

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

" Diseño de un tanque hidroneumático para agua potable según la
norma ASME"

TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

Materia Integradora

Previo la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Presentado por:

Darío Rubén Zamora Carranza

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2015

AGRADECIMIENTOS

Mi agradecimiento primero a Dios por haberme ayudado a caminar correctamente en las diferentes etapas de mi vida, a mis padres que son los mejores maestros que he conocido, su paciencia, sus motivaciones y apoyo incondicional me permitieron alcanzar esta meta tan anhelada que tenía desde niño y hoy en día se hace realidad, a mis hermanos que son referentes de alegría y positivismo ante cualquier situación que se presente y de quienes espero que algún día se conviertan en grandes profesionales, a toda mi familia y amigos por el afectuoso e incondicional apoyo, a mi director de proyecto el Ing. Ernesto Martínez L. y coordinador el Ing. Jorge Marcial H. por sus valiosas colaboraciones y paciencia durante el desarrollo de este proyecto y a todas las personas que de manera desinteresada me brindaron su ayuda.

DECLARACIÓN EXPRESA

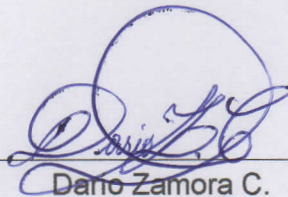
“La responsabilidad del contenido desarrollado en la presente propuesta de la materia integradora corresponde exclusivamente al equipo conformado por:

Autor: Darío Zamora C.

Director: Ing. Ernesto Martínez L.

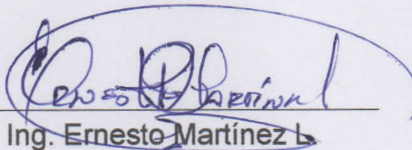
y el patrimonio intelectual del mismo a la Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción (FIMCP) de la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

Estamos también de acuerdo que el vídeo de la presentación oral es de plena propiedad de la FIMCP



Darío Zamora C.

Autor



Ing. Ernesto Martínez L.

Director

RESUMEN

El diseño de un tanque hidroneumático normado permite obtener un recipiente seguro y confiable desde el punto de vista técnico y de calidad. En el presente trabajo, se tiene como objetivo diseñar un tanque hidroneumático para agua potable según el código ASME, Sección VIII, División 1, que cumpla con las condiciones de operación y requerimientos mínimos establecidos para su construcción, esto surge del requerimiento de este tipo de recipientes que se presenta en una planta de almacenamiento y que por tener ciertas características particulares no se encuentra en el mercado local. A partir de los resultados obtenidos en este diseño se pretende que pueda ser construido localmente disminuyendo tiempos de espera y posibles costos debido a la importación.

Para el diseño del tanque se utilizaron materiales que se encuentran con facilidad en el mercado nacional, los aceros utilizados son: ASTM A-516 Gr.70, A-36, A-105, A-106 Gr. B y el A-193. A partir del requerimiento establecido por el cliente se procedió a dimensionar el tanque hidroneumático, se calcularon los espesores mínimos requeridos de las partes principales del tanque, se determinó los registros de inspección que llevará, las aberturas que necesitan de reforzamiento, las dimensiones del elemento de refuerzo y se verificó las fuerzas admisibles de unión de la boquilla para soportar la presión interna empleando las indicaciones de la norma ASME Sección, División 1, las cargas para el diseño del faldón y pernos de anclaje se determinaron según el estándar ASCE 7, NEC-11, los demás componentes empleando reglas básicas de diseño y consideraciones de seguridad dadas por la ANSI A 14.3. Finalmente se validó algunos resultados obtenidos mediante simulación en Solid Works® y el costo total del proyecto.

Se determinó que el tanque tendrá un volumen útil de 2.7 m^3 , el diámetro interior de 1.4 m y su altura 4.35 m medida desde el piso hasta la parte superior de la cabeza, las presiones internas de diseño, máxima admisible y de prueba hidrostática fueron de 0.72, 0.93 y 1.21 Mpa respectivamente, los espesores escogidos para el cuerpo, parche de refuerzo y faldón son de 6.35 mm, no se requiere tratamiento térmico. El costo total del tanque hidroneumático resultó ser de \$ 22,120.89 dólares americanos.

Los resultados obtenidos permitieron asegurar que el tanque soporte las diferentes cargas a las cuales estará sometido en el lugar de la instalación, dadas por las condiciones de operación y fuerzas externas: sismo o viento etc. El costo indirecto fue mayor que el costo directo.

Palabras Clave: ASME, hidroneumático, tanque, volumen, presión, hidrostática, fuerza, inspección, normado, viento, sismo.

ABSTRACT

The design of a normed hydropneumatic vessel allowable to get a safe and reliable vessel from a technical quality view point. In the present work, it is to design a hydropneumatic vessel for drinking water according to ASME Code, Section VIII, Division 1, complying with the operating conditions and minimum requirements established for its construction, this arises from the requirement of this type vessel that it present in a storage plant and that have certain individuals characteristics not found in the local market. From the results of this design is intended to be built locally reducing waiting times and possible costs due to import.

For the design of the vessel the materials found easily on the local market were used, the steels used are: ASTM A-516 Gr.70, A-36, A-105, A-106 Gr B and A- 193. From the requirement set by the client proceeded to scale the hydropneumatic vessel, the minimum required thickness of the main parts of the vessel were calculated, inspection hole to take determined, the openings that need strengthening, the dimensions of the element reinforcement and permissible binding forces of the nozzle to withstand the internal pressure using indications of ASME Section, Division 1 was verified, the design loads for the skirt and anchor bolts were determined according to ASCE 7, NEC-11 standard The other components using basic rules of design and safety considerations given by the ANSI 14.3. Finally, some results were validated by simulation in Solid Works® and the total project cost.

It was determined that the vessel will have a working volume of 2.7 m^3 , the inside diameter 1.4 m and 4.35 m height measured from the ground to the top of the head, internal design pressure, maximum allowable and hydrostatic test were 0.72, 0.93 and 1.21 MPa respectively, the thicknesses selected for the body, reinforcing patch and skirt are 6.35 mm, no heat treatment is required. The total cost of hydropneumatic vessel turned out to be \$ 22,120.89.

The results allowed to the vessel to ensure that support different loads to which shall be submitted at the place of installation, provided by the operating conditions and external forces, earthquake or wind etc. The indirect cost was higher than the direct costs.

Keywords: *ASME, hydropneumatic vessel, volume, pressure, hydrostatic force, inspection, wind, earthquake.*

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
ABSTRACT.....	II
ÍNDICE GENERAL	III
ABREVIATURAS.....	V
SIMBOLOGÍA	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	XI
ÍNDICE DE TABLAS.....	XIII
ÍNDICE DE PLANOS.....	XV
CAPÍTULO 1	
1. Introducción	1
1.1 Descripción del problema	1
1.2 Objetivo	2
1.2.1 Objetivo General.....	2
1.3 Marco teórico	2
1.4 Normas aplicables	4
CAPÍTULO 2	
2. Metodología del Diseño.....	7
2.1 Variables de diseño	7
2.2 Materiales.....	8
2.3 Parámetros de diseño.....	9
2.4 Dimensionamiento del tanque hidroneumático.	9
2.5 Diseño del cilindro bajo presión interna	12
2.6 Diseño de la cabeza toriesférica bajo presión interna	15
2.7 Registros de inspección.....	19
2.8 Espesor del cuello de la boquilla	19
2.9 Refuerzo de las aberturas.	28
2.10 Cargas por presión del viento.....	39

2.11	Carga sísmica	46
2.12	Diseño del faldón	52
2.13	Diseño de orejas de izaje.	59
2.14	Entrada de hombre con pescante	62
2.15	Escalera y plataforma	66
CAPÍTULO 3		
3.	Resultados.....	76
3.1	Análisis de los resultados obtenidos utilizando un software de elementos finitos	76
3.2	Costos de construcción	86
3.2.1	Costos directos	86
3.2.2	Costos indirectos	91
3.2.3	Costo total del tanque hidroneumático	93
CAPÍTULO 4		
4.	Discusión y Conclusiones	94
4.1	Conclusiones.....	95
4.2	Recomendaciones	95
BIBLIOGRAFÍA		
APÉNDICES		

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
FIMCP	Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción
ASME	American Society of Mechanical Engineer
ASTM	American Society for Testing and Materials
ANSI	American National Standard Institute
ASCE	American Society of Civil Engineers
NEC	Norma Ecuatoriana de Construcción
INEN	Instituto Ecuatoriano de Normalización
NTE	Norma Técnica Ecuatoriana
OSHA	Occupational Safety and Health Administration
NPS	Nominal Pipe Size
FCAW	Flux cored arc welding
WPS	Welding Procedure Specification
PQR	Procedure Qualification Register
WPQ	Welder Performance Qualifications
END	Ensayo no destructivo
AWS	American Welding Society
NACE	National Association of Corrosion Engineer
SSPC	The Society for Protective Coatings

SIMBOLOGÍA

Q_{\max}	Caudal máximo
S.G	Gravedad específica
g	Gravedad
P_{\min}	Presión de operación mínima
P_{\max}	Presión de operación máxima
C.A.I	Corrosión permitida interna
P	Presión de diseño
T_C	Tiempo entre dos arranques consecutivos de la bomba
U	Ciclos por hora
V_u	Volumen útil
V_t	Volumen del tanque precargado de aire
P_a	Presión atmosférica
F	Factor de Abakians
S	Esfuerzo del material
E	Eficiencia de la junta
L	Longitud del cilindro
D_i	Diámetro interior
t_1	Espesor mínimo
R_i	Radio interior
S	Esfuerzo máximo admisible
t_{CH}	Espesor escogido
ϵ_f	Elongación de la fibra extrema
R_f	Radio final de la fibra neutra
R_o	Radio original de la fibra neutra
T_{Cl}	Tolerancia permitida para el conformado
P	Presión permitida
M	Factor adimensional
L	Radio interior de la corona
r	Radio interior de nudillo
t_r	Espesor mínimo requerido
t_a	Espesor mínimo requerido del cuello
R_o	Radio exterior del cuello
t_b	Valor espesor

t_{b1}	Espesor de la cabeza o cuerpo
t_{b2}	Espesor mínimo de la pared del tubo estándar
t_{UG-45}	Espesor de pared mínimo del cuello de boquilla
d	Diámetro final de la abertura
D_o	Diámetro exterior del cuello
t_{min}	Espesor de la parte más delgada
t_c	Mínima garganta requerida
W_L	Mínima pierna requerida
W_{ch}	Soldadura de pierna escogida
X	Límite medido paralelamente a la pared
d	Diámetro interior de la boquilla
R_n	Radio interior de la boquilla
t_n	Espesor de la pared de la boquilla
Y	Límite medido normal a la pared
t_e	Espesor del elemento de refuerzo
h	Distancia máxima proyectada del interior de la boquilla
t_i	Espesor nominal de la proyección interna de la pared de la boquilla
t	Espesor de la pared del recipiente
F	Factor de corrección
f_{r1}	Factor de reducción de esfuerzo
S_n	Esfuerzo admisible de la boquilla
S_v	Esfuerzo admisible del recipiente
S_p	Esfuerzo admisible del elemento de refuerzo
W_{L1}	Tamaño de la pierna de soldadura hacia el exterior
W_{L2}	Tamaño de la pierna de soldadura exterior
W_{L3}	Tamaño de la pierna de soldadura hacia el interior
W	Carga total de la soldadura
W_{1-1}	Carga de la soldadura para la trayectoria de resistencia 1-1
W_{2-2}	Carga de la soldadura para la trayectoria de resistencia 2-2
W_{3-3}	Carga de la soldadura para la trayectoria de resistencia 3-3
A	Área requerida de reforzamiento
A_1	Área disponible en el cilindro
A_2	Área disponible en la boquilla
A_3	Área disponible en la boquilla hacia el interior
A_{4n}	Área disponible de la soldadura

A_5	Área del parche
$D_{p_{MIN}}$	Diámetro exterior mínimo del elemento de refuerzo
E_{a1}	Tensión en la soldadura de ranura
E_{a2}	Corte en la pared de la boquilla
E_{a3}	Corte en la soldadura de filete
F_{en}	Fuerzas admisibles
F_{n-n}	Fuerzas de trayectorias
Gr	Grado
t_e	Espesor
do	Diámetro exterior de la boquilla
t_{rn}	Espesor requerido de la boquilla
t_n	Espesor nominal de la boquilla
d	Diámetro interior de la boquilla
Rn	Radio interior de la boquilla
h	Proyección interior de la boquilla
t_i	Espesor nominal de la proyección interna de la pared de la boquilla
X	Límite de reforzamiento en la dirección x
Y	Límite de reforzamiento en la dirección y
W_{Ln}	Tamaño de la pierna de soldadura
f	Frecuencia fundamental
T	Periodo
w	Peso
H	Altura
E	Módulo de elasticidad del acero
K	Periodo fundamental de vibración
g	Gravedad
I	Momento de inercia del área del cilindro
F	Fuerza debida al viento
q_z	Presión ejercida por el viento
G	Factor de efecto de ráfaga
A_f	Área proyectada
h_x	Altura de la sección considerada del recipiente
D_o	Diámetro de la sección considerada
K_z	Coeficiente de exposición de la presión por velocidad
K_{zT}	Factor topográfico

V	Velocidad básica del viento (velocidad de diseño)
I	Factor de importancia
G_f	Factor de respuesta a ráfagas para recipientes flexibles
M	Momento de vuelco
Z	Factor de zona sísmica
C_a	Coeficientes sísmicos
C_v	Coeficientes sísmicos
W_o	Peso del recipiente en operación
R_w	Coeficiente
V	Cortante en la base
t	Espesor mínimo requerido del faldón
D	Diámetro medio del faldón
σ_T	Esfuerzo combinado
M_T	Momento de la junta del faldón a la cabeza
A	Área del faldón
Z	Factor de sección
H_f	Altura del faldón
T	Tensión máxima
B_A	Área requerida del perno
S_B	Esfuerzo en el perno de anclaje
N	Número de pernos de anclaje
C_B	Circunferencia del círculo de los pernos
A_B	Área dentro del círculo de pernos
P_c	Compresión máxima
l	Ancho aproximado del anillo de base
t_B	Espesor aproximado del anillo de la base
S_1	Esfuerzo de apoyo o resistente
S_2	Esfuerzo de flexión
A_R	Área del anillo de la base
C_s	Circunferencia sobre el D.E. del faldón
f_b	Carga segura de apoyo sobre el concreto
l_1	Longitud de voladizo del anillo del faldón
A_s	Área comprendida dentro del faldón
t_o	Espesor mínimo requerido en la oreja de izaje
t_c	Espesor mínimo requerido en la placa de respaldo

A_s	Área de soldadura aplicada
A_r	Área mínima de soldadura requerida
C	Ancho de oreja
α, β, K	Coeficientes
n	Factor de seguridad
σ	Esfuerzos combinados
f_a	Esfuerzo axial
f_{b1}, f_{b2}	Esfuerzo de flexión
P	Carga
F_M	Carga muerta
F_V	Carga viva
R_p	Radio exterior de la plataforma
r_p	Radio interior de la plataforma
m	Metro
mm	Milímetro
mm^2	Milímetro cuadrado
mm^3	Milímetro cúbico
m^2	Metro cuadrado
m^3	Metro cúbico
N	Newton
MPa	Mega pascales
lb	Libras
Kg	Kilogramo
l	Litros
pie	Pie
$pulg^2$	Pulgada al cuadrado
Hz	Hertz
s	Segundo
μm	Micras de metro
PSI	Libras por pulgada cuadra

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1. Esquema del sistema hidroneumático.	3
Figura 1-2. Placa de descripción con estampe (ASME, 2013).....	6
Figura 2-1. Cilindro	12
Figura 2-2. Diferencia entre las medidas máximas y mínimas del diámetro interior (UG-80.2), (ASME, 2013)	13
Figura 2-3. Cabeza toriesférica	15
Figura 2-4. Distribución de boquillas.....	20
Figura 2-5. Bridas, (FRANCOVIGH, 2015)	23
Figura 2-6. Unión de la boquilla N1, (ASME, 2013)	25
Figura 2-7. Configuración de unión común de la boquilla (UG-37.1), (ASME, 2013).....	29
Figura 2-8. Ubicación de las piernas de soldadura, (ASME, 2013)	31
Figura 2-9. Cargas de la soldadura para la fijación de la boquilla y trayectorias de resistencia de soldadura, (UG-41.1), (ASME, 2013).....	33
Figura 2-10. Recipiente vertical con carga de viento a diferentes alturas, (Moss, 2004).....	39
Figura 2-11. Recipiente vertical bajo carga de viento	46
Figura 2-12. Distribución de carga sísmica, (Moss, 2004)	47
Figura 2-13. Referencias para determinar momentos a diferentes alturas, (Moss, 2004)	50
Figura 2-14. Bosquejos comunes de unión del faldón a la cabeza (Megyesy, 1992)	52
Figura 2-15. Distribución de pernos de anclaje.	54
Figura 2-16. Anillo de la base, (Megyesy, 1992)	57
Figura 2-17. Oreja de Izaje.....	59
Figura 2-18. Pescante para apertura horizontal, (Megyesy, 1992).....	62
Figura 2-19. Diseño del pescante para el registro de hombre	63
Figura 2-20. Carga soportada por el pescante	63
Figura 2-21. Escalera fija con jaula de protección, (Moss, 2004)	67
Figura 2-22. Esquema general conjunto escalera - Jaula de protección	68
Figura 2-23. Dimensiones y carga aplicada en el escalón.....	69
Figura 2-24. Dimensiones y carga aplicada en soporte de escalera.	70
Figura 2-25. Centro de gravedad en plataforma circular para aplicación de fuerza total, (Moss, 2004).....	71
Figura 2-26. Detalle de plataforma de mantenimiento	71
Figura 2-27. Dimensiones, fuerza, y reacciones para soporte.....	72
Figura 2-28. Dimensiones y carga aplicada en el pasamano.	74
Figura 3-1. Diseño final del tanque hidroneumático	77

Figura 3-2. Módulo de selección del material para el recipiente	78
Figura 3-3. Sujeción del recipiente.....	78
Figura 3-4. Aplicación de cargas.....	79
Figura 3-5. Malla del modelo del recipiente	79
Figura 3-6. Distribución de esfuerzo bajo la carga aplicada en el interior del recipiente	80
Figura 3-7. Deformación estática unitaria	81
Figura 3-8. Distribución del factor de seguridad del recipiente	81
Figura 3-9. Resultados de simulación del faldón	82
Figura 3-10. Resultados de simulación de escalón	83
Figura 3-11. Resultados de simulación del soporte de escalera.	83
Figura 3-12. Resultados de simulación de pasamanos.....	84
Figura 3-13. Resultados de simulación de soporte de la plataforma.	84
Figura 3-14. Resultados de simulación de pasamanos.....	85
Figura 3-15. Resultados de simulación del pescante.....	85

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tipos de juntas, (Estrada, 2001).....	7
Tabla 2. Eficiencia máxima permitida de la unión para juntas soldadas por arco y gas (E), (ASME, 2013)	8
Tabla 3. Dimensionamiento de cilindro	11
Tabla 4. Boquillas	20
Tabla 5. Requerimientos de espesor mínimo de la boquilla (UG-45), (ASME, 2013)	21
Tabla 6. Resultados del diseño de las boquillas.....	26
Tabla 7. Bosquejos para unión de las boquillas, (ASME, 2013)	27
Tabla 8. Tamaño de soldadura	27
Tabla 9. Descripción de bridas seleccionadas.	28
Tabla 10. Límites de reforzamiento.....	36
Tabla 11. Espesores mínimos y gargantas mínimas de soldadura	36
Tabla 12. Factores de corrección y reducción.....	36
Tabla 13. Tamaño de piernas de soldaduras, (ASME, 2013)	37
Tabla 14. Áreas disponibles de los elementos de conexión para la boquilla.....	37
Tabla 15. Áreas requeridas y diámetro exterior del elemento de refuerzo	37
Tabla 16. Esfuerzos admisibles	38
Tabla 17. Cargas llevadas por las soldaduras.....	38
Tabla 18. Fuerzas admisibles de soldaduras en los elementos de conexión de boquilla	38
Tabla 19. Fuerzas admisibles para verificación de reforzamiento de trayectoria.....	39
Tabla 20. Categoría de estructuras, (ASCE 7, 2002).....	40
Tabla 21. Factor de Importancia, (ASCE 7, 2002).....	41
Tabla 22. Coeficiente de exposición de la presión por velocidad KZ (Moss, 2004)	43
Tabla 23. Tipo de perfil del suelo, (Moss, 2004).....	47
Tabla 24. Coeficiente sísmico C_a , (NEC-11, Norma Ecuatoriana de Construcción, Capítulo 2, Peligro Sísmico y Requisitos de Diseño Sismo Resistente, 2013)	48
Tabla 25. Coeficiente sísmico C_v , (NEC-11, Norma Ecuatoriana de Construcción, Capítulo 2, Peligro Sísmico y Requisitos de Diseño Sismo Resistente, 2013)	48
Tabla 26. Dimensiones de pernos y ubicación de agujeros en el anillo de la base, (Megyesy, 1992).....	55
Tabla 27. Dimensionamiento de los materiales para pescante, (Megyesy, 1992)	62
Tabla 28. Material-ASTM A-516 GR.70	86
Tabla 29. Material-ASTM A-36 (Parte a)	86
Tabla 30. Material-ASTM A-36 (Parte b)	87

Tabla 31. Material-ASTM A-106 Gr. B	87
Tabla 32. Bridas-ASTM A-105	88
Tabla 33. Empaques	88
Tabla 34. Tornillería.....	89
Tabla 35. Pintura	90
Tabla 36. Procesos para la construcción del tanque.....	90
Tabla 37. Resumen de materiales	91
Tabla 38. Resumen de costos directos.....	91
Tabla 39. Ensayos destructivos	91
Tabla 40. Ensayos no destructivos	92
Tabla 41. Pruebas de presión	92
Tabla 42. Personal administrativo.....	92
Tabla 43. Resumen de costos indirectos.....	93
Tabla 44. Costo total del tanque hidroneumático	93

ÍNDICE DE PLANOS

PLANO P1	Detalles generales
PLANO P2	Cabeza toriesférica
PLANO P3	Placas de identificación del tanque hidroneumático
PLANO P4	Despiece del tanque
PLANO P5	Conexiones bridadas
PLANO P6	Fabricación del tanque
PLANO P7	Fabricación de la escalera
PLANO P8	Ubicación de refuerzos de las aberturas
PLANO P9	Fabricación de plataforma de mantenimiento
PLANO P10	Fabricación de pasamanos
PLANO P11	Fabricación manhole tipo davit
PLANO P12	Corte de plancha ASTM A-516 Gr. 70
PLANO P13	Corte de faldón
PLANO P14	Corte del anillo del faldón

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

Los tanques hidroneumáticos normados han demostrado ser los recipientes más seguros y confiables, desde el punto de vista técnico y de calidad, se emplean dentro de los sistemas hidroneumáticos que requieran altas exigencias en seguridad, esto se debe principalmente a que durante su etapa de diseño se da fiel cumplimiento de las indicaciones establecidas en la norma y se emplean estrictos controles de calidad durante su construcción.

En este proyecto, se presenta el diseño de un tanque hidroneumático para una parte del sistema de agua potable en una planta de almacenamiento de GLP, el cual es necesario para mantener adecuadamente presurizado el sistema de la red de distribución satisfaciendo las condiciones de presión y caudal en el punto más desfavorable, según las características y condiciones establecidas por el cliente, este tipo de tanque no se encuentra en el mercado local ya que es obligatorio que sea normado por lo que se hace necesario su diseño y posterior construcción, de aquí la necesidad de que el tanque que se mande a construir debe ser normado, se tiene dos opciones para su adquisición, la primera es importarlo, la segunda es que sea diseñado y posteriormente construido con la mayoría de materiales que se encuentren localmente disminuyendo de esta manera el tiempo de entrega y posibles costos debido a la importación. De aquí, el objetivo de este proyecto es diseñar un tanque hidroneumático para agua potable según la norma ASME que cumpla con las condiciones de operación y requerimientos mínimos para su construcción.

1.1 Descripción del problema

En una planta de almacenamiento de GLP ubicada en la zona costera de la provincia de Santa Elena surge la necesidad de instalar un tanque a presión dentro del sistema hidroneumático con la finalidad de que sea capaz de suministrar agua potable a la red satisfaciendo las condiciones de operación requeridas.

Debido a las altas exigencias de seguridad que se emplean en este tipo de planta, los tanques que tengan algún tipo de uso dentro de sus instalaciones deben cumplir con la normativa que establezca los requisitos necesarios para su diseño y construcción, de esta manera se asegura su calidad y confianza durante el uso. De aquí que el tanque hidroneumático que se instale en esta planta por seguridad y exigencias del cliente debe de ser normado cumpliendo los requisitos mínimos establecidos para su diseño y posterior construcción.

El diseño del tanque se lo realizará según las indicaciones establecidas por el código ASME sección VIII, División 1, por ser un código de reconocimiento a nivel mundial frecuentemente utilizado por los diseñadores cuando se requiere el diseño de recipientes a presión, permitiendo estampar el producto terminado garantizando su calidad.

Según el requerimiento por parte del cliente, el tanque deberá operar entre 0.10 y 0.44 MPa suministrando un caudal máximo de 18 l/s

1.2 Objetivo

1.2.1 Objetivo General

Diseñar un tanque hidroneumático para agua potable según la norma ASME, Sección VIII, División 1, que cumpla con las condiciones de operación y requerimientos mínimos establecidos para su construcción.

1.3 Marco teórico

Tanque hidroneumático

Un tanque hidroneumático es un recipiente que contiene aire y agua bajo presión. El aire comprimido sirve como un cojín para ejercitar o absorber presión. Sus funciones principales son:

- Entregar agua según el rango de presión seleccionado para que la bomba de agua realice los arranques y paradas respectivas.
- Prevenir que la bomba arranque de nuevo cada vez que el sistema de distribución tenga una pérdida baja de agua.
- Reducir al mínimo los golpes de ariete.

Tipos de tanques hidroneumáticos

Los diferentes tipos de tanques hidroneumáticos, se diferencian por la forma constructiva y por los materiales utilizados existiendo los siguientes: (Naut, 2013).

- **Tanques con membrana:** Poseen una membrana interna para evitar que el aire sea absorbido por el agua. Se usan ampliamente en el mercado de la presurización domiciliaria y también se emplean tanto en pequeñas como en medianas obras.
- **Tanques sin membrana:** En el interior de estos tanques el aire se encuentra en contacto directo con el agua, esto permite que el volumen de aire poco a poco se vaya perdiendo, cuando el aire se disuelve en el agua, el nivel de agua dentro del tanque sube y la presión de aire baja. Para evitar que pierda su capacidad de presurización se hace uso de un sistema automático para rellenar el volumen de aire disuelto.

Los tanques hidroneumáticos funcionan mejor con un colchón de aire de $\frac{1}{4}$ a $\frac{1}{2}$ la capacidad del tanque. (Washington State Department of Health, 2011).

En la actualidad estos tanques son mayormente utilizados para uso naval o servicios pesados en la industria, sin dejar de satisfacer las necesidades de la construcción de uso civil, sistemas contra incendios, riego, etc. (Levy, 2008).

Las bombas trabajan en función con los tanques de presión para mantener una variación de presión consistente en el sistema, estos tanques mantienen el rango de ciclo de bombeo requerido para evitar que se sobrecaliente el motor de la bomba y se produzca una falla prematura.

Debido a su uso, por emplear menos tipos de materiales y facilidad para su construcción, en este diseño se considerará el tanque hidroneumático sin membrana.

En la Figura 1-1 se muestra un esquema básico de un sistema hidroneumático con sus partes principales.

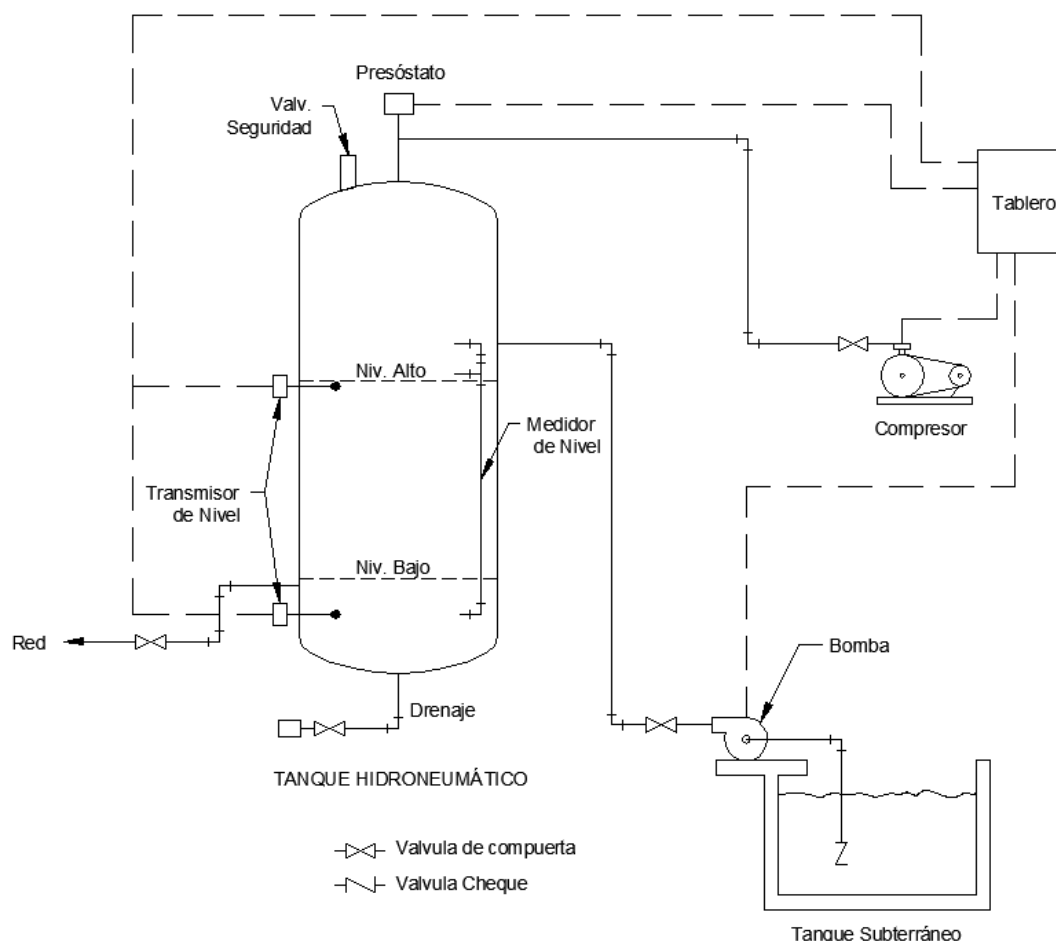


Figura 1-1. Esquema del sistema hidroneumático

Funcionamiento del sistema hidroneumático

Para el control del llenado del tanque tanto de aire como de agua se tiene dos tipos de sensores que permiten detectar el nivel del agua suspendido dentro del tanque y la presión del aire en el tanque. Estos sensores son los transmisores de nivel y presostato los cuales están programados y calibrados para mantener el nivel de agua deseado dentro del tanque a través del control del funcionamiento de la bomba y el compresor. La bomba succiona el agua del tanque subterráneo y la manda al tanque, el agua bombeada comprime el aire dentro del tanque hasta que este alcanza una presión máxima preestablecida, al llegar a este punto la bomba se apaga. A medida que se va consumiendo el agua del tanque en la red, la presión baja hasta llegar a la mínima establecida para el sistema en el nivel bajo, en este punto la bomba vuelve a arrancar automáticamente. Cuando el aire se va disolviendo en el agua durante la operación o por alguna fuga, este es repuesto cada vez que el nivel de agua supere al nivel máximo establecido siendo detectado con el transmisor de nivel que activa el funcionamiento del compresor permitiendo la entrada de aire hasta obtener la presión requerida en el nivel establecido.

El tanque lleva una mirilla o medidor de nivel que permite ver el nivel de líquido y saber cuándo hay poco aire en el interior. La bomba es controlada con el presostato calibrado a las presiones de operación requeridas para que paren y arranquen, el compresor que permite la entrada de aire es controlado por el transmisor de nivel.

1.4 Normas aplicables

ASME (AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS)

Fue fundada en 1880 como la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos, ASME. Esta organización desarrolla los códigos y los estándares que mejoran la seguridad pública, proporciona aprendizaje constante y oportunidades de intercambio técnico que benefician la comunidad global de la ingeniería y de la tecnología.

El código ASME se divide en doce secciones, cada una se refiere a temas particulares, este proyecto está involucrado en cuatro secciones que son las siguientes:

Sección II: Trata sobre los materiales y se divide en cuatro partes:

- **Parte A:** Especificaciones de materiales ferrosos.
- **Parte B:** Especificaciones de materiales no ferrosos.
- **Parte C:** Especificaciones y requerimientos para la soldadura y los electrodos.
- **Parte D:** Propiedades.

Sección V: Establece requerimientos para la aplicación de pruebas no destructivas.

Sección IX: Establece reglas que regula los procedimientos de soldadura (WPS-PQR), las aplicaciones de soldadura y la calificación de habilidad de los soldadores (WPQ).

Sección VIII, División 1: Establece los requerimientos mínimos para el diseño, fabricación e inspección y para obtener la certificación autorizada de la ASME para los recipientes a presión. En base a esto principalmente se divide en:

- Subsección A. Parte UG, Requisitos generales.
- Subsección B. Requerimientos de fabricación.
 - Parte UW: Recipientes soldados.
 - Parte UF: Recipientes forjados.
 - Parte UB: Recipientes soldados por brazing.
- Subsección C: Requerimientos de materiales.
 - Parte UCS: Recipientes construidos con acero al carbón y de baja aleación.
 - Parte UNF: Para los construidos con materiales no ferrosos.
 - Parte UHA: Aceros altamente aleados.
 - Parte UCI: Materiales de hierro fundido.
 - Parte UCL: Recipientes con revestimiento integral resistente a la corrosión.
 - Parte UCD: Materiales de fundición dúctil.
 - Parte UHT: Materiales tratados térmicamente.
 - Parte ULW: Recipientes por capas.
 - Parte ULT: Materiales para bajas temperaturas.
 - Parte UHX: Reglas para intercambiadores de calor de carcasa y tubo.
 - Parte UIG: Recipientes construidos de grafito impregnado.

Limitaciones

Entre las principales se tiene:

- El espesor mínimo para recipientes construidos en acero al carbón será de 3/32" (2.38 mm).
- La relación $R/t \geq 10$.
- Los recipientes no deberán tener elementos principales móviles, ya sean rotatorios o reciprocantes.
- El volumen mínimo que deberán tener los recipientes a presión diseñados y construidos bajo este código, deberá ser de 120 galones.
- La presión mínima a la que deberán diseñarse los recipientes será de 15 PSIG (0.1 MPa).
- El diámetro interior mínimo será de 6".
- La presión máxima de diseño será de 3000 PSIG (20 MPa).
- Deberán ser estacionarios.

Emisión del estampe ASME


Cuando se requiere que el recipiente a presión sea estampado, las empresas que realicen el diseño y construcción deben contar con el certificado de autorización vigente ASME U para su aplicación.

En esta parte, la empresa solicita la inspección por parte de un inspector autorizado (A.I) por la agencia contratada, para que lleve a cabo en sus visitas el chequeo de la documentación necesaria y los pasos de fabricación de acuerdo al código ASME, el cual verificará el cumplimiento de los siguientes puntos:

- La adquisición del material adecuado.
- Los certificados de calidad de los materiales para la fabricación.
- Diseño y cálculo bajo Norma ASME.
- La selección de los materiales, y los procedimientos de soldadura.
- El manual de aseguramiento de calidad del proceso.
- La calificación de los soldadores.
- La calidad de los cordones de soldadura de acuerdo a norma.
- Las radiografías de los cordones, el ensamble del recipiente.
- De ser aplicado el certificado de relevado de esfuerzos (horno de relevado de esfuerzos para las costuras de soldadura del cuerpo).
- La prueba a presión o prueba hidrostática del cuerpo de acuerdo al ASME.

Finalizado las inspecciones y una vez que el recipiente haya pasado y esté conforme 100 % en los puntos descritos anteriormente el inspector genera un reporte basado en los resultados de las revisión conjunta y lo envía al comité de acreditación para que esta emita su aceptación y el recipiente pueda ser estampado.

En la Figura 1-2 se muestra un ejemplo dado por la norma de la placa de descripción que llevarán los recipientes con estampe ASME U.

 U or UM W (if arc or gas welded) RT (if radiographed) HT (if postweld heat treated)	Certified by

	(Name of Manufacturer)
	(Pressure) ____ at (temperature) ____ Max. allowable working pressure (internal)
	(Pressure) ____ at (temperature) ____ Max. allowable working pressure (external) [if specified, see Note (1)]
	(Temperature) ____ at (pressure) ____ Min. design metal temperature

	Manufacturer's serial number

	Year built

Figura 1-2. Placa de descripción con estampe (ASME, 2013)

Estándares referenciados

A continuación se presenta una lista de los principales códigos y estándares referenciados que son usados para complementar el diseño del tanque:

- **ASME B16.5**
Bridas de tubería y accesorios bridados.
Dimensiones de bridas de acero al carbón forjado.
- **ASME B36.10**
Dimensiones de tubos cedulados.
- **ASCE (AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS)**
ESTÁNDAR 7: Cargas mínimas de diseño para edificios y otras estructuras.
- **NEC (NORMA ECUATORIANA DE CONSTRUCCION)**
CAPITULOS 1 y 2: Cargas de sismo y viento.
- **AWS D1.1 (AMERICAN WELDING SOCIETY)**
Código de soldadura estructural del acero.
- **SSPC (THE SOCIETY FOR PROTECTIVE COATINGS)**
 - SSPC-SP 5: Metal blanco granallado.
 - SSPC-SP 10: Metal casi blanco granallado.

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA DEL DISEÑO

2.1 Variables de diseño

Ciclos de bombeo: Es el número de arranques de una bomba en una hora. Cuando se dimensiona un tanque se considera por convención 6 ciclos por hora, un número mayor de arranques puede provocar sobrecalentamiento del motor y mayor consumo de energía.

Corrosión: En la parte UG-25 de la norma se indica que para partes de recipientes a presión sujetos a delgadez por corrosión, erosión, o abrasión mecánica al espesor calculado por las fórmulas de diseño se le incrementará una cantidad establecida por el diseñador con la finalidad de que el recipiente no falle por esta causa.

Un desgaste por corrosión de 5 milésimas de pulgada por año (1/16 pulg (1.6 mm) en 12 años) resulta generalmente satisfactorio para recipientes y tuberías.

Presión de diseño (P): Es el valor de presión que se emplea para diseñar las partes constitutivas del recipiente. Se recomienda utilizar una presión de diseño de 0.25 MPa o 10% más que la presión de operación, la que sea mayor. Al determinar la presión de diseño, debe tomarse en consideración la presión hidrostática debida a la columna del fluido contenido en el recipiente.

Eficiencia de las juntas (E): Se puede definir como el grado de confiabilidad que se puede tener de ellas. Sus valores están dados en la Tabla 2, en la cual se muestran los tipos de unión más comúnmente usados en la fabricación de recipientes a presión.

Tabla 1. Tipos de juntas, (Estrada, 2001)



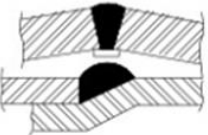



1		4	
2		5	
3		6	

Tabla 2. Eficiencia máxima permitida de la unión para juntas soldadas por arco y gas (E), (ASME, 2013)

Tipo	Descripción de junta	Grado de examinación radiográfica		
		Completa	Por zonas	Ninguna
1	Juntas a tope hechas por doble cordón de soldadura o por otro medio con el que se obtenga la misma calidad de metal de soldadura depositada sobre las superficies interior y exterior de la pieza. Si se emplea placa de respaldo, debe quitarse esta después de terminar la soldadura y antes de radiografiar. (A, B, C, D)	1.00	0.85	0.70
2	Junta a tope de un solo cordón con tira de respaldo que queda en su lugar después de soldar. (A, B, C, D)	0.90	0.80	0.65
3	Junta a tope de un solo cordón sin tira de respaldo. (A, B, C)	-	-	0.60
4	Junta a traslape de doble filete completo. (A, B, C)	-	-	0.55
5	Junta a traslape de un solo filete completo con soldadura de tapón. (B, C)	-	-	0.50
6	Junta a traslape de un solo filete completo sin soldadura de tapón. (A, B)	-	-	0.45

2.2 Materiales

La selección de los materiales de construcción en la etapa de diseño es de relevante importancia ya que de estos dependen que se pueda cumplir con las condiciones de operación a un costo favorable. En la parte UG-4 del código ASME se tienen varios requerimientos generales de los materiales que serán utilizados en la construcción del recipiente a presión tales como:

- El material sujeto a esfuerzo debido a la presión, se ajustará a una de las especificaciones que figuran en la Sección II, Parte D, Sub parte 1, Tabla 1A, donde se muestran los esfuerzos admisibles del material y otras características principales.
- Los materiales de las partes sin presión, tales como faldones, soportes, orejas, parches no necesitan ajustarse a las especificaciones del material al que están unidos, pero si se han conectado al recipiente por soldadura deberán ser de calidad soldable.

- Los materiales distintos a los permitidos por la norma ASME no pueden ser utilizados, salvo que sean aprobados por el comité de calderas y recipientes a presión como se indican en el Apéndice 5 en la Sección II, Parte D.

En el Ecuador los aceros utilizados comúnmente para la construcción de tanques hidroneumáticos por tener buenas características de soldabilidad y ser factibles de adquirirlos en el mercado local con su respectivo certificado de calidad como se exige en el código ASME son los siguientes:

- ASTM A-516 Gr.70: Son utilizados para la construcción del cuerpo, cabezas, parches y refuerzos de boquillas, por estar diseñado específicamente para recipientes a presión y calderas.
- ASTM A-36: Son utilizados para la construcción del soporte, orejas de izaje, escalera y plataforma.
- ASTM A-105: Bridas forjadas soldables a los cuellos de boquilla.
- ASTM A-106 Gr B: Tubos soldables para los cuellos de boquillas.
- ASTM A-193: Espárragos, pernos y tuercas.

