3/8"	28004.16		1	0.41	M2/M	14.60	KG/M	11.38	11.38		408.86	TK SOLDABLE	ANGULO
CONEXIÓN N1	TUBO A53 SCH40 Ø8"	290.00		1	0.69	M2/M	42.55	KG/M	0.20	0.20		12.34	TK SOLDABLE	TUBO
CONEXIÓN N1	BRIDA S.O. A105 CL150 RF Ø8"	1848.16	1848.16	1	0.05	M2/und	13.60	KG/und	0.05	0.05		13.60	TK SOLDABLE	BRIDA
CONEXIÓN N1	PL6	388.12	388.12	1	2.00	M2/m2	47.10	KG/M2	0.30	0.30		7.10	TK SOLDABLE	PLANCHA
CONEXIÓN N2	TUBO A53 SCH40 Ø8"	290.00		1	0.69	M2/M	42.55	KG/M	0.20	0.20		12.34	TK SOLDABLE	TUBO
CONEXIÓN N2	BRIDA S.O. A105 CL150 RF Ø8"	1848.16	1848.16	1	0.05	M2/und	13.60	KG/und	0.05	0.05		13.60	TK SOLDABLE	BRIDA
CONEXIÓN N2	PL6	388.12	388.12	1	2.00	M2/m2	47.10	KG/M2	0.30	0.30		7.10	TK SOLDABLE	PLANCHA
CONEXIÓN N3	PL6	494.97	494.97	1	2.00	M2/m2	47.10	KG/M2	0.49	0.49		11.54	TK SOLDABLE	PLANCHA
CONEXIÓN N3	PL16	539.00	367.00	1	2.00	M2/m2	125.60	KG/M2	0.40	0.40		24.85	TK SOLDABLE	PLANCHA
CONEXIÓN N3	PL16	346.41	346.41	1	2.00	M2/m2	125.60	KG/M2	0.24	0.24		15.07	TK SOLDABLE	PLANCHA
CONEXIÓN N3	PL16	854.40	854.40	1	2.00	M2/m2	125.60	KG/M2	1.46	1.46		91.69	TK SOLDABLE	PLANCHA
CONEXIÓN N3	PL6	367.42	367.42	1	2.00	M2/m2	47.10	KG/M2	0.27	0.27		6.36	TK SOLDABLE	PLANCHA
CONEXIÓN N3	PLT1/4"X2"	211.00		2	0.10	M2/M	2.53	KG/M	0.04	0.04		1.07	TK SOLDABLE	PLATINA
CONEXIÓN N3	PL16	367.42	367.42	1	2.00	M2/m2	125.60	KG/M2	0.27	0.27		16.96	TK SOLDABLE	PLANCHA
CONEXIÓN N3	TUBO A53 SCH40 Ø6"	157.00		1	0.53	M2/M	28.26	KG/M	0.08	0.08		4.44	TK SOLDABLE	TUBO
CONEXIÓN N3	BRIDA S.O. A105 CL150 RF Ø6"			1	0.04	M2/und	8.60	KG/und	0.04	0.04		8.60	TK SOLDABLE	BRIDA
CONEXIÓN N6	TUBO A53 SCH40 Ø2"	149.00		1	0.19	M2/M	5.44	KG/M	0.03	0.03		0.81	TK SOLDABLE	TUBO
CONEXIÓN N6	BRIDA S.O. A105 CL150 RF Ø2"			1	0.01	M2/und	2.30	KG/und	0.01	0.01		2.30	TK SOLDABLE	BRIDA
MANHOLE	PL6	1060.66	1060.66	1	1.00	M2/m2	47.10	KG/M2	1.13	1.13		52.99	TK SOLDABLE	PLANCHA
MANHOLE	PL9	744.98	744.98	1	2.00	M2/m2	70.65	KG/M2	1.11	0.56	0.56	39.21	TK SOLDABLE	PLANCHA
MANHOLE	PL12	533.85	533.85	1	2.00	M2/m2	94.20	KG/M2	0.57	0.57		26.85	TK SOLDABLE	PLANCHA
MANHOLE	TUBO A53 SCH40 Ø2.1/2"	168.00		1	0.23	M2/M	8.63	KG/M	0.04	0.04		1.45	TK SOLDABLE	TUBO
MANHOLE	PL16	758.29	758.29	1	2.00	M2/m2	125.60	KG/M2	1.15	1.15		72.22	TK SOLDABLE	PLANCHA
MANHOLE	BR1/2"	283.00		2	0.04	M2/M	0.99	KG/M	0.02	0.02		0.56	TK SOLDABLE	BARRA
MANHOLE	TUBO A53 SCH40 Ø2"	630.00		1	0.19	M2/M	5.44	KG/M	0.12	0.12		3.43	TK SOLDABLE	TUBO
MANHOLE	CODO 90 A234 STD RL Ø2"			1	0.03	M2/und	0.65	KG/und	0.03	0.03		0.65	TK SOLDABLE	FITTING
MANHOLE	TUBO A53 SCH40 Ø2"	454.00		1	0.19	M2/M	5.44	KG/M	0.09	0.09		2.47	TK SOLDABLE	TUBO
MANHOLE	PL6	48.74	48.74	2	2.00	M2/m2	47.10	KG/M2	0.01	0.01		0.22	TK SOLDABLE	PLANCHA
MANHOLE	PL12	70.71	70.71	2	2.00	M2/m2	94.20	KG/M2	0.02	0.02		0.94	TK SOLDABLE	PLANCHA
MANHOLE	PLT1/4"X2"	525.00		1	0.10	M2/M	2.53	KG/M	0.05	0.05		1.33	TK SOLDABLE	PLATINA
MANHOLE	BR5/8"	183.00		1	0.05	M2/M	1.55	KG/M	0.01	0.01		0.28	TK SOLDABLE	BARRA
MANHOLE	PL12	70.71	70.71	1	2.00	M2/m2	94.20	KG/M2	0.01	0.01		0.47	TK SOLDABLE	PLANCHA
SILLETAS	PL9	450.00	281.00	14	1.00	M2/m2	70.65	KG/M2	1.77	1.77		125.07	TK SOLDABLE	PLANCHA
SILLETAS	PL25	201.00	190.00	14	2.00	M2/m2	196.25	KG/M2	1.07	1.07		104.93	TK SOLDABLE	PLANCHA
SILLETAS	PL16	215.99	215.99	28	2.00	M2/m2	125.60	KG/M2	2.61	2.61		164.06	TK SOLDABLE	PLANCHA
CONEXIÓN N4	PL6	382.15	382.15	1	2.00	M2/m2	47.10	KG/M2	0.29	0.29		6.88	TK SOLDABLE	PLANCHA
CONEXIÓN N4	TUBO A53 SCH40 Ø8"	180.00		1	0.69	M2/M	42.55	KG/M	0.12	0.12		7.66	TK SOLDABLE	TUBO
CONEXIÓN N4	BRIDA S.O. A105 CL150 RF Ø8"			2	0.05	M2/und	13.60	KG/und	0.09	0.09		27.20	TK SOLDABLE	BRIDA
CONEXIÓN N4	TUBO A53 SCH40 Ø8"	90.00		1	0.69	M2/M	42.55	KG/M	0.06	0.06		3.83	TK SOLDABLE	TUBO
CONEXIÓN N4	CODO 90 A234 STD RL Ø8"			1	0.42	M2/und	20.00	KG/und	0.42	0.42		20.00	TK SOLDABLE	FITTING
CONEXIÓN N4	TUBO A53 SCH40 Ø8"	5995.00		1	0.69	M2/M	42.55	KG/M	4.13	4.13		255.09	TK SOLDABLE	TUBO
CONEXIÓN N4	CODO 90 A234 STD RL Ø8"			1	0.42	M2/und	20.00	KG/und	0.42	0.42		20.00	TK SOLDABLE	FITTING

Planilla de Metrados del Tanque Soldado 2850-TK-081

UBICACIÓN	DESCRIPCIÓN	LARGO (mm)	ANCHO (mm)	CANTIDAD TOTAL	ÁREA UNIT (m2)	UND	PESO UNIT (Kg)	UND	ÁREA DE PINTURA (m2)	ÁREA EXTERNA (m2)	AREA INTERNA (M2)	PESO TOTAL (Kg)	PARTIDA	TIPO DE PERFIL
CONEXIÓN N4	PL9	255.60	255.60	6	2.00	M2/m2	70.65	KG/M2	0.78	0.78		27.69	TK SOLDABLE	PLANCHA
CONEXIÓN N4	PL9	561.00	340.00	6	2.00	M2/m2	70.65	KG/M2	2.29	2.29		80.85	TK SOLDABLE	PLANCHA
CONEXIÓN N4	TUBO A53 SCH40 Ø8"	2439.00		1	0.69	M2/M	42.55	KG/M	1.68	1.68		103.78	TK SOLDABLE	TUBO
SOPORTE DE PLACA	PL6	484.00	270.00	1	2.00	M2/m2	47.10	KG/M2	0.26	0.26		6.16	TK SOLDABLE	PLANCHA
TOTAL									630.35	299.25	331.10	18,290.36		

Anexo 5 Presupuesto Detallado de Construcción del Tanque Empernado 2850-TK-081

PRESUPUESTO DETALLADO DE CONSTRUCCIÓN DEL TANQUE EMPERNADO 2850-TK-081

ITEM	DESCRIPCIÓN	Und	Cant	Precio US\$	Sub total US\$
SUMINISTRO Y FABRICACIÓN					\$87,719.34
1.0	TANQUE 2850-TK-081 Ø8.8m x H9.53m Suministro, fabricación y pintura. Entregado como paneles bridados. Primer anillo y fondo habilitados para soldar en obra.	glb	1.00	\$83,843.85	\$83,843.85
	Suministro de Materiales	glb	1.00	\$32,669.21	\$32,669.21
	Elaboración de Planos	glb	1.00	\$1,722.03	\$1,722.03
	Habilitado, Armado y Soldeo de paneles bridados y anexos del tanque	glb	1.00	\$25,615.37	\$25,615.37
	Ensayos no Destructivos	glb	1.00	\$392.40	\$392.40
	Aplicación de Pintura	glb	1.00	\$8,141.37	\$8,141.37
	Despacho	glb	1.00	\$1,364.95	\$1,364.95
	Costos Indirectos de Fabricación	glb	1.00	\$13,938.52	\$13,938.52
2.0	PERNERÍA Para ensamble del Tanque	glb	1.00	\$3,375.49	\$3,375.49
3.0	PORTAROLAS Para transporte de Tanque.	glb	1.00	\$500.00	\$500.00
	Suministro y Fabricación de Portarolas	glb	1.00	\$417.38	\$417.38
	Costos Indirectos de Fabricación	glb	1.00	\$82.62	\$82.62
TRANSPORTE					\$11,521.95
4.0	Transporte a Sitio de obra Lima - Moquegua	vje	3.00	\$3,840.65	\$11,521.95
MONTAJE					\$155,796.41
5.0	TANQUE 2850-TK-081 Ø8.8m x H9.53m Construcción de Tanque Empernado en sitio de obra. Incluye movilización de recursos, mano de obra, equipos y pruebas de calidad. Suministro de energía eléctrica y agua a cargo de la mina.	glb	1.00	\$91,189.03	\$91,189.03
	Movilización	glb	1.00	\$13,510.00	\$13,510.00
	Montaje de fondo (construcción soldada)	glb	1.00	\$10,607.69	\$10,607.69
	Montaje de anillo 4 (construcción empernada)	glb	1.00	\$5,398.75	\$5,398.75
	Montaje de anillo 3 (construcción empernada)	glb	1.00	\$5,214.60	\$5,214.60
	Montaje de anillo 2 (construcción empernada)	glb	1.00	\$5,450.46	\$5,450.46
	Montaje de anillo 1 (construcción soldada)	glb	1.00	\$11,086.57	\$11,086.57
	Montaje de MH y conexiones del primer anillo	glb	1.00	\$3,314.36	\$3,314.36
	Instalación de siletas	glb	1.00	\$1,079.15	\$1,079.15
	Prueba hidrostática	glb	1.00	\$8,360.99	\$8,360.99
	Prueba verticalidad y redondez (topografía)	glb	1.00	\$7,893.74	\$7,893.74
	Resanes de pintura	glb	1.00	\$5,762.72	\$5,762.72
	Desmovilización	glb	1.00	\$13,510.00	\$13,510.00
6.0	COSTOS INDIRECTOS del Montaje Personal staff técnico - administrativo, gastos en personal, facilidades, costos de operación, seguros y fianzas.	glb	1.00	\$64,607.38	\$64,607.38
TOTAL (NO INCLUYE IGV) US\$					\$255,037.70

Anexo 6 Presupuesto Detallado de Construcción del Tanque Soldado 2850-TK-081

PRESUPUESTO DETALLADO DE CONSTRUCCIÓN DEL TANQUE SOLDADO 2850-TK-081

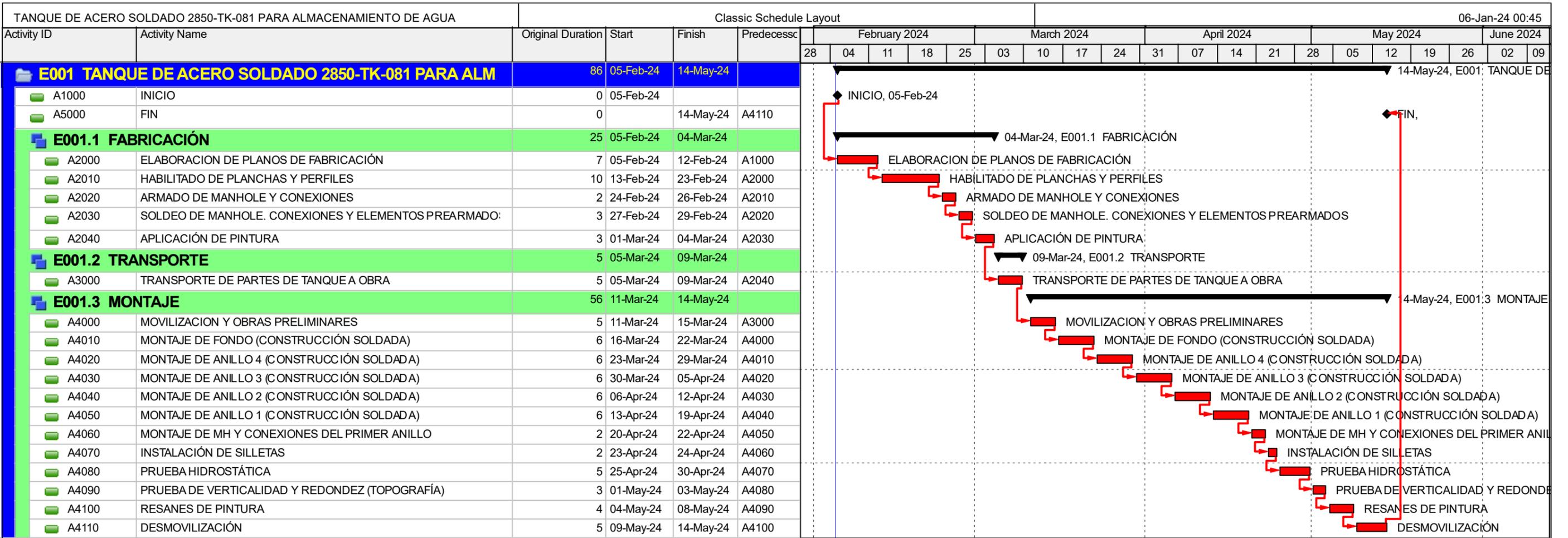
ITEM	DESCRIPCIÓN	Und	Cant	Precio US\$	Sub total US\$
A SUMINISTRO Y FABRICACIÓN					\$61,320.41
1.0	TANQUE 2850-TK-081 Ø8.8m x H9.53m Suministro, fabricación y pintura. Entregado como planchas habilitadas y anexos terminados para soldar en obra.	glb	1.00	\$59,261.87	\$59,261.87
	Suministro de Materiales	glb	1.00	\$25,152.21	\$25,152.21
	Elaboración de Planos	glb	1.00	\$1,722.03	\$1,722.03
	Habilitado, Armado y Soldeo (este último solo sobre manhole, conexiones, silletas y anexos del tanque).	glb	1.00	\$14,202.82	\$14,202.82
	Ensayos no Destructivos	glb	1.00	\$101.01	\$101.01
	Aplicación de Pintura	glb	1.00	\$7,281.39	\$7,281.39
	Despacho	glb	1.00	\$965.49	\$965.49
	Costos Indirectos de Fabricación	glb	1.00	\$9,836.92	\$9,836.92
2.0	PERNERÍA Para ensamble de Manhole	glb	1.00	\$91.65	\$91.65
3.0	PORTAROLAS Para transporte de Tanque.	glb	1.00	\$1,966.90	\$1,966.90
	Suministro y Fabricación de Portarolas	glb	1.00	\$1,639.08	\$1,639.08
	Costos Indirectos de Fabricación	glb	1.00	\$327.82	\$327.82
B TRANSPORTE					\$11,521.95
4.0	Transporte a Sitio de obra Lima - Moquegua	vje	3.00	\$3,840.65	\$11,521.95
C MONTAJE					\$208,126.67
5.0	TANQUE 2850-TK-081 Ø8.8m x H9.53m Construcción de Tanque Soldado en sitio de obra. Incluye movilización de recursos, mano de obra, equipos y pruebas de calidad. Suministro de energía eléctrica y agua a cargo de la mina.	glb	1.00	\$107,432.03	\$107,432.03
	Movilización	glb	1.00	\$10,375.00	\$10,375.00
	Montaje de fondo (construcción soldada)	glb	1.00	\$10,607.69	\$10,607.69
	Montaje de anillo 4 (construcción soldada)	glb	1.00	\$11,931.11	\$11,931.11
	Montaje de anillo 3 (construcción soldada)	glb	1.00	\$10,542.30	\$10,542.30
	Montaje de anillo 2 (construcción soldada)	glb	1.00	\$10,542.30	\$10,542.30
	Montaje de anillo 1 (construcción soldada)	glb	1.00	\$10,234.82	\$10,234.82
	Montaje de MH y conexiones del primer anillo	glb	1.00	\$3,314.36	\$3,314.36
	Instalación de silletas	glb	1.00	\$1,079.15	\$1,079.15
	Prueba hidrostática	glb	1.00	\$8,365.89	\$8,365.89
	Prueba verticalidad y redondez (topografía)	glb	1.00	\$7,248.22	\$7,248.22
	Resanes de pintura	glb	1.00	\$12,441.17	\$12,441.17
	Desmovilización	glb	1.00	\$10,750.00	\$10,750.00
6.0	COSTOS INDIRECTOS del Montaje Personal staff técnico - administrativo, gastos en personal, facilidades, costos de operación, seguros y fianzas.	glb	1.00	\$100,694.64	\$100,694.64
TOTAL (NO INCLUYE IGV) US\$					\$280,969.03