2.3 Parámetros de diseño

- Caudal máximo, $Q_{max}=18$ lts/s.
- Gravedad específica, $S.G=1$.
- Gravedad, $g=9.81$ m/s².
- Presión de operación mínima, $P_{min}=0.1$ MPa @ temp. amb.
- Presión de operación máxima, $P_{max}=0.44$ MPa @ temp. amb.
- Corrosión permitida interna, C.A.l=1.6 mm.
- Presión de diseño inicial, $P=0.69$ MPa; $\text{Max}(P_{max}+0.1P_{max}; 0.25+P_{max})$.

Se aplica para el cuerpo, cabezas y boquillas.

2.4 Dimensionamiento del tanque hidroneumático

El dimensionamiento del tanque hidroneumático, se efectúa tomando como parámetros de cálculo el caudal máximo de demanda (Q_{max}) y los ciclos por hora (U)

Se determina el tiempo transcurrido entre dos arranques consecutivos de la bomba,

T_C

$U=6$ por definición

$$T_C = \frac{1 \text{ hora}}{U} \quad \text{Ecuación 2.1}$$

$$T_C = \frac{1 \text{ hora}}{6} = 600 \text{ s}$$

El almacenamiento mínimo (descenso de nivel), conocido como volumen útil (V_u) está dado por:

$$V_u = \frac{T_C Q_{\max}}{4} \quad \text{Ecuación 2.2}$$

Donde:

T_C : Periodo, s

Q_{\max} : Caudal máximo, lt/s

Reemplazando valores en la Ecuación 2.2 se tiene,

$$V_u = \frac{(600)(18)}{4}$$

$$V_u = 2700 \text{ lts } (2.7 \text{ m}^3)$$

El volumen del tanque precargado de aire (V_t) se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$V_t = V_u \frac{P_{\max} + P_a}{P_{\max} - P_{\min}} \quad \text{Ecuación 2.3}$$

Donde:

V_u : Volumen útil, m^3

P_a : Presión atmosférica, MPa

P_{\max} : Presión de operación máxima, MPa

P_{\min} : Presión de operación mínima, MPa

Reemplazando valores en la Ecuación 2.3 se tiene:

$$V_t = 2.7 \frac{0.44 + 0.1}{0.44 - 0.1}$$

$$V_t = 4.29 \text{ m}^3 = 151.38 \text{ pie}^3$$

Tamaño optimo

Para la construcción del tanque de cierta capacidad con el mínimo de material, debe determinarse la relación correcta de la longitud y diámetro. Esta relación se halla como se indica en (Megyesy, 1992) mediante el siguiente proceso:

$$F = \frac{P}{(C.A.I)SE} \quad \text{Ecuación 2.4}$$

Donde:

F: Factor de Abakians

P: Presión de diseño, lb/pulg²

C.A.I: Corrosión, pulg

S: Esfuerzo del material, lb/pulg²

E: Eficiencia de la junta=1

Con el valor de F se entra la gráfica que relaciona el volumen del tanque y el diámetro interior. (Ver apéndice F).

Para el material ASTM A516Gr. 70: $S=37730 \text{ lb/pulg}^2$.

Reemplazando valores en la Ecuación 2.4 se tiene:

$$F = \frac{100.13}{(0.06)(37730)(1)}$$
$$F=0.04$$

Con el volumen del tanque y el valor de F de la gráfica se tiene el siguiente diámetro interior:

$$D_i=4.2 \text{ pie}=1.3 \text{ m}$$

La longitud del cilindro se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$L = \frac{4V_t}{\pi D_i^2} \quad \text{Ecuación 2.5}$$

Donde:

V_t : Volumen del tanque presurizado de aire, m^3

D_i : Diámetro interior del tanque, m

Esta longitud además dependerá del formato de plancha disponible en el mercado.

El formato de plancha tiene las siguientes dimensiones: 6096x3048 mm, donde la plancha que será cortada para formar el cuerpo del tanque no las excederá, entonces empleando la Ecuación 2.5 se debe seleccionar un diámetro interior que permita dar una altura adecuada al tanque sin exceder estos límites dando una distribución óptima, los resultados obtenidos para el volumen del tanque, se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Dimensionamiento de cilindro

Nº	Di (m)	L (m)	Circunferencia del Di (m)
1	1.3	3.23	4.08
2	1.4	2.79	4.4
3	1.5	2.43	4.71

De los valores mostrados en la Tabla 3 se puede observar que la dimensión óptima está dada en la fila 2 para el valor del diámetro interior, $D_i=1.4 \text{ m}$ y su longitud, $L=2.79 \text{ m}$.

2.5 Diseño del cilindro bajo presión interna

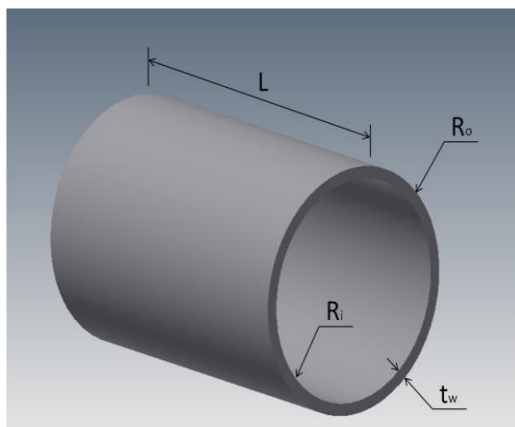


Figura 2-1. Cilindro

Presión de diseño

Antes de calcular el espesor del cilindro se debe previamente calcular la presión de diseño donde se considera la presión máxima y el cabezal hidrostático generado por el agua, esta se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$P = P_{\max} + 0.001(S.G)(g)(L) + 0.25 \quad \text{Ecuación 2.6}$$

Donde:

P_{\max} : Presión máxima de operación, MPa

S.G: Gravedad específica del líquido

g: Gravedad, m/s^2

L: Longitud del cilindro, m

Espesor del cilindro bajo presión interna

Según lo que se indica en la parte UG-27 para determinar el espesor mínimo requerido (t_r) se calculan los espesores mínimos (t) debido a los esfuerzos circunferencial y longitudinal que se generan en las paredes del cilindro por la presión interna y se escoge el valor mayor, para su cálculo se tienen las siguientes ecuaciones:

Espesor mínimo: Esfuerzo Circunferencial (Junta Longitudinal), cuando $P \leq 0.385SE$:

$$t_1 = \frac{P(R_i + C.A.I)}{SE - 0.6P} + C.A.I \quad \text{Ecuación 2.7}$$

Espesor mínimo: Esfuerzo Longitudinal (Junta Circunferencial), cuando $P \leq 1.25SE$:

$$t_2 = \frac{P(R_i + C.A.I)}{2SE - 0.4P} + C.A.I \quad \text{Ecuación 2.8}$$

Donde:

t_1 y t_2 : Espesor mínimo, mm

P: Presión interna de diseño, MPa

R_i : Radio interior, mm

C.A.I: Corrosión interna permitida, mm

S: Esfuerzo máximo admisible, MPa

Según lo indicado en la parte UG-16 (b-4), el espesor mínimo aceptado para el cilindro para cualquier material escogido es 2.5 mm por lo que se debe tener en cuenta que el espesor mínimo sea mayor a este valor.

Presión permitida para el espesor escogido

La presión permitida que soporta el cilindro en condición corroído para el espesor comercial escogido se determina por medio de la siguiente ecuación:

$$P = \frac{SE(t_{CH}-C.A.I)}{R_i + C.A.I - 0,6(t_{CH}-C.A.I)} \quad \text{Ecuación 2.9}$$

Elongación de la fibra extrema

Según lo que se indica en la parte UCS-79, si la elongación de la fibra extrema es menor que 5% en el cilindro, entonces el tratamiento térmico no es mandatorio después del rolado. La ecuación para determinar la fibra extrema es la siguiente:

$$\epsilon_f = \left(\frac{50t_{CH}}{R_f} \right) \left(1 - \frac{R_f}{R_O} \right) \quad \text{Ecuación 2.10}$$

Donde:

ϵ_f : Elongación de la fibra extrema, %

t_{CH} : Espesor del cilindro, mm

R_f : Radio final de la fibra neutra, mm

$$R_f = R_i + \frac{t_{CH}}{2} \quad \text{Ecuación 2.11}$$

R_O : Radio original de la fibra neutra (Igual a infinito para una placa plana)

Tolerancia para el cilindro

Según lo que se indica en la parte UG-80, la diferencia entre las medidas máximas y mínimas del diámetro interior de la sección transversal no deberá exceder del 1% del diámetro nominal de dicha sección, en la Figura 2-2 se muestran ejemplos.

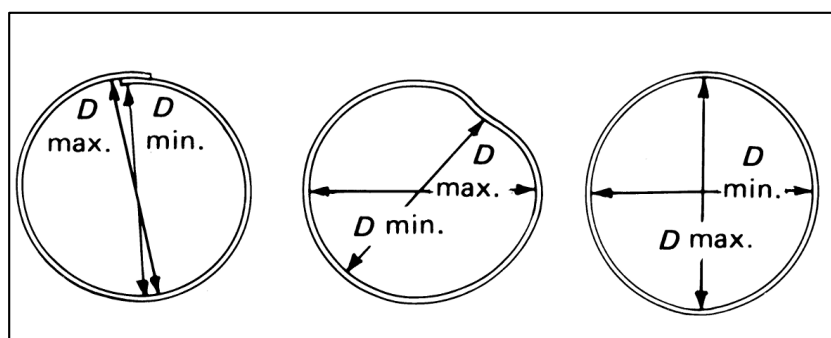


Figura 2-2. Diferencia entre las medidas máximas y mínimas del diámetro interior (UG-80.2), (ASME, 2013)

Entonces la tolerancia permitida para el conformado del cilindro es determinada como sigue:

$$T_{C1} \leq 0.01D_i$$

Ecuación 2.12

Donde:

D_i : Diámetro interior, mm

Para el diseño del cilindro bajo presión interna se tiene los siguientes datos:

- Designación del Material: ASTM A-516 Gr.70
- Esfuerzo máximo admisible, $S=138 \text{ MPa}@65^\circ\text{C}$
- Eficiencia de la junta longitudinal, $E_l=1$
- Eficiencia de la junta circunferencial, $E_c=0.7$
- Radio interior, $R_i = 740 \text{ mm}$
- Corrosión permitida interna, $C.A.l=1.6 \text{ mm}$
- Longitud del cilindro, $L=2.79 \text{ m}$
- Gravedad específica del agua, $S.G=1$
- Gravedad, $g=9.81 \text{ m/s}^2$

Cálculos:

Presión de diseño

Reemplazando valores en la Ecuación 2.6 se tiene:

$$P=0.44+0.001(1)(9.81)(2.79)+0.25$$

$$P=0.72 \text{ MPa}$$

Espesor del cilindro bajo presión interna

- Espesor mínimo: Esfuerzo Circunferencial (Junta Longitudinal),
Verificando la condición se tiene:

$$P \leq 0.385SE$$

$$0.72 \leq 53.13$$

La condición se cumple y se puede emplear la Ecuación 2.7 para determinar el espesor teniendo lo siguiente:

$$t_1 = \frac{(0.72)(700+1.6)}{(138)(1)-0.6(0.72)} + 1.6$$

$$t_1 = 5.27 \text{ mm}$$

- Espesor mínimo: Esfuerzo Longitudinal (Junta Circunferencial),
Verificando la condición se tiene:

$$P \leq 1.25SE$$

$$0.72 \leq 172.5$$

La condición se cumple y se puede emplear la Ecuación 2.8 para determinar el espesor teniendo lo siguiente:

$$t_2 = \frac{(0.72)(700+1.6)}{2(138)(0.7)-0.4(0.72)} + 1.6$$

$$t_2 = 4.21 \text{ mm}$$

- Espesor mínimo requerido,

$$t_r = \max(t_1, t_2)$$

$$t_r = 5.27 \text{ mm}$$

A partir del espesor mínimo requerido se escoge un valor nominal existente en el mercado teniendo como resultado lo siguiente:

$$t_{CH} = 6.35 \text{ mm}$$

Presión permitida para el espesor escogido

Reemplazando valores en la Ecuación 2.9 se tiene:

$$P = \frac{(138)(1)(6.35-1.6)}{700+1.6-0.6(1.35-1.6)}$$

$$P = 0.93 \text{ MPa}$$

Elongación de la fibra extrema

Datos:

- Espesor del cilindro, $t_{CH} = 6.35 \text{ mm}$
- Radio final de la fibra neutra, $R_f = 703.175 \text{ mm}$
- R_o : Radio original de la fibra neutra (Igual a infinito para una placa plana)

Reemplazando valores en la Ecuación 2.10 se tiene:

$$\epsilon_f = \left(\frac{50(6.35)}{703.175} \right) \left(1 - \frac{703.175}{\infty} \right)$$

$$\epsilon_f = 0.45 \%$$

La fibra neutra calculada es menor que 5%, por lo tanto el cilindro no necesita tratamiento térmico después del rolado.

Tolerancia para el cilindro

Reemplazando el valor del diámetro interior en la Ecuación 2.12 se tiene:

$$T_{CI} \leq 0.01(1400)$$

$$T_{CI} \leq 14 \text{ mm}$$

2.6 Diseño de la cabeza toriesférica bajo presión interna

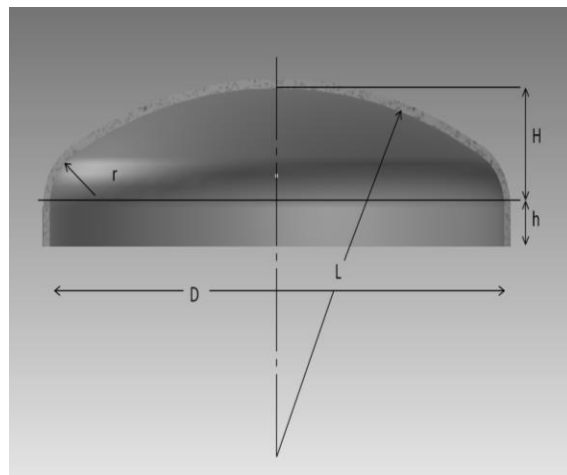


Figura 2-3. Cabeza toriesférica

Se elige la cabeza de tipo toriesférica por ser la de mayor aceptación para recipientes verticales, resisten presiones manométricas altas y se fabrican frecuentemente a un bajo costo en el Ecuador.

Según lo que se indica en la parte (UG-32) se tiene las siguientes consideraciones:

- El radio de la corona (L) no deberá ser mayor que el diámetro exterior de la falda de la cabeza. Generalmente los fabricantes cumpliendo con la norma utilizan un valor de (L) igual al diámetro interior (D).
- El radio del nudillo (r) no deberá ser menor que el 6% del diámetro exterior de la falda, pero en ningún caso menor que 3 veces el espesor de la cabeza. Frecuentemente los fabricantes utilizan el 10% del diámetro interior (D).

$$r=0.1D \quad \text{Ecuación 2.13}$$

- La longitud mínima de la falda (h) es 3 veces el espesor de la cabeza y no necesita ser mayor de 38 mm cuando el espesor de la cabeza es mayor que el espesor del cilindro y se unen a tope, (UW-13.1). (Ver apéndice J).
- La altura de la porción cóncava (H) se determina mediante la siguiente ecuación:

$$H=0.1937(D) \quad \text{Ecuación 2.14}$$

Espesor mínimo requerido

En el apéndice mandatorio 1 (1-4) (d) se muestra la ecuación para determinar el espesor mínimo requerido de la cabeza bajo presión interna, siendo la siguiente:

$$t_r = \frac{P(L+C.A.I)M}{2SE-0.2P} + C.A.I \quad \text{Ecuación 2.15}$$

Donde:

t_r : Espesor mínimo requerido, mm

P: Presión interna de diseño, MPa

C.A.I: Corrosión interna permitida, mm

M: Factor adimensional

$$M=1/4 \left(3+\sqrt{L/r} \right) \quad \text{Ecuación 2.16}$$

r: Radio interior de nudillo, mm

L: Radio interior de la corona, mm

S: Esfuerzo admisible máximo, MPa

E: Eficiencia de la junta

A partir del espesor mínimo requerido se escoge un valor nominal existente en el mercado (t_{CH}).

En el diseño de cabezas existen reglas para verificar si el espesor calculado con la ecuación 2.12 es el adecuado, las cuales se detallan en el apéndice G y se aplican cuando se cumple la siguiente condición:

$$\frac{t_r}{L} < 0.002 \quad \text{Ecuación 2.17}$$

Presión permitida para el espesor escogido

La presión permitida para el espesor escogido se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$P = \frac{2SE(t_{CH} - C.A.I)}{(L + C.A.I)M + 0.2(t_{CH} - C.A.I)} \quad \text{Ecuación 2.18}$$

Elongación de la fibra extrema

Según lo que se indica en la parte UCS-79, si la elongación de la fibra extrema es menor que 5% en la cabeza, entonces el tratamiento térmico no es mandatorio después del conformado. La ecuación para determinar la fibra extrema es la siguiente:

$$\varepsilon_f = \left(\frac{75t_{CH}}{R_f} \right) \left(1 - \frac{R_f}{R_O} \right) \quad \text{Ecuación 2.19}$$

Donde:

t_{CH} : Espesor escogido de la cabeza toriesférica, mm

R_f : Radio final de la fibra neutra, mm

$$R_f = r + \frac{t_{CH}}{2} \quad \text{Ecuación 2.20}$$

R_O : Radio original de la fibra neutra (Igual a infinito para una placa plana)

Tolerancia para la falda de la cabeza

La tolerancia para diferencias de medidas en el diámetro interior de la falda de la cabeza según lo que se indica en la parte UG-81 de la norma es el 1% del diámetro interior nominal, para determinarla se empleará la Ecuación 2.12.

Para el diseño de la cabeza toriesférica bajo presión interna se tiene los siguientes datos:

- Designación del material: ASTM A516 Gr.70
- Presión interna de diseño, $P=0.72$ Mpa
- Esfuerzo máximo permitido, $S=138$ MPa @ 65°C
- Diámetro interior, $D=1400$ mm
- Eficiencia de la soldadura, $E=1$
- Corrosión permitida interna, $C.A.I=1.6$ mm

Cálculos:

Radio interior de la corona

$$L = D$$

$$L = 1400 \text{ mm}$$

Radio interior del nudillo

Reemplazando valores en la Ecuación 2.13 se tiene:

$$r=0.1(1400)$$

$$r=140 \text{ mm}$$

Altura de la porción cóncava

Reemplazando valores en la Ecuación 2.14 se tiene:

$$H=0.1937(1400)$$

$$H=271.18 \text{ mm}$$

Factor de corrección adimensional

Reemplazando valores en la Ecuación 2.16 se tiene:

$$M=1/4 \left(3+\sqrt{1400/140} \right)$$

$$M=1.54$$

Espesor mínimo requerido

Reemplazando valores en la Ecuación 2.15 se tiene:

$$t_r = \frac{0.72(1400+1.6)1.54}{2(138)(1)-0.2(0.72)} + 1.6$$

$$t_r = 7.23 \text{ mm}$$

Verificando si el espesor mínimo requerido calculado es el adecuado por medio de la condición dada en la Ecuación 2.17 se tiene:

$$\frac{7.23}{1400} < 0.002$$

$$0.005 > 0.002$$

Se ve q la condición no se cumple, por lo tanto el espesor mínimo requerido calculado es el adecuado.

A partir del espesor mínimo requerido se escoge un valor nominal existente en el mercado teniendo como resultado lo siguiente:

$$t_{CH} = 10 \text{ mm}$$

Longitud de la falda

Se elige la longitud mayor para la falda siendo:

$$L = 38 \text{ mm}$$

Presión permitida para el espesor escogido

Reemplazando valores en la Ecuación 2.18 se tiene:

$$P = \frac{2(138)(1)(10-1.6)}{(1400+1.6)1.54+0.2(10-1.6)}$$

$$P = 1.07 \text{ MPa}$$

Elongación de la fibra extrema

Datos:

- Espesor de la falda, $t_{CH} = 10 \text{ mm}$
- Radio final de la fibra neutra, $R_f = 145 \text{ mm}$
- R_0 : Radio original de la fibra neutra (Igual a infinito para una placa plana)

Reemplazando valores en la Ecuación 2.19 se tiene:

$$\varepsilon_f = \left(\frac{75(10)}{145} \right) \left(1 - \frac{145}{\infty} \right)$$

$$\varepsilon_f = 5.17 \%$$

La fibra neutra calculada es mayor que 5%, por lo tanto el tratamiento térmico de la cabeza después del conformado es mandatorio.

Tolerancia para la falda

Reemplazando el valor del diámetro interior en la Ecuación 2.12 se tiene:

$$T_{CI} \leq 14 \text{ mm}$$

2.7 Registros de inspección

Los registros de inspección se utilizan en todos los recipientes sujetos a presión que contienen aire comprimido y aquellos sujetos a corrosión interna, erosión o abrasión mecánica, para ser revisados y limpiados.

Según lo que se indica en la parte UG-46, los recipientes deben proveerse de un registro para hombre, un registro para la mano u otras aberturas de inspección. En esta parte de la norma se presentan los tipos de registros de inspección que debe y no tener el recipiente de acuerdo a su diámetro interior, estos requisitos se presentan en el Anexo H.

Se tiene un recipiente a presión que tiene 1400 mm de diámetro interior y según lo que se indica en la parte UG-46 (f-3), este tanque llevará un registro de hombre (manhole) no menor que 400 mm de diámetro interior y si resulta impracticable llevará al menos dos registros de mano (handhole) de 150 mm de diámetro interior mínimos.

Cumpliendo con lo establecido anteriormente para el diseño del registro de hombre se escoge un diámetro nominal de 24 pulg (610 mm) y un registro de mano con un diámetro nominal de 8 pulg (203 mm).

2.8 Espesor del cuello de la boquilla

El espesor del cuello de boquilla calculado para soportar presión interna mediante la ecuación dada por la norma generalmente resulta muy pequeño debido al diámetro tan reducido que tiene comparado con el diámetro del cuerpo del recipiente.

La corrosión es un factor importante para seleccionar las cedulas de los cuellos de las boquillas debido a que esta puede acabar con los espesores muy pequeños calculados.

En la Tabla 4 se muestran el tamaño de las boquillas que serán conectadas al cuerpo (cilindro) y cabeza del tanque indicando el servicio que prestarán.

Tabla 4. Boquillas

Boquilla	NPS	Do (mm)	Localización	Servicio
N1	3	88.9	Cilindro	Entrada de líquido
N2	2	60.3	Cabeza	Entrada de aire de presurización
N3	4	114.3	Cilindro	Salida de líquido
N4	2	60.3	Cabeza	Drenaje
N5A/B	2	60.3	Cilindro	Toma para medidor de nivel
N6A/B	2	60.3	Cilindro	Toma para transmisor de nivel
N7	24	610.0	Cilindro	Registro de hombre con pescante y brida ciega
N8	8	219.1	Cilindro	Registro de mano con brida ciega
N9	2	60.3	Cabeza	Válvula de seguridad

En la Figura 2-4 se muestra la distribución de las boquillas en el tanque.

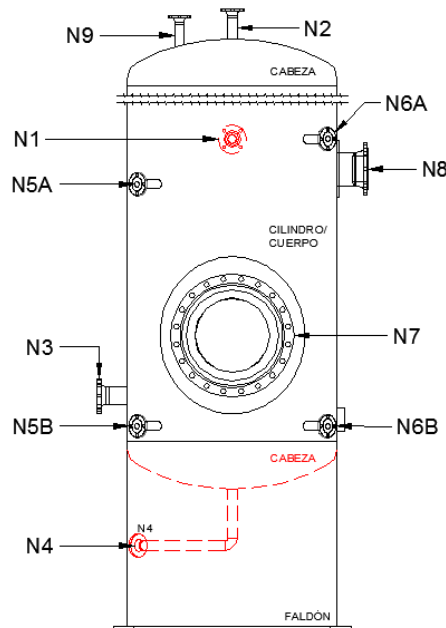


Figura 2-4. Distribución de boquillas

El diseño del espesor del cuello de la boquilla se lo realiza según lo indicado en la parte UG-45, y es como sigue:

Se calcula el espesor mínimo requerido del cuello utilizando la siguiente ecuación:

$$t_a = \frac{PR_o}{SE+0.4P} + C.A.I \quad \text{Ecuación 2.21}$$

Donde:

t_a : Espesor mínimo requerido del cuello, mm

P: Presión interna de diseño, MPa

R_o : Radio exterior del cuello, mm

S: Esfuerzo máximo admisible, MPa

E: Eficiencia de la soldadura

C.A.I: Corrosión interna permitida, mm

Luego se determina el espesor de la cabeza o cuerpo, t_{b1} (a donde está conectada la boquilla) necesario para soportar presión interna (suponiendo $E=1.0$) más el margen por corrosión, se debe tener en cuenta que para recipientes soldados en ningún caso este espesor será menor que 1/16 pulg.

El espesor mínimo de la pared del tubo estándar, t_{b2} se encuentra en la tabla 5 según lo indicado en la parte UG-45 y se determina según el tamaño nominal de la boquilla agregándole el margen por corrosión establecido.

Tabla 5. Requerimientos de espesor mínimo de la boquilla (UG-45), (ASME, 2013)

Nominal Size	Minimum Wall Thickness [see UG 16(d)]	
	in.	mm
NPS 1/8 (DN 6)	0.060	1.51
NPS 1/4 (DN 8)	0.077	1.96
NPS 3/8 (DN 10)	0.080	2.02
NPS 1/2 (DN 15)	0.095	2.42
NPS 3/4 (DN 20)	0.099	2.51
NPS 1 (DN 25)	0.116	2.96
NPS 1 1/4 (DN 32)	0.123	3.12
NPS 1 1/2 (DN 40)	0.127	3.22
NPS 2 (DN 50)	0.135	3.42
NPS 2 1/2 (DN 65)	0.178	4.52
NPS 3 (DN 80)	0.189	4.80
NPS 3 1/2 (DN 90)	0.198	5.02
NPS 4 (DN 100)	0.207	5.27
NPS 5 (DN 125)	0.226	5.73
NPS 6 (DN 150)	0.245	6.22
NPS 8 (DN 200)	0.282	7.16
NPS 10 (DN 250)	0.319	8.11
NPS 12 (DN 300)	0.328	8.34

Se elige el valor t_b , siendo este el siguiente:

$$t_b = \min(t_{b1}, t_{b2})$$

Finalmente el espesor de pared mínimo del cuello de boquilla, t_{UG-45} se lo determina por medio de la siguiente ecuación:

$$t_{UG-45} = \max(t_a, t_b) / 0.875 \quad \text{Ecuación 2.22}$$

Presión permitida para el espesor escogido

La presión permitida P para el espesor escogido se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$P = \frac{(0.875t_{CH} - C.A.I)S}{R_0 - 0.4(0.875t_{CH} - C.A.I)} \quad \text{Ecuación 2.23}$$

Donde:

P: Presión permitida, MPa

t_{CH} : Espesor escogido, mm

C.A.I: Corrosión interna admisible, mm

S: Esfuerzo máximo admisible, mm

R_0 : Radio exterior del cuello de boquilla, mm

Diámetro de la abertura

El diámetro final de la abertura bajo condición de corroído está dado por la siguiente ecuación:

$$d = D_0 - 2(t_{CH} - C.A.I) \quad \text{Ecuación 2.24}$$

En la parte UG-36 (c-3) de la norma se indica que los registros soldados, sencillos, no sujetos a fluctuaciones rápidas de presión, no requieren de refuerzos si las aberturas no son mayores que:

1. 3 ½ pulgadas (89 mm) de diámetro en un recipiente con espesor de pared de 3/8 de pulgadas (10 mm) o menor.
2. 2 ¾ pulgadas (60 mm) de diámetro en un recipiente con espesor de pared mayor de 3/8 de pulgadas (10 mm).

Para calcular el tamaño de soldadura requerido primero se selecciona uno de los bosquejos de accesorios soldados mostrados en la figura UW-16.1 de la norma.

Según lo que se indica en la parte (UW-15 (b)), los cálculos de fuerzas en la soldadura para la unión de la boquilla con carga de presión no son requeridos para los bosquejos (a), (b), (c), (d), (e), (f-1), (f-2), (f-3), (f-4), (g), (x-1), (y-1), y (z-1), de la figura UW-16.1 y todos los bosquejos de la figura UHT-18.1 y UHT-18.2. (Ver en Anexo C)

Tamaño de soldadura

Para el tamaño de la soldadura mínimo para la unión de aberturas se debe considerar lo siguiente:

- t_{min} = El menor de 19 mm o el espesor de la parte más delgada unida por soldadura de un filete, bisel único, o J única.

- t_c = Mínima garganta requerida (no menor que el más pequeño de 6 mm o $0,7t_{min}$).
- $$t_c = \text{Min}(6; 0,7t_{min}) \quad \text{Ecuación 2.25}$$

- W_L = Mínima pierna requerida.

$$W_L = \frac{t_c}{0.7} \quad \text{Ecuación 2.26}$$

- W_{ch} = Soldadura de pierna escogida.

Bridas

Existen diferentes tipos de bridas para unirlos a los cuellos de boquillas, siendo estas las siguientes:

- De cuello soldable (Welding Neck).
- Deslizable (Slip-On).
- Roscadas (Threaded).
- De enchufe soldable (Socket Welding).
- De orificio.
- Ciegas (Blind).
- Especiales.

Bridas de cuello soldable (Welding Neck)

Estas bridas optimizan la distribución de tensiones, resisten altas presiones y se las prefieren cuando se requieren uniones radiografiadas. Son unidas al tubo (cuello de boquilla) mediante soldadura a tope.

Bridas deslizables (Slip-On)

Las bridas deslizantes se prefieren sobre las de cuello soldable debido a su bajo costo y facilidad de instalación. Su resistencia bajo presión interna es de $2/3$ y su vida bajo condiciones de fatiga es aproximadamente del orden de $1/3$ de las de cuello soldable. Se unen al tubo mediante dos filetes de soldadura.

Debido a que los registros de hombre y mano serán radiografiados, solo se consideran las bridas de cuello soldable para las boquillas de todo el tanque y las bridas ciegas para tapar estos registros. En la figura 2-5 se muestran estos tipos de brida.

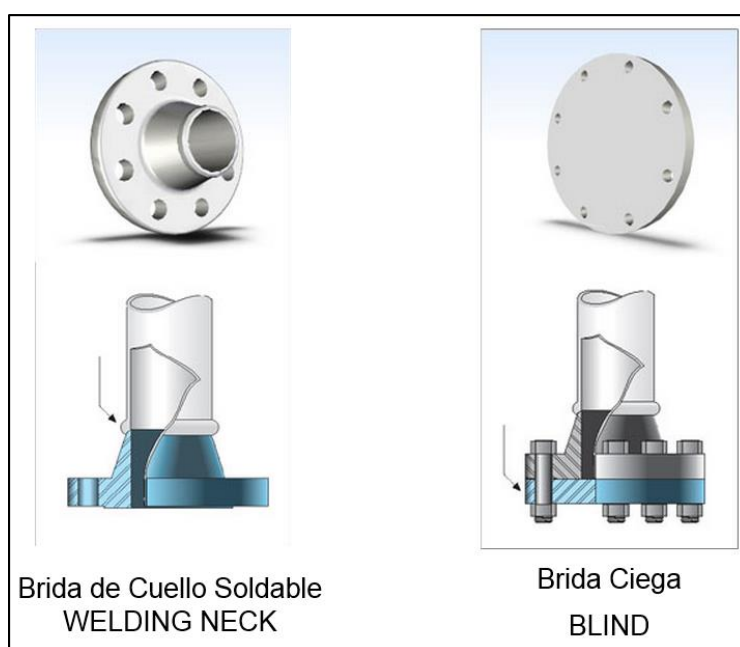


Figura 2-5. Bridas, (FRANCOVIGH, 2015)

Según las indicaciones mostradas en el estándar ASME/ANSI B16.5 las bridas que se seleccionarán para las diferentes boquillas del tanque serán de acero al carbono ASTM A-105 de clase 150 por tener una presión máxima permitida más baja que las demás clases. Esta presión máxima permitida es de (1.8 MPa) en el rango de temperatura de 50 °C a 100°C, siendo suficiente para la presión máxima de operación del tanque. (Ver dimensiones y rango de operación de las bridas en el Apéndice D).

Para el diseño del cuello de la boquilla N1 bajo presión interna se tiene los siguientes datos:

- Designación del material: ASTM A106 Gr.B
- Presión interna de diseño, $P=0.72$ Mpa
- Esfuerzo máximo permitido, $S=118$ MPa @ 65°C
- Corrosión permitida interna, $C.A.l=1.6$ mm
- Eficiencia de la soldadura, $E=1$
- NPS=3
- Diámetro exterior, $D_o=88.9$ mm

Cálculos

Espesor de la pared de la boquilla

- Espesor mínimo requerido.

Reemplazando valores en la Ecuación 2.21 se tiene:

$$t_a = 1.87 \text{ mm}$$

- Espesor donde está conectada la boquilla.

Se tiene que la boquilla N1 está conectada al cuerpo del tanque, por lo tanto:

$$t_{b1} = 5.27 \text{ mm}$$

- Espesor mínimo de la pared del tubo estándar.

De la Tabla 5 se tiene un espesor de pared mínimo de 4.80 mm para el NPS=3 de la boquilla N1. A este valor se le agrega el margen de corrosión permitida como se muestra a continuación:

NPS 21/2 (DN 65)	0.178	4.52
NPS 3 (DN 80)	0.189	4.80
NPS 31/2 (DN 90)	0.198	5.02

$$t_{b2} = 4.80 + 1.60$$

$$t_{b2} = 6.40 \text{ mm}$$

- Espesor menor.

$$t_b = \min(t_{b1}, t_{b3})$$

$$t_b = 5.27 \text{ mm}$$

- Espesor mínimo del cuello de la boquilla.

Reemplazando valores en la Ecuación 2.22 se tiene:

$$t_{UG-45} = \max(t_a, t_b) / 0.875$$

$$t_{UG-45} = 6.02 \text{ mm}$$

Según las dimensiones del tubo cedulado mostrado en el estándar ASME/ANSI B36.10M se escoge el siguiente espesor para la pared de la boquilla:

$$t_{ch} = 11.13 \text{ mm} \quad \text{Cedula: 160}$$

Presión permitida para el espesor escogido

Reemplazando valores en la Ecuación 2.23 se tiene:

$$P = 23.31 \text{ MPa}$$

Diámetro de la abertura

Reemplazando valores en la Ecuación 2.24 se tiene:

$$d = 69.84 \text{ mm}$$

La boquilla N1 tiene una abertura de 69.84 mm menor a 89 mm y está conectada al cuerpo del recipiente con espesor de pared 6.35 mm menor a 10 mm, por lo tanto, esta boquilla no requiere de reforzamiento.

Tamaño de soldadura

- Selección del bosquejo que muestra la unión de la boquilla N1 al recipiente. De los bosquejos mostrados en el Apéndice C se escoge el siguiente:

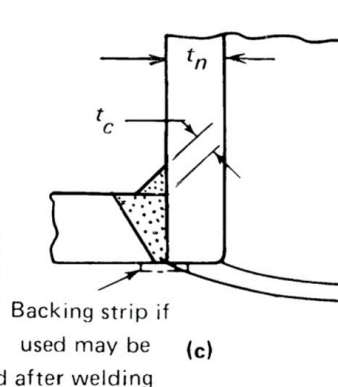


Figura 2-6. Unión de la boquilla N1, (ASME, 2013)

Según lo indicado anteriormente, para el bosquejo seleccionado mostrado en la figura 2-4 de la boquilla N1 no se necesita realizar cálculos de fuerzas para la soldadura.

- Se tiene que el espesor de la boquilla y del tanque son menores que 19 mm, por lo tanto, entre estos espesores se escoge el del tanque por ser el más delgado:

$$t_{\min} = 6.35 \text{ mm}$$

- El tamaño mínimo requerido de la garganta para la soldadura de filete es determinado según la Ecuación 2.25, reemplazando valores se tiene:

$$t_c = 4.45 \text{ mm}$$

- El tamaño mínimo de la pierna es determinado por la Ecuación 2.26, reemplazando valores se tiene:

$$W_L=6.35 \text{ mm}$$

- El tamaño de la soldadura de pierna que se escoge es:

$$W_{ch}=6.35 \text{ mm}$$

Siguiendo un procedimiento similar para el diseño de las boquillas restantes, en la Tabla 6 se muestra un resumen de los resultados obtenidos de las cuales se tiene los siguientes datos de entrada:

- Boquillas: N1,N2,N3,N4,N5A/B,N6A/B,N7,N8,N9
- Designación del material: ASTM A106 Gr.B
- Presión interna de diseño, $P=0.72 \text{ Mpa}$
- Esfuerzo máximo permitido, $S=118 \text{ MPa @ } 65^\circ\text{C}$
- Corrosión permitida interna, $C.A.l=1.6 \text{ mm}$
- Eficiencia de la soldadura, $E=1$

Tabla 6. Resultados del diseño de las boquillas

Boquilla	NPS	Espesor mín. requerido (mm) t_a	Espesor del cuello (mm) t_{UG-45}	Espesor escogido (mm) t_{CH}	Cedula	Presión permitida P (MPa)	Diámetro de la abertura d (mm)	Reforzamiento
N1	3	1.87	6.02	11.13	160	23.31	69.84	No
N2	2	1.78	5.74	8.74	160	25.72	46.05	
N4	2	1.78	5.74	8.74	160	25.72	46.05	
N5A/B	2	1.78	5.74	8.74	160	25.72	46.05	
N6A/B	2	1.78	5.74	8.74	160	25.72	46.05	
N9	2	1.78	5.74	8.74	160	25.72	46.05	
N3	4	1.95	6.02	8.56	80	12.68	100.38	Si
N7	24	3.46	6.02	9.53	20	2.63	594.14	
N8	8	2.27	6.02	6.35	20	4.32	209.6	

En la Tabla 7 se muestran los bosquejos escogidos para la unión de los cuellos de boquillas al recipiente.

Tabla 7. Bosquejos para unión de las boquillas, (ASME, 2013)

Boquilla	Localización	Cálculos de fuerzas para las soldaduras de unión de la boquilla (UW-15b)	Bosquejo
N1	Cilindro	No	
N2	Cabeza		
N4	Cabeza		
N5A/B	Cilindro		
N6A/B	Cilindro		
N9	Cabeza		
N3	Cilindro	Si	
N7	Cilindro		
N8	Cilindro		

Elaborado por: Darío Zamora C.

El tamaño de soldadura para la unión de los cuellos de las boquillas se muestra en la Tabla 8:

Tabla 8. Tamaño de soldadura

Boquillas	Espesor mínimo (mm) t_{min}	Garganta mínima (mm) t_c	Pierna mínima (mm) W_L	Pierna escogida (mm) W_{ch}
N1	6.35	4.45	6.35	6.35
N4				
N5A/B				
N6A/B				
N2	8.74	6	8.57	9.00
N9				

En la Tabla 9 se muestra la descripción de las bridas seleccionadas para cada cuello de boquilla.

Tabla 9. Descripción de bridas seleccionadas.

Boquilla	NPS	Descripción de Brida	Cedula
N1	3	WN RF-Clase 150	160
N2	2	WN RF-Clase 150	
N4	2	WN RF-Clase 150	
N5A/B	2	WN RF-Clase 150	
N6A/B	2	WN RF-Clase 150	
N9	2	WN RF-Clase 150	
N3	4	WN RF-Clase 150	80
N7	24	WN RF-Clase 150	20
		BL RF-Clase 150	
N8	8	WN RF-Clase 150	20
		BL RF-Clase 150	

2.9 Refuerzo de las aberturas

El requisito básico es que en torno a la abertura, el recipiente debe reforzarse con una cantidad de metal igual a la que se quitó para hacer la abertura, sin embargo se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- No es necesario reponer la cantidad total de metal que se eliminó, sino solo la cantidad requerida para resistir la presión interna.
- La placa que se emplea y el cuello de la boquilla son por lo general de mayor espesor que el que se requeriría por cálculo. Este exceso que hay en la pared del recipiente y el que hay en la pared de la boquilla sirven como refuerzo, también puede tomarse como refuerzo la extensión interior del cuello en la abertura y el área de metal de la soldadura.
- El refuerzo debe de estar comprendido dentro de ciertos límites.
- El área de refuerzo debe de aumentarse en forma proporcional si su valor de esfuerzo es más bajo que el de la pared del recipiente.
- El requisito de área del refuerzo debe satisfacerse para todos los planos que pasen por el centro de la abertura y sean normales a la superficie del recipiente.

Según lo que se indica en la parte UG-37, para la pared de la boquilla insertada a través de la pared del recipiente se tiene diferentes fórmulas que permiten calcular las áreas sin reforzamiento y con reforzamiento, la Figura 2-7 muestra la unión de la boquilla al recipiente.