Anexo 7 Cronograma de Construcción del Tanque Empernado 2850-TK-081

TANQUE DE ACERO EMPERNADO 2850-TK-081 PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA		Classic Schedule Layout				06-Jan-24 18:04																					
Activity ID	Activity Name	Original Duration	Start	Finish	Predecessor	February 2024					March 2024					April 2024					May 2024					June 2024	
						28	04	11	18	25	03	10	17	24	31	07	14	21	28	05	12	19	26	02	09		
E002	TANQUE DE ACERO EMPERNADO 2850-TK-081 PARA A	82	05-Feb-24	09-May-24		09-May-24, E002 TANQUE DE ACE																					
A1000	INICIO	0	05-Feb-24			INICIO, 05-Feb-24																					
A5000	FIN	0		09-May-24	A4110	FIN,																					
E002.1	FABRICACIÓN	38	05-Feb-24	19-Mar-24		19-Mar-24, E002.1 FABRICACIÓN																					
A2000	ELABORACION DE PLANOS DE FABRICACIÓN	7	05-Feb-24	12-Feb-24	A1000	ELABORACION DE PLANOS DE FABRICACIÓN																					
A2010	HABILITADO DE PLANCHAS Y PERFILES	10	13-Feb-24	23-Feb-24	A2000	HABILITADO DE PLANCHAS Y PERFILES																					
A2020	ARMADO DE PANELES, MH Y CONEXIONES	7	24-Feb-24	02-Mar-24	A2010	ARMADO DE PANELES, MH Y CONEXIONES																					
A2030	PREENSAMBLE DE PANELES	4	04-Mar-24	07-Mar-24	A2020	PREENSAMBLE DE PANELES																					
A2040	SOLDEO DE PANELES, MH Y CONEXIONES	7	08-Mar-24	15-Mar-24	A2030	SOLDEO DE PANELES, MH Y CONEXIONES																					
A2050	APLICACIÓN DE PINTURA	3	16-Mar-24	19-Mar-24	A2040	APLICACIÓN DE PINTURA																					
E002.2	TRANSPORTE	5	20-Mar-24	25-Mar-24		25-Mar-24, E002.2 TRANSPORTE																					
A3000	TRANSPORTE DE PARTES DE TANQUE A OBRA	5	20-Mar-24	25-Mar-24	A2050	TRANSPORTE DE PARTES DE TANQUE A OBRA																					
E002.3	MONTAJE	39	26-Mar-24	09-May-24		09-May-24, E002.3 MONTAJE																					
A4000	MOVILIZACION Y OBRAS PRELIMINARES	5	26-Mar-24	30-Mar-24	A3000	MOVILIZACION Y OBRAS PRELIMINARES																					
A4010	MONTAJE DE FONDO (CONSTRUCCIÓN SOLDADA)	6	01-Apr-24	06-Apr-24	A4000	MONTAJE DE FONDO (CONSTRUCCIÓN SOLDADA)																					
A4020	MONTAJE DE ANILLO 4 (CONSTRUCCIÓN EMPERNADA)	1	08-Apr-24	08-Apr-24	A4010	MONTAJE DE ANILLO 4 (CONSTRUCCIÓN EMPERNADA)																					
A4030	MONTAJE DE ANILLO 3 (CONSTRUCCIÓN EMPERNADA)	1	09-Apr-24	09-Apr-24	A4020	MONTAJE DE ANILLO 3 (CONSTRUCCIÓN EMPERNADA)																					
A4040	MONTAJE DE ANILLO 2 (CONSTRUCCIÓN EMPERNADA)	1	10-Apr-24	10-Apr-24	A4030	MONTAJE DE ANILLO 2 (CONSTRUCCIÓN EMPERNADA)																					
A4050	MONTAJE DE ANILLO 1 (CONSTRUCCIÓN SOLDADA)	6	11-Apr-24	17-Apr-24	A4040	MONTAJE DE ANILLO 1 (CONSTRUCCIÓN SOLDADA)																					
A4060	MONTAJE DE MH Y CONEXIONES DEL PRIMER ANILLO	2	18-Apr-24	19-Apr-24	A4050	MONTAJE DE MH Y CONEXIONES DEL PRIMER ANILLO																					
A4070	INSTALACIÓN DE SILLETAS	2	20-Apr-24	22-Apr-24	A4060	INSTALACIÓN DE SILLETAS																					
A4080	PRUEBA HIDROSTÁTICA	5	23-Apr-24	27-Apr-24	A4070	PRUEBA HIDROSTÁTICA																					
A4090	PRUEBA DE VERTICALIDAD Y REDONDEZ (TOPOGRAFÍA)	3	29-Apr-24	01-May-24	A4080	PRUEBA DE VERTICALIDAD Y REDONDEZ																					
A4100	RESANES DE PINTURA	2	02-May-24	03-May-24	A4090	RESANES DE PINTURA																					
A4110	DESMOVLIZACIÓN	5	04-May-24	09-May-24	A4100	DESMOVLIZACIÓN																					

█ Actual Level of Effort
█ Remaining Work
█ Critical Remaining Work
█ Actual Work
█ Critical Remaining Work
◆ Milestone
◆ Milestone
▶ summary

Anexo 8 Cronograma de Construcción del Tanque Soldado 2850-TK-081



█ Actual Level of Effort
 █ Remaining Work
 ◆ Milestone
 █ Critical Remaining Work
 ◆ summary

Anexo 9 Hoja de Datos de Electrodo de Soldadura AWS E71T1-C1

WELD 71T-1

Esta nueva versión del WELD 71T-1 es un alambre tubular para aplicarse en toda posición, diseñado para trabajar con 100%CO₂ ó mezcla 80%Ar/20%CO₂ como gas protector.

El WELD 71T-1 en comparación con alambres tubulares autoprottegidos genera un menor nivel de humos y brinda buenas propiedades frente a la resistencia al impacto a bajas temperaturas.

El cordón de soldadura presenta una buena apariencia y fácil remoción de escoria.

CLASIFICACIÓN ALAMBRE	SFA/AWS A5.20; E71T-1C/1M SFA/AWS A5.36; E71T1-C1/M21A0-CS1; JIS Z 3313; T49J0T1-1CA-U; EN ISO 17632-A; T 46 2 P C1 1 H10
APROBACIONES	ABS; 3YSA H10; BKI; 3YH10SM; BV; S3YM H10; CCS; 3YSH10; CE; EN 13479; CWB; CSA W48-06 E491T-1-H8; DNV; III YMS (H10); FBTS; E71T-1C; GL; 3YH10S; LR; 3YS H10; NAKS/HAKC; 1.2MM; RS; 3Y40MS H10

ANÁLISIS QUÍMICO DE METAL DEPOSITADO [%] (VALORES TÍPICOS)

100% CO ₂					
C	Si	Mn	Ni	P	S
0.05	0.45	1.36	-	0.010	0.011

PROPIEDADES MECÁNICAS DEL METAL DEPOSITADO (VALORES TÍPICOS)

Gas	Resistencia a la tracción [MPa (ksi)]	Límite de Fluencia [MPa (Ksi)]	Elongación en 2" [%]	CHARPY V-NOTCH Temp. Prueba (-20°C)
100% CO ₂	556 (80)	490 (71)	28	100 J , 73 ft-lb

CONSERVACION DEL PRODUCTO	GAS DE PROTECCION	POSICIONES DE SOLDADURA
Mantener en un lugar seco y evitar humedad	100% de CO ₂ ó 80%Ar/ 20%CO ₂ ó 75%Ar/ 25%CO ₂	P, H, Va, Sc. 

PARÁMETROS DE SOLDEO Y DEPOSICIÓN

Diámetro in (mm)	Intensidad de Corriente (A)	Voltage (V)	Tasa de deposición (kg/h)	Stick out (mm)	Alimentación de alambre (m/min)
0.045 (1.2)	250 - 310	27 - 33	4.2 - 5.8	15 - 25	11.5 - 15.9
1/16 (1.6)	200 - 380	27 - 36	3.1 - 5.4	15 - 25	4.8 - 8.9

APLICACIONES

- Construcción
- Maquinaria móvil
- Construcción de barcos
- Construcción de puentes
- Vías férreas
- Automotriz

Anexo 10 Ficha Técnica de Productos sellantes SIKA

SikaLastomer®-95

Cinta de Tripolímero de Isobutileno

Datos Técnicos del Producto

Base química	Butilo
Color	Gris
Gravedad específica (ASTM D792)	1.44 a 1.56
Total de sólidos (ASTM C771)	100 %
Penetración (ASTM D217) cono a 25°C / 300 gr	7.0 a 9.0 mm
Flexibilidad (AAMA 800-92) (ASTM C734)	No grietas o pérdida de la adhesión a -51°C
Alargamiento ¹ (ASTM C908)	1100 % mínimo.
Manchas (ASTM D 925)	No mancha las superficies pintadas o sin pintar
Exudado del excipiente (ASTM C771) 70°C por 21 días	No exudado del excipiente en papel filtro Whatman No. 40
Grietas en plástico acrílicos:	No agrieta los plásticos
Temperatura de aplicación producto	-20°C - 49°C
Resistencia a la tensión (ASTM C 907)	.12 a .14 N/mm ² (falla cohesiva)
Adhesión al pelado (ASTM D 3330- pelado a 90°)	1.4 N/mm min. (falla cohesiva)
Corrosión	No oscurecimiento, caliza o depósitos de sal en el GALVALUME, KYNAR 500®, ZINCALUME®, aluminio, acero aluminizado o metal galvanizado
Resistencia a la intemperie (ASTM G53, exposición de 1,000 hrs.)	Ningún agrietamiento, exudación o pérdida de características plásticas
Prueba estática de agua (MBMA contenedor de hielo)	El sello pasa 8" de agua en un panel interconectado erecto.
Temperatura de servicio permanente	-51°C a 100°C
Vida de almacenamiento por debajo de 27°C	18 meses
Presentación	Rollo de 3/4" x 3/32" x 50 ft Caja x 14 u

¹ 25°C. (77°F)

Descripción

SikaLastomer®-95 es una Cinta de tripolímero de isobutileno que tiene un alto desempeño, cinta de butilo pegajoso la cual está diseñada para pegar a materiales aceitosos como GALVALUME®, KYNAR® 500, acero aluminizado, ZINCALUME®, metal galvanizado, aluminio, metales pintados con fluoruro polivinílico y poliéster siliconizado, vidrio, madera, concreto, plásticos RFV y substratos similares. Su excelente pegajosidad superficial ofrece una adherencia tenaz a estos substratos sin pre-limpieza de la

superficie, aun a bajas temperaturas como -15°C. Donde la extensibilidad y resistencia a la tensión superior son críticas (alargamiento / reforzamiento) en climas cálidos y fríos, use la cinta SikaLastomer® Tripolímero de Isobutileno mas que las cintas de butilo multiusos. SikaLastomer® esta formulado sin cargas de asbesto. SikaLastomer®-84 y 93 contiene un aditivo especial el cual inhibe el espectro de actividad microbiana.

- SikaLastomer®-95 es fabricado de acuerdo con las normas ISO 9001 / 14001 del sistema de

aseguramiento de calidad y con el programa "Responsible Care".

Beneficios del Producto

- Resistente a hongos y moho
- Casi sin olor
- Pintable
- No macha las superficies pintadas o sin pintar.

Áreas de Aplicación

Especialmente desarrollada para sellar traslapes terminales de techumbres con juntas de plegado saliente (SSR) y juntas de traslape para techumbres de edificios de metal, claraboyas, canaletas de



techos, chimeneas, equipos de aire acondicionado, juntas de paredes de cortina y perímetro de áreas alrededor de ventanas y puertas. Diseñada para sellar juntas de traslape exteriores de silos para granos y sellado de la base de losas de concreto. Diseñada también para sellar revestimientos de polietileno y tubos metálicos de alcantarillado. Sellado de juntas de traslape expuestas, exteriores ocultos de aluminio, acero, metales revestidos, madera, rieles de techos y bisagras de puertas en equipos de transporte. Impermeabiliza las juntas de remaches y juntas de traslape en los remolques de camiones y casas móviles. Excelente para sellar entre metales disimilares para impedir la electrolisis.

Resistencia Química

Excelente resistencia al agua, vapor de agua, ozono y alcoholes. Justa resistencia para bases y ácidos débiles (incluyendo jugo de ensilaje) pobre resistencia a solventes alifáticos, aromáticos, cetona y aceites.

Método de Aplicación

Preparación de la superficie

Asesoría sobre aplicaciones específicas están disponibles en el departamento de Servicio Técnico de Sika.

Eliminación

SikaLastomer®-95 puede ser eliminado de herramientas y equipo con algún solvente adecuado.

Cumple con las siguientes Normas

MIL-C-189969B, TIPO II Clase B
TT-C-1796A, Tipo II Clase B
AAMA 804-92 y AAMA 807-92
FDA para embalaje y transporte de comida listado en CFR titulo 21
USDA aprobado para contacto incidental con alimentos
Clase de transporte: compuesto calafateado NOIBN, NMFC #149610, Clase 55

Salud	0
Flamabilidad	1
Reactividad	0
Protección personal	A

Información adicional

Copias de las siguientes publicaciones están disponibles a solicitud:

- Hoja de Seguridad del Producto

Información de Seguridad y Salud

Para información y recomendaciones sobre la correcta manipulación, almacenamiento y eliminación de los productos químicos, los usuarios deberán referirse a la actual Hoja de Seguridad (MSDS) la cual contiene datos de seguridad relacionados a los aspectos físico, ecológicos, toxicológicos y otros datos relacionados a la seguridad.

Limpieza

Disponer de acuerdo con las actuales regulaciones locales, estatales y federales.

Valores Base

Todos los datos técnicos declarados en esta Hoja de Datos del Producto son basados en las pruebas de laboratorio. Los datos medidos reales pueden variar debido a circunstancias más allá de nuestro control.

Nota Legal

Toda la información contenida en este documento y en cualquier otra asesoría proporcionada, fueron dadas de buena fe, basadas en el conocimiento actual y la experiencia de Sika Perú de los productos siempre y cuando hayan sido correctamente almacenados, manejados y aplicados en situaciones normales y de acuerdo a las recomendaciones de Sika Perú. La información es válida únicamente para la(s) aplicación(es) y el (los) producto(s) a los que se hace expresamente referencia. En caso de cambios en los parámetros de la aplicación, como por ejemplo cambios en los sustratos, o en caso de una aplicación diferente, consulte con el Servicio Técnico de Sika Perú previamente a la utilización de los productos Sika. La información aquí

contenida no exonera al usuario de hacer pruebas sobre los productos para la aplicación y la finalidad deseadas. En todo caso referirse siempre a la última versión de la Hoja Técnica del Producto en www.sika.com.pe

Los pedidos son aceptados en conformidad con los términos de nuestras condiciones generales vigentes de venta y suministro



Sika Perú S.A., Centro Industrial "Las Praderas de Lurin " S/N,
MZ "B" Lote 5 y 6 Lurin, Lima – Perú
Tel: (51-1) 618-6060 / Fax: (51-1) 618-6070
E-mail: industria@pe.sika.com / Web: www.pe.sika.com



**“La presente Edición anula y reemplaza la Edición N° 1
la misma que deberá ser destruida”**



Sika Perú S.A., Centro Industrial "Las Praderas de Lurin " S/N,
MZ "B" Lote 5 y 6 Lurin, Lima – Perú
Tel: (51-1) 618-6060 / Fax: (51-1) 618-6070
E-mail: industria@pe.sika.com / Web: www.pe.sika.com



Sika® Primer-206 G+P**Puente de adherencia para varios sustratos**

Hoja de Datos Técnicos del Producto

Base química	Promotor de adherencia pigmentado de base solvente
Color	Negro
Densidad (CQP ¹⁾ 006-3 / ISO 2811-1)	1,0 kg/l aprox.
Viscosidad ²⁾ (CQP 029-3 / ISO 3219)	10 mPas aprox.
Punto de inflamación (CQP 007-1 / ISO 13736)	-4°C (25°F)
Contenido de sólidos	36%
Temperatura de aplicación ³⁾	5°C - 40°C (40°F a 105°F)
Método de aplicación	Brocha, trapo o esponja aplicadora
Rendimiento	50 -150 ml por m ² aprox. Dependiendo de la porosidad del sustrato
Tiempo de evaporación ³⁾	arriba de 15°C 10 min. abajo de 15°C 30 min. Máximo 24 h
Almacenamiento en envase cerrado en vertical	Almacenar en lugar fresco y seco protegido del sol. Por debajo de 25 °C
Vida de almacenamiento	9 meses
Presentaciones	Botella de 250 ml Caja x 8 u Botella de 1 l Caja x 4 u

¹⁾ CQP = Procedimiento de Calidad Corporativo ²⁾ 23°C (73°F) / 50% HR³⁾ En aplicaciones específicas la temperatura y el tiempo de secado pueden ser diferentes**Descripción**

Sika® Primer-206 G+P es un imprimante líquido negro que cura con la humedad, especialmente formulado para el tratamiento de las superficies a unir en el pegado antes de la aplicación de los adhesivos de poliuretano de Sika®. Sika® Primer-206 G+P está fabricado de acuerdo con las normas ISO 9001 / 14001 y el sistema de aseguramiento de calidad y con el programa "Responsible Care".

Áreas de Aplicación

Sika® Primer-206 G+P es usado para mejorar la adhesión en sustratos tales como vidrios, cristales con recubrimiento cerámico (como parabrisas) y superficies pintadas. Sika® Primer-206 G+P también puede ser usado en sustratos tales como plásticos y algunos metales. Este producto está recomendado para profesionales con experiencia. Pruebas sobre los sustratos y condiciones actuales se deberán realizar para asegurar adherencia y compatibilidad con el material.

Método de Aplicación

Las superficies deben estar limpias, secas y libres de rastros de grasa, aceite y polvo. Limpiar la superficie a pegar con Sika® Aktivator usando el método de una primera pasada con un papel o trapo limpio humedecido con Sika® Aktivator y después dar una segunda pasada con trapo o papel seco y dejar secar. Agitar la botella de Sika® Primer-206 G+P muy fuerte hasta que el balón se escuche libremente. Continuar agitando por otro minuto y aplicar una capa delgada y constante con una brocha o aplicador de espuma.

La temperatura ideal de aplicación y de la superficie es entre 15°C y 25°C. (60°F a 75°F). El rendimiento y método de aplicación depende de la



naturaleza específica del sustrato y el proceso de manufactura. Sika® Primer-206 G+P debe aplicarse una sola vez. Se debe cuidar que una sola aplicación deje un recubrimiento adecuado. Cerrar con fuerza el contenedor inmediatamente después de usarse.

Nota importante

Si el Sika® Primer-206 G+P es usado debajo de 5°C es necesario realizar pruebas bajo estas condiciones.

El Sika® Primer-206 G+P es un sistema que reacciona a la humedad. Con la finalidad de mantener la calidad del producto es importante cerrar el envase adecuadamente después de utilizarlo. Una vez que la preparación de la superficie ha sido completada se deberá enroscar la tapa y cerrar el envase. Desechar el producto aprox. un mes después de abrirlo si se utiliza frecuentemente o después de 2 meses en caso de usarlo con poca frecuencia. Para empaques de 100 ml. o más pequeños desecharlos después de 2 semanas.

Desechar cualquier primer que esté gelado, separado o decantado.

Información Adicional

Ediciones de las instrucciones de trabajo para una aplicación definida pueden estar contenidas en esta Hoja de Datos del Producto

Copias de las siguientes publicaciones están disponibles a solicitud:

- Hoja de Seguridad del Producto
- Tabla de pretratamiento Sika

Valores Base

Todos los datos técnicos declarados en esta Hoja de Datos del Producto son basados en las pruebas de laboratorio. Los datos medidos reales pueden variar debido a circunstancias más allá de nuestro control.

Información sobre seguridad y salud

Para información y asesoramiento referente a la transportación y, manejo almacenamiento y desecho de productos químicos los usuarios debe referirse la Hoja de Datos de Seguridad actual la cual contiene datos ecológicos, físicos y toxicológicos además de otros datos de seguridad relacionados.

Nota Legal

Toda la información contenida en este documento y en cualquier otra asesoría proporcionada, fueron dadas de buena fe, basadas en el conocimiento actual y la experiencia de Sika Perú de los productos siempre y cuando hayan sido correctamente almacenados, manejados y aplicados en situaciones normales y de acuerdo a las recomendaciones de Sika Perú. La información es válida únicamente para la(s) aplicación(es) y el (los) producto(s) a los que se hace expresamente referencia. En caso de cambios en los parámetros de la aplicación, como por ejemplo cambios en los sustratos, o en caso de una aplicación diferente, consulte con el Servicio Técnico de Sika Perú previamente a la utilización de los productos Sika. La información aquí contenida no exonera al usuario de hacer pruebas sobre los productos para la aplicación y la finalidad deseadas. En todo caso referirse siempre a la última versión de la Hoja Técnica del Producto en www.sika.com.pe Los pedidos son aceptados en conformidad con los términos de nuestras condiciones generales vigentes de venta y suministro.

“La presente Edición anula y reemplaza la Edición N° 4 la misma que deberá ser destruida”

Sika Perú S.A., Centro Industrial "Las Praderas de Lurin " S/N,
MZ "B" Lote 5 y 6 Lurin, Lima – Perú
Tel: (51-1) 618-6060 / Fax: (51-1) 618-6070
E-mail: industria@pe.sika.com / Web: www.pe.sika.com



HOJA DE DATOS DEL PRODUCTO

Sikaflex® PRO-3

SELLANTE ELÁSTICO DE JUNTAS CON RESISTENCIAS ESPECIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN Y MINERÍA

DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

Sikaflex® PRO-3 es un sellante elástico de juntas de 1 componente a base de Poliuretano, curado por humedad, con alta resistencia mecánica y química.

USOS

Sikaflex® PRO-3 está diseñado para juntas con movimiento y conexión en pisos, áreas peatonales y de tránsito (por ejemplo: estacionamientos, estaciones de mantenimiento, pisos industriales), almacenes y áreas de producción, aplicaciones en la industria alimentaria, plantas de tratamiento de aguas residuales, construcción de túneles y salas limpias en hospitales.

CARACTERÍSTICAS / VENTAJAS

- Capacidad de movimiento de $\pm 35\%$ (ASTM C 719).
- Muy alta resistencia mecánica y química.
- Curado sin burbujas, tecnología i-Cure.
- Buena adherencia a la mayoría de los materiales de construcción.
- Sin disolventes
- Muy bajas emisiones

INFORMACIÓN AMBIENTAL

- EMICODE EC1^{PLUS} R
- LEED v4 EQc 2: Low-Emitting Materials

CERTIFICADOS / NORMAS

- EN 15651-4 PW EXT-INT CC 25 HM
- ISO 11600 F 25 HM
- ASTM C 920, class 35
- ISEGA Certificado de uso del área de alimentos
- BS 6920 (contacto de agua potable)
- ASTM C 1248 sin manchas en el mármol
- ISO 16938-1 sin manchas en el mármol
- CSM TVOC tested (ISO-6.8)
- CSM resistencia biológica: Muy bueno
- Probado de acuerdo con los principios de DIBt para la exposición a aguas residuales
- Resistencia contra diesel y combustible para aviones según las pautas DIBt



INFORMACIÓN DEL PRODUCTO

Base Química	Tecnología i-Cure® poliuretano
Empaques	Manga x 600 ml, Caja x 20 mangas.
Color	Gris
Vida Útil	Sikaflex® PRO-3 tiene una vida útil de 15 meses a partir de la fecha de producción, si se almacena en un embalaje original, sellado y sin daños, y si se cumplen las condiciones de almacenamiento.
Condiciones de Almacenamiento	Sikaflex® PRO-3 debe almacenarse en condiciones secas, donde esté protegido de la luz solar directa ya temperaturas entre +5 ° C y +25 ° C.
Densidad	~1.35 kg/l (ISO 1183-1)

INFORMACIÓN TÉCNICA

Dureza Shore A	~37 (después de 28 días)	(ISO 868)
Módulo de Tracción Secante	~0.60 N/mm ² at 100 % elongación (+23 °C) ~1.10 N/mm ² at 100 % elongación (-20 °C)	(ISO 8339)
Elongación de Rotura	~600 %	(ISO 37)
Recuperación Elástica	~90 %	(ISO 7389)
Resistencia a la Propagación del Desgarrro	~8.0 N/mm	(ISO 34)
Capacidad de Movimiento	± 25 % ± 35 %	(ISO 9047) (ASTM C 719)
Resistencia Química	Sikaflex® PRO-3 es resistente al agua, agua de mar, agua residual, a los álcalis diluidos, a la mezcla de cemento y al detergente a base de agua, al diesel y combustibles para aviones según las pautas DIBt. Sikaflex® PRO-3 no es resistente a los alcoholes, ácidos orgánicos y álcalis concentradas.	
Temperatura de Servicio	-40 °C to +70 °C	

Diseño de Junta

El ancho de la junta debe estar diseñado para adaptarse al movimiento de la junta requerido y la capacidad de movimiento del sellador. El ancho de la junta debe ser ≥ 10 mm y ≤ 40 mm. Se debe mantener una relación de ancho a profundidad de 1: 0.8 (para excepciones, consulte la tabla a continuación).

Anchos de unión estándar para uniones entre elementos de hormigón para aplicaciones interiores:

Distancia articular [m]	Min. ancho de la junta [mm]	Min. Profundidad de la junta [mm]
2	10	10
4	10	10
6	10	10
8	15	12
10	18	15

Anchos de unión estándar para uniones entre elementos de concreto para aplicaciones exteriores:

Distancia articular [m]	Min. ancho de la junta [mm]	Min. Profundidad de la junta [mm]
2	10	10
4	15	12
6	20	17
8	28	22
10	35	28

Todas las juntas deben estar correctamente diseñadas y dimensionadas de acuerdo con las normas pertinentes, antes de su construcción. La base para el cálculo de los anchos de junta necesarios son el tipo de estructura y sus dimensiones, los valores técnicos de los materiales de construcción adyacentes y el material de sellado de juntas, así como la exposición específica del edificio y las juntas.

Para juntas más grandes, póngase en contacto con nuestro Departamento de Servicio Técnico.

INFORMACIÓN DE APLICACIÓN

Consumo	Rendimiento en [metros] por salchicha de 600 ml	Ancho de la junta [mm]	Profundidad de la junta [mm]
	6	10	10
	3.3	15	12
	1.9	20	16
	1.2	25	20
	0.8	30	24

Material de Apoyo	Utilice Backer Rod o Cordón de respaldo, espuma de polietileno de celda cerrada.		
Tixotropía	0 mm (20 mm, 50 °C)		(ISO 7390)
Temperatura del Ambiente	+5 °C to +40 °C, min. 3 °C temperatura por encima del punto de rocío		
Temperatura del Sustrato	+5 °C to +40 °C		
Velocidad de Curado	~3.5 mm/24 horas (23 °C / 50 % r.h.)		(CQP 049-2)
Tiempo de Formación de Piel	~60 minutos (23 °C / 50 % r.h.)		(CQP 019-1)
Tiempo de Ejecución	~50 minutos (23 °C / 50 % r.h.)		(CQP 019-2)

INSTRUCCIONES DE APLICACIÓN

PREPARACIÓN DEL SUSTRATO

El sustrato debe estar limpio, seco, sano y homogéneo, libre de aceites, grasa, polvo y partículas sueltas o desprendibles. Sikaflex® PRO-3 se adhiere sin imprimantes y / o activadores. Sin embargo, para una adhesión óptima y aplicaciones críticas de alto rendimiento, como en edificios de varios pisos, juntas altamente estresadas, exposición a condiciones climáticas extremas o inmersión en agua, se deben seguir los siguientes procedimientos de imprimación y / o tratamiento previo:

Sustratos no porosos

El aluminio, aluminio anodizado, el acero inoxidable, el acero galvanizado, los metales recubiertos con pintura en polvo o las baldosas esmaltadas se deben limpiar y tratar previamente con Sika® Aktivator-205, que se limpia con una toalla limpia. Antes de sellar, deje un tiempo de curado de > 15 minutos (<6 horas). Otros metales, como el cobre, el latón y el titanio-zinc, también deben limpiarse y tratarse previamente con Sika® Aktivator-205, con una toalla limpia. Después del tiempo de curado necesario, use un cepillo para aplicar Sika® Primer-429 PE y permita un tiempo de curado adicional de > 30 minutos (<8 horas) antes de sellar las juntas. El PVC debe limpiarse y tratarse previamente con Sika® Primer-215 aplicado con un cepillo. Antes de sellar, deje un tiempo de curado de > 30 minutos (<8 horas).

Sustratos porosos

Concreto, morteros y ladrillos a base de cemento, concreto aireado deben imprimarse utilizando Sika® Primer-429 PE aplicado con un cepillo. Antes de sellar, deje un tiempo de curado de > 30 minutos (<8 horas). Para obtener consejos e instrucciones más detalladas, comuníquese con el Departamento de Servicios Técnicos de Sika.

Nota: Los imprimantes son promotores de adherencia. No son un sustituto para la limpieza correcta de una superficie, ni mejoran significativamente la resistencia de la superficie.

MÉTODO DE APLICACIÓN / HERRAMIENTAS

Sikaflex® PRO-3 se suministra listo para usar. Después de la preparación de sustrato necesaria, inserte una barra de respaldo adecuada o Backer Rod a la profundidad requerida y aplique cualquier imprimación si es necesario. Inserte la manga de Sikaflex PRO 3 en la pistola MK6 Construcción y extruya Sikaflex® PRO-3 en la junta, asegurándose de que entre en contacto total con los lados de la junta y evite quede aire atrapado. El sellante Sikaflex® PRO-3 debe estar firmemente instalado contra los lados de la junta para asegurar una adhesión adecuada. Se recomienda usar cinta de enmascarar donde se requieren líneas de unión exactas o líneas limpias. Retire la cinta antes de secado al tacto. Utilice un agente de herramientas compatible (por ejemplo, Sika® Tooling Agent N) para suavizar las superficies de las juntas. No utilice productos de herramientas que contengan disolventes o detergentes.

LIMPIEZA DE HERRAMIENTAS

Limpie todas las herramientas y el equipo de aplicación inmediatamente después de su uso con Sika® Remover-208 y / o Sika® TopClean T. Una vez curado, el material residual solo se puede eliminar mecánicamente.

DOCUMENTOS ADICIONALES

- Hoja de datos de seguridad (SDS)
- Tabla de tratamiento previo Sellado y unión
- Declaración de método de sellado de juntas
- Declaración del método de mantenimiento, limpieza y renovación de juntas

LIMITACIONES

- Sikaflex® PRO-3 Se puede pintar con la mayoría de los sistemas de pintura de revestimiento de fachada convencionales. Sin embargo, las pinturas deben probarse primero para garantizar la compatibilidad mediante la realización de ensayos preliminares (por ejemplo, de acuerdo con el documento técnico de la ISO: Capacidad de pintura y compatibilidad de la pintura de los sellantes). Los mejores resultados de pintado se obtienen cuando se permite que el sellante se cure completamente. Nota: los sistemas de pintura no flexibles pueden dañar la elasticidad del sellador y provocar el agrietamiento de la película de pintura.
- Las variaciones de color pueden ocurrir debido a la exposición a sustancias químicas, altas temperaturas y / o radiación UV (especialmente para el color blanco). Sin embargo, un cambio en el color es puramente estético y no influye negativamente en el rendimiento técnico o la durabilidad del producto.
- Antes de usar Sikaflex® PRO-3 en piedra natural, comuníquese con nuestro Departamento de Servicio Técnico.
- No use Sikaflex® PRO-3 en sustratos bituminosos, caucho natural, caucho EPDM o en materiales de construcción que puedan exudar aceites, plastificantes o disolventes que puedan atacar el sellador.
- No use Sikaflex® PRO-3 para sellar juntas en y alrededor de piscinas.
- No exponga Sikaflex® PRO-3 a productos que contengan alcohol ya que esto puede interferir con la reacción de curado.

NOTAS

Todos los datos técnicos recogidos en esta hoja técnica se basan en ensayos de laboratorio. Las medidas de los datos actuales pueden variar por circunstancias fuera de nuestro control.

RESTRICCIONES LOCALES

Nótese que el desempeño del producto puede variar dependiendo de cada país. Por favor, consulte la hoja técnica local correspondiente para la exacta descripción de los campos de aplicación del producto.

ECOLOGÍA, SALUD Y SEGURIDAD

Para información y asesoría referente al transporte, manejo, almacenamiento y disposición de productos químicos, los usuarios deben consultar la Hoja de Seguridad del Material actual, la cual contiene información médica, ecológica, toxicológica y otras relacionadas con la seguridad.

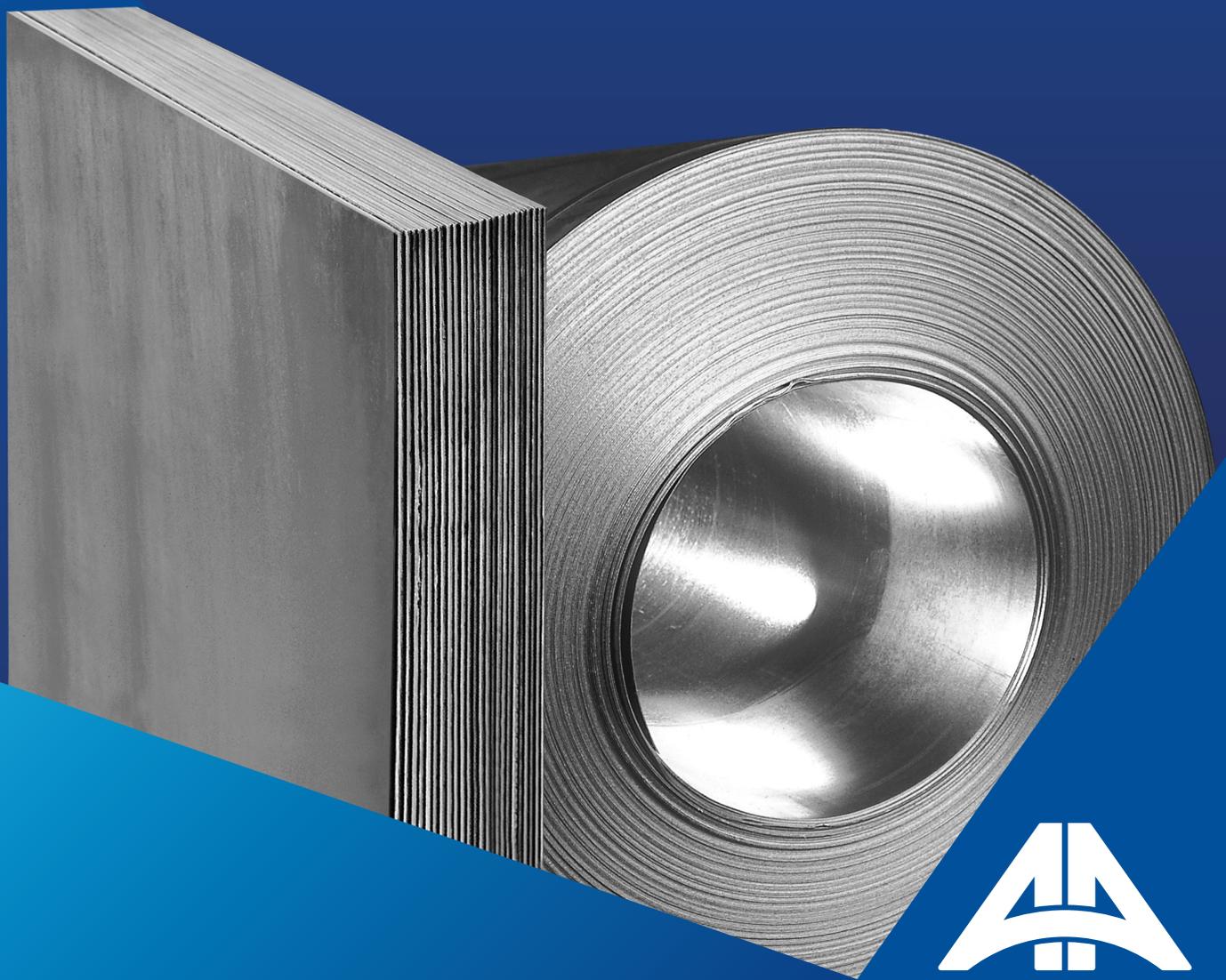
NOTAS LEGALES

La información y en particular las recomendaciones sobre la aplicación y el uso final de los productos Sika son proporcionadas de buena fe, en base al conocimiento y experiencia actuales en Sika respecto a sus productos, siempre y cuando éstos sean adecuadamente almacenados, manipulados y transportados; así como aplicados en condiciones normales. En la práctica, las diferencias en los materiales, sustratos y condiciones de la obra en donde se aplicarán los productos Sika son tan particulares que de esta información, de alguna recomendación escrita o de algún asesoramiento técnico, no se puede deducir ninguna garantía respecto a la comercialización o adaptabilidad del producto a una finalidad particular, así como ninguna responsabilidad contractual. Los derechos de propiedad de las terceras partes deben ser respetados. Todos los pedidos aceptados por Sika Perú S.A.C. están sujetos a Cláusulas Generales de Contratación para la Venta de Productos de Sika Perú S.A.C. Los usuarios siempre deben remitirse a la última edición de la Hojas Técnicas de los productos; cuyas copias se entregarán a solicitud del interesado o a las que pueden acceder en Internet a través de nuestra página web www.sika.com.pe. La presente edición anula y reemplaza la edición anterior, misma que deberá ser destruida.

Anexo 11 Ficha Técnica de Planchas de Acero Estructural de Aceros Arequipa

Laminados en Caliente

BOBINAS Y PLANCHAS LAC



**ACEROS
AREQUIPA**

**LA SEGURIDAD
DE UN FIERRAZO**

Laminados en Caliente

BOBINAS Y PLANCHAS LAC

DENOMINACIÓN:
BLAC A36, PLAC A36.

DESCRIPCIÓN:
Bobinas y Planchas de acero laminadas en caliente con bordes de laminación.

USOS:
Se usa en la fabricación de tubos, perfiles plegados, asimismo luego de su corte en planchas, se emplea en la construcción de silos, carrocerías y construcción en general.

NORMAS TÉCNICAS:

DESIGNACIÓN	NORMAS TÉCNICAS
Estructural	ASTM A36 y Dimensiones según JIS G3193-2008

COMPOSICIÓN QUÍMICA (%):

CALIDAD ASTM	%C	%Mn MÁX.	%P MÁX.	%S MÁX.	Si MÁX.
A36	0.25 máx.	-	0.040	0.050	0.40

DIMENSIONES NOMINALES:

BOBINAS LAMINADAS EN CALIENTE (BLAC A36)
1.5 x 1200 mm
1.8 x 1200 mm
1.9 x 1200 mm
2.0 x 1200 mm
2.2 x 1200 mm
2.3 x 1200 mm
2.4 x 1200 mm
2.5 x 1200 mm
2.9 x 1200 mm
4.4 x 1200 mm
5.9 x 1200 mm

PLANCHAS LAMINADAS EN CALIENTE (PLAC A36):

DIMENSIONES (mm)	PESO TEÓRICO EN kg/plancha				TOLERANCIA EN EL ESPESOR (mm)	ESPESOR EQUIVALENTE Ó APROXIMADO
	1,200 x 2,400 (mm)	1,200 x 6,000 (mm)	1,500 x 6,000 (mm)	2,400 x 6,000 (mm)		
1.5*	33.91				±0.18	1/16"
1.8*	40.69				±0.19	9/128"
1.9*	42.96				±0.19	9/128"
2.0*	45.22	113.04			±0.20	5/64"
2.2*	49.74	124.34			±0.20	2/23"
2.3*	52	130			±0.20	1/11"
2.4*	54.26	135.65			±0.20	3/32"
2.5*	56.52	141.3			±0.22	3/32"
2.9*	65.56	163.91			±0.22	1/8"
3.0*			211.95		±0.22	1/8"
3.9*	88.17	220.43			±0.24	5/32"
4.0*			282.6		±0.45	5/32"
4.4*	99.48	248.69			±0.45	3/16"
4.5*			317.93		±0.45	3/16"
4.8*			339.12		±0.45	3/16"
5.0*				565.20	±0.50	3/16"
5.9*	133.39	333.47			±0.50	1/4"
6	135.65	339.12	423.9		0.8/0.3	1/4"
6.35	143.56	358.9			0.8/0.3	1/4"
6.4			452.16	723.46	0.8/0.3	1/4"
8	180.86	452.16	565.2	904.32	0.8/0.3	5/16"
9	203.47		635.85	1,017.36	0.8/0.3	3/8"
9.5			671.18	1,073.88	0.8/0.3	3/8"
12	271.3		847.8	1,356.48	0.8/0.3	1/2"
12.5			883.13	1,413.00	0.8/0.3	1/2"
16	361.73		1,130.40	1,808.64	0.8/0.3	5/8"
19			1,342.35	2,147.76	0.8/0.3	3/4"
20	452.16			2,260.80	0.9/0.3	3/4"
22			1,554.30	2,486.88	0.9/0.3	7/8"
25	565.2		1,766.25	2,826.00	1.0/0.3	1"
32	723.46		2,260.80	3,617.28	1.3/0.3	1 1/4"
38	859.1		2,684.70	4,295.52	1.5/0.3	1 1/2"
50	1,130.40		3,532.50	5,652.00	1.8/0.3	2"
63	1,424.30		4,450.95	7,121.52	2.4/0.3	2 1/2"
75	1,695.60		5,298.75	8,478.00	2.8/0.3	3"
100	2,260.80		7,065.00	11,304.00	3.5/0.3	4"
125			8,831.25	14,130.00	3.5/0.3	5"
150	3,391.20		10,597.50	16,956.00	3.5/0.3	6"

(*) Dimensiones bajo norma JIS G3193

QCQA01-F202/04/SEP 20 - QCQA01-F201/05/SEP 20

Previo acuerdo se comercializa en otras medidas.