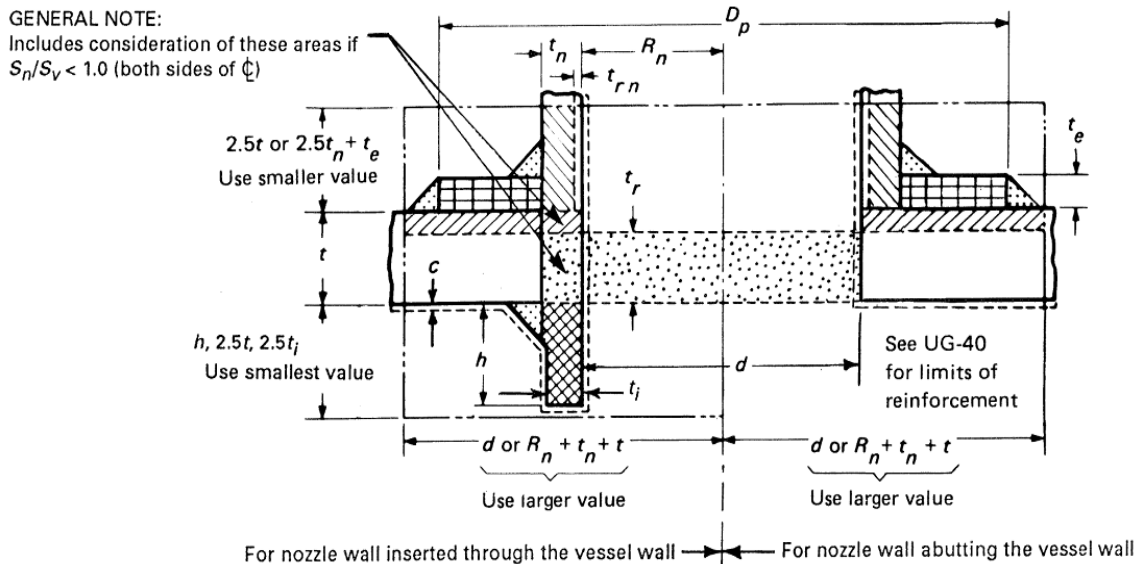


Figura 2-7. Configuración de unión común de la boquilla (UG-37.1), (ASME, 2013)

Límites de refuerzo

Como se indica en la parte UG-40, el metal que se use como elemento de refuerzo debe de estar dentro de ciertos límites:

- El límite medido paralelamente a la pared del recipiente desde la abscisa de la abertura designado por X es:

$$X = \text{Max}[d; (R_n + t_n + t)] \quad \text{Ecuación 2.27}$$

Donde:

D: Diámetro interior de la boquilla, mm

R_n : Radio interior de la boquilla, mm

t_n : Espesor de la pared de la boquilla, mm

t: Espesor de la pared del recipiente, mm

- El límite medido normal a la pared del recipiente desde la superficie exterior designado por Y es:

$$Y = \text{Min}[2.5t; (2.5t_n + t_e)] \quad \text{Ecuación 2.28}$$

Donde:

t: Espesor de la pared del recipiente, mm

t_n : Espesor de la pared de la boquilla, mm

t_e : Espesor del elemento de refuerzo, mm

- Según lo que se indica en la parte UG-37, la distancia máxima proyectada hacia el interior de la boquilla desde la superficie interior de la pared del recipiente, h es:

$$h = \text{Min}(2.5t; 2.5t_j) \quad \text{Ecuación 2.29}$$

Donde:

h: Distancia máxima proyectada del interior de la boquilla

t: Espesor de la pared del recipiente, mm

t_i: Espesor nominal de la proyección interna de la pared de la boquilla, mm

Áreas disponibles para refuerzo (UG-37, Fig. UG-37.1)

Para calcular estas áreas se debe tener previamente el valor de las siguientes relaciones de entrada:

- **t_{min 1}** : Es el valor mínimo de 19 mm o la parte más delgada entre los espesores de la pared de la boquilla y el elemento de refuerzo.
- **t_{min 2}** : Es el valor mínimo de 19 mm o la parte más delgada entre el espesor del cilindro y del elemento de refuerzo.
- **t_{min 3}** : Es el valor mínimo de 19 mm o la parte más delgada entre el espesor del cuello de la boquilla proyectada hacia el interior del recipiente y del cilindro.
- **t_{c 1}**: Mínima garganta requerida entre la pared de la boquilla y el refuerzo (no menor que el más pequeño de 6 mm o 0.7t_{min 1}).

$$t_{c 1} = \text{Min}(6; 0.7t_{\text{min } 1}) \quad \text{Ecuación 2.30}$$

- **t_{c 2}**: Mínima garganta requerida entre la pared del cilindro y el refuerzo (no menor que el más pequeño de 6 mm o 0.5t_{min 2}).

$$t_{c 2} = \text{Min}(6; 0.5t_{\text{min } 2}) \quad \text{Ecuación 2.31}$$

- **t_{c 3}**: Mínima garganta requerida entre la pared del cilindro y la pared de la boquilla (no menor que el más pequeño de 6 mm o 0.7t_{min 3}).

$$t_{c 3} = \text{Min}(6; 0.7t_{\text{min } 3}) \quad \text{Ecuación 2.32}$$

- **F**: Factor de corrección. Según lo indicado en UG-37 se considera F=1 para el recipiente cilíndrico.

- **f_{r 1}**: Factor de reducción de esfuerzo para la boquilla insertada a través de la pared del recipiente, este es determinado como sigue:

$$f_{r 1} = S_n / S_v \quad \text{Ecuación 2.33}$$

Si $S_n / S_v > 1$ entonces $f_{r 1} = 1$

- **f_{r 2}**: Factor de reducción 2:

$$f_{r 2} = S_n / S_v \quad \text{Ecuación 2.34}$$

- **f_{r 3}**: Factor de reducción 3:

$$f_{r 3} = \text{Min}(S_n ; S_p) / S_v \quad \text{Ecuación 2.35}$$

- **f_{r 4}**: Factor de reducción 4:

$$f_{r 4} = S_p / S_v \quad \text{Ecuación 2.36}$$

Donde:

S_n : Esfuerzo admisible de la boquilla, MPa

S_v : Esfuerzo admisible del recipiente, MPa

S_p : Esfuerzo admisible del elemento de refuerzo, MPa

En la Figura 2-8 se muestra la ubicación de las piernas de soldadura para el bosquejo seleccionado de unión de la boquilla al recipiente.

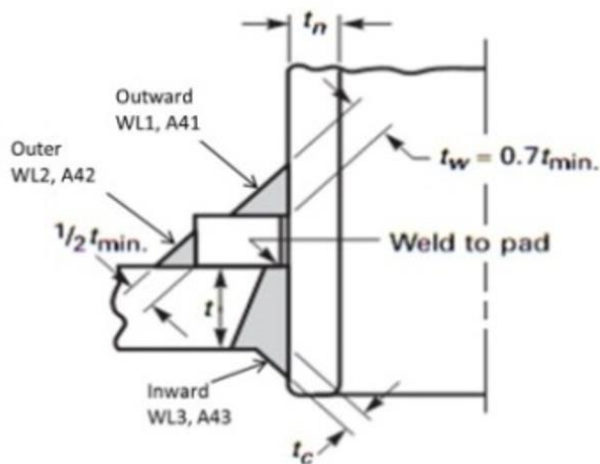


Figura 2-8. Ubicación de las piernas de soldadura, (ASME, 2013)

- W_{L1} : Tamaño de la pierna de soldadura hacia el exterior, entre la boquilla y el elemento de refuerzo, ver Figura 2-8:

$$W_{L1} = t_{\min 1}$$

- W_{L2} : Tamaño de la pierna de soldadura exterior, entre el elemento de refuerzo y la pared del recipiente, ver Figura 2-8.

$$W_{L2} = (0.5 t_{\min 2}) / 0.7 \quad \text{Ecuación 2.37}$$

- W_{L3} : Tamaño de la pierna de soldadura hacia el interior, entre la pared del recipiente y el cuello de la boquilla proyectado hacia el interior, ver Figura 2-8.

$$W_{L3} = t_{\min 3}$$

Área de refuerzo disponible

- Se calcula el área requerida de reforzamiento, A.



$$A = (d + 2t_n(1 - f_{r1})) t_r F \quad \text{Ecuación 2.38}$$

- Se calcula el área disponible del cilindro, boquilla y soldaduras.

El área disponible en el cilindro A_1 corresponde al valor excedente de la pared del recipiente. Esta área corresponde al valor mayor de las siguientes ecuaciones:

$$A_{1a} = d(E_1 t - F t_r) - 2t_n(E_1 t - F t_r)(1 - f_{r1}) \quad \text{Ecuación 2.39}$$

$$A_{1b} = 2(t + t_n)(E_1 t - F t_r) - 2t_n(E_1 t - F t_r)(1 - f_{r1}) \quad \text{Ecuación 2.40}$$



$$A_1 = \text{Max}(A_{1a}; A_{1b})$$

El área disponible en la boquilla hacia el exterior A_2 corresponde al espesor excedente de su pared. Esta área corresponde al valor menor de las siguientes ecuaciones:

$$A_{2a} = 5(t_n - t_m) f_{r2} t \quad \text{Ecuación 2.41}$$

$$A_{2b} = 5(t_n - t_m) f_{r2} t_n \quad \text{Ecuación 2.42}$$



$$A_2 = \text{Min}(A_{2a}; A_{2b})$$

El área disponible en la boquilla hacia el interior, A_3 corresponde a su extensión hacia el interior del recipiente. Esta área corresponde al valor menor de las siguientes ecuaciones:

$$A_{3a} = 5t_i f_{r2} \quad \text{Ecuación 2.43}$$

$$A_{3b} = 5t_i t_i f_{r2} \quad \text{Ecuación 2.44}$$

$$A_{3c} = 2h_{ch} t_i f_{r2} \quad \text{Ecuación 2.45}$$



$$A_3 = \text{Min}(A_{3a}; A_{3b}; A_{3c})$$

El área disponible de las soldaduras, A_{41} , A_{42} , A_{43} , es el valor dado por las siguientes ecuaciones:

Entre pared de la boquilla y el elemento de refuerzo:



$$A_{41} = (W_{L1})^2 f_{r3} \quad \text{Ecuación 2.46}$$

Entre el elemento de refuerzo y la pared del recipiente:



$$A_{42} = (W_{L2})^2 f_{r4} \quad \text{Ecuación 2.47}$$

Entre las paredes del recipiente y la boquilla:



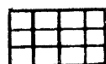
$$A_{43} = (W_{L3})^2 f_{r2} \quad \text{Ecuación 2.48}$$

- Si $A_1 + A_2 + A_3 + A_{41} + A_{43}$ es menor que el área de refuerzo requerida A , debe aportarse la diferencia con un parche de refuerzo de área A_5 .

$$A_1 + A_2 + A_3 + A_{41} + A_{43} < A \quad \text{Ecuación 2.49}$$

Con elemento de refuerzo añadido

- El área del parche o elemento de refuerzo se determina como sigue:



$$A_5 = A - (A_1 + A_2 + A_3 + A_{41} + A_{42} + A_{43}) \quad \text{Ecuación 2.50}$$

- El diámetro exterior mínimo del elemento de refuerzo Dp_{MIN} se calcula con la siguiente ecuación:

$$Dp_{\text{MIN}} = \frac{A_5}{t_e f_{r4}} + d + 2t_n \quad \text{Ecuación 2.51}$$

Se debe tener en cuenta que el diámetro exterior mínimo no exceda los límites de refuerzo, por lo tanto se debe cumplir lo siguiente:

$$Dp_{\text{MIN}} < 2(X - WL2) \quad \text{Ecuación 2.52}$$

Donde:

X: Limite del elemento de reforzamiento medido paralelo a la pared del recipiente desde el centro de la boquilla.

WL2: Pierna de soldadura exterior para unión del elemento de refuerzo con la pared del recipiente.

Cálculo de fuerzas para las soldaduras de unión de la boquilla.

Según lo que se indica en la parte UW-15 (c), los valores de esfuerzos admisibles para las soldaduras de ranuras y filetes en porcentajes de los valores de esfuerzo para el material del recipiente es como sigue:

1. Soldadura de ranura en tensión, 74%.
2. Soldadura de ranura en corte, 60%.
3. Soldadura de filete en corte, 49%.

Por lo tanto, para determinar los esfuerzos admisibles de las soldaduras que permiten la unión de los elementos de la boquilla se tiene:

Tensión en la soldadura de ranura, 74%:

$$E_{a1}=0.74xS_v \quad \text{Ecuación 2.53}$$

Corte en la pared de la boquilla, 60%:

$$E_{a2}=0.60xS_n \quad \text{Ecuación 2.54}$$

Corte en la soldadura de filete, 49%:

$$E_{a3}=0.49xS_p \quad \text{Ecuación 2.55}$$

Carga a ser llevadas por las soldaduras

Las trayectorias de fuerzas de soldadura se muestran en la figura 2-8

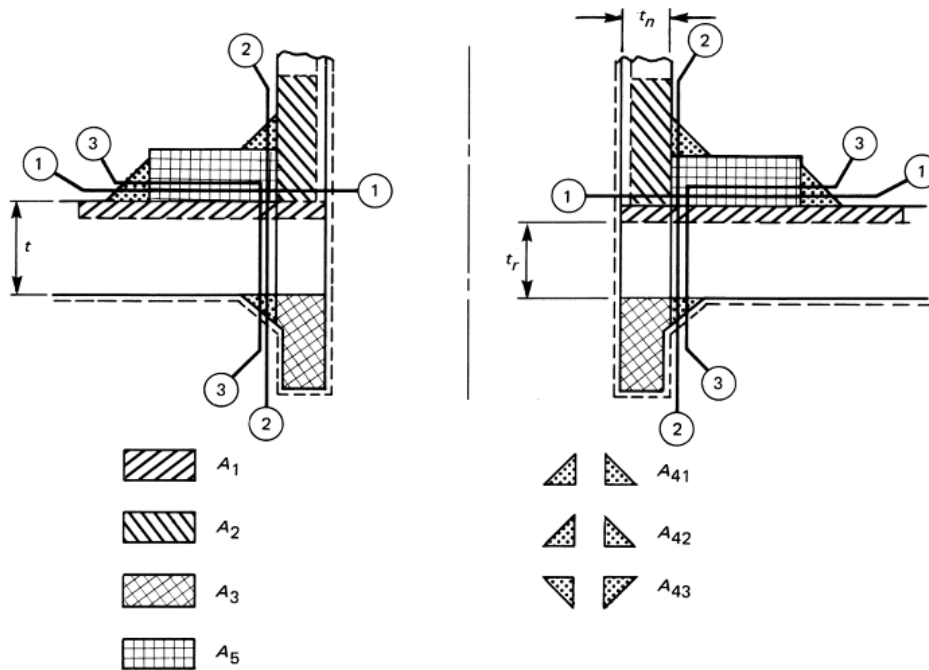


Figura 2-9. Cargas de la soldadura para la fijación de la boquilla y trayectorias de resistencia de soldadura, (UG-41.1), (ASME, 2013)

Estas cargas se determinan por medio de las siguientes ecuaciones para las diferentes trayectorias mostradas en la Figura 2-9:

Carga total de la soldadura, W:

$$W=[A-A_1+2t_n f_{r1}(E1t-Ft_r)]S_v \quad \text{Ecuación 2.56}$$

Carga de la soldadura para la trayectoria de resistencia 1-1:

$$W_{1-1}=(A_2+A_5+A_{41}+A_{42})S_v \quad \text{Ecuación 2.57}$$

Carga de la soldadura para la trayectoria de resistencia 2-2:

$$W_{2-2}=(A_2+A_3+A_{41}+A_{43}+2t_n f_{r1})S_v \quad \text{Ecuación 2.58}$$

Carga de la soldadura para la trayectoria de resistencia 3-3:

$$W_{3-3}=(A_2+A_3+A_5+A_{41}+A_{42}+A_3+2t_n f_{r1})S_v \quad \text{Ecuación 2.59}$$

Fuerzas admisibles de las soldaduras para los elementos de conexión de la boquilla

Estas fuerzas para las diferentes configuraciones son determinadas como sigue:

Interior (elemento de refuerzo) corte de la soldadura de filete:

$$F_{e1} = \frac{\pi}{2} (d_o)(W_{L1})(E_{a3}) \quad \text{Ecuación 2.60}$$

Corte de la pared de la boquilla:

$$F_{e2} = \frac{\pi}{2} (d_o - t_n)(t_n)(E_{a2}) \quad \text{Ecuación 2.61}$$

Tensión de la soldadura de ranura:

$$F_{e3} = \frac{\pi}{2} (d_o)(t)(E_{a1}) \quad \text{Ecuación 2.62}$$

Exterior (elemento de refuerzo) corte de la soldadura de filete:

$$F_{e4} = \frac{\pi}{2} (D_{p_{CH}})(W_{L2})(E_{a3}) \quad \text{Ecuación 2.63}$$

Chequeo de fuerzas en las trayectorias

Trayectoria 1-1: Exterior (elemento de refuerzo) soldadura de filete más corte en la pared de la boquilla.

$$F_{1-1} = F_{e2} + F_{e4} \quad \text{Ecuación 2.64}$$

Si $F_{1-1} > \text{Max}(W, W_{1-1}, W_{2-2}, W_{3-3})$, las soldaduras para la unión de la boquilla al recipiente soportan las cargas por presión interna y la trayectoria no necesita ser reforzada.

Trayectoria 2-2: Interior (elemento de refuerzo) soldadura de filete más tensión en la soldadura de ranura.

$$F_{2-2} = F_{e1} + F_{e3} \quad \text{Ecuación 2.65}$$

Si $F_{2-2} > \text{Max}(W, W_{1-1}, W_{2-2}, W_{3-3})$, las soldaduras para la unión de la boquilla al recipiente soportan las cargas por presión interna y la trayectoria no necesita ser reforzada.

Trayectoria 3-3: Exterior (elemento de refuerzo) soldadura de filete más tensión en la soldadura de ranura.

$$F_{3-3} = F_{e3} + F_{e4} \quad \text{Ecuación 2.66}$$

Si $F_{3-3} > \text{Max}(W, W_{1-1}, W_{2-2}, W_{3-3})$, las soldaduras para la unión de la boquilla al recipiente soportan las cargas por presión interna y la trayectoria no necesita ser reforzada.

Para las boquillas N3, N7 y N8 localizadas en el cilindro que requieren reforzamiento se tiene los siguientes datos:

Cilindro:

Material: SA-516 GR.70

Esfuerzo admisible en recipiente, $S_v = 138$ MPa

Presión de trabajo máxima permitida, $P = 0.72$ MPa

Corrosión permitida (c): 1.6 mm
Espesor requerido del recipiente, $t_r=5.27$ mm
Espesor de la pared del recipiente, $t=6.35$ mm
Eficiencia, $E1=1.00$

Elemento de reforzamiento:

Material: ASTM A-516 Gr.70
Esfuerzo admisible, $S_p=138$ MPa
Espesor, $t_e=6.35$ mm

Cuello de la boquilla:

N3: NPS=4
N7: NPS=24
N8: NPS=8
Material: SA-106 GR.B
Esfuerzo admisible en boquilla, $S_n=118$ MPa
Corrosión permitida, $C=1.6$ mm
Diámetro exterior de las boquillas:
N3, $do=114.30$ mm
N7, $do=610.00$ mm
N8, $do=219.10$ mm
Espesor requerido de las boquillas sin costura
N3, $t_m=1.95$ mm
N7, $t_m=3.46$ mm
N8, $t_m=2.27$ mm
Espesor nominal de la pared de las boquillas:
N3, $t_n=8.56$ mm
N7, $t_n=9.53$ mm
N8, $t_n=6.35$ mm
Diámetro interior de las boquillas
N3, $d=100.38$ mm
N7, $d=594.14$ mm
N8, $d=209.60$ mm
Radio interior de las boquillas
N3, $R_n=50.19$ mm
N7, $R_n=297.07$ mm
N8, $R_n=104.80$ mm

Resultados

En la Tabla 10 se muestran los resultados de los límites de las dimensiones que deben tener los refuerzos para cada una de las boquillas.

Tabla 10. Límites de reforzamiento

Boquillas	Elemento de refuerzo (UG-40)		Proyección interior de la boquilla (UG-37)	
	Y (mm)	X (mm)	h (mm)	h_{ch} (mm)
N3	15.88	97.18	15.88	0.00
N7	15.88	590.94	15.88	10.00
N8	15.88	206.40	15.88	10.00

En la Tabla 11 se muestran los espesores mínimos que permiten calcular las gargantas mínimas requeridas de las soldaduras que unen la boquilla al recipiente.

Tabla 11. Espesores mínimos y gargantas mínimas de soldadura

Boquillas	Espesores mínimos			Garganta mínima requerida		
	Boquilla/ Refuerzo	Cilindro/ Refuerzo	Boquilla/ Cilindro	Boquilla/ Refuerzo	Cilindro/ Refuerzo	Boquilla/ Cilindro
	$t_{min 1}$ (mm)	$t_{min 2}$ (mm)	$t_{min 3}$ (mm)	$t_c 1$ (mm)	$t_c 2$ (mm)	$t_c 3$ (mm)
N3	6.35	6.35	0	4.45	3.18	0.00
N7	6.35	6.35	6.35	4.45	3.18	4.45
N8						

En la Tabla 12 se muestran los factores de corrección y reducción que permiten modificar los valores de las áreas disponibles calculadas.

Tabla 12. Factores de corrección y reducción

Boquillas	Correccion	Reduccion			
	F	f_{r1}	f_{r2}	f_{r3}	f_{r4}
N3	1	0.86	0.86	0.86	1
N7					
N8					

En la Tabla 13 se muestran los tamaños de las piernas de soldadura que permitirán la unión de la boquilla y el elemento de refuerzo al recipiente para el bosquejo seleccionado.

Tabla 13. Tamaño de piernas de soldaduras, (ASME, 2013)

Boquillas	Hacia exterior	Exterior	Hacia interior	Bosquejo
	W_{L1}	W_{L2}	W_{L3}	
	(mm)	(mm)	(mm)	
N3	6.35	4.54	0.00	
N7	6.35	4.54	6.35	
N8				

Elaborado por: Darío Zamora C.

En la Tabla 14 se muestran los resultados de las áreas disponibles que se tiene sin necesidad de colocar un elemento de refuerzo. Los valores de estas áreas permitirán determinar si se necesita o no un reforzamiento adicional en la abertura.

Tabla 14. Áreas disponibles de los elementos de conexión para la boquilla

Boquillas	Áreas disponibles (mm ²)					
	Cilindro	Boquilla (h.ext)	Boquilla (h. int)	Soldadura (Boq/Ref)	Soldadura (Ref/Rec)	Soldadura (Rec/Boq)
	A_1	A_2	A_3	A_{41}	A_{42}	A_{43}
N3	102.37	180.49	0.00	34.68	20.61	0.00
N7	635.23	164.79	162.98	34.68	20.61	34.68
N8	220.92	102.06	108.59	34.68	20.61	34.68

En la Tabla 15 se muestra la suma de las áreas disponibles para cada una de las aberturas de las boquillas, este valor total es comparado con el valor del área requerida y si es menor se compensara con al área de un elemento de refuerzo que se deberá colocar, finalmente se muestran las dimensiones del diámetro exterior que deberá tener el elemento de refuerzo.

Tabla 15. Áreas requeridas y diámetro exterior del elemento de refuerzo

Boquillas	Áreas (mm ²)			Diámetro exterior del elemento de refuerzo (mm)	
	Disponibles	Requerida	Elemento de refuerzo	Minimo	Escogido
	$A_1 + A_2 + A_3 + A_{41} + A_{43}$	A	A_5	$D_{p_{MIN}}$	$D_{p_{CH}}$
N3	317.54	524.77	186.62	143.69	200
N7	1031.96	3128.81	2076.24	992.39	1000
N8	500.54	1097.43	576.28	325.23	375

En la Tabla 16 se muestran los esfuerzos admisibles de las soldaduras que permiten la unión de la boquilla al recipiente.

Tabla 16. Esfuerzos admisibles

Boquillas	Esfuerzo admisibles de soldaduras (Mpa)		
	Tensión en soldadura de ranura	Corte en soldadura de filete	Corte en soldadura de filete
	Recipiente	Boquilla	Refuerzo
	E_{a1}	E_{a2}	E_{a3}
N3	102.12	70.8	67.62
N7			
N8			

En la Tabla 17 se muestran las cargas que llevan las soldaduras que unen la boquilla al recipiente según las dimensiones de espesor, áreas y esfuerzo admisible del recipiente para el bosquejo escogido.

Tabla 17. Cargas llevadas por las soldaduras

Boquillas	Cargas llevadas por la soldadura (N)			
	Total	Trayectorias 1-1, 2-2, 3-3		
	W	W_{1-1}	W_{2-2}	W_{3-3}
N3	60485.55	47510.64	42595.40	71193.14
N7	346542.95	316865.09	69029.82	358395.60
N8	122576.00	101213.45	48102.65	130473.62

En la Tabla 18 se muestran las fuerzas admisibles en tensión y corte de los elementos que permiten la conexión de la boquilla.

Tabla 18. Fuerzas admisibles de soldaduras en los elementos de conexión de boquilla

Boquillas	Corte en soldadura de filete	Corte en soldadura de filete	Tensión en soldadura de ranura	Corte en soldadura de filete
	Interior (Refuerzo)	Boquilla	Recipiente	Exterior (Refuerzo)
	F_{e1} (N)	F_{e2} (N)	F_{e3} (N)	F_{e4} (N)
N3	77093.01	100662.15	116426.18	96445.26
N7	411432.51	6366410.52	621347.05	482226.30
N8	147778.46	150243.76	223175.64	180834.86

En la Tabla 19 se muestran las sumatorias de las fuerzas admisibles en las diferentes trayectorias que verificándolas con las cargas llevadas por las soldaduras permiten determinar si la trayectoria necesita ser reforzada.

Tabla 19. Fuerzas admisibles para verificación de reforzamiento de trayectoria

Boquillas	Fuerzas admisibles en las trayectorias (N)			Reforzamiento de trayectoria
	F_{1-1}	F_{2-2}	F_{3-3}	
N3	197107.41	193519.19	212871.44	No
N7	1118636.8	1032779.6	1103573.4	No
N8	331078.62	370954.1	404010.5	No

2.10 Cargas por presión del viento

El código ASME no da procedimientos específicos para el diseño de recipientes por viento. Sin embargo en la parte UG-22, "Cargas" se lista la presión del viento como una de las cargas que debe ser considerada. Adicionalmente alguna autoridad gubernamental o especificaciones dadas por el cliente requerirán algún tipo de análisis de la carga generada por el viento.

Existen dos estándares reconocidos internacionalmente que son frecuentemente utilizados para el diseño por viento, estos son:

1. ASCE 7.
2. Uniform Building Code (UBC).

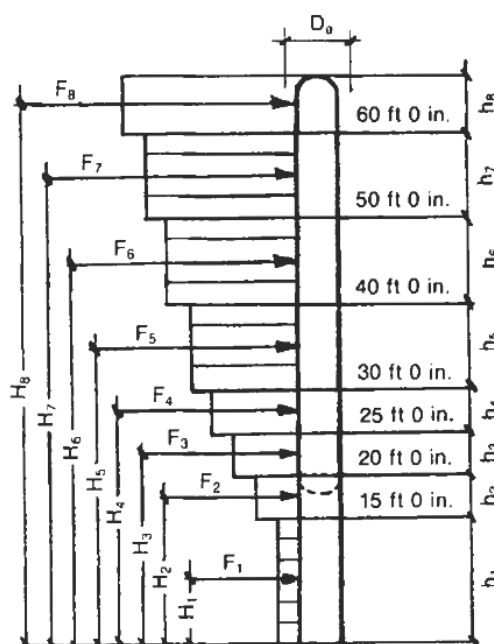


Figura 2-10. Recipiente vertical con carga de viento a diferentes alturas, (Moss, 2004)

El diseño por viento es usado para determinar las fuerzas y momentos a cualquier altura que se desee, en esta parte solo se determinará el momento de vuelco que se origina a partir de la carga por viento.

Para los cálculos se debe tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

- El tanque sujeto al empuje del viento se considera como viga en voladizo con carga uniforme.
- Los valores de la velocidad del viento y consecuentemente la presión del viento, dependerán del lugar geográfico donde vayamos a instalar el recipiente y de la altura del mismo.
- El diámetro a utilizar será el exterior, incluyendo el espesor del aislamiento si lo llevara.
- Se recomienda que al calcular un recipiente cilíndrico vertical por presión de viento y por sismo, sea considerado únicamente el mayor de ellos, ya que generalmente nunca se presentan ambos de manera simultánea, UG-23 (d).
- El peor de los casos para el diseño del tanque por viento es con el tanque vacío, por lo tanto este peso se utilizará para realizar los cálculos.
- Las fuerzas son aplicadas en el centroide del área proyectada.

El cálculo de la carga por viento se basa en la norma ASCE 7 (anteriormente A 58.1 de ANSI).

Procedimiento de diseño

Se da o determina lo siguiente:

- Categoría de la estructura

Tabla 20. Categoría de estructuras, (ASCE 7, 2002)

Categoría I	Edificios y estructuras que representan un peligro bajo para la vida humana en caso de alguna falla
Categoría II	Todos los edificios que no están cubiertos por las otras tres categorías
Categoría III	Edificios y otras estructuras que contienen cantidades de sustancias explosivas o tóxicas a ser peligrosas al público si estas son vertidas. Refinerías
Categoría III	Edificios o estructuras donde la ocupación principal es una en la cual se concentran más de 300 personas en una área
Categoría III	Escuelas, centros de salud, cárceles, centrales de energía o almacenamiento
Categoría IV	Instalaciones esenciales

- Categoría de exposición

Las siguientes categorías de rugosidades del suelo son consideradas y definidas en la sección 6.5.6 del estándar ASCE 7.

- Exposición A: Centros de grandes ciudades.
- Exposición B: Las zonas urbanas y suburbanas, pueblos, afueras de la ciudad, zonas boscosas, u otro terreno con numerosas obstrucciones muy próximas entre sí que tienen el tamaño de viviendas unifamiliares o más grandes.
- Exposición C: Terreno abierto con obstrucciones dispersas que tienen alturas generalmente menores que 30 pies (9.1 m).
- Exposición D: Zonas costeras planas sin obstáculos directamente expuestas al viento que sopla sobre aguas abiertas; aplicable para estructuras dentro de una distancia desde la costa de 1500 ft (457 m) o 10 veces la altura de la estructura.

- Velocidad básica del viento, V

Existe un mapa de velocidades de viento mostrado en la tesis presentada por (E. Chamorro y B, 2010) donde se indica que para la zona de la provincia de Santa Elena donde será instalado el tanque hidroneumático la velocidad media máxima del viento es 13.6 m/s. Sin embargo en el capítulo 11, sección 1.15 de la Norma Ecuatoriana de Construcción (NEC) indica que la velocidad de diseño para viento no será menor a 75 Km/h (21 m/s).

- Factor de forma, C_f

Es un factor de corrección que tiene en cuenta la situación del elemento dentro de la fachada, según ASCE 7 este factor esta entre 0.7 y 0.9 para recipientes a presión cilíndricos.

- Factor de importancia, I

Tabla 21. Factor de Importancia, (ASCE 7, 2002)

Categoría de la estructura	I
I	0.87
II	1.00
III	1.15
IV	1.15

- Frecuencia fundamental

$$f=1/T \quad \text{Ecuación 2.67}$$

$$T=K \sqrt{\frac{wH^4}{EIg}} \quad \text{Ecuación 2.68}$$

Donde:

f: Frecuencia fundamental, Hz

T: Periodo, s

w: Peso, lb/pie

H: Altura, pie

E: Modulo de elasticidad del acero= 30,000,000 lb/pulg²

K: Para periodo fundamental de vibración, K=1.79

g: Gravedad, g= 32.2 pie/s²

I: Momento de inercia del área del cilindro, pie⁴

$$I=3.142 \left(\frac{D}{2}\right)^3 t \quad \text{Ecuación 2.69}$$

D: Diámetro del tanque, pie

t: Espesor del cilindro del tanque, pie

Se determina si el recipiente es rígido o flexible:

- Si $H/D < 4$, $T < 1$ seg, o $f > 1$ Hz, entonces el recipiente es considerado rígido y la fuerza generada por el viento es:

$$F=q_z G C_f A_f \quad \text{Ecuación 2.70}$$

Donde:

F=Fuerza debida al viento, N

q_z =Presión ejercida por el viento, N/m²

$$q_z=0.613 K_z K_{zT} V^2 I \quad \text{Ecuación 2.71}$$

La constante 0.613 refleja la densidad de la masa de aire para la atmosfera estándar a temperatura de 15°C a la presión de nivel del mar de 101.325 KPa. La ecuación básica es $\frac{m}{2v}$ donde m= densidad de la masa de aire, 1.225 Kg/m³, y v es la aceleración debido a la gravedad, 9.81 m/seg². Cabe aclarar que la densidad del aire variara en función de la altitud, latitud, temperatura, clima, o estación.

G=Factor de efecto de ráfaga,

- Categoría A y B: 0.8
- Categoría C y D: 0.85

A_f = Área proyectada, m²

$$A_f=h_x D_o \quad \text{Ecuación 2.72}$$

Donde:

h_x : Altura de la sección considerada del recipiente, pie

D_o : Diámetro de la sección considerada

K_z =Coeficiente de exposición de la presión por velocidad, adimensional

Tabla 22. Coeficiente de exposición de la presión por velocidad K_z
(Moss, 2004)

Height above ground level, z		Exposure Categories			
ft	(m)	A	B	C	D
0-15	(0-4.6)	0.32	0.57	0.85	1.03
20	(6.1)	0.36	0.62	0.90	1.08
25	(7.6)	0.39	0.66	0.94	1.12
30	(9.1)	0.42	0.70	0.98	1.16
40	(12.2)	0.47	0.76	1.04	1.22
50	(15.2)	0.52	0.81	1.09	1.27
60	(18.0)	0.55	0.85	1.13	1.31
70	(21.3)	0.59	0.89	1.17	1.34
80	(24.4)	0.62	0.93	1.21	1.38
90	(27.4)	0.65	0.96	1.24	1.40
100	(30.5)	0.68	0.99	1.26	1.43
120	(36.6)	0.73	1.04	1.31	1.48
140	(42.7)	0.78	1.09	1.36	1.52
160	(48.8)	0.82	1.13	1.39	1.55
180	(54.9)	0.86	1.17	1.43	1.58
200	(61.0)	0.90	1.20	1.46	1.61
250	(76.2)	0.98	1.28	1.53	1.68
300	(91.4)	1.05	1.35	1.59	1.73
350	(106.7)	1.12	1.41	1.64	1.78
400	(121.9)	1.18	1.47	1.69	1.82
450	(137.2)	1.24	1.52	1.73	1.86
500	(152.4)	1.29	1.56	1.77	1.89

Note: Linear interpolation for intermediate values of height z is acceptable.

K_{zT} = Factor topográfico, en caso de que el recipiente no esté cerca o sobre colinas aisladas se utiliza un valor de 1.0, caso contrario se debe seguir las indicaciones dadas en la sección 6.5.7 de la ASCE 7.

V= Velocidad básica del viento (velocidad de diseño), m/s

I= Factor de importancia

- Si $H/D > 4$, $T > 1$ seg, o $F < 1$ Hz, entonces el recipiente es considerado flexible y la fuerza generada por el viento es:

$$F = q_z G_f C_f A_f \quad \text{Ecuación 2.73}$$

Donde:

G_f = Factor de respuesta a ráfagas para recipientes flexibles

- Momento de vuelco debido a la fuerza de viento considerada

$$M = \sum F_x H_x \quad \text{Ecuación 2.74}$$

Realizando el análisis de la carga por presión del viento para determinar el momento de vuelco del tanque hidroneumático se tiene lo siguiente:

- De la Tabla 20 se escoge la categoría de estructura III, por ser la categoría que describe el lugar donde será instalado el tanque

Categoría III	Edificios o estructuras donde la ocupación principal es una en la cual se concentran más de 300 personas en una área
Categoría III	Escuelas, centros de salud, cárceles, centrales de energía o almacenamiento
Categoría IV	Instalaciones esenciales

- Su categoría de exposición es la D, esto se debe a que el tanque será instalado en la zona costera plana de la Provincia de Santa Elena y está expuesto al viento que sopla sobre aguas abiertas.
- Para calcular la frecuencia fundamental se tiene los siguientes datos:
 Altura, $h=4.35 \text{ m}=14.27 \text{ pies}$
 Diámetro del tanque, $D=1.41 \text{ m}=4.63 \text{ pies}$
 Peso por unidad de longitud, $w=492 \text{ Kg/m} = 329.96 \text{ lb/pie}$
 Espesor del cilindro del tanque, $t=6.35 \text{ mm}=0.02 \text{ pies}$
 Módulo de elasticidad del acero, $E= 30,000,000 \text{ lb/pulg}^2$
 Constante para periodo fundamental de vibración, $K=1.79$
 Gravedad, $g= 32.2 \text{ pie/s}^2$

Antes de calcular la frecuencia primero se calcula el momento del área del cilindro y el periodo.

- Momento de inercia del área del cilindro

Reemplazando valores en la Ecuación 2.69 se tiene:

$$I=3.142 \left(\frac{D}{2}\right)^3 t$$

$$I=0.779 \text{ pies}^4$$

- Periodo fundamental

Reemplazando valores en la Ecuación 2.68 se tiene:

$$T=K \sqrt{\frac{wh^4}{EIg}}$$

$$T=0.02 \text{ s}$$

- Finalmente la frecuencia fundamental se la obtiene reemplazando valores en la Ecuación 2.67:

$$f=1/T$$

$$f=49.72 \text{ Hz}$$

- Para determinar la presión ejercida por el viento, q_z previamente se determina lo siguiente:
 - Área proyectada, $A_f = 6.13 \text{ m}^2$
 - Coeficiente de exposición, $K_z=1.03$
 Este coeficiente depende de la altura del tanque y la categoría de exposición que pertenece, se escoge de la Tabla 22:

Height above ground level, z		Exposure Categories			
ft	(m)	A	B	C	D
0-15	(0-4.6)	0.32	0.57	0.85	1.03
20	(6.1)	0.36	0.62	0.90	1.08
25	(7.6)	0.39	0.66	0.94	1.12

- Factor topográfico, $K_{ZT}=1.0$
Según el procedimiento que se detalla en el manual de Moss este valor se da cuando el recipiente no está cerca o sobre colinas aisladas y como el recipiente será instalado en una zona costera se lo escoge.
- Velocidad básica del viento, $V=21$ m/s
Según el requisito establecido en la NEC para velocidad de viento este es el valor mínimo que debe ser empleado para el diseño.
- Factor de importancia, $I=1.15$
Este factor depende de la categoría de la estructura a la que se clasificó el tanque siendo esta la categoría III, por lo tanto el factor de importancia se determina de la Tabla 21:

Categoría de la estructura	I
I	0.87
II	1.00
III	1.15
IV	1.15

Finalmente se calcula con la Ecuación 2.71 la presión ejercida por el viento, q_z

$$q_z = 0.613 K_z K_{ZT} V^2 I$$

$$q_z = 320.21 \text{ N/m}^2$$

- Fuerza de viento, F
Previamente se determina lo siguiente:
 - Factor de ráfaga, $G=0.85$ para la categoría D
 - Factor de forma, $C_f=0.9$
 - Área proyectada, $A_f = 6.13 \text{ m}^2$
 - Presión ejercida por el viento, $q_z=320.21 \text{ N/m}^2$

La condición $h/D < 4$, $T < 1$ seg, o $f > 1$ Hz se cumple, por lo tanto el recipiente es considerado rígido y se emplea la Ecuación 2.70 para calcular la fuerza debida a la presión ejercida por el viento como sigue:

$$F = q_z G C_f A_f$$

$$F = 1501.6 \text{ N}$$

- Momento de vuelco debido a la fuerza del viento, M
Para este cálculo se tiene lo siguiente:
 - Fuerza de viento, $F=1501.6 \text{ N}$
 - Altura, $h=4.35 \text{ m}$

Reemplazando valores en la Ecuación 2.74 se tiene:

$$M=FH$$

$$M=F(h/2)$$

$$M=3265.98 \text{ N.m}$$

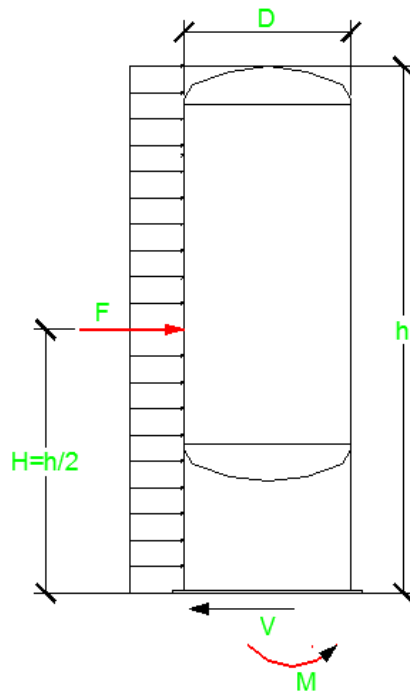


Figura 2-11. Recipiente vertical bajo carga de viento

2.11 Carga sísmica

Las carga sísmica es generada por el movimiento lateral de las masas producto de las ondas que se generan al producirse un sismo, estas actúan en la base del tanque y se incrementa uniformemente hacia el extremo libre, es decir, semejante a la carga triangular aplicada sobre una viga en voladizo, esta carga o fuerza sísmica ocasiona la inestabilidad del conjunto, que multiplicado por el brazo de palanca respecto al fondo, originan un momento de volteo o vuelco.

Para los cálculos se debe tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

- El tanque sujeto a cargas sísmicas es considerado como una viga en voladizo a la que se le suministra una carga que se incrementa uniformemente hacia el extremo libre.
- El peor de los casos para el diseño del tanque por sismo es con el tanque lleno, por lo tanto este peso se utilizará para realizar los cálculos.

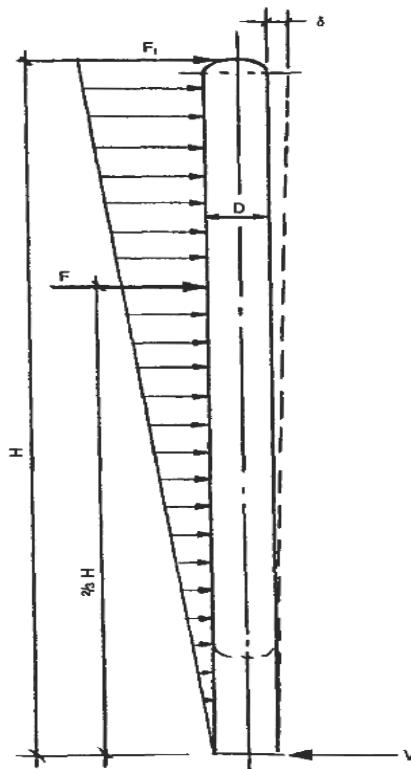


Figura 2-12. Distribución de carga sísmica, (Moss, 2004)

El procedimiento de diseño mostrado por el “Uniform Building Code” se lo utilizará para determinar la carga sísmica.