Laminados en Caliente

BOBINAS Y PLANCHAS LAC

PROPIEDADES MECÁNICAS:

CALIDAD	NORMA	LÍMITE DE FLUENCIA MPa (kg/mm ²)	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN MPa (kg/mm ²)	ALARGAMIENTO EN 200 mm (%)	DOBLADO A 180°
Estructural	ASTM A36	250 mín. (25.50 mín.)	400 - 550 (40.80 - 56.10)	20 mín.	Sin fisura (*)
Estructural	ASTM A1011/A1011M SS36 Tipo 2	250 mín. (25.50 mín.)	400 - 550 (40.80 - 56.10)	16 mín.	Sin fisura (*)
Estructural	ASTM A1011/A1011M Grado 36 Tipo 2	250 mín. (25.50 mín.)	400 - 550 (40.80 - 56.10)	18 mín.	Sin fisura (*)

TOLERANCIAS DIMENSIONALES:

Según JIS G3193-80.

Según ASTM A6 para espesores mayores o iguales a 6mm.

QCQA01-F202/04/SEP 20 - QCQA01-F201/05/SEP 20



ISO 9001:2015

CERTIFICATE N° 57219



ISO 14001:2015

CERTIFICATE N° 57220



ISO 45001:2018

CERTIFICATE N° 57221

PERÚ

LIMA: Av. Antonio Miró Quesada N.° 425, piso 17, Magdalena del Mar. Tel. (51-01) 517 1800.

PISCO: Panamericana Sur, Km. 240, Ica. Tel. (51-056) 58 0830.

AREQUIPA: Variante de Uchumayo Km 5.5, Cerro Colorado, Arequipa. Tel. (51-01) 517 1800.

BOLIVIA

LA PAZ: Calle E - Lote 14, manzano A-08, Urbanización Cervecería Boliviana Nacional - Bellavista Viacha. Tel. (591) 75555819/77641658.

SANTA CRUZ: Urb. Parque Industrial Latinoamericano, Unidad Industrial UI 06, Mz. 1, lote 4 - Warnes. Tel. (591) 75555819/77641656.

COCHABAMBA: Calle Tte. Monasterios S/N Zona la Maica - Cochabamba. Tel. (591) 75555819/69417963. E-mail: contactobolivia@caa.com.bo

CHILE

ANTOFAGASTA: Ruta A-26 KM 2.4, El Salar. Tel.: (56) 939249279. E-mail: contacto@acerosamerica.com

Encuétranos en:

www.acerosarequipa.com

**ACEROS
AREQUIPA**

Anexo 12 Ficha Técnica de Serie MCA de roladoras marca DAVI

Anexo Técnico MCA

**Roladora de 4 rodillos, DAVI MCA Tecnología DIGITAL,
totalmente Hidráulica, Sincronizada SERVO-TRONIC**



RESUMEN

PERFIL DE LA COMPAÑIA.....	3
EL PROCESO DE ROLADO CON MÁQUINA DE 4 RODILLOS	4
LOS BENEFICIOS DE LA TECNOLOGIA DE 4 RODILLOS – EL CONCEPTO	5
LA ERA “DIGITAL” DE LA TECNOLOGIA DAVI “ROLL-BY-WIRE®”	6
COMPONENTES PRINCIPALES.....	7
LAS MAS RICAS CARACTERISTICAS COMO ESTANDAR.....	8
DAVI 4 RODILLOS – CARACTERISTICAS TECNICAS	10
GUIAS PLANETARIAS: LA INOVACIÓN / MUCHO MÁS RESISTENTE Y RIGIDA	11
LAS GUIAS LINEARES: EL PASADO !	12
LAS VENTAJAS DE LAS GUIAS PLANETARIAS DAVI: “BRAZO DE PALANCA”	13
LAS VENTAJAS DE LAS GUIAS PLANETARIAS DAVI: EL DISEÑO DE LAS ESTRUCTURAS “MAS CERRADO”.....	14
MAS VENTAJAS DE LAS GUIAS PLANETARIAS DAVI: ANILLOS DE DIAMETRO MAS ESTRECHO	15
GUIAS PLANETARIAS DAVI: SIN FRICCION - SIN LUBRICACION - A PRUEBA DE CALAMINA	16
VENTAJAS DE LAS GUIAS PLANETARIAS DAVI: CONOS DE DIAMETRO MENOR.....	18
MAS VENTAJAS GRACIAS A LAS NUEVAS TECNOLOGIAS DAVI - RODAMIENTOS AUTO-ALINEABLES	19
GALARDONADOS POR NASA.....	20



PERFIL DE LA COMPAÑÍA

Made in Italy: Calidad, High-Tech y ... Pasión desde DAVI: el MAYOR fabricante de roladoras en el mundo



Todas las roladoras DAVI son construidas según los estándares de calidad ISO 9001, totalmente diseñadas, fabricadas y montadas en Italia.

"Made in Italy" hoy significa productos de calidad producidos con un alto nivel de características de valor-añadido, y fabricados con grande orgullo y experiencia con una continua pasión para construir solamente lo mejor (en el área donde se ubica DAVI están también Ferrari, Maserati, Lamborghini, Ducati: es el Reino de la Alta Tecnología Italiana).

DAVI construye las principales componentes de sus máquinas a través de proveedores que son certificados ISO 9001; expertos y líderes en su propio sector de competencia (nadie puede garantizar un know-how y una calidad específica mayor). Esto asegura la más alta calidad disponible en la industria, y permite a DAVI de ofrecer máquinas únicas y fiables.



Las máquinas DAVI son construidas, controladas y probadas según los estrictos controles ISO de la cadena de proveedores, garantizadas por DAVI, certificada ISO 9001:2008 (hoy, un "must"

en la industria para cualquier comprador de equipos industriales productivos).

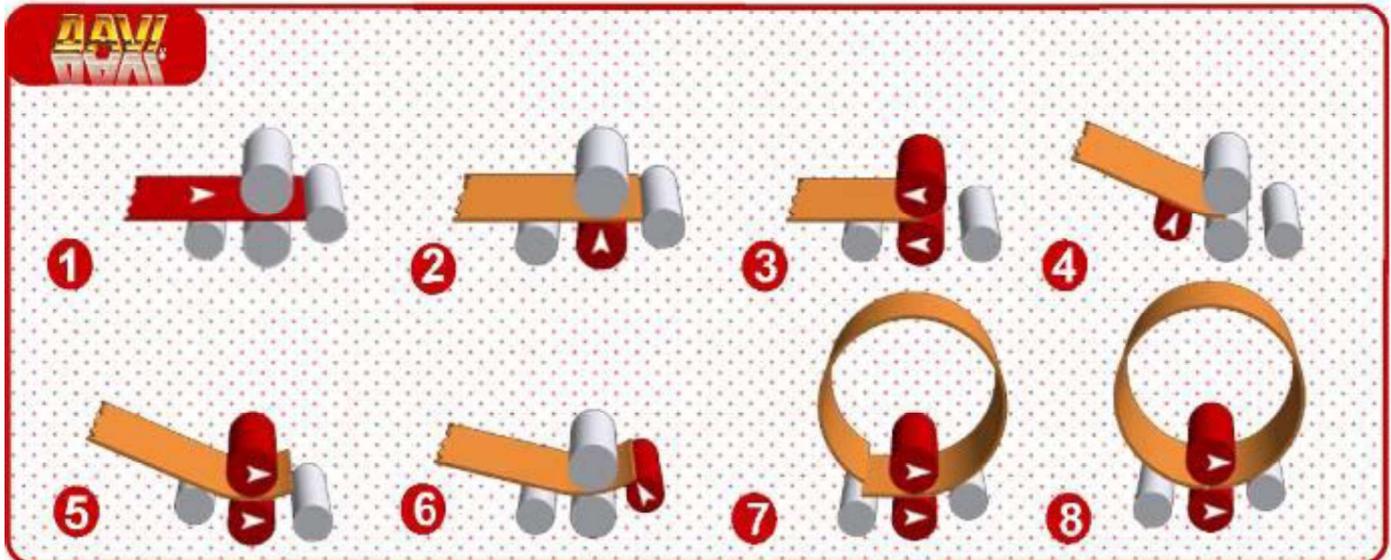


DAVI produce:

- Roladoras de 4 rodillos, para aplicaciones pesadas de 50-60 hasta 150-200 mm de espesor
- Roladoras de 3 rodillos, de ejes variables, "roladora-prensa", para aplicaciones de 50-60 hasta 400 mm de espesor
- Roladoras de 3 rodillos, piramidal, para aplicaciones pesadas desde 30-40 hasta 300 mm de espesor
- Roladoras de 4 rodillos, medias y pequeñas, equipadas con CNC, muy productivas, también con líneas automatizadas, desde 2-4 hasta 40-50 mm de espesor
- Líneas para rolado de Torres Eólicas con roladora de 4 rodillos y Línea de Alta Productividad®, de 10-15 hasta 80-100 mm de espesor
- Líneas para el Rolado de Torres Eólicas Off-shore, con roladora de 4 rodillos y Línea de Alta Productividad®, de 60-80 hasta 120-150 mm de espesor
- Roladoras para los sectores Aeronáuticos, Aeroespacial y Helicópteros, hasta 12 m de ancho
- Roladoras para Astilleros, hasta 15 m de ancho
- Líneas para el Rolado de Tubos, hasta 12 m de ancho
- Curvadoras de Perfiles de grande capacidad, de 100 hasta 620 mm de diámetro del eje



El proceso de rolado con máquina de 4 rodillos



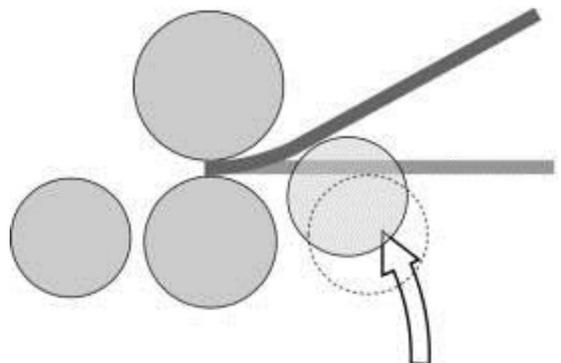
1. Chapa escuadrada positivamente contra el rodillo opuesto a la entrada.
2. Sujeción de la chapa (en las maquinas DAVI, a un nivel de precios pre-ajustado y seguro).
3. La chapa es traccionada atras lo mas posible entre el rodillo superior y el inferior, para reducir a lo minimo el borde recto.
4. El rodillo lateral mueve arriba, para pre-curvar el borde de la chapa (posicion de pre-curvado).
5. Los rodillos giran, para traccionar la chapa y pre-curvar el primero borde.
6. Inversion del rodillo lateral (abajo lo de entrada; arriba lo de salida).
7. Rotacion de los rodillos, traccionando la chapa para rolar completamente la chapa al diametro deseado.
8. El pre-curvado del segundo borde es una caracteristica automatica del final del proceso.

PRE- CURVADO (borde recto)

Que influencia el borde recto en un cilindro rolado ? El borde recto (pre-curvado) depende casi solamente de la carga generada por el rodillo inferior de sujecion.

El largo del borde recto NO depende de la distancia entre el rodillo lateral y el punto de sujecion, o de la geometria mas abierta o mas cerrada de los rodillos laterales, comparada al centro de la maquina (el eje del los dos rodillos de sujecion).

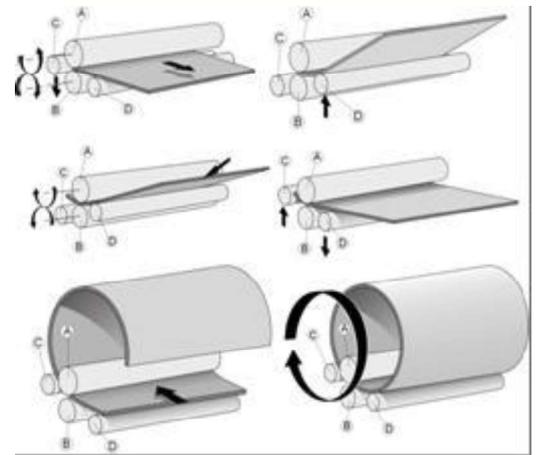
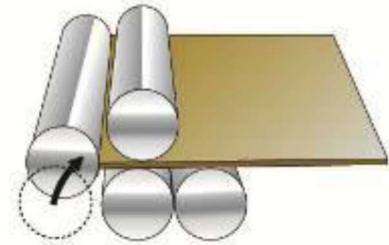
Mayor es la carga que puede ser aplicada al rodillo inferior de sujecion, independientemente de donde este rodillo lateral curva la chapa, menor resultara el borde recto (mejor pre-curvado).



LOS BENEFICIOS DE LA TECNOLOGIA DE 4 RODILLOS – EL CONCEPTO

La roladora de 4 rodillos es la configuración mas productiva disponible en el mercado, ideal para volúmenes de producción grandes, también en modo automático con uso de CNC. Esta tecnología avanzada incorpora muchos beneficios, como:

- **La chapa es introducida horizontalmente** (y no de abajo como en las máquinas piramidales de 3 rodillos).
- **La chapa es escuadrada al instante** contra el rodillo opuesto a la entrada (reduciendo el riesgo de bordes desalineados).
- **Requiere espacio solamente de un lado** de la máquina, donde la chapa es introducida.
- **Borde recto muy reducido** (debido al mejor pre-curvado) gracias a la posibilidad de posicionar el borde en la tangente de los rodillos de sujeción.
- Es la **máquina mas rápida en rolar**, porque se requiere solamente una posición para cada rodillo de rolado.
- **El cilindro completo se puede terminar en una pasada** (dentro de una capacidad adecuada), incluyendo el pre-curvado de los bordes
 - No hay necesidad de pre-curvar ambos los bordes antes de rolar, como requerido en las máquinas de 3 rodillos.
 - El pre-curvado del segundo borde es hecho como si fuera en "automático" al final del ciclo
 - No hay necesidad de sacar, girar y re-introducir la chapa como en el caso de las máquinas de 3 rodillos asimétricas.
- **Las mas adecuada para uso con CNC**, porque la chapa esta bajo mejor control, sujeta entre rodillo superior e inferior, hasta que la pieza esta terminada (deslizamiento y cambios de posición son virtualmente eliminados).
- La roladora de 4 rodillos puede ser **50-80% mas rápida y mas productiva** de una roladora de 3 rodillos de cualquier tipo.



La tecnología de 4 rodillos es recomendada para quien:

- **Quiere operar a través de CNC, dependiendo menos de las habilidades del operador**
- Busca calidad mas constante en los productos rolados.
- Busca alta productividad y aumento de las ganancias.
- Requiere buena precisión y mejoras en calidad.
- Necesita equipo de movimentación para chapas mayores, y también esta preocupado por razones de seguridad o de producción.
- Es nuevo en rolado, porque es la roladora mas facil de operar.

LA ERA "DIGITAL" DE LA TECNOLOGIA DAVI "ROLL-BY-WIRE®"

Que queremos decir con "Roll-by-Wire" / Cuales son las ventajas para nuestros clientes

DAVI ha cambiado el sistema de cableado de las roladoras (como la tecnología "fly-by-wire" en los sectores aerospacial y automotivo) introduciendo el "Roll-by-Wire" (porque "rolling" es el trabajo de estas máquinas). Quiere decir manejar todo el sistema por medio de señales digitales en lugar de

muchos reles y contactores como en el pasado. La tecnología digital es mucho más rápida y confiable. Las ventajas son:



Roll-by-Wire: el sistema hidraulico mas simple

Acción	Resultado/ventaja
Reducción de componentes	= Reducción de potenciales fallas
Diseño muy compacto	= Mejor accesibilidad para manutención
Amigable para el usuario	= Facil de manejar independientemente de las capacidades del operador
Mas precisión	= Debido al uso de los señales "digitales"
Sistema de alto desempeño	= Los señales digitales son más rapidos de la comunicación tradicional entre PLC, reles y contactores estandar. Esta situación causa ciclo de producción más rapido y MÁS productividad.

SERVO-TRONIC control sincronizado del paralelismo de los rodillos (ABS Electronico - Automatic Balancing System):

Este nuevo sistema hidraulico DAVI (Patentado) consiste en un sistema dual de paralelismo independiente pero integrado, que asegura menos tiempos de parada gracias a la confiabilidad de la hidraulica, tambien en caso de una falla electronica.

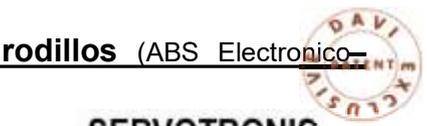
El primo sistema de paralelismo es hidraulico:

Dos bombas co-axiales identicas e independientes alimentan cada de los dos cilindros que mueven los rodillos laterales, moviendolos con la misma carrera para mantenerlos paralelos. Este sistema es de facil manutención y confiable tambien en caso de ambientes de trabajo ásperos, utilizando electro-valvulas de primera calidad (Rexroth, Parker or Vickers)

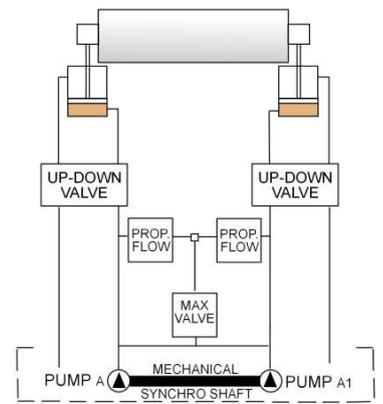
El segundo sistema de paralelismo es asistido por la hidraulica y tiene la precisión absoluta de la electronica. Tan pronto uno (A) de los dos cilindros se vuelve más lento, el sistema "derrama" gotas de aceite del cilindro más rapido (B), frenandolo, y manteniendolo al mismo nivel del cilindro más lento (A). El sistema digital DAVI "Roll-by-Wire" asegura confiabilidad total, tambien en los ambientes "dificiles" de las plantas metalurgicas.

Servo-Tronic es el sistema de paralelismo mas preciso y confiable nunca instalado, más confiable de los sistemas con solamente un flujo sincronizado por dos valvulas, que frenan el cilindro mas rapido apretando el flujo y subiendo sin necesidad la presión hidraulica, a través un divisor de flujo o a través una barra de torsión mecánica.

Este sistema de alta tecnología y muy avanzado que supera de mucho los otros, es muy facil para manutención y es el mas confiable sistema dual de paralelismo en el mercado.