Procedimiento de diseño

Se determina lo siguiente:

- W_0 : Peso con el tanque en operación, N
- Factor de importancia, I
 - Instalaciones estándar: 1
 - Instalaciones peligrosas / esenciales: 1.25
- Tipo de perfil del suelo

Están definidos seis tipos de perfil de suelo los cuales se presentan en la Tabla 23:

Tabla 23. Tipo de perfil del suelo, (Moss, 2004)

Tipo de perfil de suelo	Nombre de perfil de suelo/ Descripción genérica	Velocidad de la onda de corte (m/s)
A	Roca dura	>1,500
B	Roca	760 a 1,500
C	Suelo muy denso y roca suave	360 a 760
D	Perfil de suelo rígido	180 a 360
E	Perfil de suelo suave	<180
F	Ver nota 1	

Nota 1: Los perfiles de suelo tipo F requieren una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un ingeniero geotecnista por ser de una clase especial.

- Factor de zona sísmica, Z

El factor de zona sísmica representa la aceleración esperada en roca, este factor depende del sitio o zona donde el recipiente se instale. Existe un mapa de zonas sísmicas del Ecuador presentado en el capítulo 2, NEC-11 que permite identificar a que zona sísmica pertenece el lugar de la instalación. En la Tabla 24 se muestran estos valores.

- Coefficientes sísmicos C_a y C_v

En la Tabla 15 se presentan los valores del coeficiente C_a que amplifica las ordenadas del espectro de respuesta elástico de aceleraciones y en la Tabla 16 se presentan los valores del coeficiente C_v que amplifica las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientos, ambos coeficientes se utilizan para diseño en roca, tomando en cuenta los efectos del sitio.

Tabla 24. Coeficiente sísmico C_a , (NEC-11, Norma Ecuatoriana de Construcción, Capítulo 2, Peligro Sísmico y Requisitos de Diseño Sismo Resistente, 2013)

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica	I	II	III	IV	V	VI
	valor Z (Aceleración esperada en roca, 'g)	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥ 0.5
A		0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
B		1	1	1	1	1	1
C		1.4	1.3	1.25	1.23	1.2	1.18
D		1.6	1.4	1.3	1.25	1.2	1.12
E		1.8	1.5	1.39	1.26	1.14	0.97
F		ver nota	ver nota	ver nota	ver nota	ver nota	ver nota

Tabla 25. Coeficiente sísmico C_v , (NEC-11, Norma Ecuatoriana de Construcción, Capítulo 2, Peligro Sísmico y Requisitos de Diseño Sismo Resistente, 2013)

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica	I	II	III	IV	V	VI
	valor Z (Aceleración esperada en roca, 'g)	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥ 0.5
A		0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
B		1	1	1	1	1	1
C		1.6	1.5	1.4	1.35	1.3	1.25
D		1.9	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
E		2.1	1.75	1.7	1.65	1.6	1.5
F		ver nota	ver nota	ver nota	ver nota	ver nota	ver nota

- Periodo de vibración, T

$$T=K\sqrt{\frac{WH^4}{Elg}} \quad \text{Ecuación 2.68}$$

- Cortante en la base, V

V es el valor mayor de V_1 o V_2 pero no excederá de V_3 :

$$V_1=0.56C_aIW_o \quad \text{Ecuación 2.75}$$

$$V_2=\frac{C_vIW_o}{R_wT} \quad \text{Ecuación 2.76}$$

$$V_3=\frac{2.5C_aIW_o}{R_w} \quad \text{Ecuación 2.77}$$

Donde:

C_a y C_v = Coeficientes sísmicos

I=Factor de importancia

W_o =Peso del recipiente en operación

T=Periodo de vibración

R_w =Coeficiente:

- Tanque vertical con faldón, $R_w=2.9$
 - Esferas y Tanques sobre piernas arriostradas, $R_w=2.2$
 - Tanque horizontal sobre silletas, $R_w=2.9$
 - Tanque vertical sobre piernas sin soporte lateral, $R_w=2.2$
- Se determina si algún porcentaje del cortante de la base necesita ser aplicado en la parte superior del tanque, F_t
 - Si $T<0.7$ seg, $F_t=0$
 - Para los otros casos $F_t=0.07TV$, pero no excederá 0.25V
 - Momento de vuelco:

A cualquier nivel, este momento es la suma algebraica de los momentos de todas las fuerzas que están por encima de dicho nivel:

$$M=[F_tH+(V-F_t)(2H/3)] \quad \text{Ecuación 2.78}$$

El momento aproximado a cualquier altura es determinado por la Ecuación 2.79, en la Figura 2-13 se muestra la referencia de donde se toman estas medidas.

$$M_x=M(X/H) \quad \text{Ecuación 2.79}$$

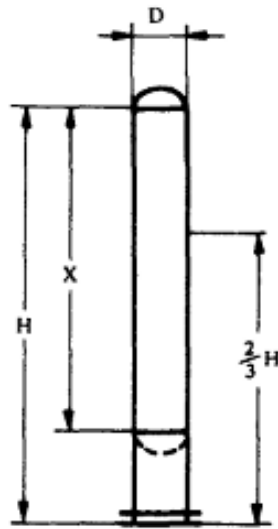


Figura 2-13. Referencias para determinar momentos a diferentes alturas,
(Moss, 2004)

Realizando el análisis de carga sísmica para calcular el momento de vuelco se determina las siguientes variables:

- Peso con el tanque lleno, $W_0=50782.25$ N
- Factor de importancia, $I=1$
Se considera al tanque una instalación estándar.

- Perfil del suelo: C

El suelo en la zona costera de la provincia de Santa Elena donde será colocado el tanque es denso y rocoso suave como se indica en la Tabla 23:

B	Roca	760 a 1,500
C	Suelo muy denso y roca suave	360 a 760
D	Perfil de suelo rígido	180 a 360
E	Perfil de suelo suave	<180

- Factor de zona sísmica, $Z=0.5$
Según el mapa mostrado en la NEC, para la zona de la provincia de Santa Elena donde será instalado el tanque hidroneumático se tiene una zona sísmica VI la cual tiene un valor de $Z=0.5$ el cual representa la máxima aceleración en roca esperada para el diseño.
- Coeficientes sísmicos C_a y C_v , son determinados de la Tabla 24 y Tabla 25

Tabla 24 Coeficiente sísmico C_a , (NEC)

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica	I	II	III	IV	V	VI
	valor Z (Aceleración esperada en roca, 'g)	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥0.5
A		0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
B		1	1	1	1	1	1
C		1.4	1.3	1.25	1.23	1.2	1.18
D		1.6	1.4	1.3	1.25	1.2	1.12
E		1.8	1.5	1.39	1.26	1.14	0.97
F		ver nota	ver nota	ver nota	ver nota	ver nota	ver nota

Tabla 25 Coeficiente sísmico C_v , (NEC)

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica	I	II	III	IV	V	VI
	valor Z (Aceleración esperada en roca, 'g)	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥0.5
A		0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
B		1	1	1	1	1	1
C		1.6	1.5	1.4	1.35	1.3	1.25
D		1.9	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
E		2.1	1.75	1.7	1.65	1.6	1.5
F		ver nota	ver nota	ver nota	ver nota	ver nota	ver nota

- Periodo de vibración, T

Reemplazando valores en la Ecuación 2.68 se tiene:

$$T=0.03 \text{ s}$$

Se verifica si algún porcentaje del cortante de la base necesita ser aplicado en la parte superior del tanque mediante la siguiente condición:

- Si $T < 0.7$ seg, $F_t = 0$,

Se ve que esta condición se cumple y por lo tanto ningún porcentaje de la fuerza cortante será aplicada en la parte superior del tanque.

- Coeficiente para tanque vertical con faldón, $R_w = 2.9$
- Cortante de la base, V

V es el valor mayor de V_1 o V_2 pero no excederá de V_3 , este se determinará por medio de las ecuaciones 2.75, 2.76 y 2.77 respectivamente:

$$V_1 = 0.56 C_a I W_o$$

$$V_1 = 33556.91 \text{ N}$$

$$V_2 = \frac{C_v I W_o}{R_w T}$$

$$V_2 = 1094445.04 \text{ N}$$

$$V_3 = \frac{2.5 C_a I W_o}{R_w}$$

$$V_3=51657.80 \text{ N}$$

Entonces se tiene que el cortante sobre la base es: $V=51657.80 \text{ N}$

- Momento de vuelco, M

Para determinar este momento se tienen los siguientes datos:

- Fuerza aplicada en la parte superior del recipiente, $F_t=0$
- Altura, $H=h=4.35 \text{ m}$

Reemplazando valores en la ecuación 2.74 se tiene:

$$M=[F_t H+(V-F_t)(2H/3)]$$

$$M=149807.62 \text{ N.m}$$

2.12 Diseño del faldón

Un faldón es el soporte de uso más frecuente y el más satisfactorio para los recipientes verticales. Se une por soldadura continua a la cabeza y por lo general, el tamaño requerido de esta soldadura determina el espesor del faldón.

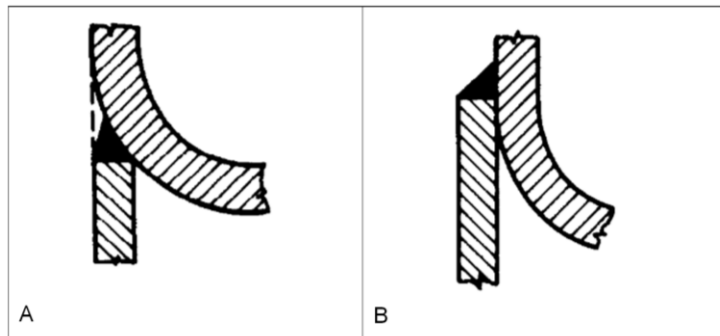


Figura 2-14. Bosquejos comunes de unión del faldón a la cabeza (Megyesy, 1992)

Para determinar el espesor requerido pueden usarse los valores de eficiencia de juntas presentados en la Tabla 2.

Para el cálculo del espesor mínimo requerido del faldón se utiliza la siguiente ecuación:

$$t = \frac{1000M_T}{\pi R_m^2 SE} + \frac{W_o}{D_m \pi SE} \quad \text{Ecuación 2.80}$$

La verificación del esfuerzo total con el espesor escogido para el faldón se lo determina por medio de la siguiente ecuación:

$$\sigma_T = \frac{W_o}{A} + \frac{M}{Z} \quad \text{Ecuación 2.81}$$

Donde:

D_m = Diámetro medio del faldón, mm

E = Eficiencia de la junta del faldón a la cabeza (0.6 para soldadura a tope, Bosquejo A, 0.45 para soldadura a traslape, Bosquejo B)

M_T = Momento de la junta del faldón a la cabeza, N.m

M = Momento debido a sismo o viento (el mayor), N.m

R = Radio medio del faldón, mm

S = Esfuerzo admisible del material de la cabeza o del faldón, el que sea menor, MPa

t = Espesor requerido del faldón, mm

W_o = Peso del tanque en operación, N

σ_T = Esfuerzo total en el faldón, MPa

A = Área del faldón con el espesor escogido, mm²

R = Radio exterior del faldón, mm

r = Radio interior del faldón, mm

Z = Factor de sección, mm³

$$Z = \frac{\pi}{4R} (R^4 - r^4) \quad \text{Ecuación 2.82}$$

Nota: Usando un faldón muy alto, puede regir los esfuerzos en la base.

Seleccionando el bosquejo A mostrado en la Figura 2-14 para el diseño del faldón se tiene los siguientes datos de entrada:

- Material del faldón: ASTM A-36
- Esfuerzo admisible del material, S = 138 Mpa
- Diámetro medio, $D_m = 1406.35$ mm
- Altura del tanque, H = 4.35 m
- Altura del faldón: $H_f = 1.2$ m
- Radio medio del faldón, R = 703.175 mm
- Peso con el tanque lleno, $W_o = 50782.25$ N
- Momento máximo de vuelco causado por sismo, M = 149807.62 N.m
- Eficiencia de la junta, E = 0.6 para soldadura a tope

Determinando el momento en la junta del faldón a la cabeza utilizando la Ecuación 2.79 a partir del momento de vuelco se tiene lo siguiente:

En el punto de unión del faldón con la cabeza del tanque se tiene que:

$$X = H - H_f = 4.35 - 1.2 = 3.15 \text{ m}$$

$$M_x = M(X/H)$$

$$M_T = 149807.62(3.15/4.35)$$

$$M_T = 108481.38 \text{ N.m}$$

El espesor mínimo requerido se lo obtiene reemplazando valores en la Ecuación 2.80:

$$t = \frac{1000(108481.38)}{\pi(703.175)^2(138)(0.6)} + \frac{50782.25}{(\pi)(1406.35)(138)(0.6)}$$
$$t = 0.97 \text{ mm}$$

El espesor que se escoge es:

$$t = 6.35 \text{ mm}$$

Verificando el esfuerzo total con el espesor escogido se tiene lo siguiente:

Factor de sección:

Reemplazando valores en la Ecuación 2.82 se tiene:

$$Z = \frac{\pi}{4(706.35)} [(706.35)^4 - (700)^4]$$

$$Z = 9.82 \times 10^6 \text{ mm}^3$$

Esfuerzo total:

Reemplazando valores en la Ecuación 2.81 se tiene:

$$\sigma_T = \frac{50782.75}{28055.44} + \frac{149807.62}{9.82 \times 10^6}$$

$$\sigma_T = 1.82 \text{ MPa}$$

Factor de seguridad:

$$N = \frac{\sigma_y}{\sigma_T} = \frac{250}{1.98} = 137$$

Distribución de pernos de anclaje

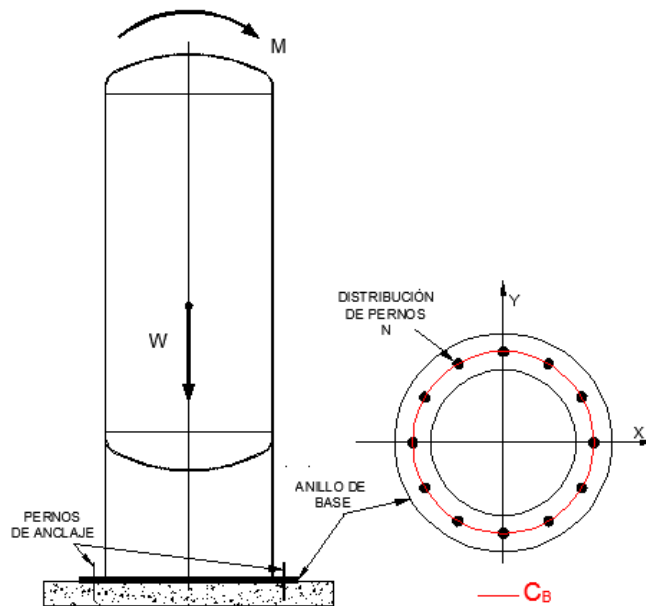


Figura 2-15. Distribución de pernos de anclaje

La distribución de los pernos de anclaje en el anillo del soporte del tanque permite tener un buen anclaje sobre cimentaciones de concreto, patines u otra armazón estructural.

Generalmente los pernos de anclaje se instalan en múltiplos de cuatro.

En una cimentación de concreto, la capacidad de pernos de anclaje muy próximos es reducida. Es aconsejable situar los pernos a distancias no menores de 18 pulgadas (458 mm). Para mantener esta separación, en el caso de recipientes de diámetro pequeño, puede ser necesario agrandar el círculo donde se localizan los pernos usando un faldón cónico o un anillo de base más ancho con cartelas de refuerzo.

Para verificar si el número de pernos es el adecuado se hará uso de un método simple para el diseño de los pernos de anclaje, el cual consiste en suponer un anillo continuo de diámetro igual al del círculo de los pernos. Este método emplea las siguientes ecuaciones para determinar lo siguiente:

Tensión máxima, T:

$$T = \frac{1000M}{A_B} - \frac{W}{C_B} \quad \text{Ecuación 2.83}$$

Área requerida del perno, B_A :

$$B_A = \frac{TC_B}{S_B N} \quad \text{Ecuación 2.84}$$

Esfuerzo en el perno de anclaje, S_B :

$$S_B = \frac{TC_B}{B_A N} \quad \text{Ecuación 2.85}$$

Donde:

A_B = Área dentro del círculo de pernos, mm^2

C_B = Circunferencia del círculo de los pernos, mm

M = Momento en la base debido a viento o sismo, N.m

N = Número de pernos de anclaje

S_B = Máximo esfuerzo permitido por el material de los pernos, MPa

W = Peso del recipiente durante la instalación, N

Se debe verificar que el esfuerzo en los pernos de anclaje sea menor que el máximo esfuerzo permitido por el material de estos.

Tabla 26. Dimensiones de pernos y ubicación de agujeros en el anillo de la base, (Megyesy, 1992)

TABLA A				TABLA B NUMERO DE PERNOS DE ANCLAJE		
Tamaño del perno	Área en la raíz del perno, pulg ²	Dimensión, pulg		Diámetro del círculo base de pernos, pulg	Mínimo	Máximo
		1 ₂	1 ₃			
1/2	0.126	7/8	5/8	24 a 36	4	4
5/8	0.202	1	3/4	42 a 54	8	8
3/4	0.302	1-1/8	13/16	60 a 78	12	12
7/8	0.419	1-1/4	15/16	84 a 102	12	16
1	0.551	1-3/8	1-1/16	108 a 126	16	20
1 1/8	0.693	1-1/2	1-1/8	132 a 144	20	24
1 1/4	0.890	1-3/4	1-1/4			
1 3/8	1.054	1-7/8	1-3/8			
1 1/2	1.294	2	1-1/2			
1 5/8	1.515	2-1/8	1-5/8			
1 3/4	1.744	2-1/4	1-3/4			
1 7/8	2.049	2-3/8	1-7/8			
2	2.300	2-1/2	2			
2 1/4	3.020	2-3/4	2-1/4			
2 1/2	3.715	3-1/16	2-3/8			
2 3/4	4.618	3-3/8	2-5/8			
3	5.621	3-5/8	2-7/8			

TABLA C ESFUERZOS MAXIMOS PERMITIDOS PARA PERNOS USADOS COMO ANCLAS		
Número de especificación	Diámetro, pulg	Máx. Esf. permitido, lb/pulg ²
SA 325	Todos los diámetros	15,000
SA 193 B 7	2 1/2 y menores	18,000
SA 193 B 16	2 1/2 y menores	18,000
SA 193 B 7	Más de 2 1/2 hasta 4 incl.	16,000
SA 193 B 16	Más de 2 1/2 hasta 4 incl.	15,700

* Para pernos con rosca estándar.

Para el diseño se tienen los siguientes datos:

- Diámetro del círculo de los pernos, $D_B = 4740$ mm
- Circunferencia del círculo de los pernos, $C_B = 4743.82$ mm
- Área dentro del círculo de pernos, $A_B = 1790790.54$ mm²
- Momento en la base debido a sismo, $M = 149807.62$ N.m
- Número de pernos de anclaje, $N = 12$
- Material: SA-325
- Máximo esfuerzo permitido por el material del perno, $S_B = 103$ MPa
- Peso del recipiente vacío, $W = 20995.66$ N

Calculando las variables que se emplean utilizando el método simple se procede como sigue:

Tensión máxima, T:

Reemplazando valores en la Ecuación 2.118 se tiene:

$$T = \frac{1000(149807.62 \text{ N.m})}{1790790.54 \text{ mm}^2} - \frac{20995.66 \text{ N}}{4743.82 \text{ mm}}$$
$$T = 79.23 \text{ N/mm}$$

Área requerida de un perno, B_A

Reemplazando valores en la Ecuación 2.119 se tiene:

$$B_A = \frac{79.23 \text{ N/mm}(4743.82 \text{ mm})}{(103 \text{ N/mm}^2)(12)}$$
$$B_A = 304.08 \text{ mm}^2 = 0.487 \text{ pulg}^2$$

De la tabla 26 parte A se escoge un perno de $\varnothing 1$ pulg.

Esfuerzo en el perno de anclaje, MPa

Reemplazando valores en la Ecuación 2.120 se tiene:

$$S_B = \frac{79.23 (4743.82)}{355.48 \text{ mm}^2(12)}$$
$$S_B = 88.11 \text{ MPa} = 12785.95 \text{ lb/pulg}^2$$

De la tabla 17 parte C se tiene que el esfuerzo admisible para un perno de material A-325 es 15000 lb/pulg² siendo mayor que el esfuerzo de anclaje, por lo tanto, el perno de dimensiones y material escogido nos permite anclar correctamente el tanque.

Diseño del anillo de la base.

Para el diseño del anillo base se deben tener presente las siguientes consideraciones generales:

- La superficie de asiento del anillo de la base debe ser suficientemente grande para que la carga se distribuya uniformemente en la cimentación de concreto y no se rebase así la carga de esta área.

- El espesor del anillo de la base debe resistir el esfuerzo flexionante inducido por viento o por sismo.

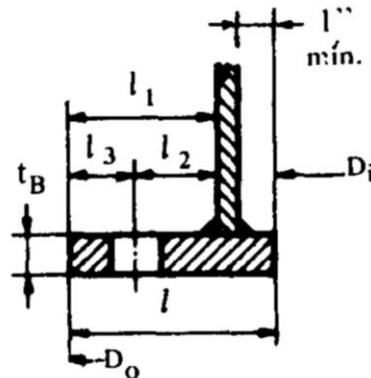


Figura 2-16. Anillo de la base, (Megyesy, 1992)

Este diseño se realiza calculando las siguientes variables que permiten al final determinar el ancho y grosor del anillo. Estas variables son:

Compresión máxima, N/m:

$$P_c = \frac{M}{A_s} + \frac{W_o}{C_s} \quad \text{Ecuación 2.86}$$

Ancho aproximado del anillo de base, m:

$$l = \frac{P_c}{f_b} \quad \text{Ecuación 2.87}$$

Espesor aproximado del anillo de la base, mm:

$$t_B = 0.32 * l \quad \text{Ecuación 2.88}$$

Esfuerzo de apoyo o resistente, Pa:

$$S_1 = \frac{P_c C_s}{A_R} \quad \text{Ecuación 2.89}$$

Esfuerzo de flexión, MPa:

$$S_2 = \frac{3S_1 l_1^2}{t_B^2} \quad \text{Ecuación 2.90}$$

Donde:

A_R = Área del anillo de la base, m^2

$$A_R = \frac{\pi}{4} (D_o^2 - D_i^2) \quad \text{Ecuación 2.91}$$

A_s = Área comprendida dentro del faldón, m^2

C_s = Circunferencia sobre el D.E. del faldón, m

f_b = Carga segura de apoyo sobre el concreto, MPa

l_1 = Voladizo interior o exterior, el que sea mayor, mm

l_2, l_3 = Dimensiones según se ilustra en el esquema

M = Momento en la base debido a viento o sismo, N.m

W_o = Peso del recipiente en operación, N

Una vez que se escoge el espesor se procede a verificar los esfuerzos de apoyo y flexión con algún material que tenga un esfuerzo admisible mayor con la finalidad de seleccionar el material adecuado.

Para el diseño del anillo se tiene los siguientes datos:

- Área comprendida dentro del faldón, $A_s = 1.56 \text{ m}^2$
- Circunferencia sobre el D.E. del faldón, $C_s = 4.44 \text{ m}$
- Carga segura de apoyo sobre el concreto, $f_b = 3.44 \text{ MPa}$
- Momento en la base debido a sismo, $M=149807.62 \text{ N.m}$
- Peso del recipiente en operación, $W_o=50782.25 \text{ N}$
- Voladizo exterior, $l_1=3-1/2 \text{ pulg}=88.9 \text{ mm}$

Calculando las siguientes variables que al final nos permiten determinar el ancho y espesor del anillo se tiene:

- Compresión máxima, N/m

Reemplazando los valores en la Ecuación 2.121 se tiene:

$$P_c = \frac{(149807.62 \text{ N.m})}{1.56 \text{ m}^2} + \frac{50782.25 \text{ N}}{4.44 \text{ m}}$$
$$P_c = 107467.97 \text{ N/m}$$

- Ancho aproximado del anillo de base, l

Reemplazando valores en la Ecuación 2.87 se tiene:

$$l = \frac{107467.97 \text{ N/m}}{3.44 * 10^6 \text{ N/m}^2}$$
$$l = 0.031 \text{ m} = 31.24 \text{ mm}$$

- Espesor aproximado del anillo de la base, t_B

Reemplazando valores en la Ecuación 2.123 se tiene:

$$t_B = 0.32(31.24 \text{ mm})$$
$$t_B = 9.99 \text{ mm}$$

Aquí se debe tener en cuenta que el voladizo exterior es de 88.9 mm más el espesor del faldón 6.35 mm y 25.4 mm que se recomienda dejar hacia el interior se tiene un ancho total del anillo de la base $l=120 \text{ mm}$. Agregándole 1.6 mm por corrosión al espesor calculado, se escoge un espesor de anillo $t_B = 15 \text{ mm}$.

Verificación de los esfuerzos

- Área del anillo de la base, A_R

Reemplazando valores en la Ecuación 2.91 se tiene:

$$A_R = \frac{\pi}{4} (D_o^2 - D_i^2)$$
$$A_R = \frac{\pi}{4} ((1.586 \text{ m})^2 - (1.346 \text{ m})^2)$$

$$A_R = 0.55 \text{ m}^2$$

- Esfuerzo de apoyo o resistente, S_1

Reemplazando valores en la Ecuación 2.89 se tiene:

$$S_1 = \frac{(107467.97 \text{ N/m})(4.44 \text{ m})}{0.55 \text{ m}^2}$$

$$S_1 = 867.56 \text{ KPa}$$

- Esfuerzo de flexión, S_2

Reemplazando valores en la Ecuación 2.90 se tiene:

$$S_2 = \frac{3(867.56 \text{ KPa})(88.9 \text{ mm})^2}{(15 \text{ mm})^2}$$

$$S_2 = 91.42 \text{ MPa}$$

El material ASTM A-36 para el anillo de la base, resiste muy bien estos esfuerzos ya que su esfuerzo de fluencia es 250 Mpa siendo mayor a lo requerido con un factor de seguridad $n=2.7$.

2.13 Diseño de orejas de izaje

Las orejas de izaje son elementos de sujeción del tanque. Su principal función es dar los puntos de apoyo para que el tanque pueda ser elevado y de esta manera transportarlo hacia el sitio donde va operar.

Para su dimensionamiento se debe tener presente las dimensiones de los grilletes que se utilizarán frecuentemente en el izaje.

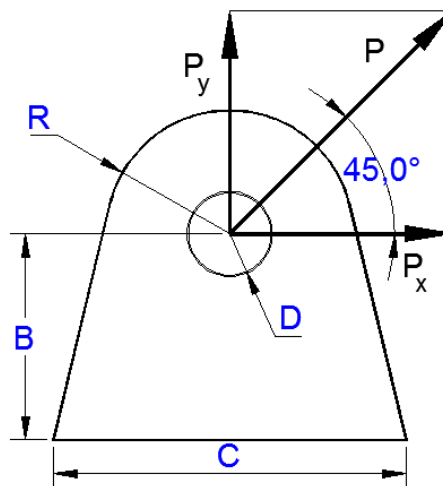


Figura 2-17. Oreja de Izaje

Análisis

Dado los siguientes datos:

- Fuerza aplicada en la oreja: $P=20995.66 \text{ N}$
- Fuerza en x, $P_x=1485.70 \text{ N}$
- Fuerza en y, $P_y=1485.70 \text{ N}$
- Esfuerzo de material: $S= 250 \text{ Mpa}$

- Diámetro del agujero $D=28$ mm
- Radio de la oreja: $R=42$ mm
- Ancho de oreja: $C=120$ mm
- Distancia base-centro del agujero: $B=70$ mm
- Esfuerzo admisible del material del tanque: $S_R=138$ MPa

Se obtienen los siguientes resultados:

Momento

$$M=P \times B$$

Ecuación 2.92

Reemplazando valores se tiene:

$$M=1485.70(70)$$

$$M=1039199 \text{ N.mm}$$

Espesor debido a esfuerzo cortante

$$t_1 = \frac{P}{2S \left(R - \frac{D}{2} \right)}$$

Ecuación 2.93

Reemplazando valores se tiene:

$$t_1 = \frac{20995.66}{2(250) \left(42 - \frac{28}{2} \right)}$$

$$t_1 = 1.50 \text{ mm}$$

Espesor debido a esfuerzo combinado

$$t_2 = \frac{P_y}{SC} + \frac{6M}{S(C^2)}$$

Ecuación 2.94

Reemplazando valores se tiene:

$$t_2 = \frac{14845.70}{(250)(120)} + \frac{6(1039199)}{(250)(120^2)}$$

$$t_2 = 2.23 \text{ mm}$$

Espesor debido a aplastamiento

$$t_3 = \frac{P}{SD}$$

Ecuación 2.95

Reemplazando valores se tiene:

$$t_3 = \frac{20995.66}{250(28)}$$

$$t_3 = 2.99 \text{ mm}$$

Siendo el espesor mínimo requerido el máximo valor de los espesores calculados se tiene:

$$t = 2.99 \text{ mm}$$

Se escoge el espesor:

$$t_o = 6.35 \text{ mm}$$

Esfuerzo de aplastamiento para el espesor escogido

$$\sigma_a = \frac{P}{D \cdot t_0} \quad \text{Ecuación 2.96}$$

Reemplazando valores se tiene:

$$\sigma_a = \frac{20995.66}{28 \cdot 6.35 \text{ mm}}$$

$$\sigma_a = 118.08 \text{ Mpa}$$

Se tiene un factor de seguridad mínimo $n=2.1$.

Finalmente se debe verificar que la soldadura aplicada para fijar la oreja de izaje sea suficiente, lo cual se realizará con las siguientes ecuaciones:

Área de soldadura aplicada:

$$A_s = 1.4142(t_0)C \quad \text{Ecuación 2.97}$$

Área mínima de soldadura requerida:

$$A_r = \frac{P}{S_R} \quad \text{Ecuación 2.98}$$

Siempre se deberá cumplir con la condición $A_s \geq A_r$.

Área de soldadura aplicada

La máxima dimensión de soldadura será igual al menor espesor de la placa base, por lo tanto será 6.35 mm.

Reemplazando valores en la Ecuación 2.97 se tiene:

$$A_s = 1.4142(6.35 \text{ mm})120 \text{ mm}$$

$$A_s = 1077.62 \text{ mm}^2$$

Área mínima de soldadura requerida

Reemplazando valores en la Ecuación 2.98 se tiene:

$$A_r = \frac{20995.66 \text{ N}}{138 \text{ MPa}}$$

$$A_r = 152.14 \text{ mm}^2$$

Se verifica que la condición $A_s \geq A_r$ se cumple, por lo tanto la soldadura para fijar la oreja de izaje es suficiente.

2.14 Entrada de hombre con pescante

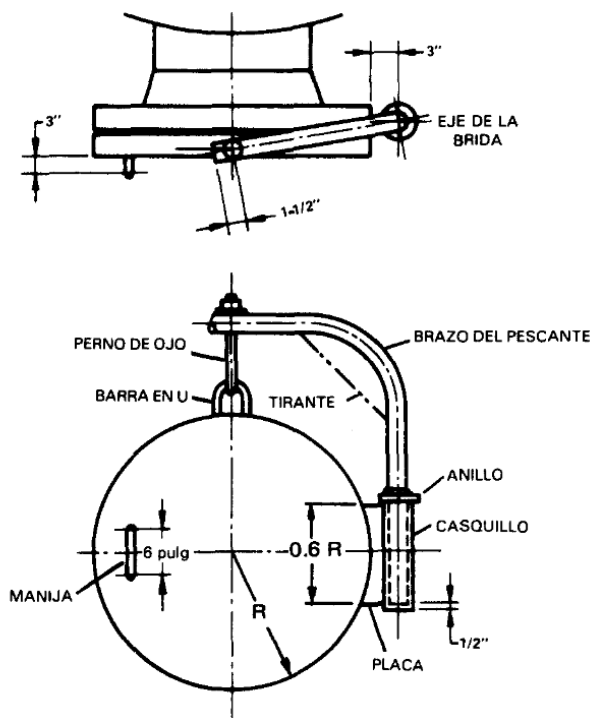


Figura 2-18. Pescante para apertura horizontal, (Megyesy, 1992)

En el manual de recipientes-Megyesy se muestra una lista de dimensionamiento sugerido de las partes del pescante clasificadas de acuerdo al rango y tamaño de la brida ciega para la entrada de hombre.

Los valores de dimensiones que se muestran en la Tabla 27 son cuando el pescante se ha probado contra deformación excesiva.

Tabla 27. Dimensionamiento de los materiales para pescante, (Megyesy, 1992)

RANGO DE LA BRIDA	150*					300*					600*					900*									
TAMAÑO	12	14	16	18	20	24	12	14	16	18	20	24	12	14	16	18	20	24	12	14	16	18	20	24	
NO. DE LISTA	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	2	2	2	2	1	1	2	2	2	3
	LISTA 1					LISTA 2					LISTA 3														
BRAZO DEL PESCANTE	TUBO DE 1 1/2" REF.					TUBO DE 2" DOB. REF.					TUBO DE 2" DOB. REF.														
CASQUILLO	TUBO DE 2" REF.					TUBO DE 2 1/2" EST.					TUBO DE 2 - 1/2" EST.														
PERNO DE OJO	5/8 φ					3/4 φ					1" φ														
BARRA EN U	5/8 φ					3/4 φ					1" φ														
ANILLO	5/8					3/4					1"														
PLACA	5/8					3/4					1"														
MANIJA	5/8 φ					3/4 φ					1" φ														
TIRANTE	—					—					3/8"														

De la Tabla 27, se puede ver las dimensiones de los componentes del pescante para la brida ciega que permite cerrar el registro de hombre siendo de clase 150 y tamaño 24.

En la Figura 2-19 se muestra el diseño del pescante para el registro del hombre (Manhole Davit) del tanque hidroneumático según las indicaciones mostradas en la Tabla 18 y Figura 2-18.

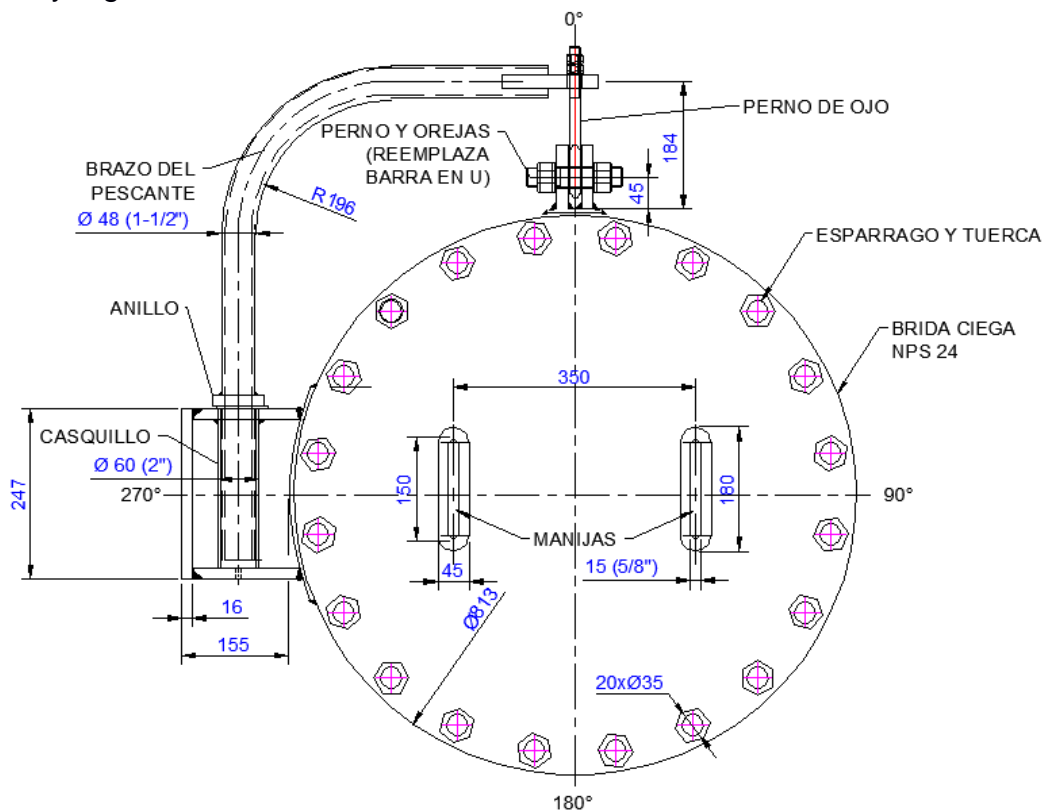


Figura 2-19. Diseño del pescante para el registro de hombre

En la figura 2-19 se muestran la aplicación de las cargas a las cual está sometido el pescante.

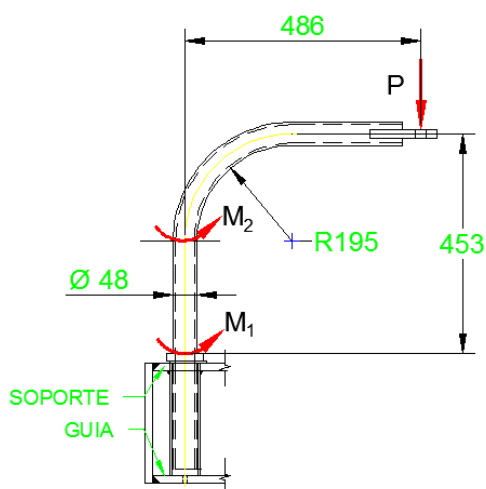


Figura 2-20. Carga soportada por el pescante

Análisis

Datos:

- Carga, $P=187.38 \text{ Kg}=1838.2 \text{ N}$
- Distancia, $L_1=486 \text{ mm}$
- Distancia 2, $L_2=453 \text{ mm}$
- Tubo de $\varnothing 48.3 \text{ mm}$ (1/2" Ced. 80)
- Espesor de pared del tubo, $t_p=5.04 \text{ mm}$
- Radio exterior del tubo, $a=48.3 \text{ mm}$
- Material ASTM-A 106 Gr. B
- Esfuerzo admisible, $F_a=240 \text{ MPa}$
- Área, $A=526.98 \text{ mm}^2$
- Factor de sección, $Z=3859.4 \text{ mm}^3$

Momento 1

$$M_1 = P \cdot L_1$$

Ecuación 2.99

Reemplazando valores se tiene:

$$M_1 = 1838.2(486)$$
$$M_1 = 893365.2 \text{ N.mm}$$

Esfuerzo axial

$$f_a = \frac{P}{A}$$

Ecuación 2.100

Reemplazando valores se tiene:

$$f_a = \frac{1838.2}{526.98}$$
$$f_a = 3.49 \text{ MPa}$$

Esfuerzo de flexión

$$f_{b1} = \frac{M_1}{Z}$$

Ecuación 2.101

Reemplazando valores se tiene:

$$f_{b1} = \frac{893365.2}{3859.4}$$
$$f_{b1} = 231.48 \text{ MPa}$$

Esfuerzos combinados

$$\sigma_1 = f_a + f_{b1}$$

Ecuación 2.102

Reemplazando valores se tiene:

$$\sigma_1 = 3.49 + 231.48$$
$$\sigma_1 = 234.97 \text{ MPa}$$

Factor de seguridad

$$n_1 = \frac{F_a}{\sigma}$$

Ecuación 2.103

Reemplazando valores se tiene:

$$n_1 = \frac{240}{234.97}$$

$$n_1 = 1.02$$

Momento 2

$$M_2 = \frac{M_1(L_2 - R)}{L_2} \quad \text{Ecuación 2.104}$$

Reemplazando valores se tiene:

$$M_2 = \frac{1838.2(453 - 195)}{453}$$

$$M_2 = 508804.02 \text{ N.mm}$$

Coefficientes

$$\alpha = \frac{t_p R}{a^2} \quad \text{Ecuación 2.105}$$

Reemplazando valores se tiene:

$$\alpha = \frac{5.04 (195)}{(48.3)^2}$$

$$\alpha = 0.42$$

$$\beta = \frac{5}{5 + 6\alpha^2} \quad \text{Ecuación 2.106}$$

Reemplazando valores se tiene:

$$\beta = \frac{5}{5 + 6(0.42)^2}$$

$$\beta = 0.99$$

$$K = 1 - \frac{9}{10 + 12\alpha^2} \quad \text{Ecuación 2.107}$$

Reemplazando valores se tiene:

$$K = 1 - \frac{9}{10 + 12(0.42)^2}$$

$$K = 0.74$$

Esfuerzo de flexión en M₂

$$f_{b2} = \frac{M_2}{I} \left(\frac{2}{3K\sqrt{3\beta}} \right) \quad \text{Ecuación 2.108}$$

Reemplazando valores se tiene:

$$f_{b2} = \frac{508804.02}{93204.51} \left(\frac{2}{3(0.74)\sqrt{3(0.99)}} \right)$$

$$f_{b2} = 137.84 \text{ MPa}$$

Esfuerzos combinados

$$\sigma_2 = f_a + f_{b2} \quad \text{Ecuación 2.109}$$

Reemplazando valores se tiene:

$$\sigma_2 = 3.49 + 137.84$$

$$\sigma_2 = 141.33 \text{ MPa}$$

Factor de seguridad

$$n_2 = \frac{F_a}{\sigma}$$

Ecuación 2.110

Reemplazando valores se tiene:

$$n_2 = \frac{240}{141.33}$$
$$n_2 = 1.7$$

2.15 Escalera y plataforma

Escalera

La escalera debe cumplir los requisitos de seguridad indicados en la norma OSHA y los establecidos en la norma (ANSI A14.3, 1984), los cuales se describen a continuación:

Escalera fija:

- La escalera fija debe ser capaz de aguantar, al menos, dos cargas de 250 libras (228 Kg).
- Debe extenderse, al menos, 42 pulgadas (1.1 m) sobre un nivel de acceso o plataforma de tal manera que se utilice la extensión para agarre.
- Cada escalón debe poder aguantar una carga de, al menos, 250 libras (114 Kg) aplicada en el medio centro del escalón o peldaño.
- La distancia libre mínima entre los largueros laterales debe ser 16 pulgadas (41 cm)
- El material puede ser ASTM A-36 o alguno equivalente.
- Deben eliminarse todas las rebabas levantadas y filos agudos.