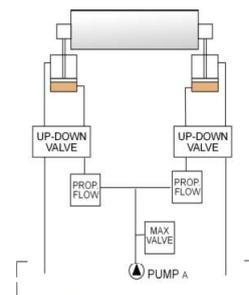


SERVOTRONIC Automatic Balancing System



ServoTronic: flujo dual, generado por dos bombas mecanicas co-axiales independientes, identicas, que otorgan el mismo flujo de aceite

nunca



Sistema de paralelismo obsoleto: un solo flujo, sincronizado por dos valvulas que aprietan el flujo del cilindro más rapido (la presión sube)



COMPONENTES PRINCIPALES

MARCAS DE PRIMERA CLASE:

- Rodamientos Auto-Alineables: **SKF, INA, FAG, RKB**
- Rodillos: **Vienna, Nuova Ofar, Lucchini, Saarschmiede SDF Italy (Thyssen-Krupp),**
- Motores Hidraulicos: **Sai, Samhydraulic, Riva Calzoni,**
- Unidades de Transmisión: **Brevini, Trasmital Bonfiglioli, RR, Roll-Star, Reggiana Riduttori**
- CNC: **DAVI (*galardonado por NASA con el "Certificate of Appreciation") & Apple iPad (opcion)**
- PLC: **B&R**
- Sensores de Posición/Transducers: **Gefran, Opkon**
- Componentes Electricos: **Siemens, Heidenhain, Moeller, Phoenix, Rockwell, Schneider, Allen Bradley, Telemecanique**
- Motores Electricos: **Seipee, Motovario, Eletroadda DRDrive, Siemens, ABB, Leroy-Sommer,**
- Bombas Hidraulicas: **Marzocchi, Casappa, Parker, Vickers**
- Electro-Valvulas Hidraulicas: **Rexroth, Parker, Duplomatic, Vickers**
- Valvulas Hidraulicas: **Rexroth, Sun, Oil Control, Hydraforce**
- Mangueras: **Techno-Hose,**
- Juntas de Cilindros: **Merkel, Busak+Shamban, Polypac-Trelleborg, Dowty**
(o equivalente, tambien dependiendo de la disponibilidad)



LAS MAS RICAS CARACTERISTICAS COMO ESTANDAR

CARACTERISTICAS ESTANDAR DAVI: la mas avanzadas roladoras en el mercado.

CALIDAD

- Máquina estudiada, fabricada, controlada, testada y garantizada conforme al **riguroso sistema de calidad ISO 9001:2008** a lo cual **DAVI esta certificado**;
- componentes certificados **ISO 9000** (las mas conocidas marcas en el mercado)
- subcontratistas certificados **ISO 9000** (los mejores know-how, pericia y calidad disponibles);
- Máquina **certificada** (con documentación adecuada) para cumplir los requisitos de calidad **CE**.
-

Características HIDRO ... TRONIC

- Máquina **digital, totalmente hidraulica sincronizada electronicamente**
- Tecnología digital exclusiva "**Roll-by-Wire**" (mas rapida, precisa y confiable)
- **Sistema DUPLO de Sincronizado del Paralelismo:** dos sistemas de paralelismo independientes pero integrados, para prevenir paros en caso de falla electronica (este paralelismo virtualmente no falla nunca !)
- "**Servo-Tronic®**" Sistema de Paralelismo: el mas preciso y confiable (0.1 mm de tolerancia);
- **Inclinacion Electronica para Conos**, directamente desde el control, de TODOS los rodillos inclinables (el inferior de sujecion y los dos laterales de rolado) para aplicaciones conicas. El **regreso** a la posicion **perfectamente horizontal** es una característica **automatica, sincronizada electronicamente**.

GUIANDO LOS RODILLOS LATERALES

- **Sistema de Guías Planetarias** para el movimiento de los rodillos laterales (no hay guías lineales afectadas por fricción);
- **Rodamientos Auto-Alineables (tipo a rótula) para carga pesada y sobredimensionados** para rotación de los rodillos; 2 rodamientos para cada rodillo (según técnicamente recomendado por SKF, FAG, INA, SNR, etc.), en lugar de 4 rodamientos rígidos menores y más económicos.

ROTACION DE LOS RODILLOS

- **2 rodillos motorizados** por medio de **2 reductores planetarios acopladas con 2 motores hidraulicos**;
- **Frenos hidraulicos para parada inmediata** para mejorar la seguridad y evitar movimientos inesperados de los rodillos durante el pre-curvado;
- **Proteccion hidraulica** contra sobrecarga (la presión hidraulica esta limitada a nivel de seguridad);
- **Compensacion Automatica de la Velocidad Periférica**, asegurada por el sistema hidraulico, sin pérdida de potencia;
- **Re-Rolado:** el rodillo inferior es bajado completamente (no es útil para el re-rolado), su flujo de aceite se desvia al rodillo superior, que gira mas rapido, para acelerar la rotación y cortar el tiempo de re-rolado.



SISTEMA HIDRAULICO

- **Unidad Hidraulica (tipo Rexroth, Parker o Vickers)** incluyendo motores electricos, bombas hidraulicas, valvulas de solenoide en el colector para evitar fugas de aceite, protegiendo los sistemas de seguridad de sobrecargas;
- Los 3 rodillos ajustables mueven en posicion atraves de **cilindros hidraulicos de servicio pesado** cromados;
- **Control de la presion de sujecion**, facilmente pre-ajusta la presion de subida del rodillo inferior de sujecion contra el rodillo superior, para cualquier lote de piezas, previniendo la compresion del material a la presion excesiva de sujecion y el marcado del material suave (no disponible en muchas otras marcas)
- Rodillos con **velocidades multiplas**, pre-ajustables a través del control;
- Bastidor movil operado hidraulicamente;
- Luz de advertencia para **nivel de aceite**;
- Luz de advertencia para **filtro obstruido**;

INGENIERÍA

- La máquina está diseñada y fabricada para modificaciones y adaptaciones futuras, en la mecánica y el software, garantizando así la máxima flexibilidad para adaptarse a las nuevas necesidades de los clientes que puedan surgir en el futuro

ELECTRICA Y ELECTRONICA

- **Pantalla de grande dimension**, para leer y **visualizar graficamente** todas las posiciones de los rodillos, la inclinacion de los rodillos para hacer conos, la diagnostica y las alarmas de las funciones de la máquina (ya no los obsoletos y menos precisos sencillos lectores digitales);
- **Solución de problemas via conexion Internet** con el Centro de Atención al Cliente DAVI. Servicio on-line a través de Internet, una vez conectados con el Centro de Atención al Cliente DAVI para diagnosis, servicio, modificacion de software, actualizacion de software, ayuda on-line, etc;
- **Cable de Emergencia para parada inmediata** alrededor del perimetro de la máquina;
- **Consola sobre ruedas** para controlar la máquina;
- Controles de **bajo voltaje**;
- **Botones de Emergencia** para parada inmediata de todos los movimientos de la máquina;
- **PLT Tecnologia de Lubricación Permanente** para maxima confiabilidad; utilizada por DAVI desde 1982, tambien en máquinas de capacidad hasta 300 mm, comun a todos los motores electricos (lubricados por vida, mismo que ellos giran mil veces mas rapidos de los rodillos de una roladora).



DAVI 4 RODILLOS – CARACTERISTICAS TECNICAS

Las roladoras DAVI de 4 rodillos estan diseñadas y fabricadas con varias características y tecnologías únicas (muchas patentadas) que hace varios años las hicieron las roladoras mas populares en el mundo.

Análisis FEM – El estandar en la ingenieria DAVI

Como lider absoluto a nivel mundial en la fabricacion de roladoras para aplicaciones pesadas hasta espesores de 100, 200, 300 mm o mas, todo el proceso de diseño es asistido por la análisis FEM, para asegurar la resistencia maxima de la estructura de la roladora y obtener los mejores resultados en el rolado de chapas.

Ese diseño asistido por el computer permite a nuestros ingenieros de añadir material en areas especificas donde se requiere, reduciendo a lo minimo o eliminando la desviación o el stress durante el proceso de rolado, ofreciendo mayor rigidez estructural y vida de maquina mas segura y mas larga.

Robustez y rigidez, potencia, precisión y fiabilidad a través de los años, son las prioridades mas importantes para DAVI, para suministrar, año tras año, excelentes productos para satisfacer completamente los requerimientos del mercado, conforme a los estandar ISO 9001-2008, a los cuales DAVI esta certificado.



La siguiente es una descripción de los principales componentes de la maquina:

Estructura Pesada

Los componentes estructurales de la máquina (base, armadoras, bastidor movil, etc.) han sido calculados y diseñados para resistir a las cargas requeridas por las aplicaciones y el desempeño.

La base robusta y pesada absorbe las cargas generadas durante el proceso de rolado, sin transmitir las a la fundación, reduciendo las dimensiones y la altura de la maquina, y por consecuencia reduciendo la dimension de la fosa requerida para las máquinas mayores.

Rodillo Superior

Todas las fuerzas generadas por el rodillo inferior y por los laterales para rolar las chapas pesadas son direccionadas al rodillo superior, dimensionado a un diametro suficiente para soportar la carga con la desviación minima, gracias a la geometria de las Guías Planetarias de todas las roladoras DAVI de 4 rodillos.

Un rodillo superior de diametro mayor de lo necesario no es siempre una buena solución. La opción correcta es de utilizar un rodillo superior que sea suficientemente pesado y fuerte para rolar en seguridad las aplicaciones dentro de la capacidad declarada de la máquina, permitiendo al Comprador de rolar tambien diametros estrechos.

Ademas, los rodillos superiores DAVI son menos afectados por la desviación, porque las fuerzas son parcialmente auto-compensadas gracias a las Guías Planetarias, comparadas a otras máquinas con guías lineares.

GUIAS PLANETARIAS: LA INOVACIÓN / MUCHO MÁS RESISTENTE Y RIGIDA

Desde los primeros años 80, DAVI ha introducido (y en su momento patentado) en la fabricación de las roladoras el concepto de "Guías Planetarias", concepto similar a:

- los avanzados **reductores planetarios** de alta eficiencia, utilizados en todas las roladoras,
- las articulaciones de apalancamiento de los **excavadores pesados** (Caterpillar, John Deere, Volvo, CNH, Hitachi, etc),
- **TODAS las curvadoras de perfiles, curvadoras de tubos, curvadoras de vigas**, de CUALQUIER marca, porque son muy afectadas por la calamina.



Las Guías Planetarias de los rodillos laterales (Ventaja de Brazo de Palanca / Tecnología de Ahorro de Energía)

Las nuevas Guías Planetarias proporcionan muchas ventajas. Ellos son:



LAS CARGAS DE CURVADO SON TODAS RETENIDAS DENTRO DE LA ESTRUCTURA: LA PARTE MAS ROBUSTA DE LA ESTRUCTURA !

- **LAS ESTRUCTURAS LATERALES NO SON SOMETIDAS A CARGAS QUE EMPUJAN AL EXTERIOR**

Las Guías Planetarias están fuertemente articuladas sobre dos grandes pivotes muy robustos, "integrados" en la parte central de las estructuras laterales, en absoluto las más pesada, más robusta y más rígida de toda la estructura. No hay estrés transmitido a la parte externa de la estructura, también en caso de cargas pesadas.



- **ESTRUCTURAS PERFECTAMENTE SINCRONIZADAS**

No hay desviación que afecta la parte central de las estructuras laterales (que está al interior y no al exterior, como en el caso de las guías lineales), la parte más robusta de la estructura, donde giran las Guías Planetarias.



- **ESTRUCUTRAS BAJAS**

Debido a que todas las cargas están concentradas en la parte central de la máquina, las estructuras son diseñadas muy bajas, más bajas de los rodillos. Esta situación permite de rolar conos a diámetros muy estrechos y de remover anillos horizontalmente, utilizando los rodillos como si fueran un conveyor.

- **SIEMPRE "EN LA GUIA"**

Las Guías Planetarias, "retenidas" por los dos grandes pivotes "integrados" en la parte central de la máquina, siempre están perfectamente guiadas, también en caso de diámetros muy estrechos, cuando tocan al rodillo superior.



Las Guías Planetarias son:

- **A PRUEBA DE CALAMINA**
- **LIBRE DE LUBRICACIÓN**
- **SIN MANUTENCIÓN**

Las máquinas con los rodillos laterales guiados por GUIAS LINEARES son afectadas por situaciones opuestas, como mencionado después.

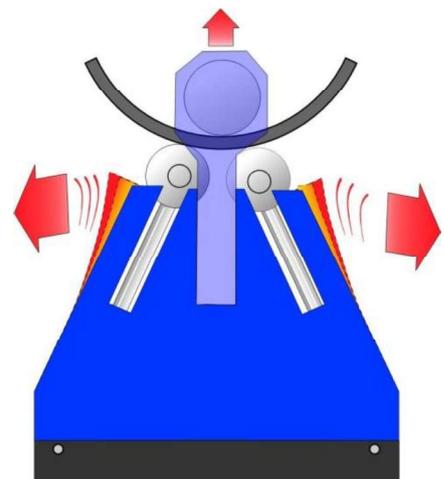
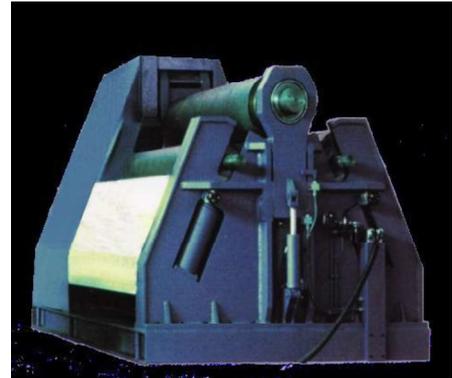


LAS GUIAS LINEARES: EL PASADO !

En el pasado, las roladoras mas avanzadas en tecnologia utilizaban GUIAS LINEARES, comunes a todos los fabricantes. Este tipo de guias tienen varios inconvenientes:

TODAS LAS CARGAS SON EMPUJADAS HASTA AFUERA: LA PARTE MAS DEBIL DE LA ESTRUCTURA !

- **ESTRUCTURA SOBRECARGADA “AFUERA”** – Con las guias lineares las estructuras soportan las cargas solamente con las partes externas, las mas debiles, mientras se rola la chapa.
 - **DESBALANCE ENTRE LAS ESTRUCTURAS** – La estructura trasera, la del motor, es “cerrada” y desvia menos que la estructura frontal, la del bastidor movil, que es “abierta”.
- Esta situación genera un desbalance (menos desviación en la trasera que en la frontal, afectando la precision de trabajo).
- **ESTRUCTURAS ALTAS** – Se requiere una estructura alta para guiar los rodillos en caso de rolar a diametros estrechos.
 - **FUERA-DE-GUIA** – En caso de máquinas con guias lineares y estructuras bajas, los rodillos “salen” de las guias en caso de rolar a diametros estrechos.
 - **GEOMETRIA DEMASIADO APRETADA** – Las guias lineares “tocan” el rodillo superior demasiado “apretado”:
 - esta situación genera una perdida de fuerza, debido al corto brazo de palanca
 - por tener “in forma” la chapa en una sección muy corta, ellas no logran diametros muy estrechos
 - el empujar el rodillo superior desde abajo causa su grande desviación
 - **FRICCIÓN** – Una fricción áspera y continua entre los soportes de los rodillos y las paredes de las guias, para moverse arriba y abajo.
 - **DESGASTE MUY FUERTE** – Independientemente del mantenimiento por parte del operador para limpieza y lubricación, las paredes de las guias lineares son sometidas a desgaste muy fuerte (como puede verse en cualquier roladora con guias lineares).



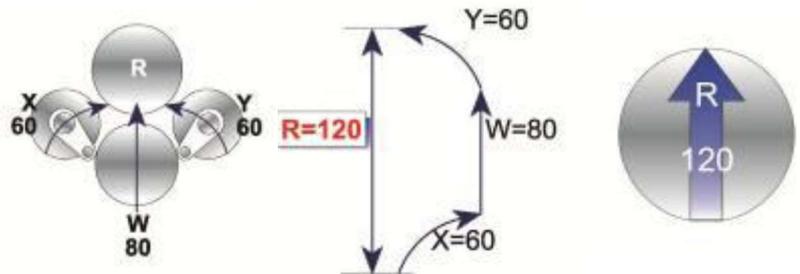
LAS VENTAJAS DE LAS GUIAS PLANETARIAS DAVI: "BRAZO DE PALANCA"

Guías Planetarias DAVI: la "VENTAJA DE LA GEOMETRIA DEL BRAZO DE PALANCA"

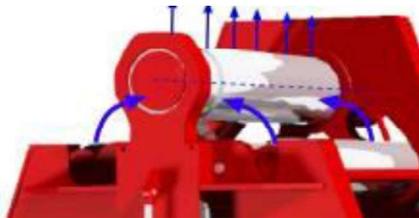
Debido al ventajoso movimiento planetario de rotación alrededor de dos pivotes pesados, las Guías Planetarias DAVI "llegan" al rodillo superior con una geometría mas amplia (es cierto la mas eficiente) de las guías lineares, proporcionando muchas ventajas:

- por tener un brazo de palanca un poco mayor, necesitan de MENOS potencia para pre-curvar la chapa, con el mismo resultado de borde recto (porque la medida del borde recto es determinada solamente por la presión del rodillo inferior). Los brazos de palanca mayores utilizan MENOS potencia (Green Power Saving), comparados a las guías lineares.

- empujando un poco menos desde abajo del rodillo superior, sino casi a su lado, una parte de las cargas en acción se compensan. Este reduce el tonelaje transmitido al rodillo superior, limita su desviación y los defectos "barril", mejorando el alineamiento de la costura.



Los rodillos laterales empujan abajo del rodillo superior desde un ángulo favorable, que auto-compensa una parte de la carga transmitida al rodillo superior.



Esta compensación de una parte de la carga transmitida al rodillo superior reduce su desviación y reduce los defectos "barril".

LOS PROBLEMAS DE LAS GUIAS LINEARES

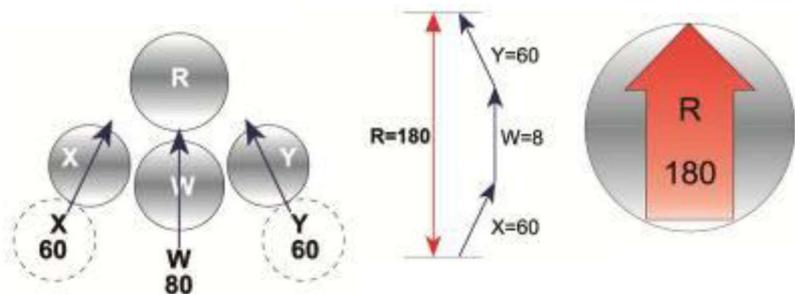
Las guías lineares de los rodillos laterales mueven en sentido "inclinado". Comienzan abajo muy abiertas, a mucha distancia del centro de la máquina y después subiendo para rolar diámetros estrechos convergen hasta el centro.

Su diseño les obliga a "llegar" al rodillo superior con una geometría muy estrecha (demasiado ?), muy abajo del rodillo superior, de otra manera los soportes que contienen los rodamientos saldrían demasiado fuera de las guías (lo que es inaceptable).

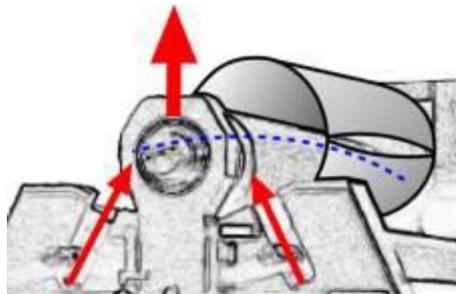
Esta geometría estrecha causa varios inconvenientes:

- por tener un brazo de palanca muy corto, necesitan de mucha mas carga para pre-curvar la chapa, utilizando mucha potencia extra, lo cual no es ventajoso por nada para el pre-curvado pero representa solamente un desgaste de energía (Power Wasting).

- empujando desde muy abajo del rodillo superior ellos transfieren casi toda la carga a lo mismo, desviándolo mucho y aumentando los defectos "barril".