Jaula:

- Las bandas o soleras horizontales para la escalera de peldaño individual deben estar fijadas a los largueros laterales de la escalera.
- Las bandas verticales deben estar en el interior de las bandas horizontales y fijadas a ellas.
- Las jaulas no deben extenderse menos de 27 pulgadas (68 cm), o más de 30 pulgadas (76 cm) de la línea de centro del escalón o peldaño y no deben ser menores de 27 pulgadas (68 cm) de ancho.
- El interior de las jaulas debe estar libres de salientes.
- Las bandas horizontales deben estar espaciadas a intervalos no mayores de 4 pies (1.2 m) medidas entre centros.
- Las bandas verticales deben estar espaciadas a intervalos no mayores de 9 pulgadas (24 cm) medidos entre línea de centro.
- La parte inferior de la jaula debe estar entre 7 y 8 pies (2.1 y 2.4 m) sobre el punto de acceso a la parte inferior de la escalera.

- La parte superior de la jaula debe estar a un mínimo de 42 pulgadas (1.1 m) sobre la parte de arriba de la plataforma o del punto de acceso a la parte superior de la escalera.
- Siempre debe haber una manera de acceso a la plataforma u otro punto de acceso.
- El material puede ser ASTM A-36 o alguno equivalente.
- Deben eliminarse todas las rebabas levantadas y filos agudos.

En la Figura 2-21 se muestra un dibujo de este tipo de escalera el cual será utilizado como referencia para el diseño de la escalera del tanque hidroneumático:

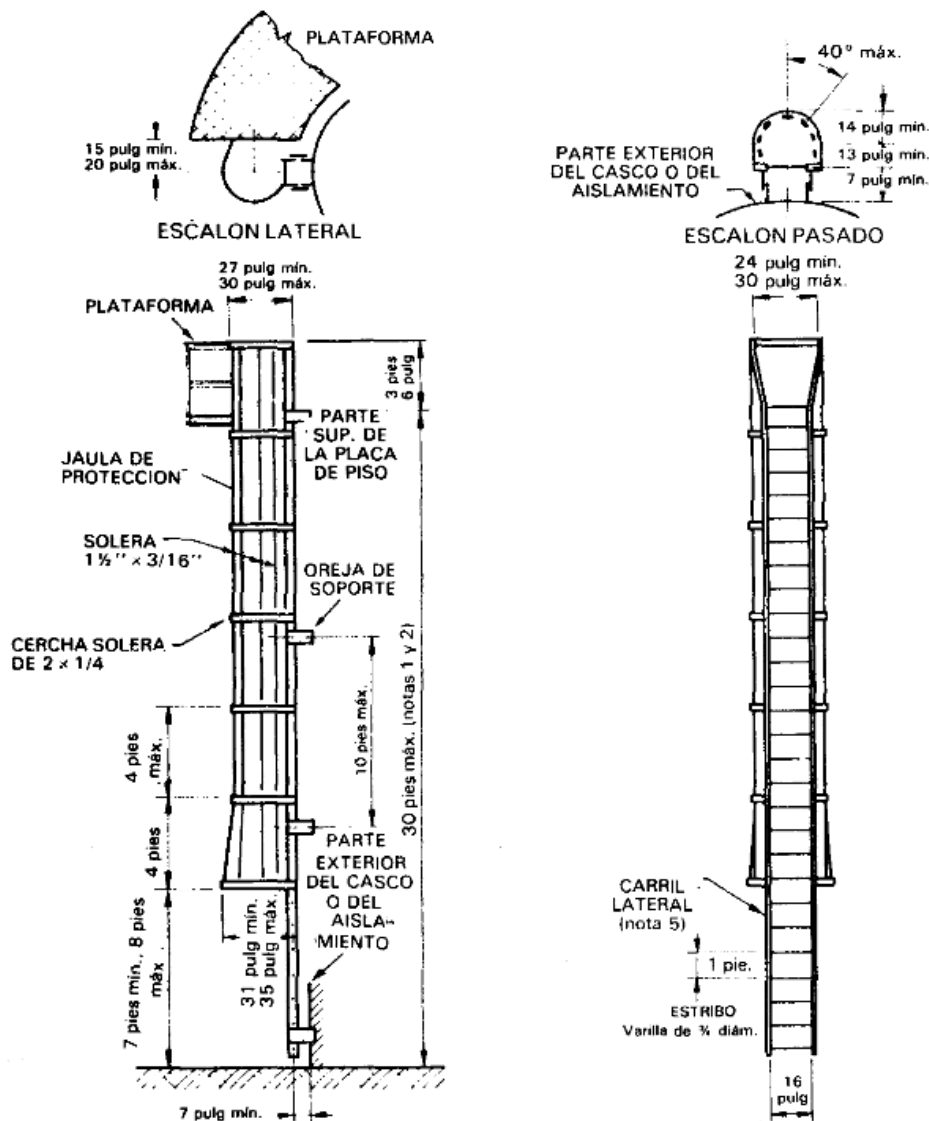


Figura 2-21. Escalera fija con jaula de protección, (Moss, 2004)

Considerando los requisitos que se deben cumplir tanto en la escalera como la jaula de protección, la Figura 2-22 muestra el diseño con sus dimensiones.

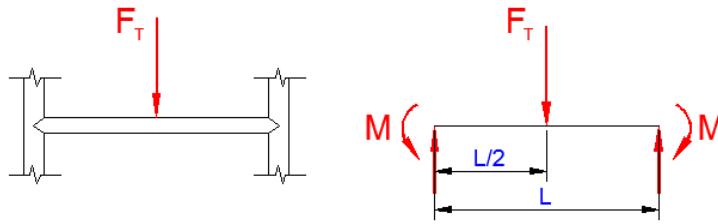


Figura 2-23. Dimensiones y carga aplicada en el escalón.

Escalón

Calculando la carga total en el escalón se tiene:

$$F_T = (F_E + W_E) 9.81 \quad \text{Ecuación 2.111}$$

$$F_T = (114 + 1.84) 9.81$$

$$F_T = 1136.39 \text{ N}$$

Calculando el módulo de sección se tiene:

$$Z = \frac{\pi}{4R} (R^4 - r^4) \quad \text{Ecuación 2.82}$$

$$Z = \frac{\pi}{4(19.05)} [(19.05)^4 - (17.05)^4]$$

$$Z = 1945.57 \text{ mm}^3$$

Calculando el momento se tiene:

$$M = \frac{F_T L}{8} \quad \text{Ecuación 2.112}$$

$$M = \frac{1136.39(550)}{8}$$

$$M = 78126.81 \text{ N.mm}$$

Calculando el esfuerzo de flexión se tiene:

$$f = \frac{M}{Z} \quad \text{Ecuación 2.113}$$

$$f = \frac{78126.81}{1945.57}$$

$$f = 40.16 \text{ MPa}$$

Factor de seguridad

$$n = \frac{S}{f} \quad \text{Ecuación 2.114}$$

$$n = \frac{250}{40.16}$$

$$n = 6.2$$

Soporte de escalera

- Fuerza sobre escalera, $F_S = 228 \text{ Kg}$
- Peso de escalera, $W_S = 55.20 \text{ Kg}$
- Peso de soporte, $W_{E1} = 0.87 \text{ Kg}$
- Número de soportes, $N = 6$
- Diámetro exterior, $D = 1\text{-}1/2 \text{ pulg} = 38.1 \text{ mm}$
- Módulo de sección, $Z = 1945.57 \text{ mm}^3$

- Área de sección=330.81 mm²
- Longitud, L=240 mm

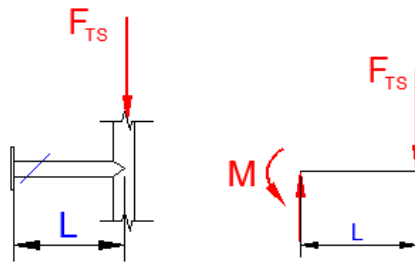


Figura 2-24. Dimensiones y carga aplicada en soporte de escalera.

Calculando la carga total en el soporte se tiene:

$$F_{TS}=(F_S+W_S)9.81/N \quad \text{Ecuación 2.115}$$

$$F_{TS}=(228+55.20)9.81/6$$

$$F_{TS}=463.03 \text{ N}$$

Calculando el momento se tiene:

$$M=W_{E1}(L/2)9.81+F_{TS}(L) \quad \text{Ecuación 2.116}$$

$$M=0.87(260/2)(9.81)+(463.03)(260)$$

$$M=121497.39 \text{ N.mm}$$

Reemplazando valores en la ecuación 2.92 para calcular el esfuerzo de flexión se tiene:

$$f=\frac{M}{Z} \quad \text{Ecuación 2.113}$$

$$f=\frac{121497.39}{1945.57}$$

$$f=62.45 \text{ MPa}$$

Reemplazando valores en la ecuación 2.93 para calcular el factor de seguridad se tiene:

$$n=\frac{S}{f} \quad \text{Ecuación 2.120}$$

$$n=\frac{250}{62.45}$$

$$n=4$$

Plataforma

Requisitos de las normas OSHA relativas a seguridad y salud laborales:

- Deberán eliminarse todas las rebabas y filos agudos.
- El material puede ser ASTM A-36 o alguno equivalente.
- El pasamano debe estar a una altura de 42 pulgadas (1.1 m) y con un miembro estructural intermedio paralelo desde el piso de la plataforma.
- Separación máxima de los soportes de pasamano: 6 pies (1.8 m).
- El pasamano debe ser capaz de aguantar, sin fallas, al menos, 200 libras (90.9 Kg), de peso aplicadas en un tubo redondo estructural de diámetro exterior 2 pulgadas (50.8 mm) en cualquier dirección hacia arriba o hacia abajo

Consideraciones de diseño:

- Carga muerta: Aquí se considera el peso de acero sobre los soportes de la plataforma, incluye pasamanos, el marco estructural de contorno y plancha del piso
- Carga viva: Se considera para operación y mantenimiento 250 Kg.
- Se asume que cada soporte comparte la mitad de la zona entre cada uno de los soportes adyacentes.
- Cuando sea posible la viga inclinada debería estar a 45°.
- El esfuerzo inducido por los soportes de la plataforma sobre la pared del tanque puede ser reducido usando parches para apoyo de los soportes sobre esta pared.

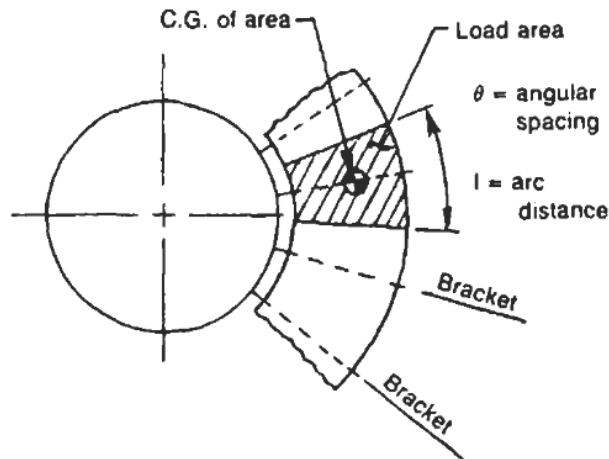


Figura 2-25. Centro de gravedad en plataforma circular para aplicación de fuerza total, (Moss, 2004)

Considerando los requisitos que se deben cumplir tanto en el pasamano como en la plataforma, la Figura 2-26 muestra el diseño con sus dimensiones.

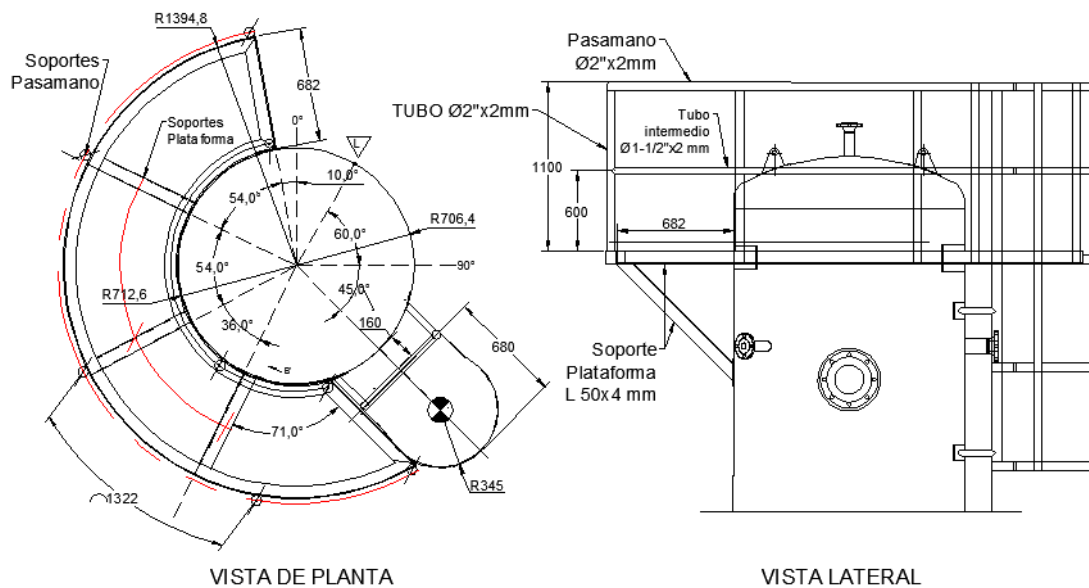


Figura 2-26. Detalle de plataforma de mantenimiento

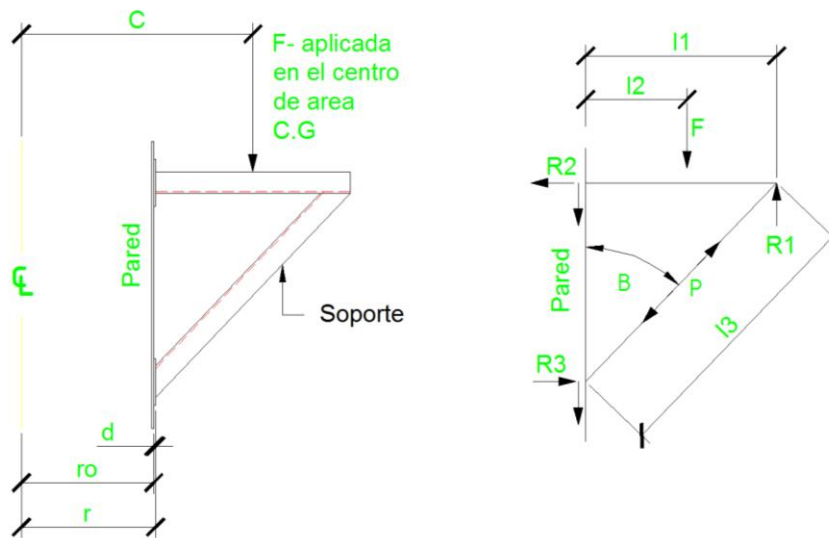


Figura 2-27. Dimensiones, fuerza, y reacciones para soporte

Para el cálculo de la plataforma se tiene los siguientes datos:

- Carga muerta, $F_M=182.87$ kg
- Carga viva, $F_V=250$ Kg
- Radio exterior de la plataforma, $R_p=1394.8$ mm
- Radio interior de la plataforma, $r_p=712.6$ mm
- Ancho de plataforma: $l_1 = 682.2$ mm
- Espaciamiento angular entre soportes, $\theta=54=0.94$ rad
- Ángulo de viga inclinada, $\beta=45^\circ$
- Material del soporte: ASTM A-36
- Esfuerzo de fluencia, $S=250$ MPa

Para el diseño del soporte se determina lo siguiente:

- Distancia desde el eje del tanque al centro de área de la plataforma, C

$$C = \frac{2(R_p^3 - r_p^3) \sin \theta / 2}{3(R_p^2 - r_p^2) \theta / 2} \quad \text{Ecuación 2.117}$$

Reemplazando valores se tiene:

$$C = \frac{2(1394.8^3 - 712.6^3) \sin 0.94 / 2}{3(1394.8^2 - 712.6^2) 0.94 / 2}$$

$$C = 1050.80 \text{ mm}$$

- Distancia desde el exterior del tanque al centro de área de la plataforma, l_2

$$l_2 = C - r_o \quad \text{Ecuación 2.118}$$

Donde:

r_o : Radio exterior del tanque, mm

Reemplazando valores se tiene:

$$l_2=1050.80-712.6$$

$$l_2=338.2 \text{ mm}$$

- Fuerza total, F

$$F=[(F_M+F_V)9.81]/N$$

Ecuación 2.119

Donde:

F_M : Carga muerta, Kg

F_V : Carga viva, Kg

N: Número de soportes

Reemplazando valores se tiene:

$$F=[(182.87+250)9.81]/4$$

$$F=1061.61 \text{ N}$$

- Reacción, R_1

$$R_1 = \frac{l_2 F}{l_1}$$

Ecuación 2.120

Reemplazando valores se tiene:

$$R_1 = \frac{338.2(1061.61)}{682.2}$$

$$R_1=526.29 \text{ N}$$

- Reacción, R_2 y R_3

$$R_2=R_3=R_1 \tan \beta$$

Ecuación 2.121

Reemplazando valores se tiene:

$$R_2=R_3=(526.29)(\tan 45^\circ)$$

$$R_2=R_3=526.29 \text{ N}$$

- Esfuerzo de flexión en la viga horizontal, f_b

$$f_b = \frac{|l_1-l_2|F}{Z}$$

Ecuación 2.122

f_b : Esfuerzo de flexión, MPa

l_1 : Ancho de plataforma, mm

F: Fuerza total, N

Z: Módulo de sección, mm^3

Para ángulo 50x50x4 mm se tiene que $Z=2536.29 \text{ mm}^3$

Reemplazando valores se tiene:

$$f_b = \frac{|682.2-338.2|(1061.61)}{2536.29}$$

$$f_b=143.98 \text{ Mpa}$$

Factor de seguridad: $n=1.7$

- Fuerza axial en viga inclinada, P:

$$P = \frac{R_1}{\cos \beta} \quad \text{Ecuación 2.123}$$

Reemplazando valores se tiene:

$$P = \frac{526.29}{\cos 45^\circ}$$

$$P = 744.29 \text{ N}$$

- Esfuerzo axial, f_a :

$$f_a = \frac{P}{A} \quad \text{Ecuación 2.124}$$

Donde:

P: Carga axial, N

A: Área de la viga inclinada, mm^2

Para ángulo de 50x50x4 mm se tiene a $A = 380.57 \text{ mm}^2$.

Reemplazando valores en la Ecuación 2.124 se tiene:

$$f_a = \frac{744.29}{380.57}$$

$$f_a = 1.96 \text{ Mpa}$$

Factor de seguridad: $n = 127.6$

Pasamano

Fuerza sobre pasamanos, $F_p = 90.9 \text{ Kg}$

Peso de un tramo del pasamanos, $W_p = 3.19 \text{ Kg}$

Diámetro exterior, $D = 50.8 \text{ mm}$

Diámetro interior, $d = 46.8 \text{ mm}$

Longitud de tramo de pasamanos entre soportes, $l_p = 1322 \text{ mm}$

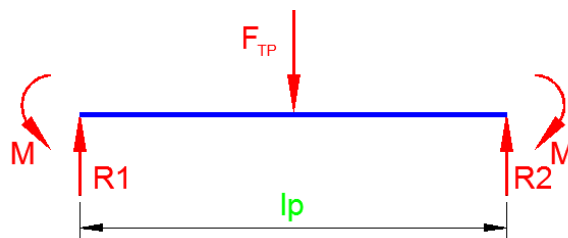


Figura 2-28. Dimensiones y carga aplicada en el pasamano

Calculando el módulo de sección se tiene:

$$Z = \frac{\pi}{4R} (R^4 - r^4) \quad \text{Ecuación 2.125}$$

$$Z = \frac{\pi}{4(25.4)} [(25.4)^4 - (23.4)^4]$$

$$Z = 3599.52 \text{ mm}^3$$

Calculando la carga total en el pasamano se tiene:

$$F_{TP}=(F_P+W_P)9.81$$

Ecuación 2.126

$$F_{TP}=(90.9+3.19)9.81$$

$$F_{TP}=922.98 \text{ N}$$

Calculando el momento se tiene:

$$M=\frac{F_{TP}l_p}{8}$$

Ecuación 2.127

$$M=922.98(1322/8)$$

$$M=152522.45 \text{ N.mm}$$

Calculando esfuerzo de flexión se tiene:

$$f=\frac{M}{Z}$$

Ecuación 2.113

$$f=\frac{152522.45}{3599.52}$$

$$f=42.37 \text{ MPa}$$

Reemplazando valores en la Ecuación 2.114 para calcular el factor de seguridad se tiene:

$$n=\frac{250}{42.37}$$

$$n=5.9$$

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS

3.1 Análisis de los resultados obtenidos utilizando un software de elementos finitos

Para validar el diseño de componentes del tanque se utilizó el Software SOLIDWORKS® el cual permite realizar un análisis mediante el método de elementos finitos para estudiar los desplazamientos, las deformaciones unitarias, esfuerzo y factor de seguridad de los componentes bajo cargas internas o externas. Esto se lo realizó con la ayuda del comando de simulación que brinda el Software.

Antes de realizar la simulación del componente, primero se generó su geometría en el software, una vez realizada la parte geométrica se aplicó el material a usar, en esta parte se puede aplicar diferentes materiales con el fin de analizar los diferentes comportamientos según las propiedades del material escogido.

Los puntos de apoyo que se establecieron en la parte de la geometría del componente permiten que estén fijos al momento que se realizó el análisis.

La aplicación de las cargas que se determinaron en el capítulo 2 se procedieron a ubicar donde correspondiera en la geometría del componente que fue analizado estáticamente.

En el mallado la geometría bajo análisis fue dividida usando elementos tetraédricos (3D), triangular (2D), y viga (1D), se llevó en cuenta que cuando se realizaba un mallado más fino el tiempo de respuesta para la resolución presentado por el software era mayor, sin embargo se obtuvieron mejores resultados.

Los componentes o partes del tanque que fueron analizados utilizando el software SOLIDWORKS® son los siguientes:

- Recipiente.
- Faldón.
- Escalón.
- Soporte de la escalera.
- Pasamanos.
- Orejas e Izaje.
- Pescante.

En la Figura 3-1 se muestra el diseño final del tanque el cual tiene los diferentes componentes que serán analizados.



Figura 3-1. Diseño final del tanque hidroneumático

Recipiente

Se tomó en esta parte como recipiente a la unión del cilindro con las dos cabezas toriesférica. La Figura 3-2 muestra el módulo del material que fue aplicado: ASTM-A516 Gr.70.

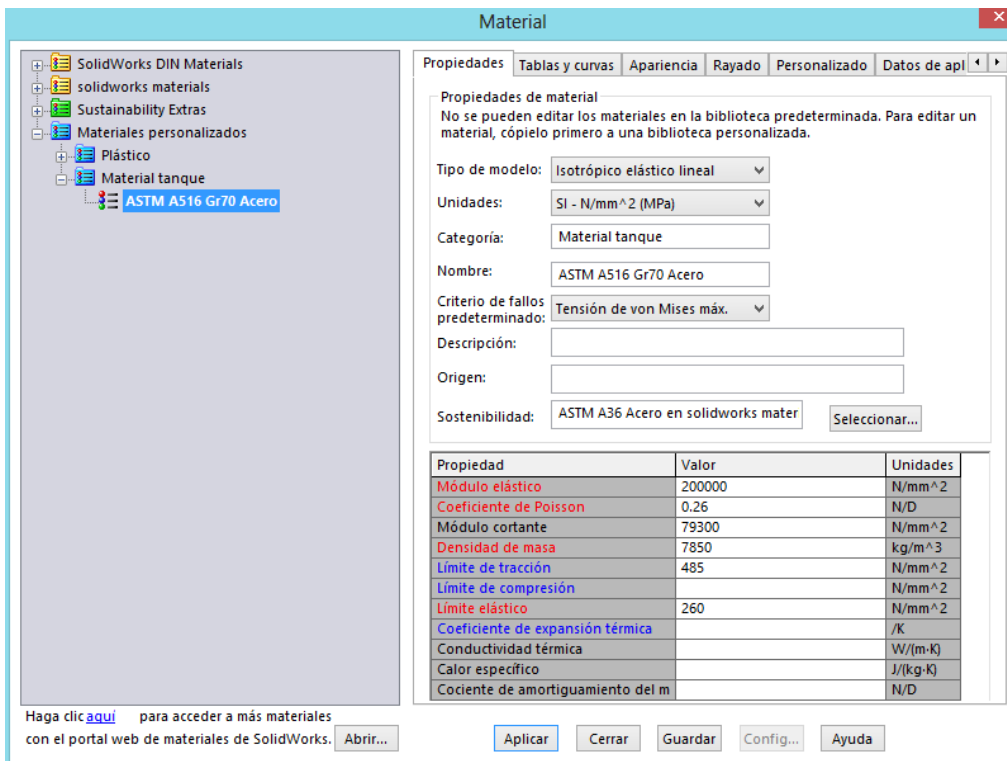


Figura 3-2. Módulo de selección del material para el recipiente

Puntos de sujeción o geometría fija

En la Figura 3-3 se muestra la definición de los puntos de sujeción del modelo en color verde, en este caso se definió como geometría fija a la base del faldón para poder analizar el recipiente.



Figura 3-3. Sujeción del recipiente

Aplicación de cargas

En la sección 2.5 se determinó la carga de presión de diseño bajo la cual se realizó el análisis estático. En la Figura 3-4 se muestra la aplicación de esta carga sobre el recipiente más la carga por peso propio, estas son de color rojo.

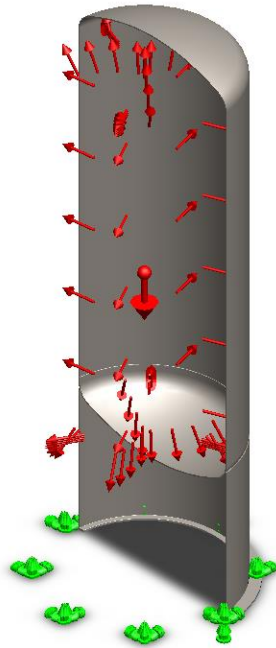


Figura 3-4. Aplicación de cargas

Creación de mallado y ejecución de análisis

Para realizar el análisis se generó un mallado fino establecido por el software el cual permitió ejecutar el estudio. En la Figura 3-5 se muestra el mallado obtenido del modelo del recipiente.

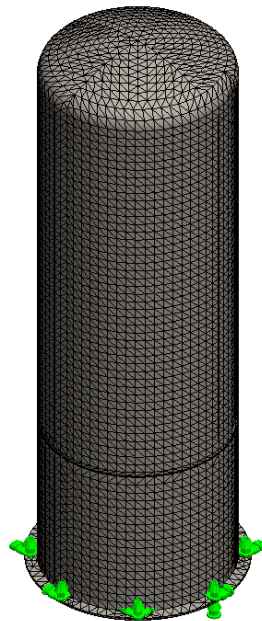


Figura 3-5. Malla del modelo del recipiente

Presentación de los resultados

En la Figura 3-6 se muestran la distribución de los esfuerzos por criterio de Von Mises en todo el recipiente producido por la presión interna aplicada de 0.72 MPa, además se muestra el valor del esfuerzo máximo siendo este 163.31 MPa el cual está por debajo del límite elástico del material aplicado, la mayor parte del recipiente tiene esfuerzos entre 40 y 108 MPa los cuales son valores menores al esfuerzo permisible de 138 MPa según los parámetros indicados para el diseño de la cabeza y el cilindro.

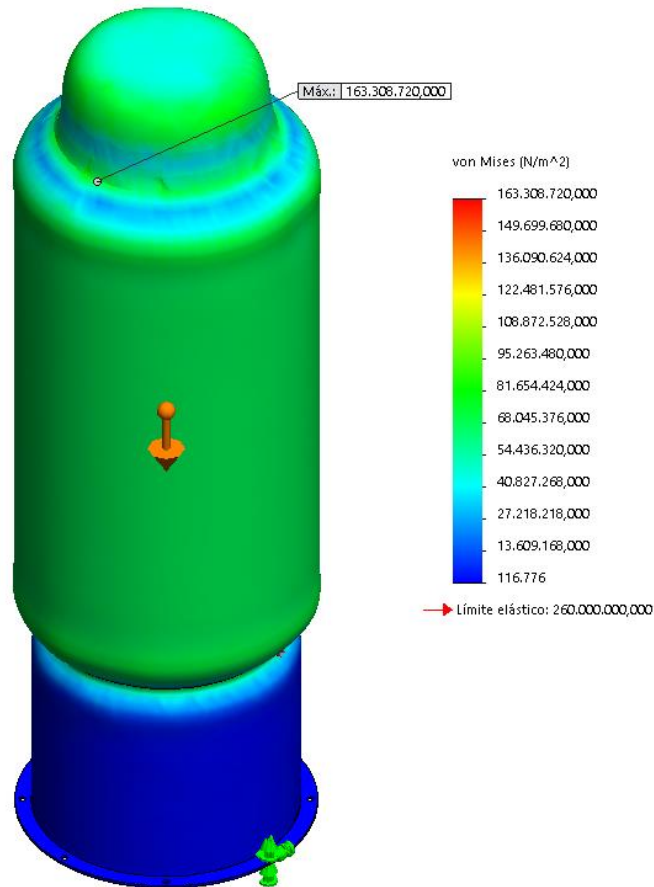


Figura 3-6. Distribución de esfuerzo bajo la carga aplicada en el interior del recipiente

En la Figura 3-7 se presenta la deformación unitaria, en esta se observó que los valores obtenidos están en el orden de milésimas lo cual es bastante bueno ya que esto indica que el desplazamiento productos de las cargas no será representativo ni notorio.

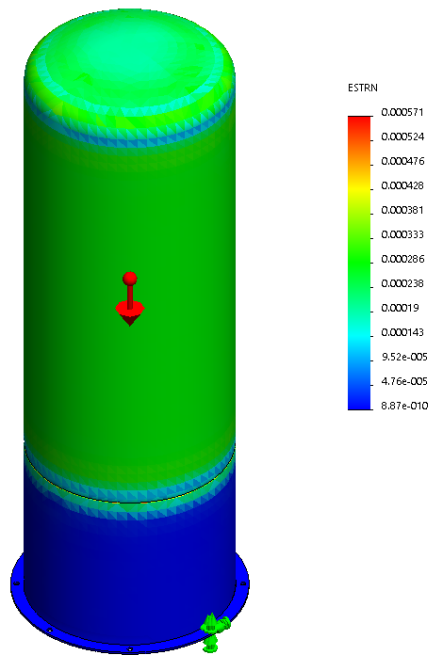


Figura 3-7. Deformación estática unitaria

En la Figura 3-8 se muestra la distribución del factor de seguridad del recipiente, este permitió saber que el diseño tiene un margen de sobredimensión estructural que permite que el recipiente soporte cargas adicionales a la carga de diseño establecida para el interior permitiendo de esta manera colocar estructuras o accesorios sobre el recipiente sin tener inconvenientes. Se observó además que un factor de seguridad igual a 5 se distribuye en mayor parte del recipiente y en algunas zonas puede ser superior o inferior a este valor hasta un mínimo de 2.

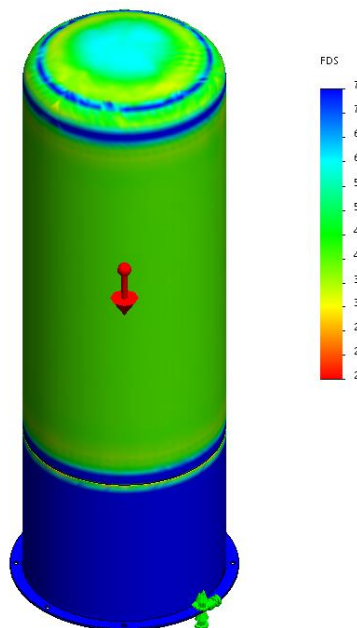


Figura 3-8. Distribución del factor de seguridad del recipiente

Los resultados obtenidos mediante la simulación con el software fueron satisfactorios en comparación con los límites permitidos de esfuerzo para el recipiente validando de esta forma el diseño que se construirá.

Resultados de otros componentes

Desde la Figura 3-9 hasta la Figura 3-15 se muestran los resultados obtenidos de la simulación y los resultados calculados analíticamente del faldón, escalón, soporte de escalera, pasamanos, soporte de plataforma, orejas de izaje y brazo del pescante. Los resultados de la simulación respecto de los que fueron previamente calculados, permitió validar el diseño de estos componentes.

Faldón

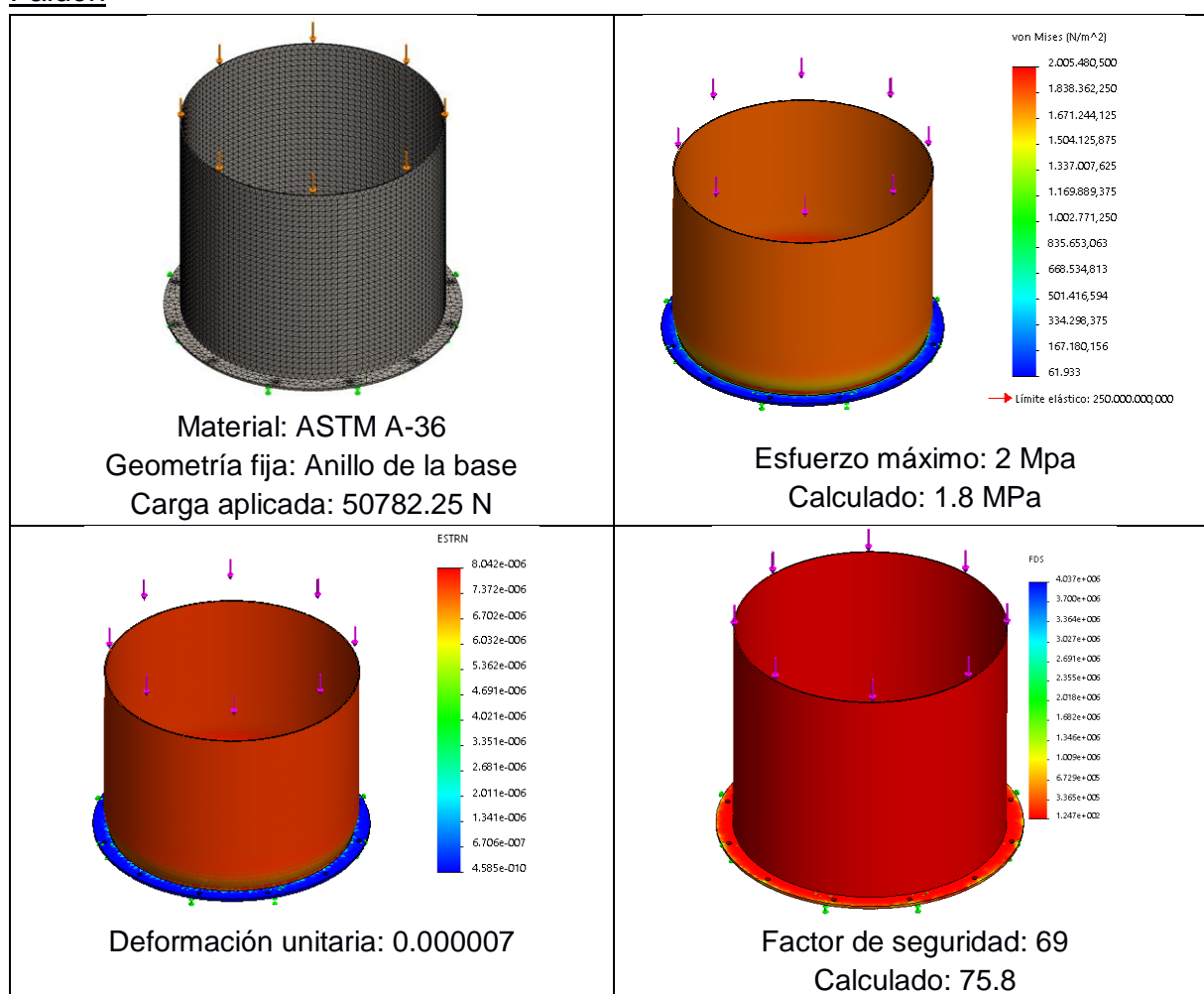


Figura 3-9. Resultados de simulación del faldón

Escalón

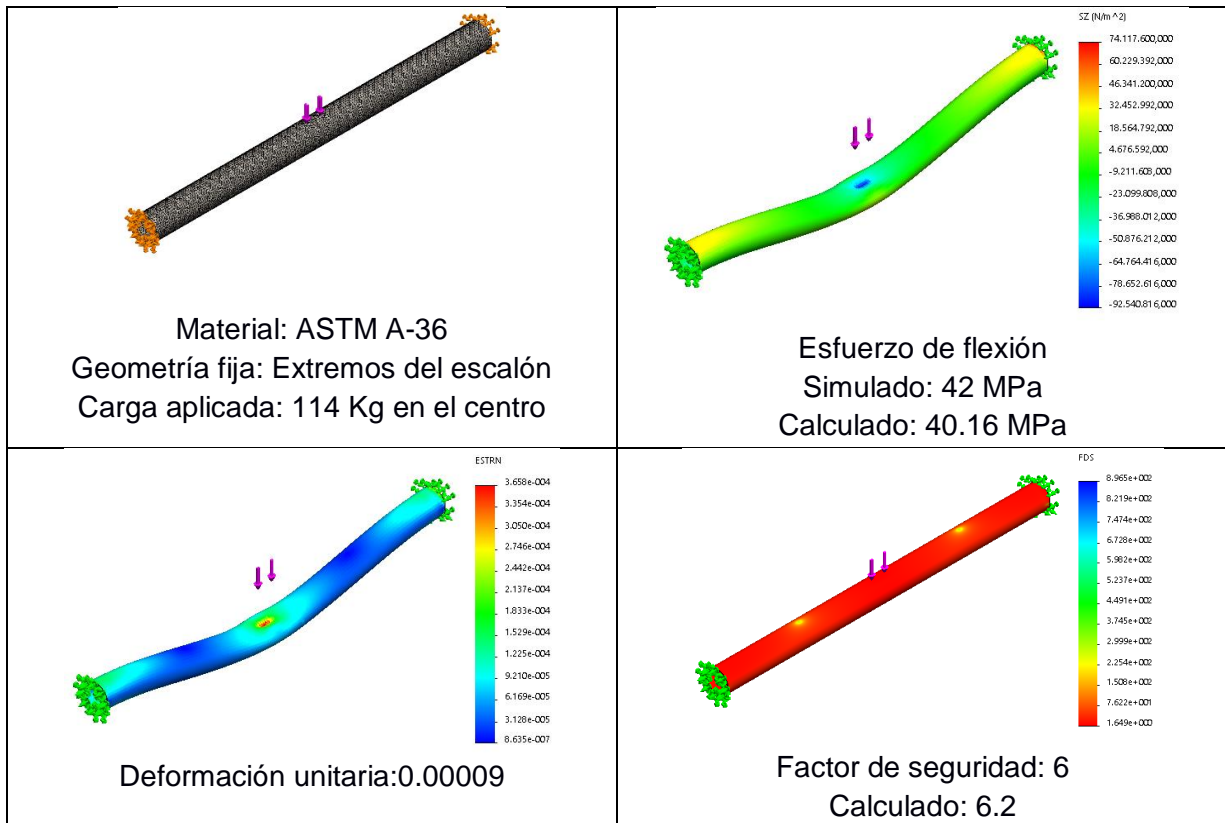


Figura 3-10. Resultados de simulación de escalón

Soporte de escalera:

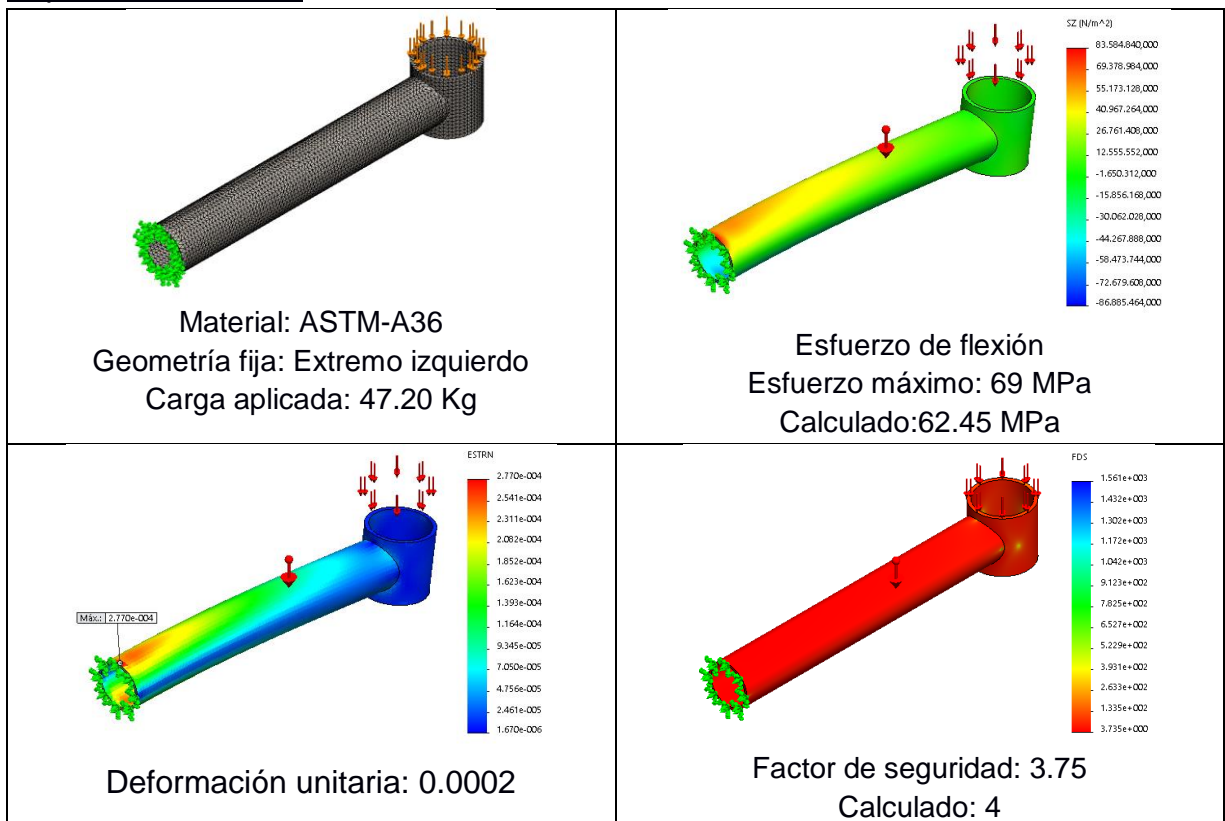


Figura 3-11. Resultados de simulación del soporte de escalera

Pasamanos

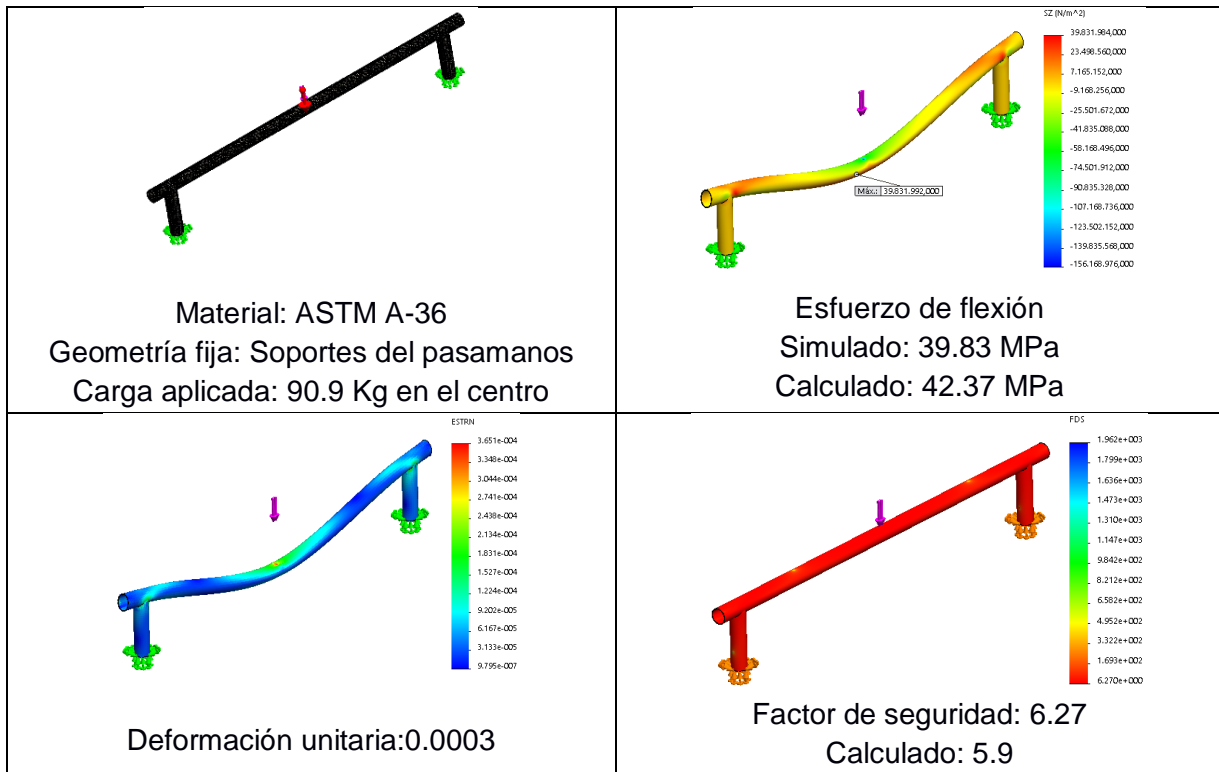


Figura 3-12. Resultados de simulación de pasamanos

Soporte de plataforma

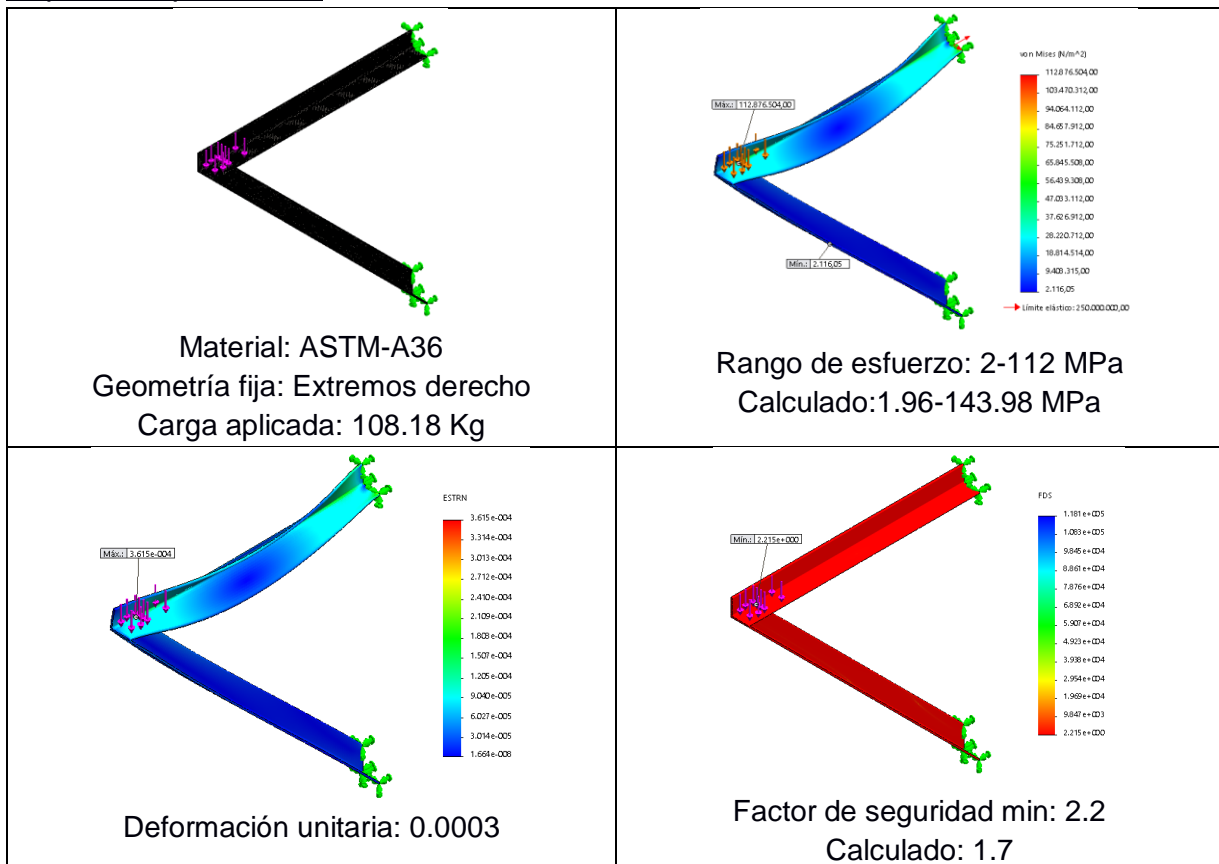


Figura 3-13. Resultados de simulación de soporte de la plataforma

Oreja de izaje

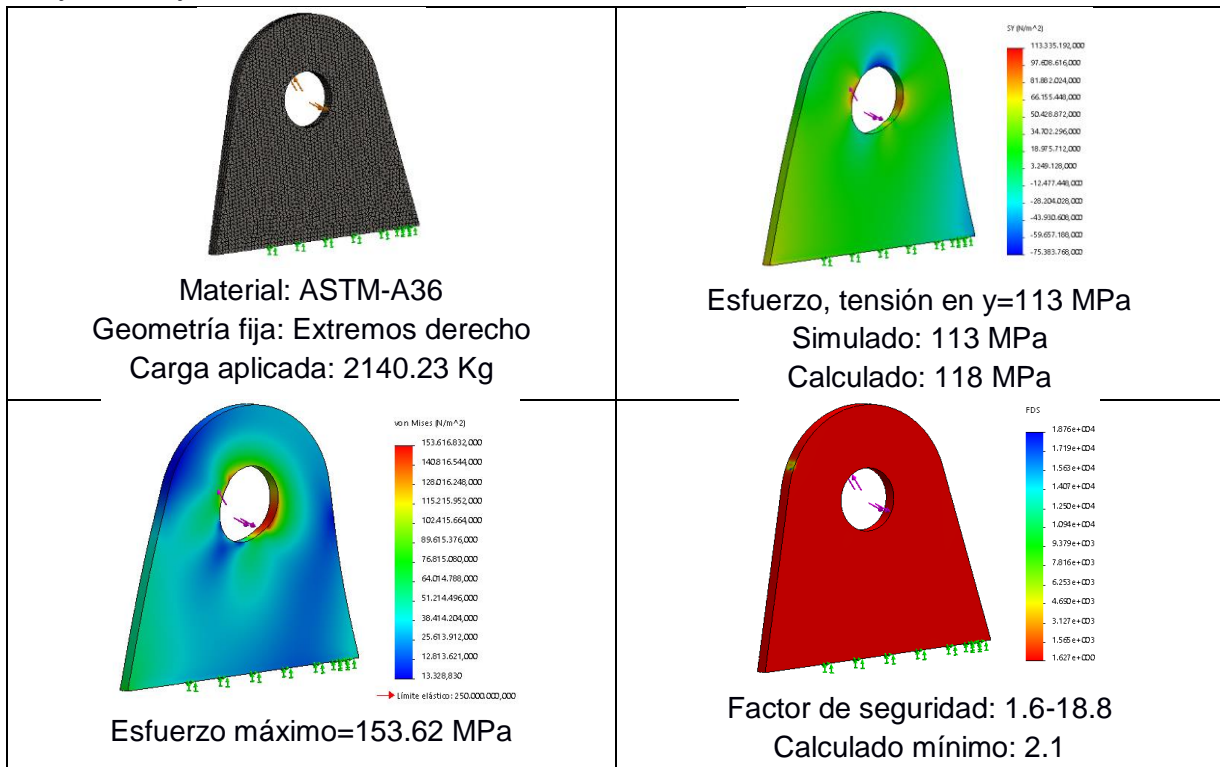


Figura 3-14. Resultados de simulación de pasamanos

Pescante

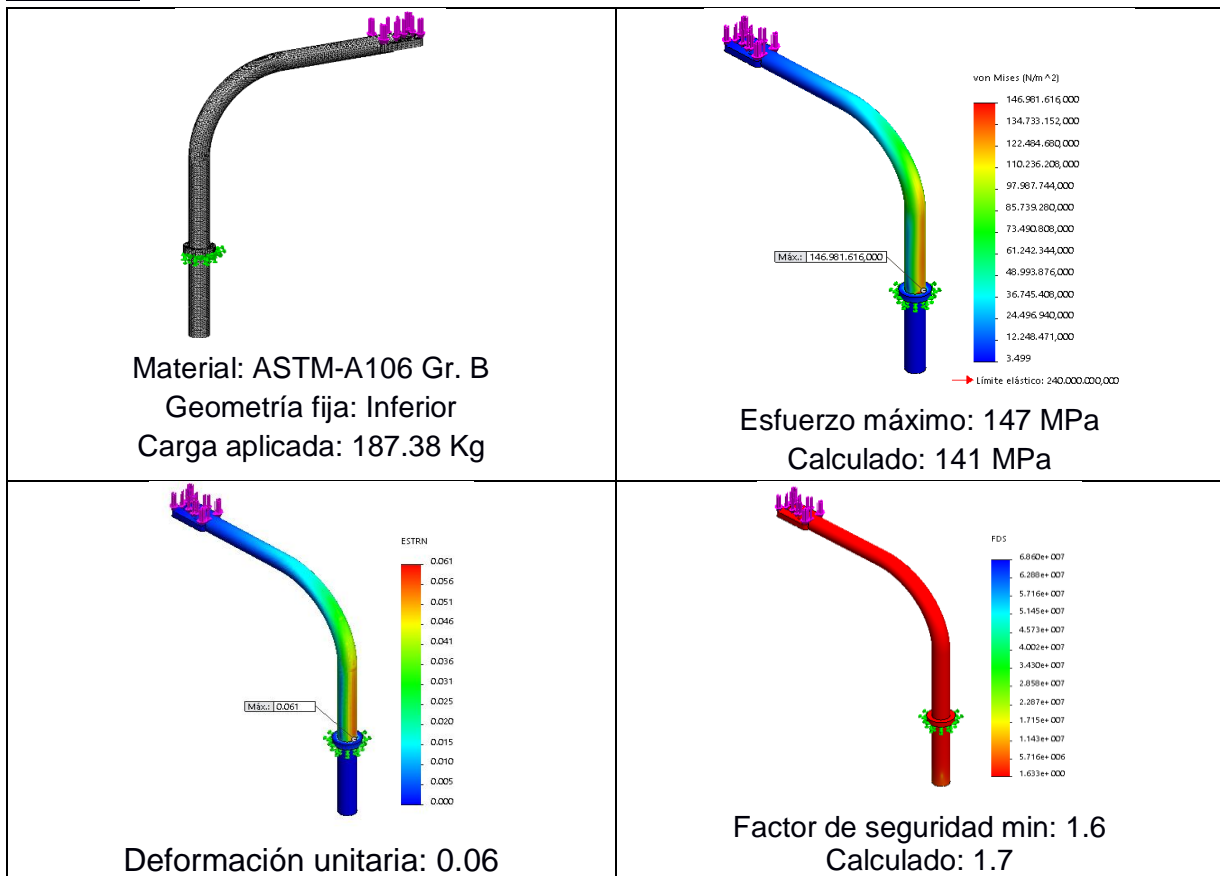


Figura 3-15. Resultados de simulación del pescante

3.2 Costos de construcción

3.2.1 Costos directos

Se consideró como costos directos los insumos y materiales destinados a la construcción del tanque.

Desde la Tabla 28 hasta la Tabla 30 se muestra la cantidad de material ASTM A-516 GR.70 y A-36 que se utilizó para realizar las diferentes partes del tanque como el cuerpo, refuerzos, parches, cabezas, soporte de mirilla, faldón, escalera y plataforma, además se indica las dimensiones, peso unitario, peso total de planchas, perfiles y rejilla, finalmente se muestra el precio de estos materiales.

Tabla 28. Material-ASTM A-516 GR.70

ASTM A-516 GR.70			Cant.	Peso Unit (Kg.)	Peso Total (Kg.)
Cuerpo	Plancha	6096x3048x6.35 mm	1	926.20	926.20
Refuerzos					
Parches					
Cabezas	Plancha	6000x1800x10 mm	1	847.80	847.80
Soporte de tubería	Angulo	40x40x6xL=420 mm	1	1.58	1.58

Peso Total: 1775.58 Kg
 Precio unitario: \$ 0.90 /Kg
 Precio \$ 1,598.02

Tabla 29. Material-ASTM A-36 (Parte a)

ASTM A-36			Cant.	Peso Unit (Kg.)	Peso Total (Kg.)
Faldón	Plancha	4440x1500x6.35 mm	1	328.98	328.98
Placas					
Faldón	Plancha	1800x1800x15 mm	1	381.51	381.51
Escalera y plataforma	Tubo estructural	Ø1 1/2"x2mmxL=6000 mm	2	12.50	25.00
	Tubo estructural	Ø2"x2 mmxL=6000 mm	3	14.46	43.38
	Platina	30x4xL=6000	2	5.65	11.30
	Angulo	50x50x4xL=6000 mm	2	18.36	36.72

Peso Total: 826.89 Kg
 Precio unitario: \$ 0.85 /Kg
 Precio \$ 702.86

Tabla 30. Material-ASTM A-36 (Parte b)

ASTM A-36			Cant.	Peso Unit (Kg.)	Peso Total (Kg.)
Plataforma	Rejilla	2000x1000x30 mm	2	59.40	118.80

Peso Total: 118.80 Kg
 Precio unitario: \$ 4.50 /Kg
 Precio \$ 534.60

En la Tabla 31 se muestra la cantidad de material ASTM A-106 Gr. B que se utiliza para los cuellos de boquillas, plataforma y manhole además indica las dimensiones, peso unitario y peso total de los tubos cedulados, finalmente se muestra el precio de estos materiales.

Tabla 31. Material-ASTM A-106 Gr. B

ASTM A-106 Gr.B		Cant.	Peso Unit (Kg.)	Peso Total (Kg.)	Precio (\$/1000 mm)	Precio Total (\$)	
Plataforma y Manhole	Tubo	Φ2" Ced 40xL=1500 mm	1	8.20	8.20	30.36	45.54
	Tubo	Φ1 1/2" Ced 80xL=1130 mm	1	5.24	5.24	22.50	25.425
Boquillas	Tubo	Φ2" Ced 160xL=3000 mm	1	34.08	34.08	30.36	91.08
	Tubo	Φ3" Ced 160xL= 200 mm	1	4.26	4.26	114.80	22.96
	Tubo	Φ4" Ced 80xL=200 mm	1	6.70	6.70	124.97	24.994
	Tubo	Φ8" Ced 20xL= 200 mm	1	6.55	6.55	187.29	37.458
	Tubo	Φ24" Ced 20xL= 300 mm	1	42.3	42.34	687.49	206.247

Precio \$ 453.70

En la Tabla 32 se muestra la cantidad de bridas de cuello soldable ASTM A-105 que se utilizó para las boquillas y cerrar los registros de hombre y mano. Esta tabla también

indica el precio unitario y total de cada una, finalmente se muestra el precio de estas bridas.

Tabla 32. Bridas-ASTM A-105

ASTM A-105		Cant.	Precio Unitario (\$)	Precio Total (\$)	
Boquillas	Brida con cuello	WN-RF 2 pulg-Clase 150, Sch	7	22.48	157.36
	Brida con cuello	WN-RF 3 pulg-Clase 150, Sch	1	33.72	33.72
	Brida con cuello	WN-RF 4 pulg-Clase 150, Sch	1	44.96	44.96
	Brida con cuello	WN-RF 8 pulg-Clase 150, Sch	1	142.40	142.40
	Brida con cuello	WN-RF 24 pulg-Clase 150, Sch	1	581.40	581.40
	Brida ciega	BL-RF 2 pulg-Clase 150, Sch	7	8.74	61.18
	Brida ciega	BL-RF 3 pulg-Clase 150, Sch	1	11.98	11.98
	Brida ciega	BL-RF 4 pulg-Clase 150, Sch	1	15.63	15.63
	Brida ciega	BL-RF 8 pulg-Clase 150, Sch	1	39.05	39.05
	Brida ciega	BL-RF 24 pulg-Clase 150, Sch	1	127.15	127.15

Precio \$ 1,214.83

En la Tabla 33 se muestra la cantidad de empaques que se necesitan para sellar las bocas de las boquillas.

Tabla 33. Empaques

ESPIROMETALICO SS304 RELLENO DE GRAFITO		Cant.	Precio Unitario (\$)	Precio Total (\$)
Boquillas	Empaque Φ2 pulg.	7	1.78	12.46
	Empaque Φ3 pulg.	1	2.33	2.33
	Empaque Φ4 pulg.	1	3.28	3.28
	Empaque Φ8 pulg.	1	6.56	6.56
	Empaque Φ24 pulg.	1	19.68	19.68

Precio \$ 44.31

En la Tabla 34 se muestra el material, la cantidad, el precio unitario y total de los espárragos, tuercas, arandelas y cáncamo que se emplean en el manhole davit y handhole, finalmente se muestra el precio de la tornillería empleada en el tanque.

Tabla 34. Tornillería

Descripción		Material	Cant.	Precio Unitario (\$)	Precio Total (\$)
Manhole Davit	Espárrago	Φ1 1/4 xL= 7 1/4 pulg ASTM A-193 Gr.B7 (Galvanizado en caliente)	20	20.00	400.00
	Tuerca	Φ1 1/4 pulg ASTM A-194-2H (Galvanizado en caliente)	40	2.13	85.20
	Espárrago	Φ1 1/8 xL= 3 3/4 pulg Grado 5 (Galvanizado)	1	6.25	6.25
	Cancamo	Φ5/8 xL= 6 pulg Forjado (Galvanizado)	1	1.50	1.50
	Tuercas	Φ3/4 pulg Grado 5 (Galvanizado)	2	0.50	1.00
	Tuercas	Φ5/8 pulg Grado 5 (Galvanizado)	2	0.30	0.60
	Arandelas	Φ3/4 pulg Grado 5 (Galvanizado)	2	0.20	0.40
	Arandelas	Φ5/8 pulg Grado 5 (Galvanizado)	1	0.15	0.15
Handhole	Espárrago	Φ3/4 x L= 4 3/4 pulg ASTM A-193 Gr.B7 (Galvanizado en caliente)	8	5.50	44.00
	Tuerca	Φ3/4 pulg ASTM A-194-2H (Galvanizado en caliente)	16	0.50	8.00

TOTAL: \$ 547.10

En la Tabla 35 se muestra los litros de pintura empleados para proteger la superficie interior y exterior del tanque describiendo sus características y costos, finalmente se muestra el costo total.

Tabla 35. Pintura

Superficie	Descripción	Litros	Costo Unitario (\$/litro)	Costo (\$)
Interior	Epóxico fenólico	10	13.50	135.00
Exterior	Epóxico rico en zinc	3	13.50	40.50
	Epóxico mastic	7	13.50	94.50
	Poliuretano alifático	3	13.50	40.50
Int/Ext	Solventes	10	2.50	25.00

TOTAL: \$ 335.50

En la Tabla 36 se muestran los costos de los procesos de corte, rolado, conformado, armado, granallado y pintado que son empleados en las diferentes etapas de la construcción del tanque, también indica el costo unitario por unidad de peso y área en el cual está incluida la mano de obra para los diferentes procesos.

Tabla 36. Procesos para la construcción del tanque

Cant.	Descripción de procesos	Peso (Kg) / Área (m2)		Costo Unitario (\$)	Unidad	Costo (\$)
1	Corte	2140.23	Kg	0.20	\$/Kg	428.05
1	Rolado	614.43	Kg	0.30	\$/Kg	184.33
2	Conformado	154.35	Kg	3.00	\$/Kg	463.05
1	Armado	2140.23	Kg	0.70	\$/Kg	1498.16
1	Granallado	2140.23	Kg	0.09	\$/Kg	192.62
1	Pintado	44.38	m2	2.00	\$/m2	88.76

TOTAL: \$ 2,854.97

Costo de la mano de obra: \$2,854.97 dólares americanos.

En la Tabla 37 se muestra un resumen de los materiales que serán empleados en la construcción del tanque obteniendo al final un costo total de estos.

Tabla 37. Resumen de materiales

Descripción	Precio (\$)
Material-ASTM A-516 Gr.70	1,598.02
Material-ASTM A-36 (Parte a)	702.86
Material-ASTM A-36 (Parte b)	534.60
Material-ASTM A-106 Gr.B	453.70
Bridas-ASTM A-105	1,214.83
Empaques	44.31
Tornillería	547.10
Pintura	335.50
Placa de identificación y estampe	50.00

TOTAL: \$ 5,480.92

En la Tabla 38 se muestra un resumen de costos totales de los materiales y procesos empleados para la construcción establecidos como costos directos.

Tabla 38. Resumen de costos directos

Descripción	Precio (\$)
Materiales	5,480.92
Procesos para la construcción del tanque	2,854.97

TOTAL: \$ 8,335.89

3.2.2 Costos indirectos

Se consideraron como costos indirectos a los ensayos, pruebas y gastos administrativos ya que estos forman parte del proceso de construcción, pero no son imputables en aquella directamente.

En la Tabla 39 se muestra la cantidad, el costo unitario y el costo total de los ensayos destructivos que se aplican a las probetas que según los resultados permitirán calificar o no el procedimiento de soldadura.

Tabla 39. Ensayos destructivos

Cant.	Descripción	Costo unitario (\$)	Costo (\$)
2	Ensayos de tensión	120.00	240.00
4	Ensayos de doblado	90.00	360.00

TOTAL: \$ 600.00

En la Tabla 40 se muestra los ensayos no destructivos que serán aplicados durante el armado del tanque. Esta tabla también indica la longitud que será ensayada, el costo unitario por unidad de longitud, el costo mínimo por visita escogiéndose el que resulte mayor y finalmente se tendrá el costo total.

Tabla 40. Ensayos no destructivos

Descripción	Longitud (m)	Costo unitario (\$/m)	Costo mínimo por visita (\$)	Costo (\$)
Líquidos penetrantes	42	10	200.00	420.00
Radiografía	12	25	180.00	300.00

TOTAL: \$ 720.00

En la Tabla 41 se muestra el costo de las pruebas de presión hidrostática y neumática que serán aplicadas al tanque y a los parches de refuerzo respectivamente, finalmente se muestra el costo total de estas pruebas.

Tabla 41. Pruebas de presión

Descripción	Costo \$
Prueba Hidrostática	200.00
Prueba Neumática	45.00

TOTAL: \$ 245.00

En la Tabla 42 se muestra el costo por día de trabajo del personal administrativo necesario para realizar la parte de ingeniería y gestionar el proyecto hasta su finalización. En esta tabla se muestra al final el costo total para el pago del personal administrativo.

Tabla 42. Personal administrativo

Personal	Costo (\$/Hora)	Horas	Costo (\$)
Ingeniero de proyectos	10.00	132	1320.00
Asistente técnico	6.25	120	750.00
Supervisor de Calidad	3.75	180	675.00
Inspector ASME	115.63	56	6475.00

TOTAL: \$ 9,220.00

En la Tabla 43 se muestra el resumen de los costos indirectos que se tiene para el proyecto, aquí se muestra además la utilidad del proyecto, finalmente se le suma un rubro adicional por concepto de otros gastos que se pueden generar como imprevistos durante la construcción obteniendo de esta manera el costo total.

Tabla 43. Resumen de costos indirectos

Descripción	Precio (\$)
Ensayos destructivos	600.00
Ensayos no destructivos	720.00
Pruebas de presión	245.00
Personal administrativo	9,220.00
Utilidad del proyecto	2,000.00
Otros gastos	1,000.00

TOTAL: \$ 13,785.00

3.2.3 Costo total del tanque hidroneumático

El costo total del tanque hidroneumático corresponde a la suma de costos indirectos y directos.

Tabla 44. Costo total del tanque hidroneumático

COSTOS DIRECTOS TOTAL	\$ 8,335.89
COSTOS INDIRECTOS TOTAL	\$ 13,785.00

TOTAL: \$ 22,120.89

CAPÍTULO 4

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Este trabajo permite al lector dar un conocimiento básico fundamental en el diseño de un tanque hidroneumático según las normas aplicadas principalmente la norma ASME, además permite tener una idea de cuánto cuesta diseñar y construir un recipiente de este tipo haciéndole conocer que rubros tienen mayor incidencia en el costo total.

En el diseño del recipiente a presión se determinan los espesores requeridos mediante las indicaciones dadas en la Sección VIII, División 1 del código ASME, del año 2013, para los diferentes componentes tales como: cabeza toriesférica, cilindro, cuellos de boquilla y elementos de refuerzo de las aberturas, a su vez se dimensionan estos componentes. Además se definen las dimensiones requeridas para los accesorios del recipiente que complementan el diseño del tanque hidroneumático tales como: faldón, pescante, orejas de izaje, escalera y plataforma de mantenimiento.

La corrosión permitida interna de 1.6 mm es el valor mínimo recomendado por la norma, el cual le permite tener al recipiente una vida útil de 12 años. Se puede colocar un margen por corrosión mayor pero esto aumentaría el espesor del material a utilizar para la parte que se esté diseñando incrementando el costo del tanque.

Los materiales que fueron utilizados para el diseño de las diferentes partes se utilizan a menudo en la construcción de este tipo de recipientes por tener buena compatibilidad entre ellos y ser de calidad soldable.

Las condiciones de operación dadas por el cliente permitieron determinar parámetros primarios que permitieron arrancar con el diseño de cada una de las partes constituyentes del tanque y finalmente tener como el resultado el dimensionamiento de cada uno de ellos.

La carga generada por el viento sobre la estructura del tanque es pequeña debido a que el área proyectada y la altura del mismo son pequeñas si la comparamos con las torres altas donde se aplican diferentes presiones a diferentes alturas, además en el Ecuador la velocidad del viento es baja si la comparamos con la de otros países.

Las cargas sísmicas resultaron mayores que las cargas de viento, por lo tanto esta carga se empleó en conjunto con el peso del recipiente en operación y vacío para determinar espesores de faldón, pernos de anclaje y el anillo de la base.

El espesor calculado del faldón debido a fuerzas externas resultó bajo en comparación con el espesor calculado por presión interna para el cuerpo del tanque por lo cual se decidió escoger un espesor del faldón igual al del cuerpo.

Para este proyecto se empleó el software Solid Works ® para realizar simulaciones mediante la aplicación de elementos finitos, considerando la cabeza toriesférica, cilindro, faldón, orejas de izaje, elementos críticos que forman parte de la escalera, plataforma y pasamanos.

Los resultados obtenidos mediante la simulación con el software fueron satisfactorios en comparación con los límites permitidos de esfuerzo para todos los componentes principales y accesorios del tanque validando de esta forma el diseño y permitiendo obtener al final un buen producto.

4.1 Conclusiones

- Se realizó el diseño del tanque hidroneumático según la norma ASME cumpliendo con las condiciones de presión y caudal requeridas por el cliente.
- Los resultados obtenidos permiten asegurar que el tanque soporte las diferentes cargas a las cuales estará sometido en el lugar de instalación y condiciones de operación tales como: sísmica, viento, presión interna, etc.
- El código ASME no da siempre un procedimiento para determinar los resultados de ciertas cargas que puede tener el tanque, pero si lista las cargas que deben ser consideradas. Por ello se permite al diseñador que en aquellos casos particulares diseñe ciertos componentes según juicio propio con la posterior evaluación y aprobación del inspector ASME.
- El costo mayor para este proyecto lo presenta la contratación del inspector ASME, quien es de principal importancia cuando se requiere que el tanque sea estampado y certificado.

4.2 Recomendaciones

- Se recomienda capacitar al personal de los departamentos de ingeniería y calidad sobre la aplicación del código ASME en la construcción de recipientes a presión, también los detalles que deben considerar los asistentes técnicos (generalmente dibujantes) en el momento de generar planos de taller.
- Es importante que el tanque funcione bajo las condiciones de operación para la cual fue diseñado, ya que al existir algún tipo de variación en estas condiciones este afectara el sistema al que pertenece o se podría acortar la vida útil del mismo.
- Los trabajos de ingeniería durante la etapa de diseño, los certificados de calidad de materia prima, los controles de calidad realizados durante el proceso de construcción entre otros deberán quedar claramente documentados.

- Se recomienda emplear catálogos o tablas que permiten conocer dimensiones de ciertos componentes para tomarlas como referencia, aplicarlas directamente o diseñar a partir de ellas, por ejemplo en el diseño del pescante.
- Se recomienda verificar que el personal empleado para realizar ensayos destructivos tales como pruebas de tensión y doblado y los no destructivos tales como líquidos penetrantes, radiografías y pruebas hidrostáticas sea realizado por personal calificado.
- Cuando se hace un presupuesto para proyectos similares al presentado en este documento, se recomienda prestar especial atención a los costos indirectos involucrados en el mismo ya que representan un rubro importante que debe ser considerado.

BIBLIOGRAFÍA

- ANSI A14.3. (1984). *American National Standard Institute*. New York: ANSI.
- ASCE 7. (2002). *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*. ASCE STANDARD.
- ASME. (201). *Welding, Brazing, and Fusing Qualifications, IX*.
- ASME. (2013). *Boiler and Pressure Vessel Code, V Nondestructive Examination*. ASME.
- ASME. (2013). *Boiler and Pressure Vessel Code, VIII Rules for Construction of Pressure Vessels, Division 1*. ASME.
- ASME IX. (2013). *Qualification Standar for Welding, Brazing, and Fusing Procedures; Welders; Brazers; and Welding, Brazing, and Fusing Operators*. New York, NY.
- E. Chamorro y B, M. (2010). *Incidencia del viento en la temperatura del conductor y en los esfuerzos mecanicos de las estructuras*. Obtenido de <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/2505/1/CD-3254.pdf>
- Estrada, I. J. (2001). *DISEÑO Y CALCULO DE RECIPIENTES A PRESION*. INGLES.
- EUROPEAN COMMITTEE FOR BOILERMAKING AND KINDRED STEEL STRUCTURES. (1979). *RECOMENDATIONS FOR THE DESIGN, MANUFACTURE AND ERECTION OF STEEL PENSTOCKS OF WELDED CONSTRUCTION FOR HYDRO ELECTRIC INSTALLATIONS*. Janvier.
- FRANCOVIGH. (Mayo de 2015). *Bridas de acero al carbono forjado*. Obtenido de http://www.provindus.com.py/Productos_Francovigh.html
- Levy, S. H. (2008). *NOTA TECNICA-TANQUES HIDRONEUMATICOS*. *M3h revista*. Obtenido de M3h REVISTAS: http://issuu.com/m3h-guiadebombas/docs/nt_-_tanques_hidroneumaticos
- LosAdhesivos.com*. (25 de Mayo de 2015). Obtenido de Preparacion superficial de metales: <http://www.losadhesivos.com/preparacion-superficies-metales.html>
- Megyesy, E. F. (1992). *Manual de recipientes a presión*. México: LIMUSA.
- Moss, D. (2004). *PRESSURE VESSEL DESIGN MANUAL*. Oxford: ELSEVIER.
- Naut, M. A. (16 de Abril de 2013). *Manuel Naut y la Ciencia*. Obtenido de <http://manuelnautyciencia.blogspot.com/2013/04/tanques-de-sistemas-hidroneumaticos.html>
- NEC-11. (2013). *Norma Ecuatoriana de Construcción, Capitulo 1, Cargas y Materiales*.
- NEC-11. (2013). *Norma Ecuatoriana de Construcción, Capitulo 2, Peligro Sísmico y Requisitos de Diseño Sismo Resistente*.
- NTE INEN 1 006:98. (1998). *PINTURAS Y PRODUCTOS AFINES. DETERMINACION DE ADHERENCIA MEDIANTE PRUEBA DE LA CINTA*. INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACION , 3,4,5.
- OSHA-PR. (2015). *Escaleras y Escalas-PR OSHA 3124*. San Juan, PR 00919-5540. Obtenido de http://www.trabajo.pr.gov/prosha/download/PROSHA_3124_Escaleras_Escalas.pdf
- Washington State Department of Health. (Mayo de 2011). *Health*. Obtenido de Consejos Tecnicos del Agua Potable-Sistemas de control de tanques hidroneumaticos: <http://www.doh.wa.gov/portals/1/Documents/pubs/331-380s.pdf>

APÉNDICES

APÉNDICE A

Consideraciones para la construcción del tanque

➤ **Especificación de los procedimientos de soldadura, calificación de procedimientos y soldadores**

Antes de realizar cualquier proceso de soldadura se debe de realizar la especificación del procedimiento de soldadura (WPS) el cual deberá contener todas las variables a ser controladas para su calificación, el documento que se tiene para registro de calificación del procedimiento (PQR) deberá contener todas las variables a ser controladas y finalmente se deberá realizar la calificación de cada uno de los soldadores (WPQ) involucrados para el proceso de soldadura aplicado en la construcción del tanque hidroneumático.

ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)

Es el documento normativo preparado para cada soldadura o grupo de ellas para poder ejecutarlas en cualquier construcción soldada.

Este procedimiento debe contener los aspectos técnicos detallados que se denominan variables, estas se dividen en tres tipos:

- Variables Esenciales.
- Variables No-esenciales.
- Variables Suplementarias.

VARIABLES ESENCIALES

Su significado se encuentra en la parte QW-251.2 y en QW-401.1

Son aquellas en las cuales un cambio, que se describe en las variables específicas afecta las propiedades mecánicas de la junta. Estas deben ser claramente documentadas y de variar en cualquier forma, se deben probar y calificar nuevamente el procedimiento de soldadura.

VARIABLES NO ESENCIALES

Su significado se encuentra en la parte QW-251.3 y en QW-401.4

Son aquellas en las cuales un cambio, que de variar dentro de ciertos límites, no afectan las propiedades mecánicas de la soldadura y no requieren de una recalificación del procedimiento de soldadura.

VARIABLES ESENCIALES SUPLEMENTARIAS

Su significado se encuentra en la parte QW-251.2 y en QW-401.3

Son aquellas en las cuales un cambio de éstas para materiales en donde la tenacidad (resistencia al impacto) es importante podría afectar las propiedades de tenacidad de las soldaduras.

Se debe describir las variables esenciales, esenciales suplementarias y no esenciales las cuales muestran un rango de valores aceptables para el procedimiento de soldadura a desarrollarse con el propósito de que las personas responsables de realizar la soldadura, lo utilicen como guía, y se pueda obtener el resultado deseado para cumplir las exigencias del cliente.

Los lineamientos precisos que se deben tener en consideración para el desarrollo de un procedimiento de soldadura se encuentran en el código ASME sección IX en los apartados QW-402 al QW-410, siendo los siguientes:

- Juntas (QW-402).
- Metales base (QW-403).
- Metales de aporte (QW-404).
- Posiciones (QW-405).
- Precalentamiento (QW-406).
- Tratamiento térmico post-soldadura (QW-407).
- Gas (QW-408).
- Características eléctricas (QW-409).
- Técnica (QW-410).

Antes de desarrollar la especificación del procedimiento de soldadura se debe de estudiar el proyecto para la recolección de información necesaria permitiendo de esta manera identificar que se va a producir, que material se empleará, rango de espesores del material a soldar, tipos de juntas presentes en la construcción soldada y todas aquellas características y especificaciones indispensables para el producto con respecto a la unión soldada.

El procedimiento que se realizará para la construcción del tanque se basa en el proceso de soldadura FCAW (Soldadura por arco con núcleo de fundente).

Registro de calificación del procedimiento (PQR)

Se realizará una documentación de los resultados de la soldadura y las pruebas que se le aplicarán a los especímenes de un cupón de prueba para verificar sus propiedades mecánicas, esta documentación tendrá como contenido las variables esenciales de los procesos usados en el procedimiento o cualquier otra información que se desee medir, las variables esenciales suplementarias serán incluidas solo cuando sea aplicable.

En el registro de la calificación del procedimiento se presentan los valores y rangos de todas las variables usadas cuando se suelda un cupón.

El cupón de prueba será dividido en secciones o especímenes a los que se les aplicará ensayos destructivos para determinar y avalar propiedades de resistencia. Los resultados de las pruebas mecánicas son los que validarán o no el procedimiento de soldadura.

Las pruebas mecánicas que se le aplicarán a las probetas para las calificaciones de los procedimientos son las siguientes:

- Prueba de tensión.
- Prueba de doblado.
- Prueba de impacto (cuando sea aplicable).

Todo cupón de soldadura será seccionado para sacar como mínimo dos probetas para la prueba de tracción y 4 probetas para la prueba de doblez. Cuando la temperatura de diseño sea menor que 10°C se usará la prueba de impacto.

Los tipos de prueba de doblez dependen del espesor del cupón de prueba, es decir:

- Para cupones con espesores menores que 3/4 pulg (19 mm): dos dobleces de raíz y dos de cara.
- Para cupones con espesores de 3/4 pulg (19 mm) y mayores: cuatro dobleces laterales.
- Como alternativa para cupones con espesores desde 3/8 pulg (10 mm) pero menores de 3/4 pulg (19 mm): cuatro dobleces laterales.

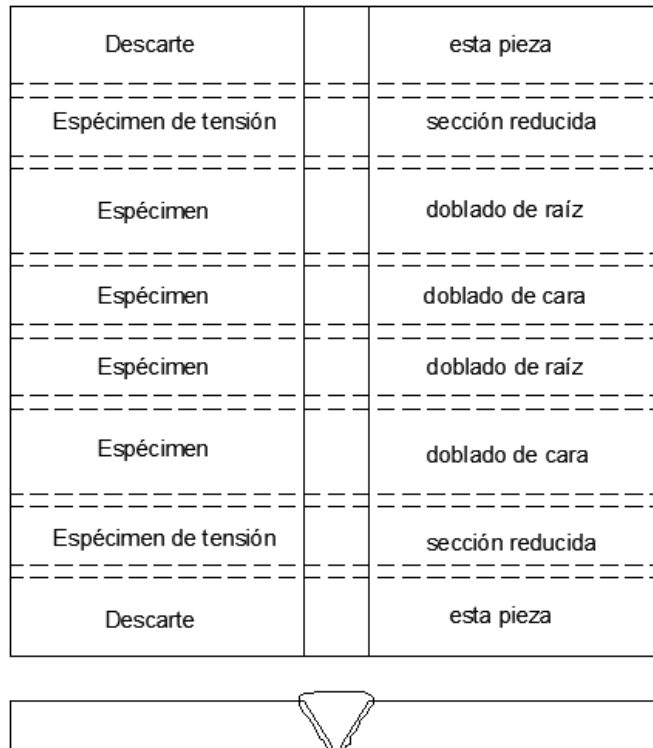


Figura A-1. Seccionamiento de cupones de prueba de espesores menores a 19 mm (QW-463.1(a))

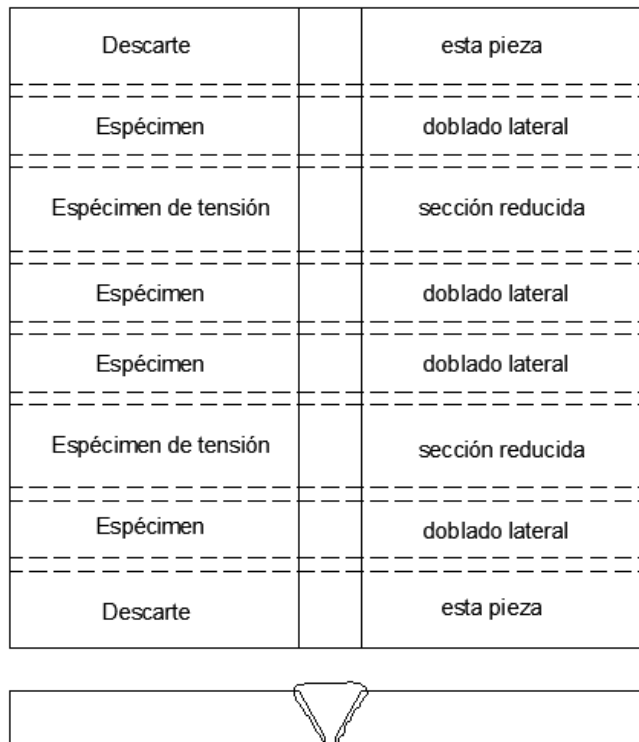


Figura A-2. Seccionamiento de cupones de prueba de espesores 19 mm y mayores, como alternativa espesores desde 10mm y menores de 19 mm (QW-463.1 (b))

Prueba de tensión:

La prueba de tensión es usada para determinar el último esfuerzo de la junta soldada de ranura donde los especímenes de placas se ajustarán al tipo que se muestra en la figura QW-462.1 (a), los valores de tensión mínimos especificados de los materiales para la calificación del procedimiento se muestran en la tabla QW/QB-422. La tabla QW-451.1 muestra que para el cupón soldado se requieren dos probetas para la prueba de tensión.