Los rodillos laterales empujan demasiado desde abajo el rodillo superior, con un ángulo mas "vertical" y transmiten mucha de esta carga al rodillo superior.

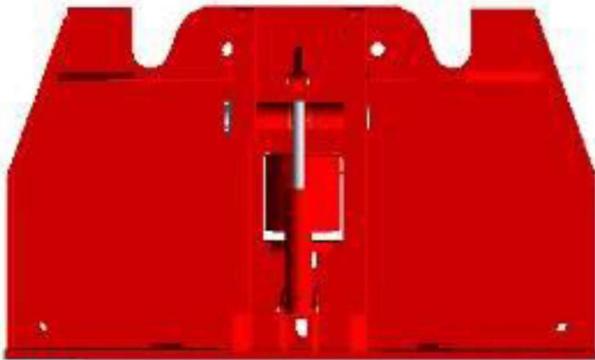


Mucha carga es transmitida al rodillo superior, aumentando su desviación y los defectos "barril".

LAS VENTAJAS DE LAS GUIAS PLANETARIAS DAVI: EL DISEÑO DE LAS ESTRUCTURAS “MAS CERRADO”

“DISEÑO DE LAS ESTRUCTURAS CERRADAS” DAVI con Guías Planetarias

DAVI ha completamente re-diseñado su gama de roladoras, con grandes beneficios:

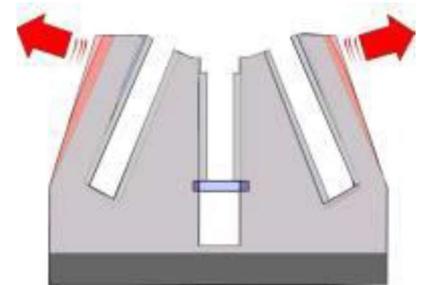
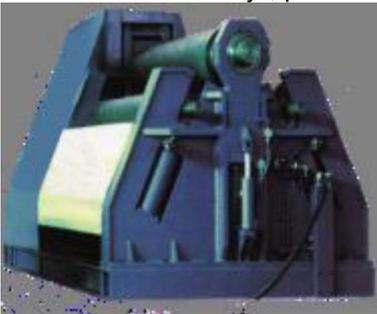


La estructura se ha modificado a un diseño “cerrado”, asegurando mayor robustez y resistencia de todo el sistema. La estructura esta hecha con placas de acero llenas, sin surcos profundos o secciones abiertas que reducen su robustez, resistencia y precisión.

Se ha eliminado el riesgo de desviación, desplome o abertura, tambien en caso de cargas pesadas.

“DISEÑO DE LAS ESTRUCTURAS ABIERTAS” con Guías Lineares

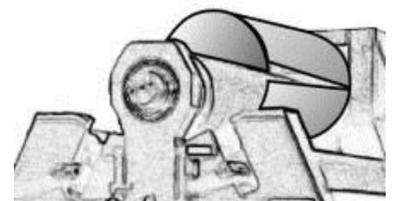
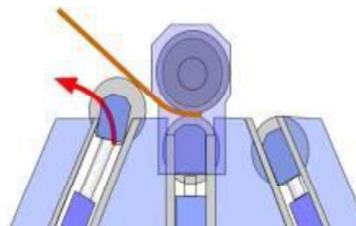
La estructura frontal de la maquina con guías lineares es “abierta”, para acomodar las guías mismas, donde los soportes de los rodillos (que contienen los rodamientos) deben deslizarse arriba y abajo. Los cilindros hidráulicos están montados abajo, para mover los rodillos arriba y abajo.



Estructuras abiertas de guías lineares tienen la desventaja de abrirse afuera, cuando son afectadas por la fuerza que debe rodar la chapa.

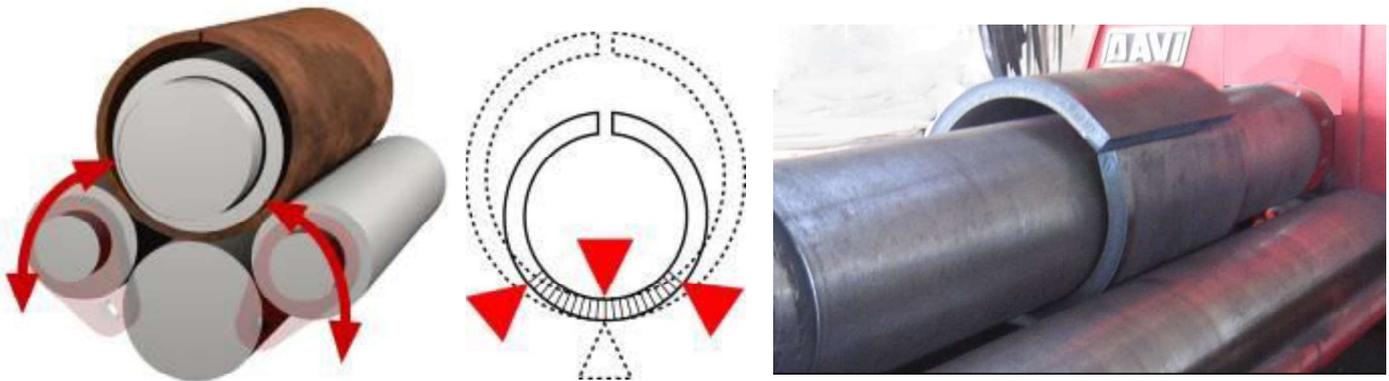
Los soportes de los rodillos laterales, en la parte más alta de su carrera para rodar diámetros muy estrechos, tienen riesgo de salir fuera de las guías y al mismo tiempo las empujan causando desviación.

La desviación de la estructura frontal “abierta” (la estructura trasera desvía menos por tener geometría más “cerrada”) afecta la precisión de los anillos rodados.



MAS VENTAJAS DE LAS GUIAS PLANETARIAS DAVI: ANILLOS DE DIAMETRO MAS ESTRECHO

Otra ventaja de las Guías Planetarias DAVI: lograr los **DIAMETROS MAS ESTRECHOS DE LOS ANILLOS**



Las Guías Planetarias no deben moverse dentro de caminos, sino giran con precisión y firmemente guiados alrededor de sus pivotes robustos y llegan al rodillo superior en posición un poco más alta que en el caso de guías lineales. Esta posición permite casi de "envolver" la chapa alrededor del rodillo superior con un brazo de palanca inferior, alcanzando a rolar los diámetros menores posibles en el mercado.

Elas mantienen la chapa "envolvida" en una sección de curvado bastante mayor que la de las Guías Lineales. Girando los rodillos, la sección mayor de la chapa es mantenida en forma, resistiendo al retorno elástico del material, alcanzando los diámetros menores posibles para el anillo. Por esta razón las roladoras DAVI con Guías Planetarias PUEDEN rolar anillos con diámetro de SOLAMENTE 1,1 vez el diámetro del rodillo superior !

Entonces las Guías Planetarias DAVI permiten al operador de rolar a diámetros mucho menores de los diámetros obtenibles con las guías lineales, de 1,3 o 1.5 veces el diámetro del rodillo superior, aumentando el rango de trabajo de la máquina.

Inconveniente de las guías lineales: **EL RETORNO ELASTICO REABRE EL DIAMETRO**

Las guías lineales llegan al rodillo superior con una geometría estrecha (es cierto demasiado estrecha), de otra manera los soportes, que contienen los rodamientos, deberían salir de sus caminos causando una situación inaceptable.



Esta geometría tiene varios inconvenientes:

Ella mantiene la chapa en una sección de curvado demasiado corta. Girando los rodillos y alimentando la placa, el retorno elástico del material reabre el diámetro del anillo.

Esta es la razón por la cual las máquinas con guías lineales NO PUEDEN rolar diámetros menores de 1,4 o 1,5 veces el diámetro del rodillo superior.

GUIAS PLANETARIAS DAVI: SIN FRICCIÓN - SIN LUBRICACION - A PRUEBA DE CALAMINA

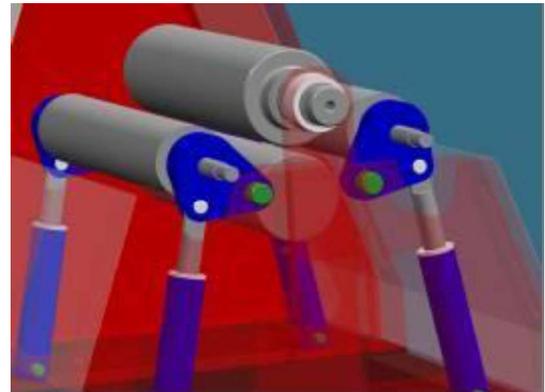
DAVI PLT – Tecnología de Lubricación Permanente, Lubricado por Vida:

Las Guías Planetarias eliminan completamente todas las fricciones lineares durante el movimiento de los rodillos laterales, porque los brazos que soportan los rodillos, que incorporan los rodamientos giran simplemente y sin dificultad (y con seguridad dentro de bujes SKF) alrededor de dos grandes y robustos pivotes en acero liga, con precisión y sin fricción. Este sistema asegura menos desgaste y uso ilimitado sin problemas de bloqueo.



Las Guías Planetarias eliminan completamente toda necesidad de lubricación de las guías, simplemente porque las guías han sido eliminadas de la máquina !

Los brazos que soportan los rodillos giran sin dificultad alrededor de dos grandes y robustos pivotes en acero liga, con precisión y sin fricción.



Los movimientos de rotación ocurren con seguridad dentro de los bujes SKF, lubricados por vida, que no requieren lubricación o limpieza durante toda la vida de la máquina. Es la misma tecnología usada en todos los motores eléctricos, también en los muy grandes para aplicaciones pesadas, donde los rodamientos están escondidos a l'interior, utilizando una tecnología de lubricación permanente engrasados por vida.

Otras ventajas de las Guías Planetarias libre de lubricación, son las siguientes:

- NO es requerido mantenimiento diario (nemos costos de operación)
- Mas tiempo disponible para producción
- Los rodamientos son sellados para protegerlos contra calamina, polvo y oxidación.

Guías Planetarias DAVI “A PRUEBA DE CALAMINA / LIBRES DE LIMPIEZA”

Con las nuevas Guías Planetarias DAVI la calamina no afecta la máquina y su desempeño.

La máquina no necesita de limpieza y mantenimiento regulares, porque en las Guías Planetarias no hay paredes y no hay necesidad de lubricación.

Los casquillos de los pivotes pesados, alrededor de los cuales giran los brazos de los soportes de los rodillos laterales, son pre-engrasados y sellados de manera que no son afectados por la calamina.



Guías Planetarias DAVI “SIN-DESGASTE” & “A PRUEBA DE BLOQUEO”

Todas estas ventajas aseguran que cada roladora DAVI con Guías Planetarias sea protegida contra desgaste prematuro, porque no es necesario mantenimiento regular, proporcionando menos desgaste y uso ilimitado sin problemas de bloqueo.



FRICCION – LUBRICACION – LIMPIEZA DE LA CALAMINA

En muchas máquinas de la competencia, las guías lineares tienen una fricción muy importante entre los soportes de los (que incorpora los rodamientos) y las paredes de las guías.

Chapa después de chapa, debido a esta fricción las paredes de las guías lineares requieren continua y muy precisa limpieza de la calamina que cae desde las chapas que se están rodando.

Este mantenimiento es imprescindible para evitar desgaste prematuro en las paredes de las guías lineares o peor un bloqueo severo de las partes metálicas, que va a parar la máquina.

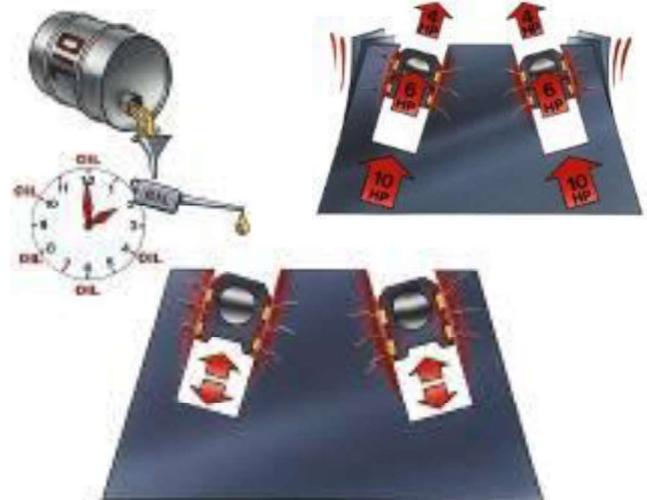
Una tarea importante utilizando roladoras con tecnología guías lineares era de limpiar y lubricar las paredes sujetas a fricción pesadas en varios puntos, con programa de mantenimiento diario para evitar problemas con calamina y fricción, que afectaban la precisión de la máquina.

Si las guías no son muy bien limpiadas y lubricadas, la fricción se hace más dura, absorbiendo fuerza y perdiendo precisión..

La roladora debe ser equipada con bombas de lubricación central. En caso las guías no son bien limpiadas y lubricadas hay mucho desgaste, limitando la potencia y la precisión en el rodado de la máquina.

La fricción causada por la falta de mantenimiento genera desgaste severo y riesgo de peligrosos bloqueos.

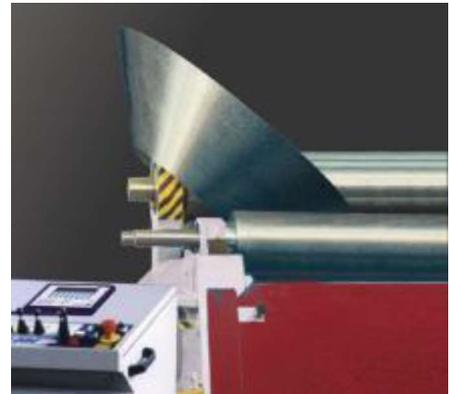
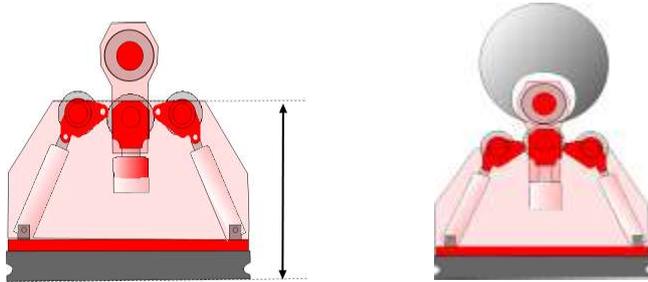
El mantenimiento limita el uso de la roladora con obsoletas guías lineares, porque frecuentemente se debe parar para hacer este trabajo.



VENTAJAS DE LAS GUIAS PLANETARIAS DAVI: CONOS DE DIAMETRO MENOR

Otras ventajas de las Guías Planetarias DAVI:

DIAMETROS MAS ESTRECHOS DE LOS CONOS



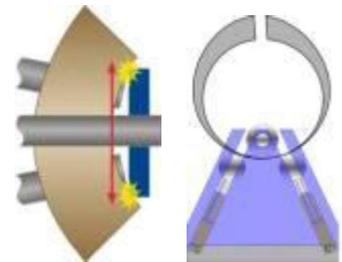
En las roladoras DAVI, con Guías Planetarias, retenidas por los robustos pivotes centrales, hay menos desviación de la estructura hacia el exterior, por lo tanto la estructura puede ser diseñada mas baja del nivel de entrada de la chapa.

Estructuras mas compactas y mas bajas permiten de producir conos sin limitaciones geometricas, con un diametro muy pequeño y sin interferencias entre la chapa, cortada en forma de cono, y la máquina. En las roladoras DAVI el cono puede ser formado alrededor del bastidor movil !

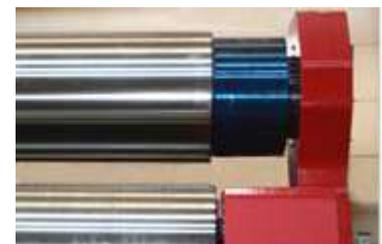
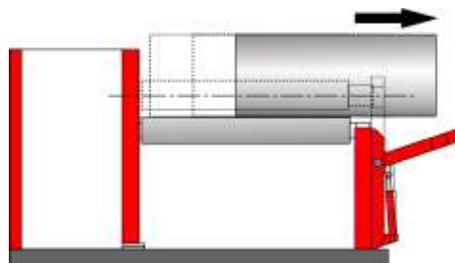
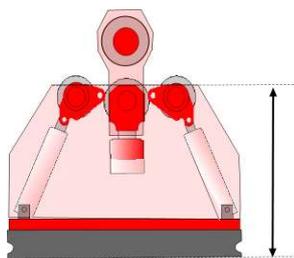
Las guías lineares, por ser una "estructura abierta", estan sometidas a fuerte desviación.

En máquinas con Guías Lineares, la estructura frontal es muy alta, limitando el tamaño de los conos que pueden rolarse.

La estructura, ancha y alta, reduce la capacidad de la maquina de rolar conos con diametros estrechos, porque la chapa choca contra ella.



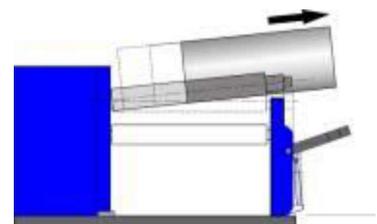
REMOCIÓN MAS FACIL (Y MAS SEGURA) DE LAS CHAPAS ROLADAS



Estructuras mas compactas y mas bajas permiten de remover las chapas roladas en horizontal.

En las roladoras DAVI las chapas roladas se pueden sacar mas facilmente, mas rapidamente y con mas seguridad, deslizando sobre la superficie de los rodillos laterales !

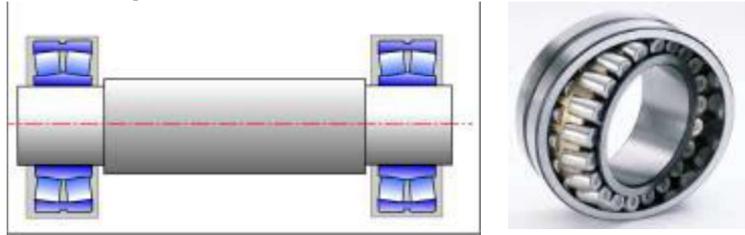
En las maquinas con Guías Lineares con estructuras altas es imposible de sacar las chapas roladas horizontalmente. A lo contrario se debe inclinar y sacarlas hacia arriba para no chocar contra la alta estructura.



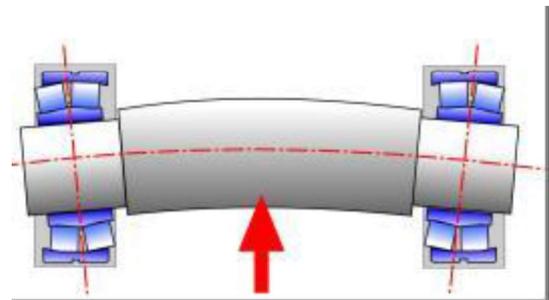
MAS VENTAJAS GRACIAS A LAS NUEVAS TECNOLOGIAS DAVI - RODAMIENTOS AUTO-ALINEABLES

DAVI UTILIZA RODAMIENTOS AUTO-ALINEABLES PARA “CARGA PESADA”, UNO CADA EJE, conforme recomendado por los fabricantes de rodamientos

DAVI utiliza rodamientos auto-alineables tipo SKF, uno para cada eje de rodillo, para soportar el estress causado por la desviación de los rodillos durante el proceso de rolado. Cada rodillo puede desviar libremente a lo largo de todo su ancho, sin tener algun estress que pueda causar fisuras o incluso crear una quebradura en el eje.