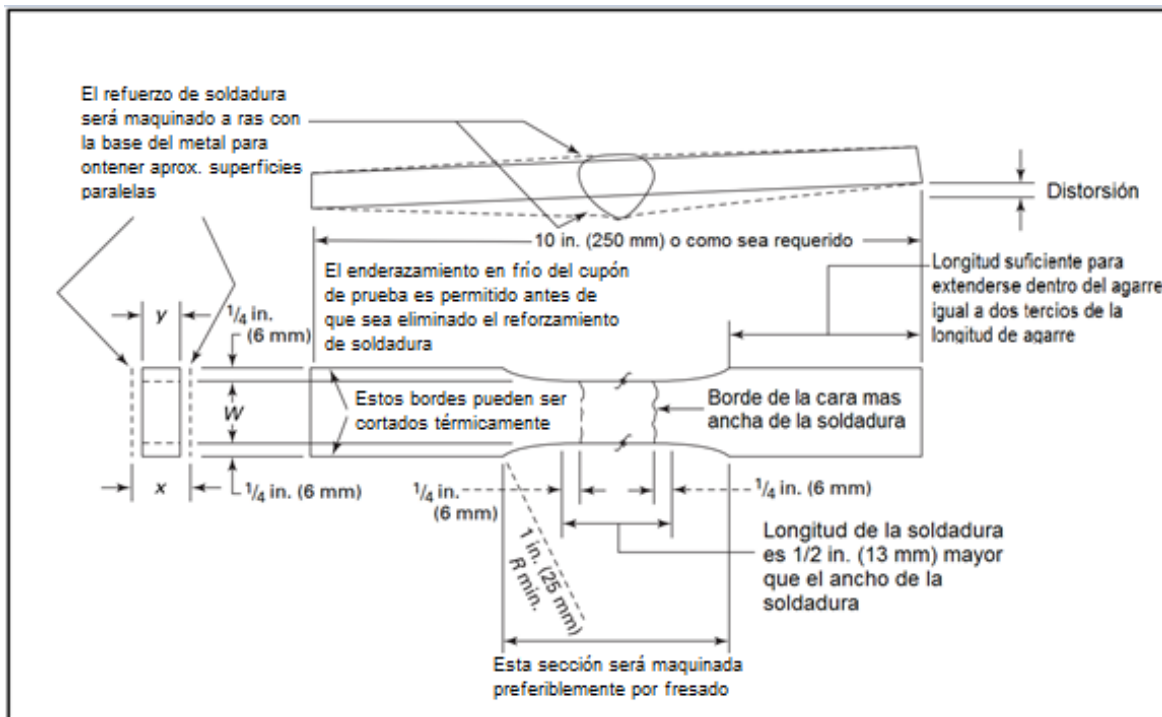


Figura A-3. Placa de sección reducida para tensión (QW-462.1 (a))

Los criterios de aceptación para los especímenes de prueba de tensión se muestran en la parte QW-153 y estos establecen que el espécimen tendrá una resistencia a la tensión que no es menor que:

- La mínima resistencia especificada de tensión del metal base.
- La mínima resistencia especificada de tensión del más débil de los dos, si son usados diferentes metales bases.
- La mínima resistencia especificada de tensión de la soldadura cuando la sección aplicable prevé que el metal de aporte tiene una resistencia más baja a temperatura ambiente que el metal base.
- Si el espécimen se rompe en el metal base fuera de la soldadura o en la interfaz de soldadura, la prueba es aceptada si cumple que la resistencia no es más que 5% por debajo de la mínima resistencia especificada de tensión del metal base

Prueba de doblado:

La prueba de doblado se usa para determinar el grado de dureza y ductilidad de la junta soldada de ranura. Existen cinco tipos de doblado dependiendo si la abscisa de la soldadura es transversal o paralela a la abscisa del espécimen y cual superficie está en el exterior convexo del espécimen doblado (lado, cara, o raíz), para las probetas

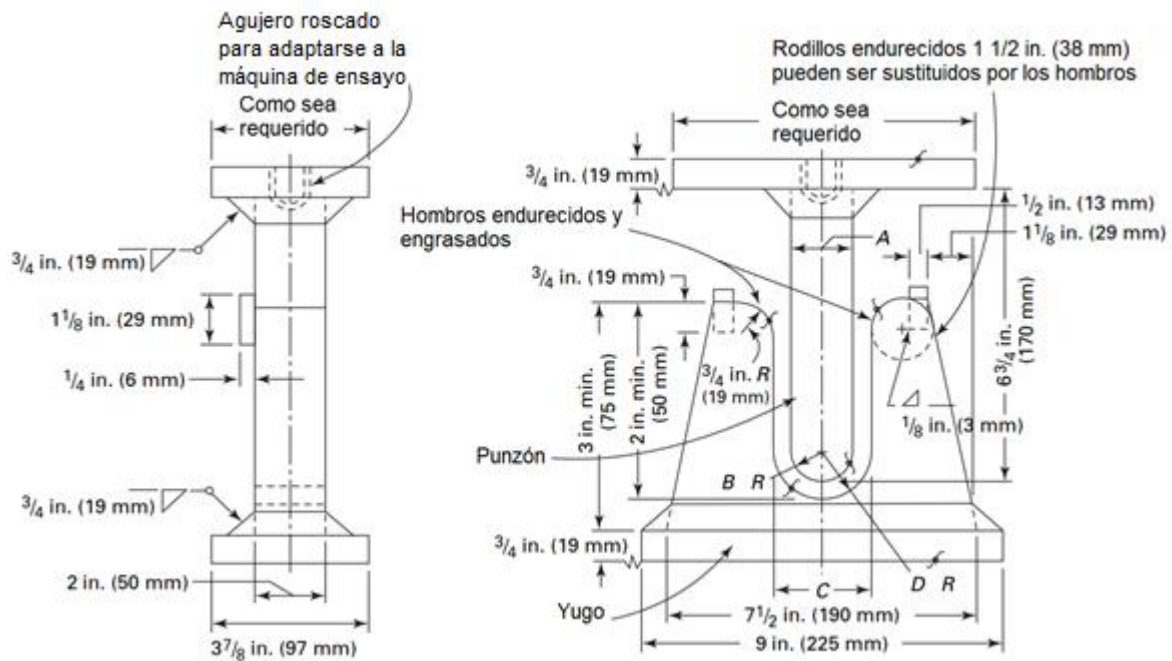


Figura A-3. Dimensiones de plantilla para prueba de doblado (QW-466.1)

Para realizar la calificación del procedimiento se realizarán cuatro pruebas de doblado lateral donde las probetas se ajustarán con un ancho $w=10$ mm y las dimensiones mostradas en la Figura A-4 (QW-462.2) y requerimientos sobre las dimensiones de la plantilla en la Figura A-3 (QW-466.1).

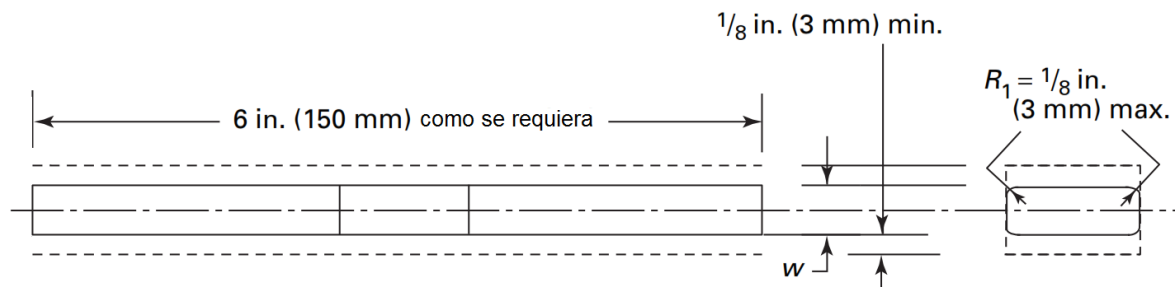


Figura A-4. Dimensiones de probeta (QW-462.2)

Los criterios de aceptación para la prueba de doblado se muestran en la parte QW-163 donde se indica lo siguiente:

- La soldadura y la zona afectada por el calor de un espécimen que tiene soldadura transversal, estarán completamente dentro de la porción doblada del espécimen después de la prueba.
- Los especímenes doblados en la soldadura o zona afectada por el calor no llevarán discontinuidades abiertas que excedan 3 mm medidos en cualquier dirección sobre la superficie convexa.

- Los defectos abiertos que ocurran en las esquinas no serán considerados a menos que sea por falta de fusión, escoria u otros tipos de defectos internos.

Calificación de habilidad del soldador (WPQ)

La intención de las pruebas de calificación de habilidad están destinadas a determinar la capacidad de los soldadores para hacer soldaduras sanas. Cada fabricante o contratista es responsable de que los soldadores usen el procedimiento y que sean capaces de desarrollar los requerimientos mínimos especificados.

Se debe tener presente las siguientes consideraciones generales para la calificación de habilidad de soldadores:

- El tipo de material base, material de aporte, posición, habilidad.
- Se calificará a cada soldador para cada proceso de soldar empleado en la soldadura de producción.
- La prueba de calificación de habilidad se efectuará de acuerdo con las especificaciones de procedimiento de soldar (WPS) calificadas.
- Si un WPS requiere un precalentamiento o un tratamiento térmico posterior a la soldadura, estos se pueden omitir.
- Se asignará a cada soldador calificado un número, letra o símbolo de identificación, el cual se usará para identificar su trabajo.
- Se dará por terminada la prueba cuando el supervisor que conduce las pruebas nota visiblemente que el soldador no tiene la destreza requerida para producir resultados satisfactorios.
- Se incluirá en el registro de pruebas de calificación de habilidad del soldador (WPQ) las variables esenciales (QW-350), el tipo de prueba y los resultados de las pruebas para cada soldador.

Los tipos de pruebas requeridas son, mecánicas, ensayos no destructivos volumétricos (ultrasonido, radiografía) y visuales. Para la prueba radiográfica se debe examinar una muestra de longitud mínima de 6 pulg.

En las tablas QW-353, QW-355 Y QW 356 se encuentran las variables esenciales de los procesos SMAW, GMAW Y GTAW respectivamente.

Los cupones de prueba serán ensayados mediante pruebas mecánicas de tensionado como se indica en (QW-150) y pruebas de doblado (QW-160). Para la prueba de tensionado se utilizan 2 especímenes, mientras que para la prueba de doblado se utilizan 4 especímenes para realizar el doblado de lado.

Otra prueba que se aplican a las juntas del cupón soldado es la prueba de radiografía.

➤ Corte y biselado de planchas y tubos metálicos

Antes de comenzar el proceso de corte primero se debe estudiar el plano de corte para saber las características de las piezas que se van a cortar principalmente, código de

pieza, espesor y especificación del material con la finalidad de seleccionar correctamente la plancha que será procesada. Es importante la colocación de código a cada una de las piezas cortadas para que estas puedan ser identificadas y colocadas correctamente en el armado de acuerdo como indique el plano de fabricación.

Una vez identificada y seleccionada la plancha que será procesada se deberá realizar un encuadramiento a 90° cortándole los filos de los lados de inicio donde se comenzará a cortar.

Corte de disco:

Antes de cortar el disco que formará la cabeza toriesférica el diámetro se calcula según la fórmula que emplea el taller Peralta:

Diámetro del disco sin conformar = $1.12 \times \text{Diámetro exterior del tanque}$

Diámetro del disco sin conformar = $1.12 \times (1412.7 \text{ mm})$

Diámetro del disco sin conformar = 1582.22 mm

Corte de virola:

Antes de realizar el corte, el dimensionamiento de la plancha en el lado que será curvado estará en función del diámetro de la fibra neutra, es decir:

Dimensión de lado que será curvado = $\pi \times \text{Diámetro de fibra neutra}$.

Dimensión de lado que será curvado = $\pi \times 1406.35 \text{ mm}$

Dimensión de lado que será curvado = 4418.18 mm

Los cortes de las planchas se realizarán mediante un sistema automatizado de oxicorte

Terminado el proceso de corte, se procederá a realizar de manera manual con la ayuda de amoladoras los biseles respetando las dimensiones y tolerancias de las juntas que se presentan en los planos. Al finalizar esta operación se procederá a realizar un control de las dimensiones de las piezas teniendo en cuenta las tolerancias permitidas lineales y de esta manera puedan quedar liberadas para seguir a la siguiente etapa en el proceso de fabricación.

Los tubos, platinas y ángulos que son parte del tanque se cortarán mediante la ayuda de oxicorte, sierras de cinta eléctricas y amoladoras siguiendo las dimensiones indicadas en el plano de corte, el biselado se lo realizará empleando amoladoras, finalmente se hace el control de las dimensiones obtenidas de cada una de las piezas para que puedan quedar liberadas.

➤ **Rolado de planchas y soldadura longitudinal** **Rolado de planchas**

Con este proceso se comenzará a curvar las planchas metálicas del cuerpo del tanque y el faldón haciéndolas pasar por los rodillos de la roladora hasta formar el cilindro o

virola. Para asegurar la curvatura durante el rolado se utilizará una plantilla con la forma del diámetro requerido haciendo la verificación en diferentes puntos de la circunferencia de la plancha rolada.

Una vez obtenida la forma del cilindro, los bordes son soldados para formar una sección cerrada, posteriormente se afinará el diámetro requerido haciendo pasar el tubo nuevamente por los rodillos realizando la verificación de la curvatura con la plantilla.

Como la fibra extrema no excede el 5%, no se debe realizar un tratamiento térmico después de rolada la plancha.

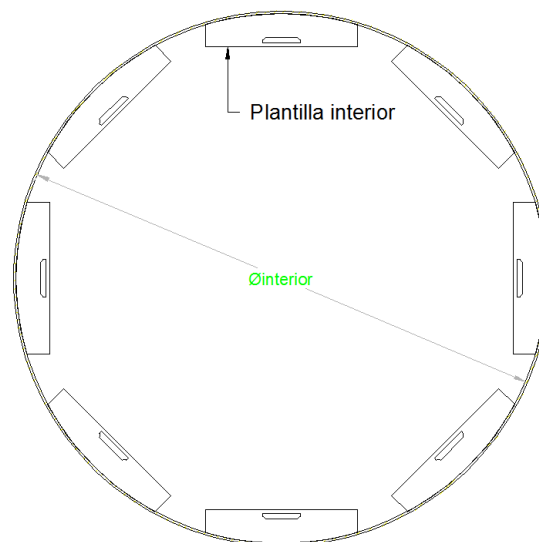


Figura A-5. Uso de plantilla durante el proceso de Rolado

El control de la ovalidad se basa en lo que se indica en la parte UG-80 de la norma explicado anteriormente, donde para la virola del cuerpo del tanque las diferencias máximas y mínimas del diámetro interior no deberá exceder el 1% del diámetro interior nominal, es decir:

$$\Delta_{\max} - \Delta_{\min} < \left(\frac{1}{100}\right) D_i$$

$$\Delta_{\max} - \Delta_{\min} < \left(\frac{1}{100}\right) (1400 \text{ mm})$$

$$\Delta_{\max} - \Delta_{\min} < 14 \text{ mm}$$

Para calcular las diferencias máximas y mínimas se emplean las siguientes ecuaciones:

$$\text{Max}(X_n - D_i) = \Delta_{\max}$$

$$\text{Min}(X_n - D_i) = \Delta_{\min}$$

Donde:

Δ_{\max} = Diferencia máxima

Δ_{\min} = Diferencia mínima

X_n = Dimensión máxima o mínima

D_i = Diámetro interior nominal

Generalmente para calcular las diferencias máximas y mínimas respecto del diámetro interior nominal se realizan 4 mediciones tanto en la boca superior (BS) como en la boca inferior (BI) tal como se indica en la figura A-6. Las mediciones se pueden realizar a una distancia máxima de 30 mm hacia el interior de las bocas.

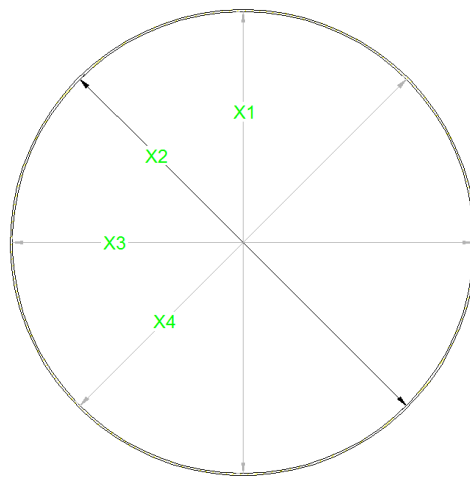


Figura A-6. Medición de Ovalidad

Soldadura longitudinal

En la soldadura longitudinal se deben tener presentes los siguientes controles:

- Desplazamiento de la junta longitudinal.
- Refuerzo de soldadura longitudinal.

Desplazamiento de la junta longitudinal

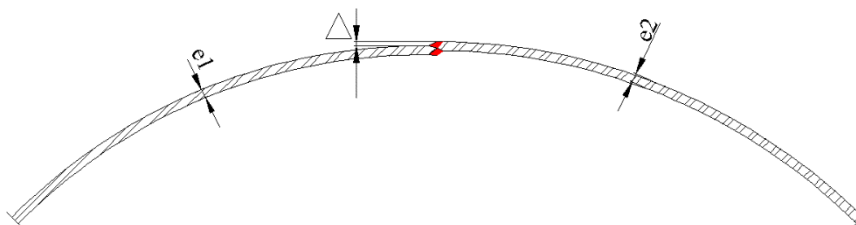


Figura A-7. Desplazamiento circunferencial

Según las recomendaciones dadas por el comité europeo de caldería y ensamble este valor se lo obtendrá por medio de la siguiente ecuación:

$$\Delta \leq \frac{e}{50} + 1 + \frac{\Delta e}{2} \text{ (mm)}$$

Donde:

e: Espesor de pared de la virola.

Δe : Diferencial de espesor de pared, el cual se asumirá igual a cero para espesores nominales iguales y para espesores diferentes se tomara la diferencia de los valores nominales.

Por lo tanto, para las virolas del tanque se tiene el desplazamiento de la junta longitudinal máximo permitido que se muestra a continuación:

$$\Delta \leq \frac{6.35}{50} + 1 + \frac{0}{2} \text{ (mm)}$$

$$\Delta \leq 1.13 \text{ mm}$$

Generalmente el control del desplazamiento de la junta longitudinal se lo realiza en cuatro puntos equidistantes a lo largo de la soldadura longitudinal.

Refuerzo de soldadura longitudinal

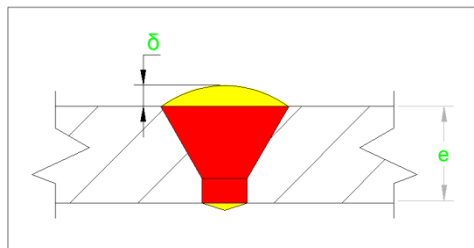


Figura A-8. Reforzamiento de soldadura longitudinal

En la parte UW-35 (d) de la sección VIII se muestra una tabla que contiene el valor del reforzamiento máximo de acuerdo al espesor de la placa, este reforzamiento asegura que la soldadura sea llenada por completo en la junta y que ningún punto este por debajo de la superficie del metal base. El reforzamiento no debe exceder de lo siguiente:

Tabla A1. Dimensión de reforzamiento de la soldadura

Espesor del material nominal, mm	Reforzamiento máximo (δ), mm.	
	Categoría B y C Soldaduras a tope	Otras soldaduras
Menor que 2,4 mm	2,5	0,8
2,4 a 4,8, incl.	3	1,5
4,8 a 13, incl.	4	2,5
13 a 25, incl.	5	2,5
25 a 51, incl.	6	3
51 a 76, incl.	6	4
76 a 102, incl.	6	5,5
102 a 127, incl.	6	6
mayor que 127	8	8

Para las virolas del faldón y del cuerpo del tanque con espesor de 6.35 mm se tiene un reforzamiento máximo de 4 mm tal como se indica en la tabla A1.

Generalmente el control del refuerzo de soldadura longitudinal se lo realiza en tres puntos tanto en el interior como en el exterior de la virola, estos se encuentran localizados en la boca superior (BS), punto intermedio (PI) y boca inferior (BI).

Para la obtención de las medidas de desplazamiento de la junta y reforzamiento de la soldadura longitudinal se utiliza una galga que es colocada en el lugar donde se requiera hacer la medición como se muestra en la figura A-9.

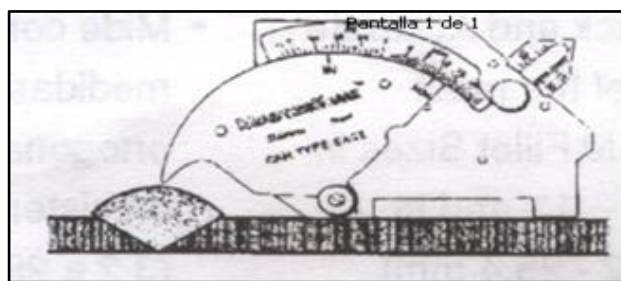


Figura A-9. Galga

➤ **Armado**

Para poder armar el tanque con facilidad se emplean los siguientes accesorios:

- Soportes de rodillos.
- Espaciadores.
- Escuadras.
- Tizas de metal.
- Marcador de metal.

- Rayador de metal.
- Andamios.

Durante el proceso de armado todo soldador que realice la unión mediante algún proceso de soldadura de algún elemento o parte del tanque deberá indicar su estampe con marcador de metal en el cordón realizado, esto permite llevar un control del soldador que realiza la unión de una junta en particular. La calidad de la soldadura depende mucho de la habilidad del soldador por lo que al estar identificada se pueden tomar decisiones en el momento de su examinación.

Unión de cabeza toriesférica a virola.

El armado se comienza uniendo la cabeza toriesférica superior a la virola del cuerpo, empleando soportes de rodillos y espaciadores, en los rodillos se apoya la virola con la finalidad de poder realizar rotación y soldar con facilidad, mientras que los espaciadores se utilizan para mantener una separación igual en toda la circunferencia de la junta.

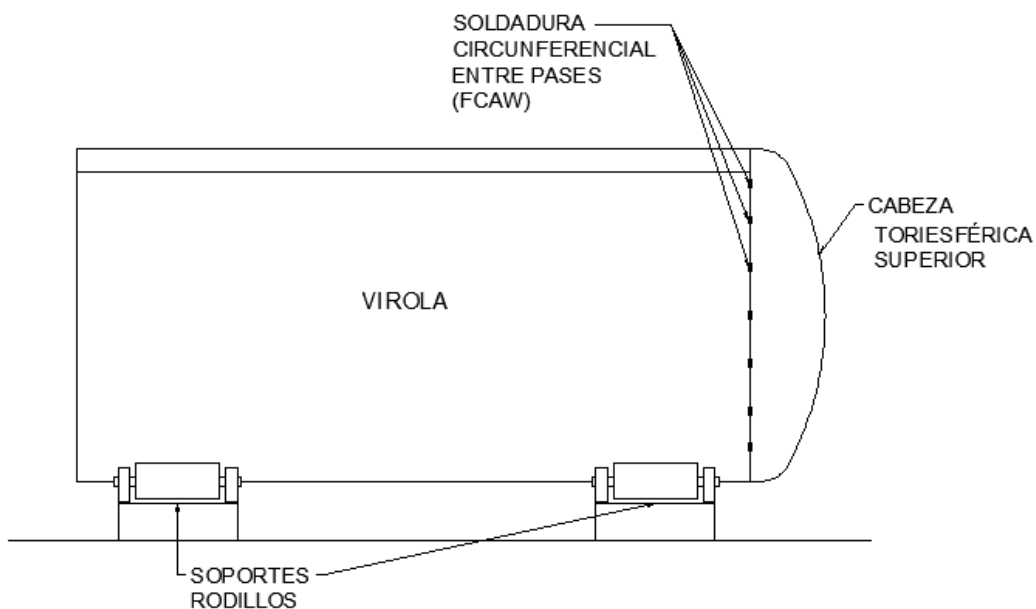


Figura A-10. Unión de la cabeza toriesférica superior con la virola

Para la unión de estas dos partes la soldadura aplicada inicialmente es entre pases en toda la circunferencia de la junta realizando pequeños cordones de aproximadamente 20 mm cada 200 mm con la finalidad de tener un buena alineación o poder corregir cualquier error con facilidad hasta conseguir que el desplazamiento de la junta circunferencial este dentro de las tolerancias permitidas y poderla soldar por completo.

La soldadura será aplicada mediante el proceso FCAW tal como se muestra en el plano P-6

Desplazamiento de la junta circunferencial

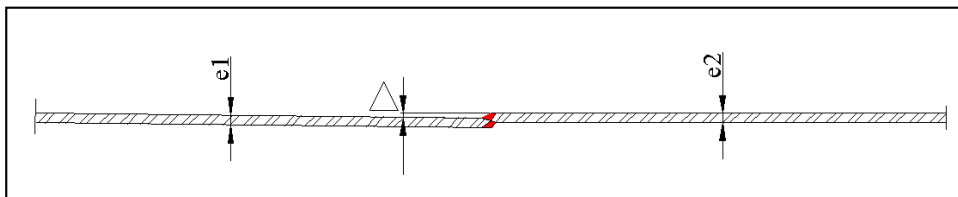


Figura A-11

Según las recomendaciones dadas por el comité europeo de caldería y ensamble este valor se lo obtendrá por medio de la siguiente ecuación.

$$\Delta \leq \frac{e}{50} + 2 + \frac{\Delta e}{2} + \frac{\Delta p}{2\pi} (\text{mm})$$

Donde:

e = Espesor de pared de la virola.

Δe = Diferencial de espesor de pared, el cual se asumirá igual a cero para espesores nominales iguales y para espesores diferentes se tomará la diferencia de los valores nominales.

r = Radio interno de la virola

Δp = Tolerancia sobre el perímetro de la virola

$$\Delta p < \pm \left(\frac{2r}{1000} + 2\pi(e_{\text{efectivo}} - e_{\text{teórico}}) + 4 \right) \text{ mm}$$

$$\Delta p < \pm \left(\frac{2(700)}{1000} + 2\pi(6.35 - 5.27) + 4 \right) \text{ mm}$$

$$\Delta p < \pm 12.2 \text{ mm}$$

Para tener una tolerancia más estrecha se asumirá que no existe un diferencial de espesores, por lo tanto se tiene:

$$\Delta \leq \frac{e}{50} + 2 + \frac{\Delta e}{2} + \frac{\Delta p}{2\pi} (\text{mm})$$

$$\Delta \leq \frac{6.35}{50} + 2 + \frac{12.2}{2\pi} (\text{mm})$$

$$\Delta \leq 4 \text{ mm}$$

Según lo recomendado por el comité se tiene una tolerancia permitida menor a 4 mm, sin embargo para unión de la cabeza toriesférica a la virola en la práctica es recomendable utilizar la mitad de dicho valor, es decir:

$$\Delta \leq 2 \text{ mm}$$

Según lo indicado en la parte UW-35 (d) el reforzamiento máximo de la soldadura circunferencial será de 4 mm.

Aberturas y parches de reforzamiento.

En esta parte se realizarán las aberturas para cada una de las boquillas que serán colocadas en el tanque así como también la colocación de los parches de reforzamiento de las que requieran, además se colocarán los parches para los soportes de tubería, escalera y plataforma.

Las aberturas en el tanque serán realizadas 6 mm mayor al diámetro del tubo para tener juego y poder tener una buena penetración de soldadura como se muestra en el plano P-5.

Se emplean tizas y rayadores para metal con el fin de trazar el centro de la ubicación donde las aberturas serán colocadas así como también los pads o parches para soporte y refuerzo. Estas marcaciones se las toma respecto de una línea de tierra referencial, tal como se muestra en la figura A-12.

Las orientaciones de las boquillas se muestran en el plano P-1

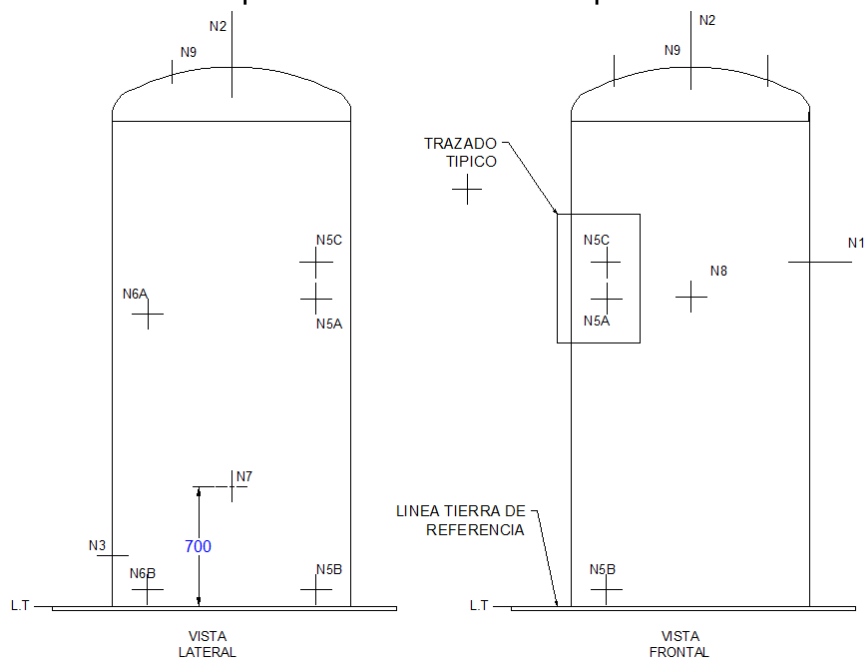


Figura A-12. Trazado de las ubicaciones de las boquillas

Corte de las aberturas, unión de las boquillas y orejas izaje

Una vez realizada la marcación se colocan los parches de las boquillas y de soportes para proceder a realizar el corte mediante oxicorte de forma manual, al terminarlo se

realiza en las aberturas un biselado como se requieran en cada una de ellas para tener una buena penetración de soldadura. Finalmente se unen los cuellos de la boquilla a las aberturas al tanque y las orejas de izaje mediante el proceso de soldadura FCAW como se indica en el plano P-5.

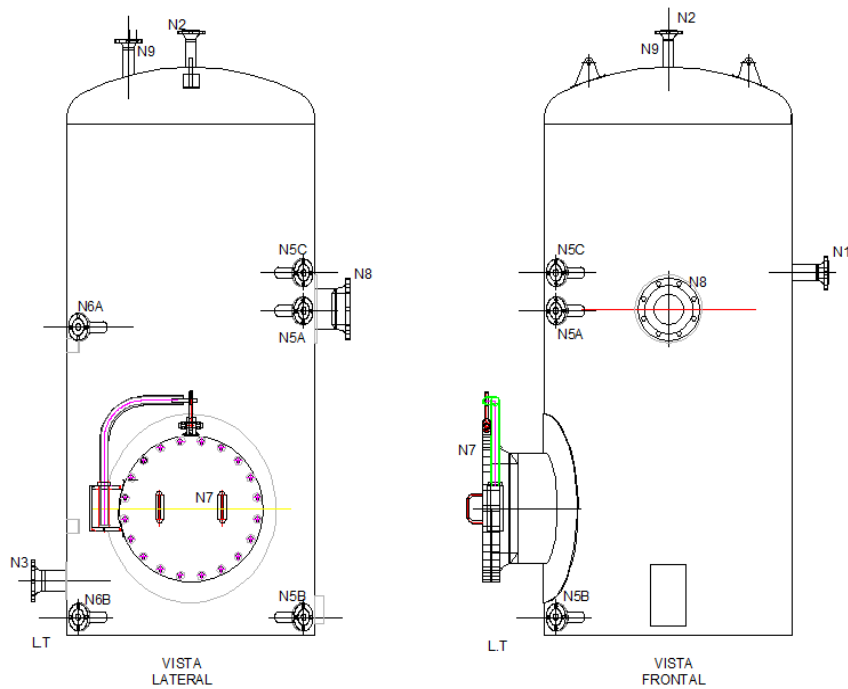


Figura A-13. Unión de boquillas y orejas de izaje al cuerpo del tanque

Unión de bridas a cuellos de las boquillas

La unión de las bridas de cuellos soldables a los cuellos de las boquillas se lo realiza antes de que estas estén unidas al cuerpo del tanque con el proceso de soldadura GTAW.

Se recomienda tener presente los siguientes puntos:

- Los agujeros de las bridas no coincidan con el eje principal del tanque.
- Todas las boquillas deberán tener una longitud máxima de salida de 200 mm medidos desde la superficie exterior del tanque a la cara de la boquilla.

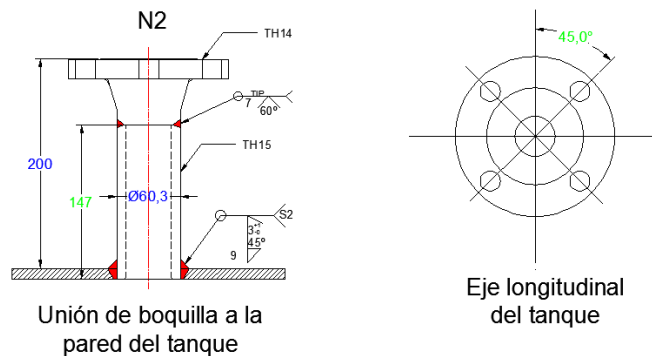


Figura A-14. Unión de la cabeza toriesférica inferior y el faldón al cuerpo del tanque

El proceso de unión de la cabeza toriesférica inferior es similar a la unión de la cabeza toriesférica superior, es decir, una vez acoplada correctamente se rematará toda la junta circunferencial mediante el proceso de soldadura FCAW. Se deben tener las mismas consideraciones para control de tolerancia de desplazamiento de la junta y reforzamiento de la soldadura circunferencial.

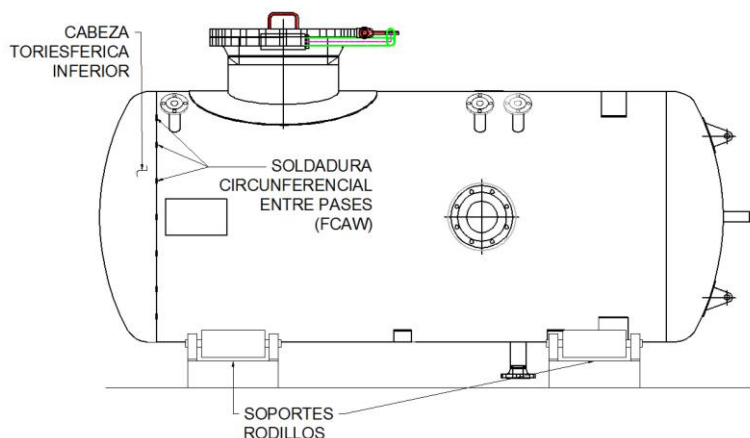


Figura A-15. Unión de la cabeza toriesférica inferior al cuerpo del tanque

El faldón se unirá al cuerpo del tanque considerando que el cordón longitudinal deberá quedar desplazado 90° con respecto a los ejes principales, además se les colocarán las orejas para conexión a tierra desplazadas a 245° y 65° referentes a ejes principales. Se utilizará el proceso de soldadura FCAW para soldar el anillo base del faldón, la junta longitudinal y las placas de conexión a tierra. (Ver plano P-1 y P-6)

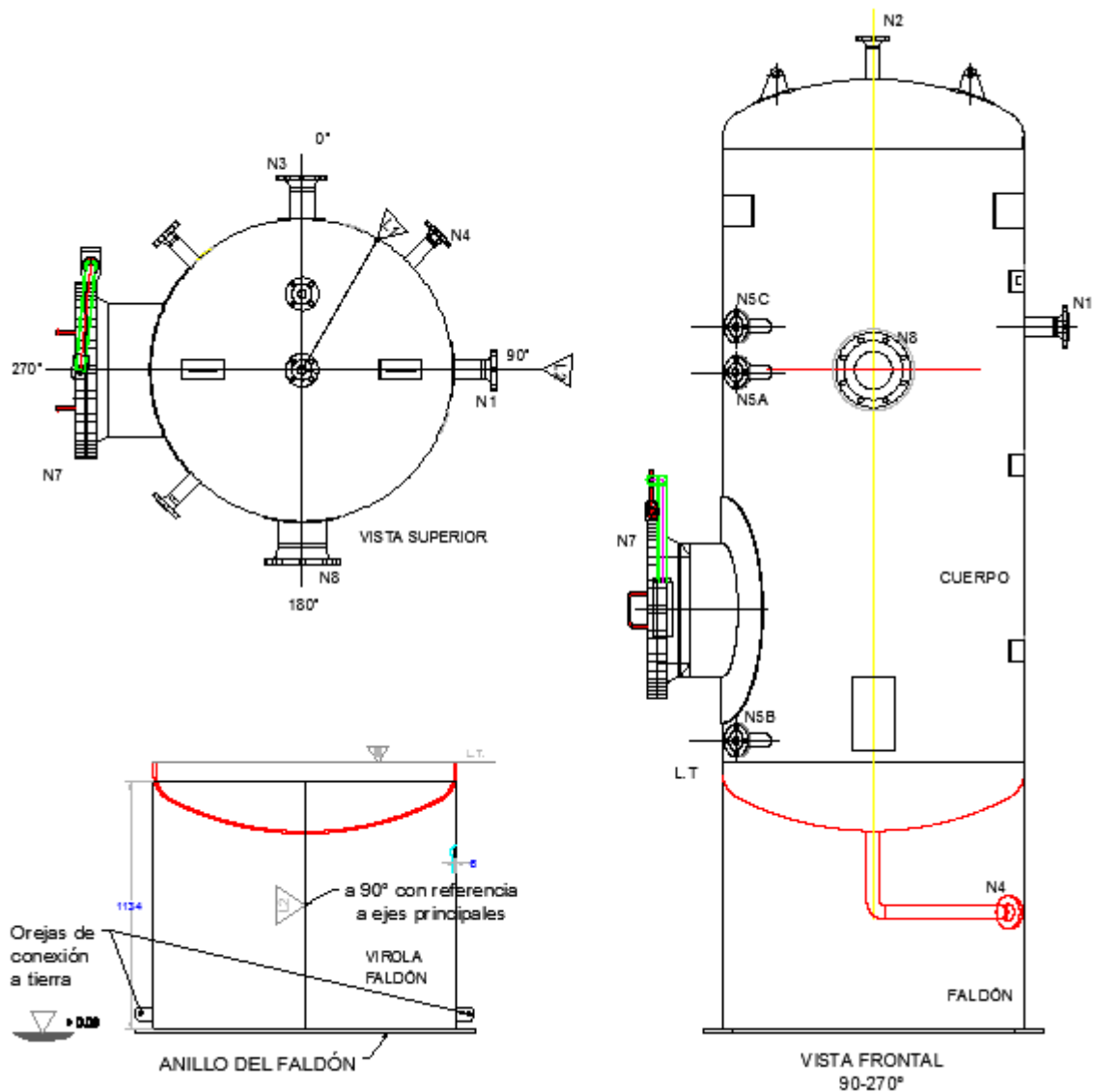


Figura A-16. Unión de faldón

Escalera y plataforma

La escalera llevará una canastilla de protección, para su armado hay que considerar las características mostradas en el plano P-7 tales como la altura de los escalones y canastilla, así como también el dimensionamiento de la canastilla en su interior, finalizado el armado ésta se une al tanque en los parches para su soporte. Toda la soldadura de la escalera será aplicada mediante el proceso de FCAW.

La plataforma llevará un piso removible, su armado comienza colocando los soportes angulares inclinados a 45° para soportar el perfil angular curvado del piso, después se colocarán los soportes transversales del piso, seguido se colocarán los tubos de soporte para pasamanos, la malla del piso se corta según la forma interior de la plataforma de tal manera que se pueda acoplar fácilmente en ésta (Ver plano P-9). La

soldadura aplicada para unir todos los elementos de la plataforma será mediante el proceso de FCAW.

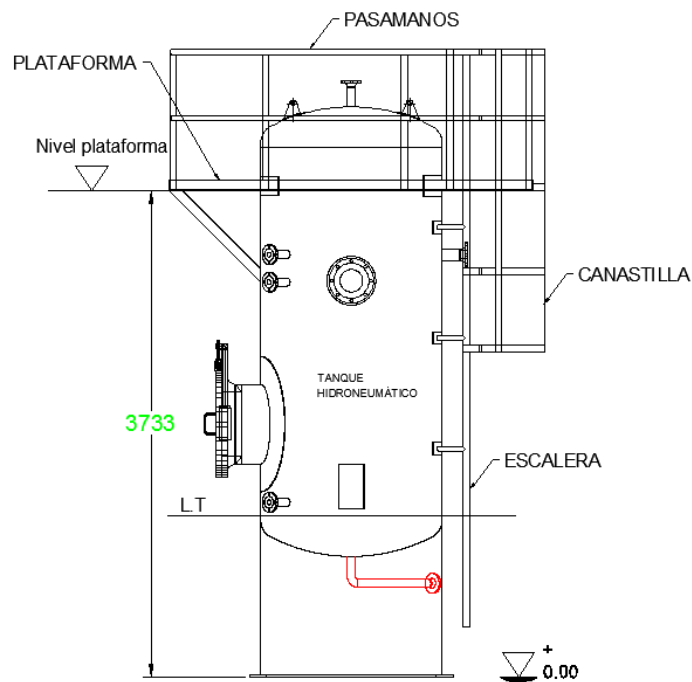


Figura A-17. Escalera y plataforma

➤ **Aplicación de ensayos no destructivos de las juntas soldadas**

La aplicación de ensayos no destructivos (END) a las juntas soldadas mediante examinaciones o pruebas es para detectar discontinuidades internas, subsuperficiales y superficiales sin que estas se alteren o destruyan físicamente. Las examinaciones o pruebas que serán aplicadas al tanque hidroneumático son por:

- Inspección visual.
- Líquidos penetrantes.
- Radiográficas.