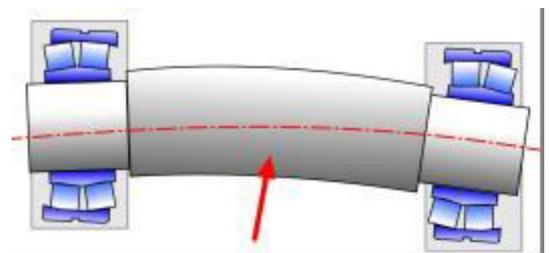


La parte interna de los rodamientos auto-alineables (donde pasa el eje del rodillo) absorbe la desviación del rodillo y la inclinacion de su eje. Esto permite de “plegar” los ejes del rodillo, debido a la fuerza contraria que pudiera, debido a la fatiga, dañarlos o incluso romperlos, en el caso ellos fueran en un asiento fijo “rigido”.



Estos rodamientos han sido diseñados para, sin importar la dirección de la desviación, seguirla de acuerdo con la inclinación del eje, suavemente y con seguridad, y luego volver a su posición inicial.

El rolado de conos es la condición mas critica de rolado, porque los rodillos deben inclinar, creando una carga desbalanceada para los rodamientos. Esto crearia una grande presion sobre los rodamientos, pero gracias a los rodamientos auto-alineables DAVI, ellos soportan la carga en manera “axial”, previniendo el efecto de “plegado” de los ejes, y siempre estan en línea, suavemente y con seguridad.



La solucion DAVI de utilizar solamente dos rodamientos auto-alineables cada rodillo, brinda a nuestro clientes la ventaja del PLT “Tecnología de Lubricación Permanente” (exclusividad DAVI), eliminando la necesidad de lubricar los rodamientos frecuentemente, por la vida de la máquina.

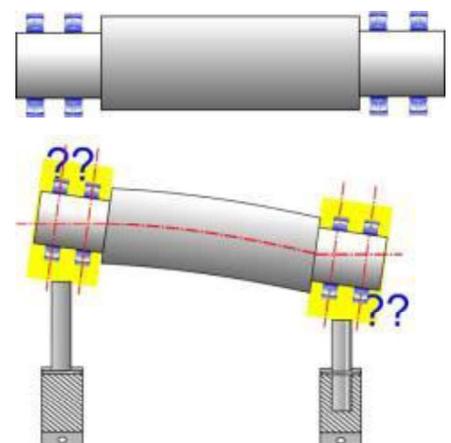
OTRAS MARCAS

Otras máquinas en el mercado utilizan rodamientos tradicionales, que son mas economicos, dos cada eje de rodillo (para un total de cuatro rodamientos cada rodillo).

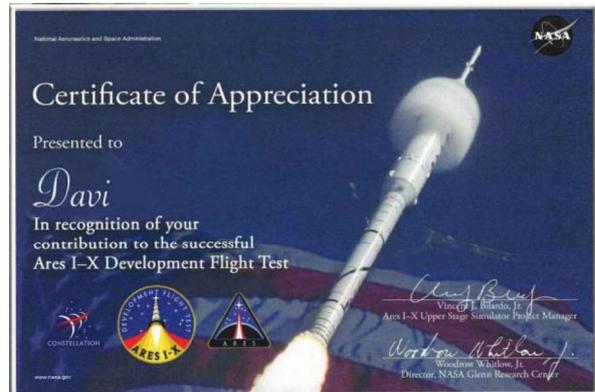
Esta solucion no es recomendada por los fabricantes de rodamientos (SKF, FAG, etc) por no ser la mejor solucion mecanica debido a que el rodillo es mas rigido añadiendo estress y fatiga que pudiera dañar el mismo rodillo.

Ademas, los rodamientos estandar sotuados en un asiento fijo no pueden seguir la desviación del eje.

Cuatro rodamientos pequeños en una caja fija requieren lubricación constante y limpieza frecuente.

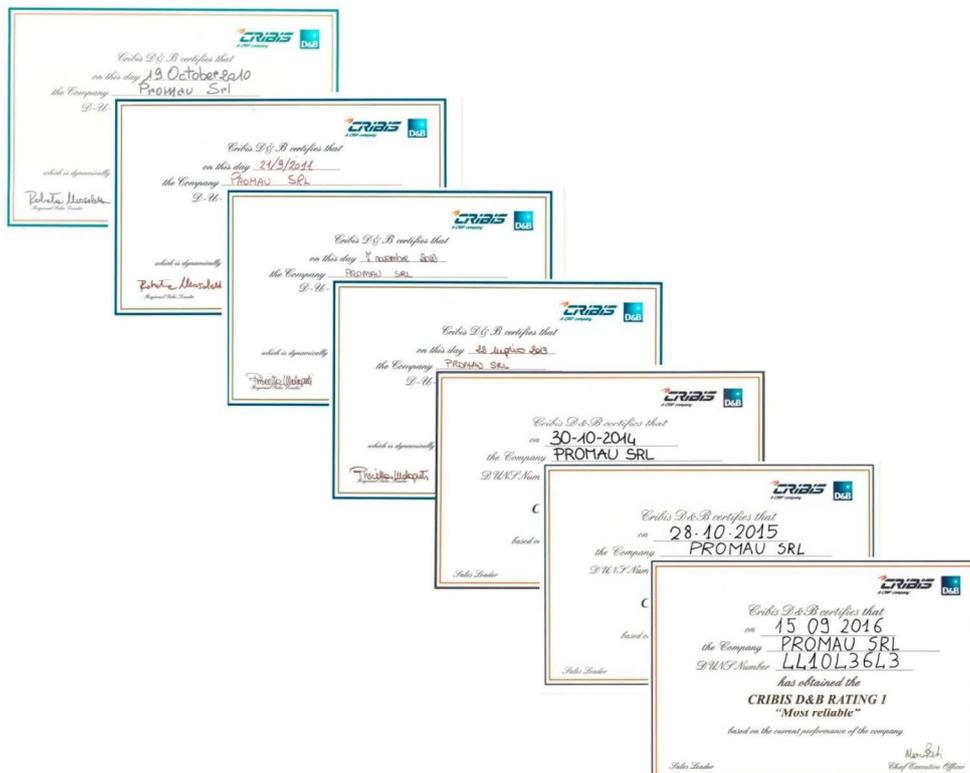


GALARDONADOS POS NASA



Recién DAVI ha sido galardonada por NASA, la agencia especial de Estados Unidos, para la contribución, con dos máquinas CNC DAVI, a la fabricación de los nuevos misiles ARES IX y de la barquilla Orion, para continuar la exploración del espacio en el futuro, remplazando el Space Shuttle, que fue recién retirado después de 30 años de actividad.

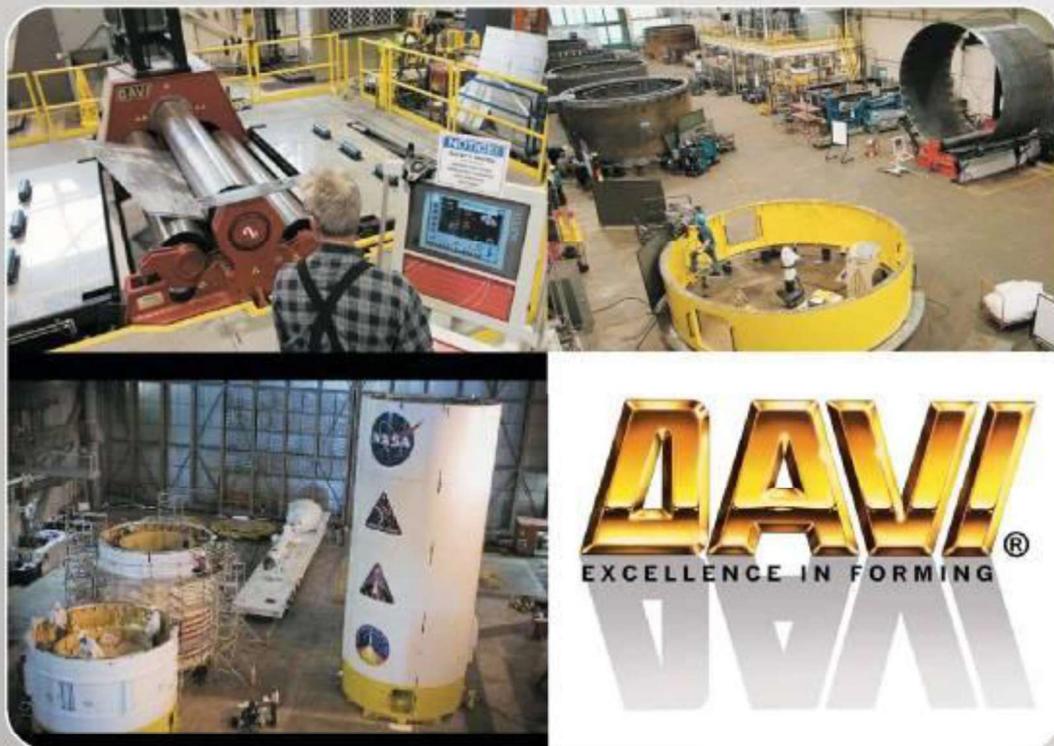
Galardonados por Dun & Bradstreet



Before going so FAR...



DAVI makes it happen !!!



All NASA rocket main frames (cylinders and cones) manufactured in two of its Research Centers are produced on DAVI 4 roll plate rolls, equipped with the most advanced CNC control system. These rockets are part of the new Constellation Program (targeted to replace the well known Shuttle for the next 20 years of space exploration) and are planned to carry future astronauts to the Moon again and onto Mars.



Anexo 13 Extracto de API 650 13th. Ed

G is the design specific gravity of the liquid to be stored, as specified by the Purchaser, not greater than 1.0;

γ is the density factor of water. MPa per meter, (psi per foot) SI: 9.81/1000, USC: 62.4/144.

NOTE Derivation of the equation is from "Structural Analysis and Design of Process Equipment" by Jawad and Farr and L.P. Zick and R.V. McGrath, "Design of Large Diameter Cylindrical Shells."

Alternatively, if thickened annular plates are being solely provided as wind or seismic overturning resistance, the minimum radial distance between the inside of the shell and the edge of the plate in the remainder of the bottom shall be in accordance with 5.11.2.3 or E.6.2.1.1.3, respectively.

5.5.3 The thickness of the annular bottom plates shall not be less than the greater thickness determined using Table 5.1a and Table 5.1b for product design (plus any specified corrosion allowance) or for hydrostatic test design. Table 5.1a and Table 5.1b are applicable for effective product height of $H \times G \leq 23$ m (75 ft). Beyond this height an elastic analysis must be made to determine the annular plate thickness.

Table 5.1a—Annular Bottom-Plate Thicknesses (t_b) (SI)

Plate Thickness ^a of First Shell Course (mm)	Stress ^b in First Shell Course (MPa)			
	≤ 190	≤ 210	≤ 220	≤ 250
$t \leq 19$	6	6	7	9
$19 < t \leq 25$	6	7	10	11
$25 < t \leq 32$	6	9	12	14
$32 < t \leq 40$	8	11	14	17
$40 < t \leq 45$	9	13	16	19

^a Plate thickness refers to the corroded shell plate thickness for product design and nominal thickness for hydrostatic test design.

^b The stress to be used is the maximum stress in the first shell course (greater of product or hydrostatic test stress). The stress may be determined using the required thickness divided by the thickness from "a" then multiplied by the applicable allowable stress:

Product Stress = $((t_d - CA) / \text{corroded } t) (S_d)$

Hydrostatic Test Stress = $(t_t / \text{nominal } t) (S_t)$

NOTE The thicknesses specified in the table, as well as the width specified in 5.5.2, are based on the foundation providing uniform support under the full width of the annular plate. Unless the foundation is properly compacted, particularly at the inside of a concrete ringwall, settlement will produce additional stresses in the annular plate.

5.5.4 The ring of annular plates shall have a circular outside circumference, but may have a regular polygonal shape inside the tank shell, with the number of sides equal to the number of annular plates. These pieces shall be welded in accordance with 5.1.5.6 and 5.1.5.7, Item b.

5.5.5 In lieu of annular plates, the entire bottom may be butt-welded provided that the requirements for annular plate thickness, welding, materials, and inspection are met for the annular distance specified in 5.5.2.

5.6 Shell Design

5.6.1 General

5.6.1.1 The required shell thickness shall be the greater of the design shell thickness, including any corrosion allowance, or the hydrostatic test shell thickness, but the shell thickness shall not be less than the following:

Nominal Tank Diameter		Nominal Plate Thickness	
(m)	(ft)	(mm)	(in.)
< 15	< 50	5	3/16
15 to < 36	50 to < 120	6	1/4
36 to 60	120 to 200	8	5/16
> 60	> 200	10	3/8

- NOTE 1 Unless otherwise specified by the Purchaser, the nominal tank diameter shall be the centerline diameter of the bottom shell-course plates.
- NOTE 2 The thicknesses specified are based on erection requirements.
- NOTE 3 When specified by the Purchaser, plate with a nominal thickness of 6 mm may be substituted for 1/4-in. plate.
- NOTE 4 For diameters less than 15 m (50 ft) but greater than 3.2 m (10.5 ft), the nominal thickness of the lowest shell course shall not be less than 6 mm (1/4 in.).

Table 5.1b—Annular Bottom-Plate Thicknesses (t_b) (USC)

Plate Thickness ^a of First Shell Course (in.)	Stress ^b in First Shell Course (lbf/in. ²)			
	≤ 27,000	≤ 30,000	≤ 32,000	≤ 36,000
$t \leq 0.75$	0.236	0.236	9/32	11/32
$0.75 < t \leq 1.00$	0.236	9/32	3/8	7/16
$1.00 < t \leq 1.25$	0.236	11/32	15/32	9/16
$1.25 < t \leq 1.50$	5/16	7/16	9/16	11/16
$1.50 < t \leq 1.75$	11/32	1/2	5/8	3/4

^a Plate thickness refers to the corroded shell plate thickness for product design and nominal thickness for hydrostatic test design.

^b The stress to be used is the maximum stress in the first shell course (greater of product or hydrostatic test stress). The stress may be determined using the required thickness divided by the thickness from "a" then multiplied by the applicable allowable stress:

Product Stress = $((t_d - CA) / \text{corroded } t) (S_d)$

Hydrostatic Test Stress = $(t_t / \text{nominal } t) (S_t)$

NOTE The thicknesses specified in the table, as well as the width specified in 5.5.2, are based on the foundation providing uniform support under the full width of the annular plate. Unless the foundation is properly compacted, particularly at the inside of a concrete ringwall, settlement will produce additional stresses in the annular plate.

5.6.1.2 Unless otherwise agreed to by the Purchaser, the shell plates shall have a minimum nominal width of 1800 mm (72 in.). Plates that are to be butt-welded shall be properly squared.

5.6.1.3 The calculated stress for each shell course shall not be greater than the stress permitted for the particular material used for the course. When the allowable stress for an upper shell course is lower than the allowable stress of the next lower shell course, then either a or b shall be satisfied.

- a) The lower shell course thickness shall be no less than the thickness required of the upper shell course for product and hydrostatic test loads by 5.6.3 or 5.6.4.

b) The thickness of all shell courses shall be that determined from an elastic analysis per 5.6.5 using final plate thicknesses.

The inside of an upper shell course shall not project beyond the inside surface of the shell course below (except within tolerances provided in 7.2.3.2).

5.6.1.4 The tank shell shall be checked for stability against buckling from the design wind speed in accordance with 5.9.6. If required for stability, intermediate girders, increased shell-plate thicknesses, or both shall be used.

5.6.1.5 Isolated radial loads on the tank shell, such as those caused by heavy loads on platforms and elevated walkways between tanks, shall be distributed by rolled structural sections, plate ribs, or built-up members.

5.6.2 Allowable Stress

5.6.2.1 The maximum allowable product design stress, S_d , shall be as shown in Table 5.2a and Table 5.2b. The corroded plate thicknesses shall be used in the calculation. The design stress basis, S_d , shall be either two-thirds the yield strength or two-fifths the tensile strength, whichever is less.

5.6.2.2 The maximum allowable hydrostatic test stress, S_t , shall be as shown in Table 5.2a and Table 5.2b. The nominal plate thicknesses shall be used in the calculation. The hydrostatic test basis shall be either three-fourths the yield strength or three-sevenths the tensile strength, whichever is less.

Table 5.2a—Permissible Plate Materials and Allowable Stresses (SI)

Plate Specification	Grade	Nominal Plate Thickness t mm	Minimum Yield Strength MPa	Minimum Tensile Strength MPa	Product Design Stress S_d MPa	Hydrostatic Test Stress S_t MPa
ASTM Specifications						
A283M	C		205	380	137	154
A285M	C		205	380	137	154
A131M	A, B		235	400	157	171
A36M	—		250	400	160	171
A131M	EH 36		360	490 ^a	196	210
A573M	400		220	400	147	165
A573M	450		240	450	160	180
A573M	485		290	485 ^a	193	208
A516M	380		205	380	137	154
A516M	415		220	415	147	165
A516M	450		240	450	160	180
A516M	485		260	485	173	195
A662M	B		275	450	180	193

Table 5.2a—Permissible Plate Materials and Allowable Stresses (SI) (Continued)

Plate Specification	Grade	Nominal Plate Thickness t mm	Minimum Yield Strength MPa	Minimum Tensile Strength MPa	Product Design Stress S_d MPa	Hydrostatic Test Stress S_t MPa
A662M	C		295	485 ^a	194	208
A537M	1	$t \leq 65$	345	485 ^a	194	208
		$65 < t \leq 100$	310	450 ^b	180	193
A537M	2	$t \leq 65$	415	550 ^a	220	236
		$65 < t \leq 100$	380	515 ^b	206	221
A633M	C, D	$t \leq 65$	345	485 ^a	194	208
		$65 < t \leq 100$	315	450 ^b	180	193
A737M	B		345	485 ^a	194	208
A841M	Class 1, Grades A and B		345	485 ^a	194	208
A841M	Class 2, Grades A and B		415	550 ^a	220	236
CSA Specifications						
G40.21M	260W		260	410	164	176
G40.21M	260 WT		260	410	164	176
G40.21M	300W		300	440	176	189
G40.21M	300WT		300	440	176	189
G40.21M	350W		350	450	180	193
G40.21M	350WT	$t \leq 65$	350	450 ^a	180	193
		$65 < t \leq 100$	320	450 ^a	180	193
National Standards						
	235		235	365	137	154
	250		250	400	157	171
	275		275	430	167	184

Table 5.2a—Permissible Plate Materials and Allowable Stresses (SI) (Continued)

Plate Specification	Grade	Nominal Plate Thickness t mm	Minimum Yield Strength MPa	Minimum Tensile Strength MPa	Product Design Stress S_d MPa	Hydrostatic Test Stress S_t MPa
ISO Specifications						
ISO 630	S275C, D	$t \leq 16$	275	410	164	176
		$16 < t \leq 40$	265	410	164	176
	S355C, D	$t \leq 16$	355	470 ^a	188	201
		$16 < t \leq 40$	345	470 ^a	188	201
		$40 < t \leq 50$	335	470 ^a	188	201
EN Specifications						
EN 10025	S 275J0, J2	$t \leq 16$	275	410	164	176
		$16 < t \leq 40$	265	410	164	176
	S 355J0, J2, K2	$t \leq 16$	355	470 ^a	188	201
		$16 < t \leq 40$	345	470 ^a	188	201
		$40 < t \leq 50$	335	470 ^a	188	201
^a By agreement between the Purchaser and the Manufacturer, the tensile strength of ASTM A537M, Class 2, and A841M, Class 2 materials may be increased to 585 MPa minimum and 690 MPa maximum. The tensile strength of the other listed materials may be increased to 515 MPa minimum and 620 MPa maximum. When this is done, the allowable stresses shall be determined as stated in 5.6.2.1 and 5.6.2.2.						
^b By agreement between the Purchaser and the Manufacturer, the tensile strength of ASTM A537M, Class 2 materials may be increased to 550 MPa minimum and 690 MPa maximum. The tensile strength of the other listed materials may be increased to 485 MPa minimum and 620 MPa maximum. When this is done, the allowable stresses shall be determined as stated in 5.6.2.1 and 5.6.2.2.						

5.6.2.3 Annex A permits an alternative shell design with a fixed allowable stress of 145 MPa (21,000 lbf/in.²) and a joint efficiency factor of 0.85 or 0.70. This design may only be used for tanks with shell thicknesses less than or equal to 13 mm (¹/₂ in.).

5.6.2.4 Structural design stresses shall conform to the allowable working stresses given in 5.10.3.

5.6.3 Calculation of Thickness by the 1-Foot Method

5.6.3.1 The 1-foot method calculates the thicknesses required at design points 0.3 m (1 ft) above the bottom of each shell course. Annex A permits only this design method. This method shall not be used for tanks larger than 61 m (200 ft) in diameter.

- 5.6.3.2** The required minimum thickness of shell plates shall be the greater of the values computed by the following formulas:

In SI units:

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

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

Table 5.2b—Permissible Plate Materials and Allowable Stresses (USC)

Plate Specification	Grade	Nominal Plate Thickness t in.	Minimum Yield Strength psi	Minimum Tensile Strength psi	Product Design Stress S_d psi	Hydrostatic Test Stress S_t psi
ASTM Specifications						
A283	C		30,000	55,000	20,000	22,500
A285	C		30,000	55,000	20,000	22,500
A131	A, B		34,000	58,000	22,700	24,900
A36	—		36,000	58,000	23,200	24,900
A131	EH 36		51,000	71,000 ^a	28,400	30,400
A573	58		32,000	58,000	21,300	24,000
A573	65		35,000	65,000	23,300	26,300
A573	70		42,000	70,000 ^a	28,000	30,000
A516	55		30,000	55,000	20,000	22,500
A516	60		32,000	60,000	21,300	24,000
A516	65		35,000	65,000	23,300	26,300
A516	70		38,000	70,000	25,300	28,500
A662	B		40,000	65,000	26,000	27,900
A662	C		43,000	70,000 ^a	28,000	30,000
A537	1	$t \leq 2\frac{1}{2}$	50,000	70,000 ^a	28,000	30,000
		$2\frac{1}{2} < t \leq 4$	45,000	65,000 ^b	26,000	27,900
A537	2	$t \leq 2\frac{1}{2}$	60,000	80,000 ^a	32,000	34,300
		$2\frac{1}{2} < t \leq 4$	55,000	75,000 ^b	30,000	32,100
A633	C, D	$t \leq 2\frac{1}{2}$	50,000	70,000 ^a	28,000	30,000
		$2\frac{1}{2} < t \leq 4$	46,000	65,000 ^b	26,000	27,900
A737	B		50,000	70,000 ^a	28,000	30,000
A841	Class 1, Grades A and B		50,000	70,000 ^a	28,000	30,000
A841	Class 2, Grades A and B		60,000	80,000 ^a	32,000	34,300
CSA Specifications						
G40.21	38W		38,000	60,000	24,000	25,700
G40.21	38WT		38,000	60,000	24,000	25,700

Table 5.2b—Permissible Plate Materials and Allowable Stresses (USC) (Continued)

Plate Specification	Grade	Nominal Plate Thickness t in.	Minimum Yield Strength psi	Minimum Tensile Strength psi	Product Design Stress S_d psi	Hydrostatic Test Stress S_t psi
G40.21	44W		44,000	64,000	25,600	27,400
G40.21	44WT		44,000	64,000	25,600	27,400
G40.21	50W		50,000	65,000	26,000	27,900
G40.21	50WT	$t \leq 2\frac{1}{2}$	50,000	65,000 ^a	26,000	27,900
		$2\frac{1}{2} < t \leq 4$	46,000	65,000 ^a	26,000	27,900
National Standards						
	235		34,000	52,600	20,000	22,500
	250		36,000	58,300	22,700	25,000
	275		40,000	62,600	24,000	26,800
ISO Specifications						
ISO 630	S275C, D	$t \leq \frac{5}{8}$	39,900	59,500	23,800	25,500
		$\frac{5}{8} < t \leq 1\frac{1}{2}$	38,400	59,500	23,800	25,500
	S355C, D	$t \leq \frac{5}{8}$	51,500	68,100 ^a	27,200	29,200
		$\frac{5}{8} < t \leq 1\frac{1}{2}$	50,000	68,100 ^a	27,200	29,200
		$1\frac{1}{2} < t \leq 2$	48,600	68,100 ^a	27,200	29,200
EN Specifications						
EN 10025	S 275J0, J2	$t \leq \frac{5}{8}$	39,900	59,500	23,800	25,500
		$\frac{5}{8} < t \leq 1\frac{1}{2}$	38,400	59,500	23,800	25,500
	S 355J0, J2, K2	$t \leq \frac{5}{8}$	51,500	68,100 ^a	27,200	29,200
		$\frac{5}{8} < t \leq 1\frac{1}{2}$	50,000	68,100 ^a	27,200	29,200
		$1\frac{1}{2} < t \leq 2$	48,600	68,100 ^a	27,200	29,200
<ul style="list-style-type: none"> • ^a By agreement between the Purchaser and the Manufacturer, the tensile strength of ASTM A537M, Class 2, and A841M, Class 2 materials may be increased to 85,000 psi minimum and 100,000 psi maximum. The tensile strength of the other listed materials may be increased to 75,000 psi minimum and 90,000 psi maximum. When this is done, the allowable stresses shall be determined as stated in 5.6.2.1 and 5.6.2.2. • ^b By agreement between the Purchaser and the Manufacturer, the tensile strength of ASTM A537M, Class 2 materials may be increased to 80,000 psi minimum and 100,000 psi maximum. The tensile strength of the other listed materials may be increased to 70,000 psi minimum and 90,000 psi maximum. When this is done, the allowable stresses shall be determined as stated in 5.6.2.1 and 5.6.2.2. 						

where

t_d is the design shell thickness, in mm;

t_t is the hydrostatic test shell thickness, in mm;

D is the nominal tank diameter, in m (see 5.6.1.1, Note 1);

- H is the design liquid level, in m:
is the height from the bottom of the course under consideration to the top of the shell including the top angle, if any; to the bottom of any overflow that limits the tank filling height; or to any other level specified by the Purchaser, restricted by an internal floating roof, or controlled to allow for seismic wave action;
- G is the design specific gravity of the liquid to be stored, as specified by the Purchaser;
- CA is the corrosion allowance, in mm, as specified by the Purchaser (see 5.3.2);
 S_d is the allowable stress for the design condition, in MPa (see 5.6.2.1);
 S_t is the allowable stress for the hydrostatic test condition, in MPa (see 5.6.2.2).

In USC units:

$$t_d = \frac{2.6D(H-1)G}{S_d} + CA$$

$$t_t = \frac{2.6D(H-1)}{S_t}$$

where

- t_d is the design shell thickness, in inches;
- t_t is the hydrostatic test shell thickness, in inches;
- D is the nominal tank diameter, in ft (see 5.6.1.1, Note 1);
- H is the design liquid level, in ft:
is the height from the bottom of the course under consideration to the top of the shell including the top angle, if any; to the bottom of any overflow that limits the tank filling height; or to any other level specified by the Purchaser, restricted by an internal floating roof, or controlled to allow for seismic wave action;
- G is the design specific gravity of the liquid to be stored, as specified by the Purchaser;
- CA is the corrosion allowance, in inches, as specified by the Purchaser (see 5.3.2);
 S_d is the allowable stress for the design condition, in lbf/in.² (see 5.6.2.1);
 S_t is the allowable stress for the hydrostatic test condition, in lbf/in.² (see 5.6.2.2).

5.6.4 Calculation of Thickness by the Variable-Design-Point Method

NOTE This procedure normally provides a reduction in shell-course thicknesses and total material weight, but more important is its potential to permit construction of larger diameter tanks within the maximum plate thickness limitation. For background information, see L.P. Zick and R.V. McGrath, "Design of Large Diameter Cylindrical Shells."¹⁵

Anexo 14 Extracto de AISC 360-16

J3. BOLTS AND THREADED PARTS

ASTM A307 bolts are permitted except where pretensioning is specified.

1. High-Strength Bolts

Use of high-strength bolts shall conform to the provisions of the *Specification for Structural Joints Using High-Strength Bolts*, hereafter referred to as the *RCSC Specification*, as approved by the Research Council on Structural Connections, except as otherwise provided in this Specification. High-strength bolts in this Specification are grouped according to material strength as follows:

Group A—ASTM F3125/F3125M Grades A325, A325M, F1852 and ASTM A354 Grade BC

Group B—ASTM F3125/F3125M Grades A490, A490M, F2280 and ASTM A354 Grade BD

Group C—ASTM F3043 and F3111

Use of Group C high-strength bolt/nut/washer assemblies shall conform to the applicable provisions of their ASTM standard. ASTM F3043 and F3111 Grade 1 assemblies may be installed only to the snug-tight condition. ASTM F3043 and F3111 Grade 2 assemblies may be used in snug-tight, pretensioned and slip-critical connections, using procedures provided in the applicable ASTM standard.

User Note: The use of Group C assemblies is limited to specific building locations and noncorrosive environmental conditions by the applicable ASTM standard.

When assembled, all joint surfaces, including those adjacent to the washers, shall be free of scale, except tight mill scale.

- (a) Bolts are permitted to be installed to the snug-tight condition when used in:
- (1) Bearing-type connections, except as stipulated in [Section E6](#)
 - (2) Tension or combined shear and tension applications, for Group A bolts only, where loosening or fatigue due to vibration or load fluctuations are not design considerations
- (b) Bolts in the following connections shall be pretensioned:
- (1) As required by the *RCSC Specification*
 - (2) Connections subjected to vibratory loads where bolt loosening is a consideration
 - (3) End connections of built-up members composed of two shapes either interconnected by bolts, or with at least one open side interconnected by perforated cover plates or lacing with tie plates, as required in [Section E6.1](#)
- (c) The following connections shall be designed as slip critical:
- (1) As required by the *RCSC Specification*
 - (2) The extended portion of bolted, partial-length cover plates, as required in [Section F13.3](#)

TABLE J3.1
Minimum Bolt Pretension, kips^[a]

Bolt Size, in.	Group A ^[a] (e.g., A325 Bolts)	Group B ^[a] (e.g., A490 Bolts)	Group C, Grade 2 ^[b] (e.g., F3043 Gr. 2 bolts)
1/2	12	15	—
5/8	19	24	—
3/4	28	35	—
7/8	39	49	—
1	51	64	90
1 1/8	64	80	113
1 1/4	81	102	143
1 3/8	97	121	—
1 1/2	118	148	—

^[a] Equal to 0.70 times the minimum tensile strength of bolts as specified in ASTM F3125/F3125M for Grade A325 and Grade A490 bolts with UNC threads, rounded off to nearest kip.

^[b] Equal to 0.70 times the minimum tensile strength of bolts, rounded off to nearest kip, for ASTM F3043 Grade 2 and ASTM F3111 Grade 2.

TABLE J3.1M
Minimum Bolt Pretension, kN^[a]

Bolt Size, mm	Group A (e.g., A325M Bolts)	Group B (e.g., A490M Bolts)
M16	91	114
M20	142	179
M22	176	221
M24	205	257
M27	267	334
M30	326	408
M36	475	595

^[a] Equal to 0.70 times the minimum tensile strength of bolts, rounded off to nearest kN, as specified in ASTM F3125/F3125M for Grade A325M and Grade A490M bolts with UNC threads.

The snug-tight condition is defined in the RCSC *Specification*. Bolts to be tightened to a condition other than snug tight shall be clearly identified on the design drawings. (See Table J3.1 or J3.1M for minimum bolt pretension for connections designated as pretensioned or slip critical.)

User Note: There are no specific minimum or maximum tension requirements for snug-tight bolts. Bolts that have been pretensioned are permitted in snug-tight connections unless specifically prohibited on design documents.

When bolt requirements cannot be provided within the RCSC *Specification* limitations because of requirements for lengths exceeding 12 diameters or diameters exceeding 1½ in. (38 mm), bolts or threaded rods conforming to Group A or Group B materials are permitted to be used in accordance with the provisions for threaded parts in [Table J3.2](#).

When ASTM A354 Grade BC, A354 Grade BD, or A449 bolts and threaded rods are used in pretensioned connections, the bolt geometry, including the thread pitch, thread length, head and nut(s), shall be equal to or (if larger in diameter) proportional to that required by the RCSC *Specification*. Installation shall comply with all applicable requirements of the RCSC *Specification* with modifications as required for the increased diameter and/or length to provide the design pretension.

2. Size and Use of Holes

The following requirements apply for bolted connections:

- (a) The maximum sizes of holes for bolts are given in [Table J3.3](#) or [Table J3.3M](#), except that larger holes, required for tolerance on location of anchor rods in concrete foundations, are permitted in column base details.
- (b) Standard holes or short-slotted holes transverse to the direction of the load shall be provided in accordance with the provisions of this Specification, unless oversized holes, short-slotted holes parallel to the load, or long-slotted holes are approved by the engineer of record.
- (c) Finger shims up to ¼ in. (6 mm) are permitted in slip-critical connections designed on the basis of standard holes without reducing the nominal shear strength of the fastener to that specified for slotted holes.
- (d) Oversized holes are permitted in any or all plies of slip-critical connections, but they shall not be used in bearing-type connections.
- (e) Short-slotted holes are permitted in any or all plies of slip-critical or bearing-type connections. The slots are permitted without regard to direction of loading in slip-critical connections, but the length shall be normal to the direction of the loading in bearing-type connections.
- (f) Long-slotted holes are permitted in only one of the connected parts of either a slip-critical or bearing-type connection at an individual faying surface. Long-slotted holes are permitted without regard to direction of loading in slip-critical connections, but shall be normal to the direction of loading in bearing-type connections.
- (g) Washers shall be provided in accordance with the RCSC *Specification* Section 6, except for Group C assemblies, where washers shall be provided in accordance with the applicable ASTM standard.

User Note: When Group C heavy-hex fastener assemblies are used, a single washer is used under the bolt head and a single washer is used under the nut. When Group C twist-off bolt assemblies are used, a single washer is used under the nut. Washers are of the type specified in the ASTM standard for the assembly.

TABLE J3.2
Nominal Strength of Fasteners and
Threaded Parts, ksi (MPa)

Description of Fasteners	Nominal Tensile Strength, F_{nt} , ksi (MPa) ^[a]	Nominal Shear Strength in Bearing-Type Connections, F_{nv} , ksi (MPa) ^[b]
A307 bolts	45 (310) ^[c]	27 (186) ^{[c][d]}
Group A (e.g., A325) bolts, when threads are not excluded from shear planes	90 (620)	54 (372)
Group A (e.g., A325) bolts, when threads are excluded from shear planes	90 (620)	68 (469)
Group B (e.g., A490) bolts, when threads are not excluded from shear planes	113 (780)	68 (469)
Group B (e.g., A490) bolts, when threads are excluded from shear planes	113 (780)	84 (579)
Group C (e.g., F3043) bolt assemblies, when threads and transition area of shank are not excluded from the shear plane	150 (1040)	90 (620)
Group C (e.g., F3043) bolt assemblies, when threads and transition area of shank are excluded from the shear plane	150 (1040)	113 (779)
Threaded parts meeting the requirements of Section A3.4 , when threads are not excluded from shear planes	$0.75F_u$	$0.450F_u$
Threaded parts meeting the requirements of Section A3.4 , when threads are excluded from shear planes	$0.75F_u$	$0.563F_u$
<p>[a] For high-strength bolts subject to tensile fatigue loading, see Appendix 3.</p> <p>[b] For end loaded connections with a fastener pattern length greater than 38 in. (950 mm), F_{nv} shall be reduced to 83.3% of the tabulated values. Fastener pattern length is the maximum distance parallel to the line of force between the centerline of the bolts connecting two parts with one faying surface.</p> <p>[c] For A307 bolts, the tabulated values shall be reduced by 1% for each $1/16$ in. (2 mm) over five diameters of length in the grip.</p> <p>[d] Threads permitted in shear planes.</p>		

TABLE J3.3
Nominal Hole Dimensions, in.

Bolt Diameter, in.	Hole Dimensions			
	Standard (Dia.)	Oversize (Dia.)	Short-Slot (Width × Length)	Long-Slot (Width × Length)
1/2	9/16	5/8	9/16 × 11/16	9/16 × 1 1/4
5/8	1 1/16	13/16	1 1/16 × 7/8	1 1/16 × 1 9/16
3/4	13/16	15/16	13/16 × 1	13/16 × 1 7/8
7/8	15/16	1 1/16	15/16 × 1 1/8	15/16 × 2 3/16
1	1 1/8	1 1/4	1 1/8 × 1 5/16	1 1/8 × 2 1/2
≥ 1 1/8	$d + 1/8$	$d + 5/16$	$(d + 1/8) \times (d + 3/8)$	$(d + 1/8) \times 2.5d$

TABLE J3.3M
Nominal Hole Dimensions, mm

Bolt Diameter, mm	Hole Dimensions			
	Standard (Dia.)	Oversize (Dia.)	Short-Slot (Width × Length)	Long-Slot (Width × Length)
M16	18	20	18 × 22	18 × 40
M20	22	24	22 × 26	22 × 50
M22	24	28	24 × 30	24 × 55
M24	27 ^[a]	30	27 × 32	27 × 60
M27	30	35	30 × 37	30 × 67
M30	33	38	33 × 40	33 × 75
≥ M36	$d + 3$	$d + 8$	$(d + 3) \times (d + 10)$	$(d + 3) \times 2.5d$

^[a] Clearance provided allows the use of a 1-in.-diameter bolt.

3. Minimum Spacing

The distance between centers of standard, oversized or slotted holes shall not be less than $2^{2/3}$ times the nominal diameter, d , of the fastener. However, the clear distance between bolt holes or slots shall not be less than d .

User Note: A distance between centers of standard, oversized or slotted holes of $3d$ is preferred.

4. Minimum Edge Distance

The distance from the center of a standard hole to an edge of a connected part in any direction shall not be less than either the applicable value from [Table J3.4](#) or [Table J3.4M](#), or as required in [Section J3.10](#). The distance from the center of an oversized or slotted hole to an edge of a connected part shall be not less than that required for a standard hole to an edge of a connected part plus the applicable increment, C_2 , from [Table J3.5](#) or [Table J3.5M](#).

User Note: The edge distances in [Tables J3.4](#) and [J3.4M](#) are minimum edge distances based on standard fabrication practices and workmanship tolerances. The appropriate provisions of [Sections J3.10](#) and [J4](#) must be satisfied.

5. Maximum Spacing and Edge Distance

The maximum distance from the center of any bolt to the nearest edge of parts in contact shall be 12 times the thickness of the connected part under consideration, but shall not exceed 6 in. (150 mm). The longitudinal spacing of fasteners between elements consisting of a plate and a shape, or two plates, in continuous contact shall be as follows:

- (a) For painted members or unpainted members not subject to corrosion, the spacing shall not exceed 24 times the thickness of the thinner part or 12 in. (300 mm).
- (b) For unpainted members of weathering steel subject to atmospheric corrosion, the spacing shall not exceed 14 times the thickness of the thinner part or 7 in. (180 mm).

User Note: The dimensions in (a) and (b) do not apply to elements consisting of two shapes in continuous contact.

6. Tensile and Shear Strength of Bolts and Threaded Parts

The design tensile or shear strength, ϕR_n , and the allowable tensile or shear strength, R_n/Ω , of a snug-tightened or pretensioned high-strength bolt or threaded part shall be determined according to the limit states of tension rupture and shear rupture as:

$$R_n = F_n A_b \quad (\text{J3-1})$$

$$\phi = 0.75 \text{ (LRFD)} \quad \Omega = 2.00 \text{ (ASD)}$$

where

A_b = nominal unthreaded body area of bolt or threaded part, in.² (mm²)

F_n = nominal tensile stress, F_{nt} , or shear stress, F_{nv} , from [Table J3.2](#), ksi (MPa)

The required tensile strength shall include any tension resulting from prying action produced by deformation of the connected parts.