Inspección visual:

La inspección visual se refiere a la observación directa a ojo desnudo, o usando instrumentos ópticos para observar las juntas soldadas y de los resultados obtenidos por otros END.

Para la aceptación de una soldadura por inspección visual se consideran generalmente los siguientes criterios:

- La soldadura no debe tener fisuras.
- Debe existir fusión de los cordones adyacentes de metal de soldadura y entre el metal de soldadura y el metal base.
- Los perfiles de la soldadura deben estar conformes a lo que se detalla en los planos de fabricación.
- La socavación deberá ser ≤ 0.25 mm.

- La frecuencia de porosidad en la soldadura no deberá de exceder de 1 grupo cada 100 mm de largo de la soldadura y el diámetro máximo deberá ser ≤ 2.5 mm.

Líquidos penetrantes:

La norma que se aplica es: ASME Sec. V, Art. 6 y ASME Sec. VIII, Div. 1.

La inspección por líquidos penetrantes se define como un procedimiento no destructivo de tipo físico-químico, se la realiza para detectar eventuales fisuras u otros defectos superficiales en los elementos que se inspeccionarán. Para realizar la inspección se requiere normalmente de seis pasos:

1. Preparación de la superficie.
2. Aplicación del penetrante.
3. Remoción del exceso de penetrante.
4. Aplicación del revelador.
5. Inspección.
6. Limpieza final.

Examinación radiográfica:

La norma que se aplica es: ASME Sec. V, Art. 2 y ASME Sec. VIII, Div. 1.

En la parte UW-51 (b), se establece que las indicaciones mostradas en las radiografías de las soldaduras y caracterizadas como imperfecciones son inaceptables bajo las siguientes condiciones:

- Alguna indicación caracterizada como una grieta o zona de fusión o penetración incompleta.
- Alguna otra indicación alargada que tiene una longitud mayor que (6 mm).
- Algún grupo de indicaciones alineadas que tienen una longitud total mayor que t en una longitud de $12t$, donde t es el espesor de la soldadura excluyendo reforzamiento, excepto cuando la distancia entre las imperfecciones sucesivas excede $6L$, donde L es la longitud de la imperfección más larga en el grupo.
- Indicaciones redondeadas en exceso de lo especificado por los estándares de aceptación dados en el Apéndice Mandatorio 4.

En el Apéndice Mandatorio 4, establece algunos criterios de aceptación de las indicaciones mostradas en las radiografías que son caracterizadas como imperfecciones.

Las indicaciones redondeadas alineadas son aceptables cuando la suma de los diámetros de las indicaciones es menor que t en una longitud menor de $12t$.

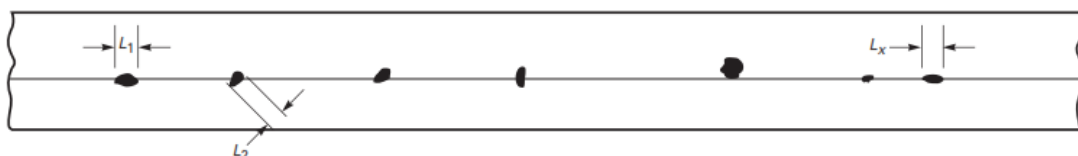


Figura A-18. Indicaciones redondeadas alineadas

La longitud de los grupos de indicaciones redondeadas alineadas y el espaciado entre los grupos cumplirá los requerimientos de la figura A-19.

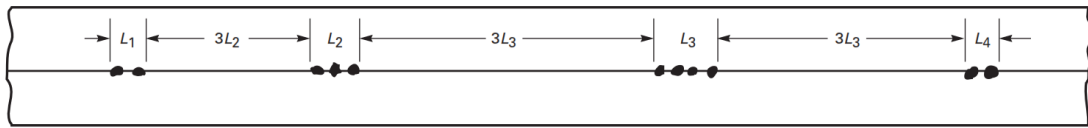


Figura A-19. Grupos de indicaciones redondeadas alineadas

Las indicaciones redondeadas caracterizadas como imperfecciones no excederán de lo que se muestran en las siguientes cartas para espesores de soldadura (6 mm a 10 mm):

Concentración típica y tamaño permitido en 150 mm de longitud cualquiera de soldadura.

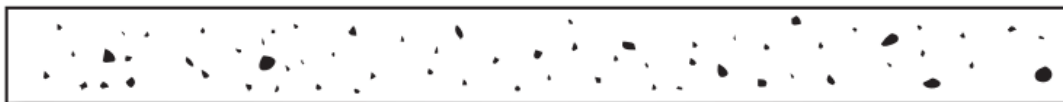


Figura A-20. Indicaciones redondeadas aleatorias

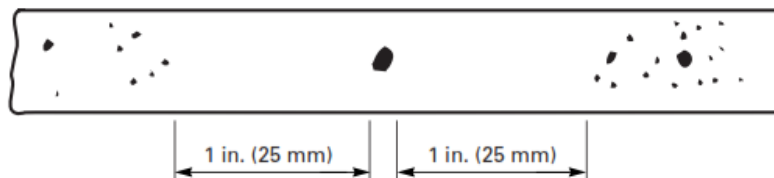


Figura A-21. Indicación aislada



Figura A-22. Concentración de indicaciones

La tabla A-2 contiene solo ejemplos de tamaños aceptables de indicaciones redondeadas aleatorias, aisladas y no relevantes.

Tabla A-2. Tamaños aceptables de indicaciones

Table 4-1			
Customary Units			
Thickness t, in.	Maximum Size of Acceptable Rounded Indication, in.		Maximum Size of Nonrelevant Indication, in.
	Random	Isolated	
Less than $\frac{1}{8}$	$\frac{1}{4} t$	$\frac{1}{3} t$	$\frac{1}{10} t$
$\frac{1}{8}$	0.031	0.042	0.015
$\frac{3}{16}$	0.047	0.063	0.015
$\frac{1}{4}$	0.063	0.083	0.015
$\frac{5}{16}$	0.078	0.104	0.031
$\frac{3}{8}$	0.091	0.125	0.031
$\frac{7}{16}$	0.109	0.146	0.031
$\frac{1}{2}$	0.125	0.168	0.031
$\frac{9}{16}$	0.142	0.188	0.031
$\frac{5}{8}$	0.156	0.210	0.031
$\frac{11}{16}$	0.156	0.230	0.031
$\frac{3}{4}$ to 2, incl.	0.156	0.250	0.031
Over 2	0.156	0.375	0.063
SI Units			
Thickness t, mm	Maximum Size of Acceptable Rounded Indication, mm		Maximum Size of Nonrelevant Indication, mm
	Random	Isolated	
Less than 3	$\frac{1}{4} t$	$\frac{1}{3} t$	$\frac{1}{10} t$
3	0.79	1.07	0.38
5	1.19	1.60	0.38
6	1.60	2.11	0.38
8	1.98	2.64	0.79
10	2.31	3.18	0.79
11	2.77	3.71	0.79
13	3.18	4.27	0.79
14	3.61	4.78	0.79
16	3.96	5.33	0.79
17	3.96	5.84	0.79
19.0 to 50, incl.	3.96	6.35	0.79
Over 50	3.96	9.53	1.60
GENERAL NOTE: This Table contains examples only.			

Como una alternativa a la examinación radiográfica, todas las soldaduras en materiales de espesor $\geq \frac{1}{4}$ pulg. (6 mm) pueden ser examinados utilizando el método de ultrasonido.

Según las eficiencias de las juntas que se consideró para el diseño se radiografiará como sigue:

- La junta longitudinal con eficiencia de junta de 1.00 será radiografiada por completo.
- La junta circunferencial con eficiencia de junta de 0.85 será radiografiada por zonas.

➤ **Prueba hidrostática**

Consiste en someter el recipiente una vez terminado a una presión mayor que la presión de diseño y conservar esta presión durante un tiempo suficiente para verificar

que no haya fugas en ningún cordón de soldadura, generalmente el líquido con que se lleva a cabo esta prueba es agua.

En la parte UG-99 (b) de la norma se indica que la presión para realizar la prueba debe ser al menos 1.3 veces la presión máxima de trabajo, por lo tanto, se tiene:

$$P_{HI}=1.3P$$
$$P_{HI}=1.3(0.93 \text{ MPa})$$
$$P_{HI}=1.209 \text{ MPa}$$

Para realizar la prueba se necesitan:

- Bomba de presión.
- Accesorios para conexión Bomba-Tanque.
- Manómetros de diferentes escalas para registrar la presión a la que estará sometido el recipiente.



Figura A-23. Elementos para prueba hidrostática

Se deben tener presentes las siguientes consideraciones generales para realizar la prueba hidrostática:

- Antes de realizar la prueba se debe verificar que los manómetros estén calibrados. Se recomienda que la calibración la realice una empresa de servicios de metrología ya que esta emitirá certificados de calibración en donde se puede verificar las características de los instrumentos que serán aprobados para su uso.
- El recipiente deberá colocarse de tal manera que se puedan realizar observaciones en su totalidad y que se eviten deformaciones al momento del llenado con agua.
- Se deberán colocar los instrumentos de medición, los accesorios para conexiones y sellar todas las bridas antes de realizar la prueba.
- La prueba hidrostática se realizará en presencia del Ingeniero de calidad y el Inspector autorizado por ASME.
- Se recomienda que la duración de la prueba sea al menos 30 minutos. Se empezará a contar el tiempo cuando los manómetros estén a la presión de prueba.

- La temperatura de prueba no será mayor de 40 °C.
 - Durante el tiempo de prueba se debe inspeccionar visualmente las posibles deformidades, lagrimeos, fugas, decrementos de presión en el manómetro, o cualquier otra señal que pudiera decidir suspender la prueba y determinar los resultados como no conformes hasta realizar correcciones.
 - Si no existe un decremento de presión la prueba se considerará satisfactoria.
- Al finalizar la prueba se vaciará el tanque y se elaborará un reporte con los factores encontrados.

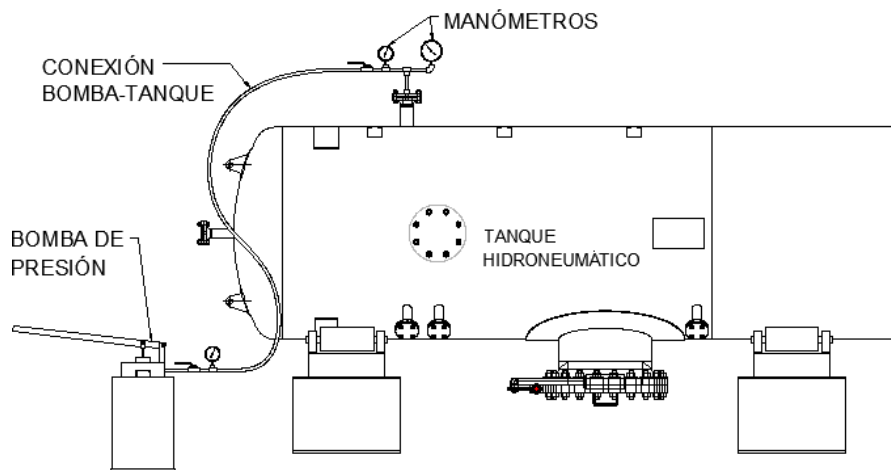


Figura A-25. Prueba hidrostática

➤ **Preparación de la superficie**

La duración de un revestimiento depende tanto de la calidad del revestimiento como de la preparación de la superficie y para lograr una superficie adecuada se debe realizar una limpieza eliminando las capas de contaminantes y óxidos de la superficie del material base para proveer a la superficie que será pintada de un perfil de rugosidad con el fin de lograr una buena adherencia del revestimiento.

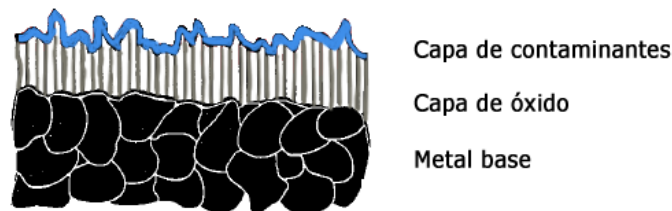


Figura A-26. Capas de óxidos y contaminantes en el metal base,
(LosAdhesivos.com, 2015)

El grado de limpieza superficial es un requerimiento del acabado cuya función principal es eliminar todo residuo de calamina o de corrosión, se define bajo ciertas normas que se detallan a continuación:

Tabla A-3. Descripción de normas, (Manual técnico Imco)

NORMA SSPC	NORMA NACE	ISO 8501: 1988	DESCRIPCIÓN
SP 5	No. 1	SA 3	Metal Blanco
SP 6	No. 3	SA 2	Comercial
SP 7	No. 4	SA 1	A Cepillo
SP 10	No. 2	SA 2 1/2	Casi Blanco
SP 14	No .8		Industrial

Los abrasivos reciclables para realizar la limpieza suelen ser granalla, limadura de hierro y de alambre cortado, estos se clasifican de la siguiente manera:

Tabla A-4. Abrasivos reciclables, (Manual técnico Imco)

Denominación	Tamaño medio del grano (mm)
SAE J444: 1984	
Limadura de acero y granalla de hierro	1,7
G12	1,4
G14	1,2
G16	1,0
G18	0,7
G25	0,4
G40	0,3
G50	
Granalla de acero	1,4
S550	1,2
S460	1,0
S390	0,8
S330	0,7
S280	0,6
S230	0,4
S170	
ISO 11124: 1993	
Limadura de acero y granalla de hierro	1,7
G200	1,4
G170	1,2
G140	1,0
G120	0,7
G100	0,4

G070	0,3
G050	
Granalla de acero	1,4
S170	1,2
S140	1,0
S120	0,8
S100	0,7
S080	0,6
S070	0,4
S060	

Para la preparación superficial deseada se utilizará como guía la siguiente tabla para determinar el tipo de abrasivo utilizado bajo la aplicación requerida:

Tabla A-5. Aplicaciones y tipos de abrasivos

APLICACIONES	TIPOS DE ABRASIVOS
ACEROS BÁSICOS Galvanización Granallado de cilindros Perfiles (Barras, etc.) Hojas y chapas Inoxidables	G-14 hasta G-25 G-12 hasta G-80 S-330 hasta S-170, G-40, G50 S-330 hasta S-170, G-40, G-50 S-110, S-70
EQUIPOS Tanques revestidos Estructuras Piezas maquinadas Aceros herramientas	G-25 hasta G-50 S-330 hasta S-230, G-18 hasta G-40 G-25 hasta G-120 G-50, G-80
FUNDICIONES Hierro fundido Fundiciones no ferrosas	S-550 hasta S-230, G-16 hasta G-25 S-230 hasta S-110, G-40 hasta G-200
TRANSPORTES Embarcaciones y navíos Vagones y locomotoras Camiones	G-14 hasta G-25 S-230, S-170 hasta G-50 G-25 hasta G-80

La limpieza superficial del tanque estará definida bajo la norma SSPC. La superficie interior será procesada bajo el código SSPC-SP 5, mientras que la superficie exterior con SSPC-SP 10, donde para ambos casos se aplicará un chorro de arena a presión (Sand Blasting).



Figura A-27. Superficie interior después de SSPC-SP 5

➤ **Pintura**

Una vez obtenido el grado de limpieza superficial y el perfil de anclaje requerido (rugosidad) se procederá a realizar el recubrimiento con pintura para proteger la superficie del tanque interior y exterior.

La pintura es un recubrimiento orgánico formado por polímeros y resinas producidos en forma natural o sintética y se formulan de manera que contiene lo siguiente: aglutinantes, tintes o pigmentos, solventes y aditivos.

Los aglutinantes determinan las propiedades del estado sólido del recubrimiento, tales como la resistencia, propiedades físicas y la adhesión a la superficie que se va a pintar siendo los más comunes los aceites naturales, resinas de poliésteres, poliuretanos, epóxicos, acrílicos y celulósicos.

Los tintes y pigmentos proporcionan color al recubrimiento, los solventes se usan para disolver el aglutinante y ciertos ingredientes en el recubrimiento líquido teniendo presente que para los distintos aglutinantes se requieren diferentes solventes. Los aditivos incluyen a los dispersantes (ingredientes que facilitan la dispersión sobre la superficie).

Todos estos ingredientes se formulan y se mezclan obteniendo de esta manera la pintura adecuada para realizar el recubrimiento.

Condiciones durante la aplicación

Se debe considerar las condiciones ambientales, donde estas deberán tener una humedad relativa permisible para la aplicación de la pintura, la temperatura de la superficie del objeto a pintar deberá ser mayor a 3°C por encima del punto de rocío, todas estas condiciones serán medidas en la cercanías de la superficie.

Una vez aplicada la pintura esta deberá entrar en el proceso de secado y curado para que pase de líquida a sólida, el secado ocurre mediante la evaporización del solvente mientras que el curado se puede realizar a temperatura ambiente, temperatura elevada, por método catalítico o por radiación para provocar un cambio químico en la resina orgánica donde ocurre una polimerización o formación de cadenas transversales permitiendo endurecer el recubrimiento.

Para el tanque hidroneumático se aplicaran diferentes recubrimientos en la superficie interior y exterior los cuales se describen a continuación:

Recubrimiento superficial interior: Esta superficie será protegida con un recubrimiento epóxico fenólico diseñado para ser usado como protección de la corrosión interna. El espesor requerido de pintura primer primera capa es 200 μm y para el acabado segunda capa es 200 μm , total (400 μm).

Recubrimiento superficial exterior: Esta superficie es protegida con los siguientes recubrimientos: epóxico rico en zinc con un espesor requerido de pintura primer primera capa de 50 μm , epóxico mastic con alto contenido de solidos con espesor requerido de pintura intermedio segunda capa de 200 μm y poliuretano alifático con un espesor requerido de pintura para acabado en la tercera capa de 60 μm , total (310 μm).

Prueba de adherencia e inspección

Para la prueba de adherencia se hacen dos cortes en la película, cada uno de aproximadamente 40 mm de largo que se crucen cerca de su centro con un ángulo de entre 30 y 45°. Al hacer las incisiones es necesario el uso de la regla y realizarlo mediante un movimiento constante.

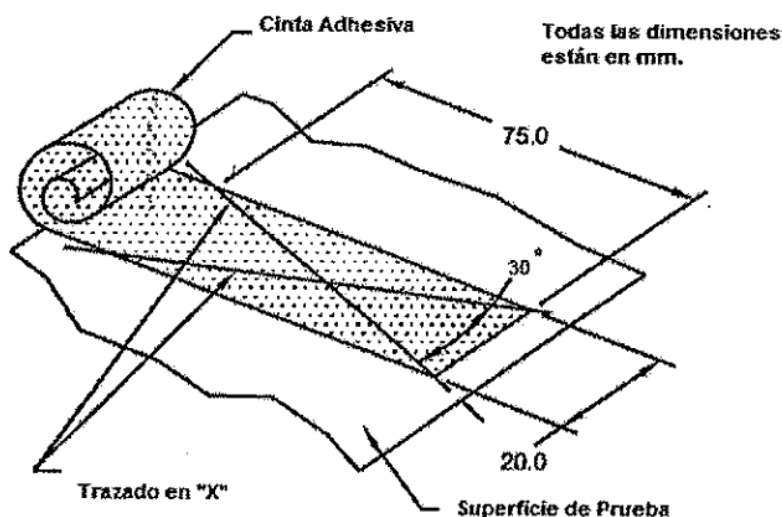


Figura A-28. Prueba de adherencia, (Manual técnico Imco)

La cinta adhesiva debe ser colocada en el lugar de la incisión en la misma dirección que los ángulos más pequeños y se debe retirar con rapidez en lo más cercano a un ángulo de 180° sobre sí misma como sea posible.

La conformidad de adherencia se inspecciona mediante la siguiente tabla:

Tabla A-6. Clasificación de la adherencia, (NTE INEN 1 006:98, 1998)

Clasificación	Criterio	Adherencia %
5A	No existe remoción de la película o peladuras	100
4A	Trazas de peladuras o remoción a lo largo de las incisiones	95-100
3A	Remoción dentada de 1,6 mm a lo largo de la parte superior de las incisiones sobre cada lado	85-95
2A	Remoción dentada de 3,2 mm a lo largo de la parte superior de las incisiones sobre cada lado	65-85
1A	Remoción del área de la X cubierta por la cinta	35-65
0A	Remoción más allá del área de la X	> 65

Esta prueba se realizará en una placa testigo de material ASTM A-36 de dimensiones 300x150x6.35 mm, la que se pintará bajo los procesos de preparación superficial y recubrimientos indicados para la superficie interior y exterior.

Para saber cuál es el rendimiento de una pintura y con ello sacar costos se emplean fórmulas que han sido propuestas por los fabricantes de pintura de tal manera que los resultados nos permiten tener una aproximación bastante buena de cuanto pintura será utilizada para pintar una superficie. El rendimiento teórico se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Rdto. teórico (m}^2/\text{lt)} = \frac{\% \text{ de sólidos en volumen} \times 10}{\text{espesor seco (micras)}}$$

El espesor seco y el espesor húmedo de una película están relacionados mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de sólidos de volumen} = \frac{\text{espesor seco} \times 100}{\text{espesor húmedo}}$$

Algunos fabricantes de pintura en la ficha técnica dan directamente el valor del rendimiento teórico.

Existen causas que influyen en la pérdida de pintura durante la aplicación tales como presencia del viento o método de aplicación que disminuyen su rendimiento. Una estimación de estas pérdidas según los fabricantes por el método utilizado se presenta en la siguiente tabla:

Tabla A-7. Pérdidas en aplicación de pintura, (Manual técnico Imco)

Método de aplicación	Rdto. teórico	Perdida de pintura	Rdto. Práctico
Pistola sin aire	100%	20-40%	80-60%
Pistola con aire	100%	30-50%	70-50%
Brocha/Rodillo	100%	10-20%	90-80%

Estas pérdidas son en la práctica rebasadas con bastante frecuencia cuando la aplicación se efectúa por personal inexperto o se produce la acumulación de

circunstancias negativas, es decir: mucho viento, superficie chorreada, dificultad de aplicación, etc.

Cálculo de litros de pintura a utilizar:

Se considera 20 % de pérdidas en la aplicación de la pintura

Recubrimiento Interior: 19.12 m²

Ficha técnica

Jotun-Tankguard SF: Epóxico fenólico

Rendimiento teórico: 5 m²/l

Primer primera capa: 200 μm

$$\text{Volumen requerido} = \frac{\text{Área de la superficie a pintar m}^2}{\text{Rendimiento teórico m}^2/\text{l}}$$

$$\text{Volumen requerido} = \frac{19.12 \text{ m}^2}{5 \text{ m}^2/\text{l}}$$

$$\text{Volumen requerido} = 3.82 \text{ l}$$

Acabado segunda capa: 200 μm

$$\text{Volumen requerido} = \frac{\text{Área de la superficie a pintar m}^2}{\text{Rendimiento teórico m}^2/\text{l}}$$

$$\text{Volumen requerido} = \frac{19.12 \text{ m}^2}{5 \text{ m}^2/\text{l}}$$

$$\text{Volumen requerido} = 3.82 \text{ l}$$

$$\text{Volumen total requerido} = 2(3.82 \text{ l}) = 7.64 \text{ l}$$

$$\text{Perdidas} = 9.17 \text{ l}$$

$$\text{Total} = 10 \text{ l}$$

$$\text{Volumen escogido} = 10 \text{ litros}$$

Recubrimiento exterior: 25.26 m²

Ficha técnica

Jotun-Barrier 80: Epóxico rico en zinc

Rendimiento teórico: 12.2 m²/l

Primer primera capa: 50 μm

$$\text{Volumen requerido} = \frac{\text{Área de la superficie a pintar m}^2}{\text{Rendimiento teórico m}^2/\text{l}}$$

$$\text{Volumen requerido} = \frac{25.26 \text{ m}^2}{12.2 \text{ m}^2/\text{l}}$$

$$\text{Volumen requerido} = 2.07 \text{ l}$$

$$\text{Perdidas} = 0.41 \text{ l}$$

$$\text{Total} = 2.48 \text{ l}$$

$$\text{Volumen escogido} = 3 \text{ litros}$$

Ficha técnica

Jotun-Jotamastic 80: Epóxico mastic

Rendimiento teórico: 4.4 m²/l

Intermedio segunda capa: 200 μm

$$\text{Volumen requerido} = \frac{\text{Área de la superficie a pintar } \text{m}^2}{\text{Rendimiento teórico } \text{m}^2/\text{l}}$$

$$\text{Volumen requerido} = \frac{25.26 \text{ m}^2}{4.4 \text{ m}^2/\text{l}}$$

$$\text{Volumen requerido} = 5.74 \text{ l}$$

$$\text{Perdidas} = 1.15 \text{ l}$$

$$\text{Total} = 6.89 \text{ l}$$

$$\text{Volumen escogido} = 7 \text{ litros}$$

Ficha técnica

Jotun-Hardtop XP: Poliuretano alifático

Rendimiento teórico: 10.5 m^2/l

Acabado tercera capa: 60 μm

$$\text{Volumen requerido} = \frac{\text{Área de la superficie a pintar } \text{m}^2}{\text{Rendimiento teórico } \text{m}^2/\text{l}}$$

$$\text{Volumen requerido} = \frac{25.26 \text{ m}^2}{10.5 \text{ m}^2/\text{l}}$$

$$\text{Volumen requerido} = 2.41 \text{ l}$$

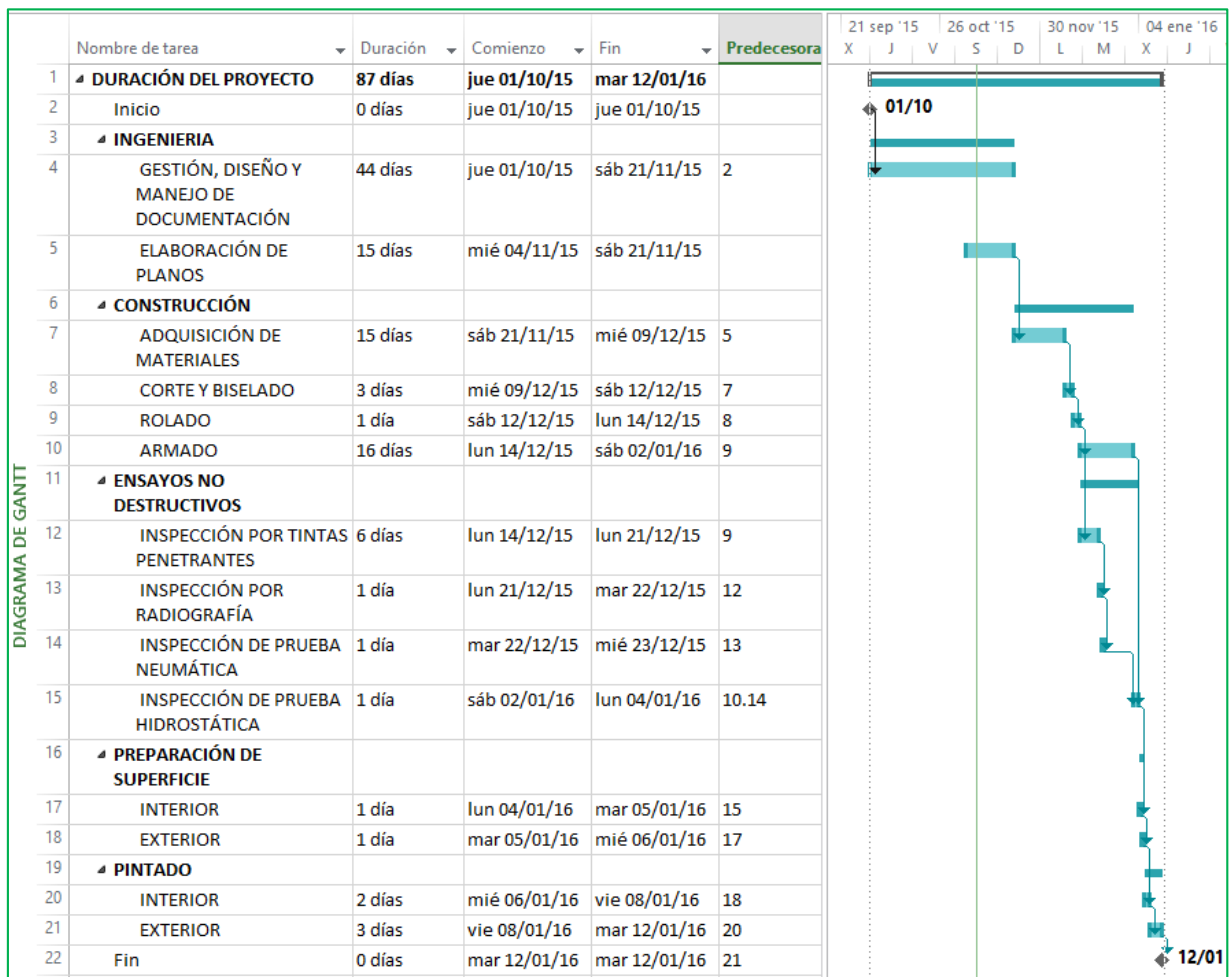
$$\text{Perdidas} = 0.48 \text{ l}$$

$$\text{Total} = 2.89 \text{ l}$$

$$\text{Volumen escogido} = 3 \text{ litros}$$

APÉNDICE B

Cronograma de diseño y construcción



Elaborado por: Darío Zamora C.

APÉNDICE C

Bosquejos de unión de la boquilla al recipiente.

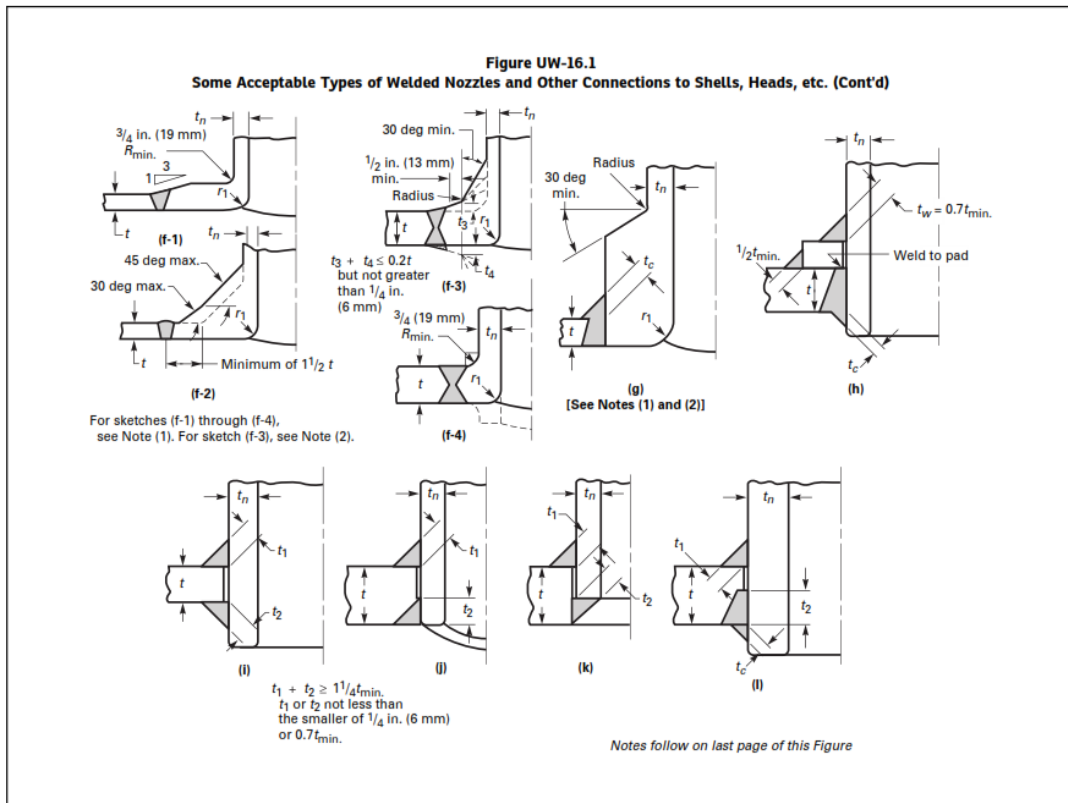
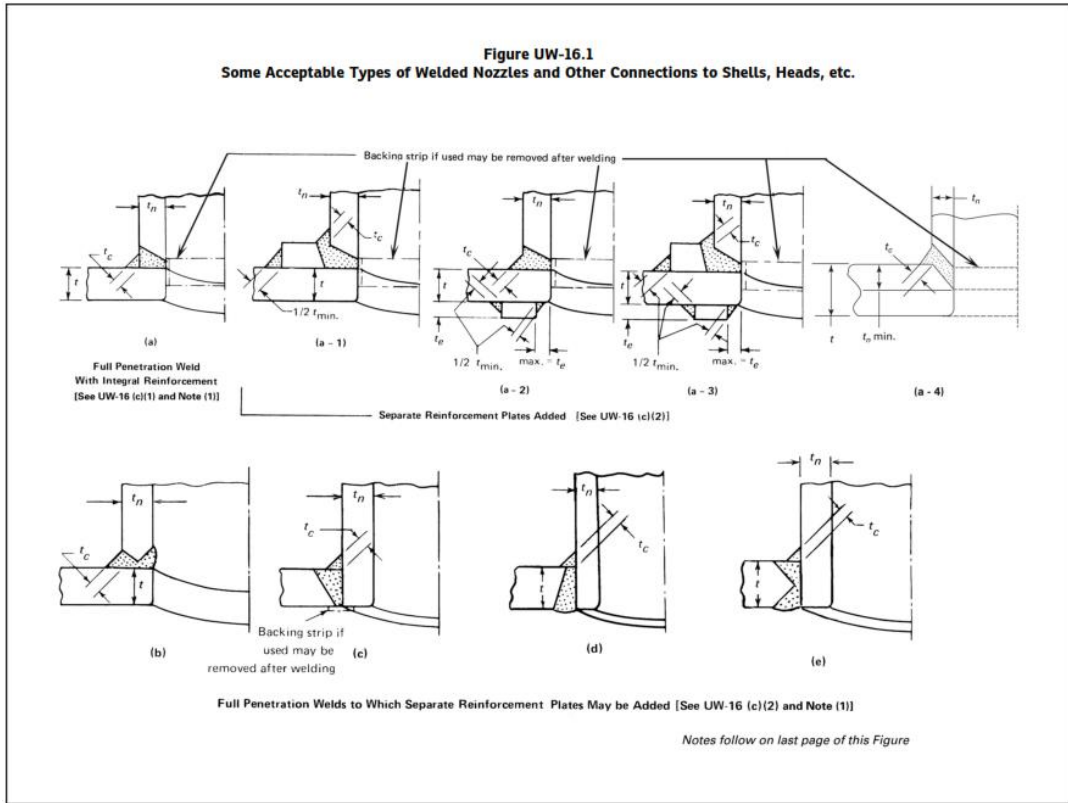


Figure UW-16.1
Some Acceptable Types of Welded Nozzles and Other Connections to Shells, Heads, etc. (Cont'd)

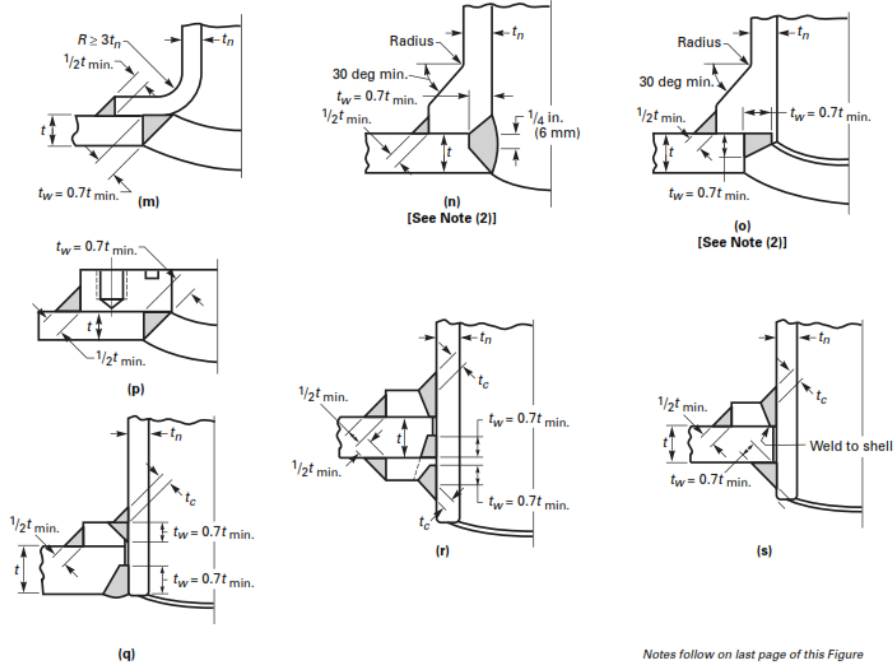
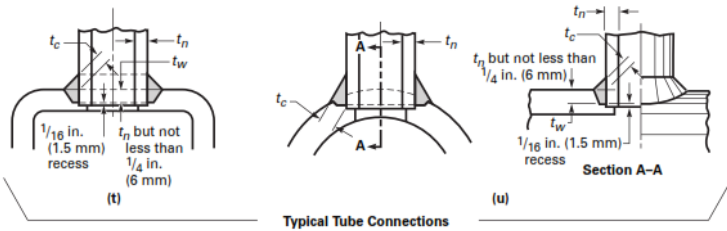
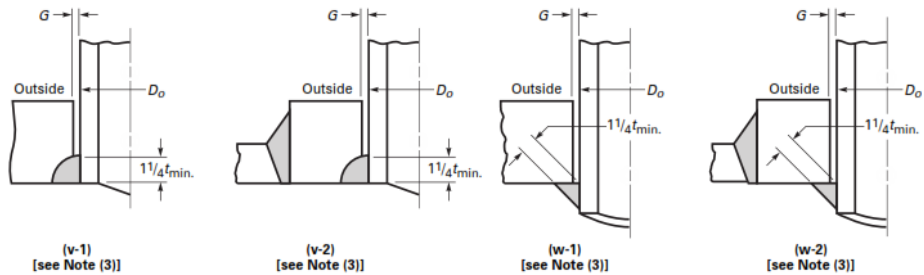


Figure UW-16.1
Some Acceptable Types of Welded Nozzles and Other Connections to Shells, Heads, etc. (Cont'd)

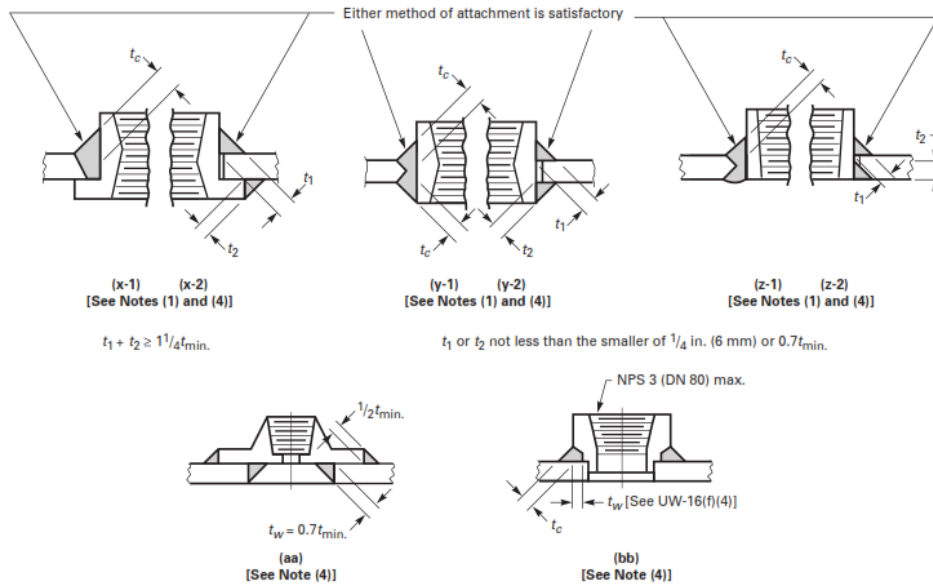


(When used for other than square, round, or oval headers, round off corners)



Notes follow on last page of this Figure.

Figure UW-16.1
Some Acceptable Types of Welded Nozzles and Other Connections to Shells, Heads, etc. (Cont'd)



NOTES:

- (1) Sketches (a), (b), (c), (d), (e), (f-1) through (f-4), (g), (x-1), (y-1), and (z-1) are examples of nozzles with integral reinforcement.
- (2) Where the term *Radius* appears, provide a $\frac{3}{8}$ in. (3 mm) minimum blend radius.
- (3) For sketches (v-1) through (w-2):
 - (a) For applications where there are no external loads, $G = \frac{1}{8}$ in. (3 mm) max.
 - (b) With external loads:
 $G = 0.005$ for $D_o \leq 1$ in. (25 mm); $G = 0.010$ for 1 in. (25 mm) < $D_o \leq 4$ in. (100 mm); $G = 0.015$ for 4 in. (100 mm) < $D_o \leq 6\frac{5}{8}$ in. (170 mm).
- (4) For NPS 3 (DN 80) and smaller, see exemptions in UW-16(f)(2).

Tomado de (ASME, 2013)

APÉNDICE D

Rango de presión y temperatura para bridas

Table 2-1.1 Pressure–Temperature Ratings for Group 1.1 Materials

Nominal Designation	Forgings	Castings	Plates
C–Si	A 105 (1)	A 216 Gr. WCB (1)	A 515 Gr. 70 (1)
C–Mn–Si	A 350 Gr. LF2 (1)		A 516 Gr. 70 (1), (2)
C–Mn–Si–V	A 350 Gr. LF6 Cl. (4)		
3 ¹ / ₂ Ni	A 350 Gr. LF3		A 537 Cl. 1 (3)

Working Pressure by Classes, bar							
Class Temp., °C	150	300	400	600	900	1500	2500
–29 to 38	19.6	51.1	68.1	102.1	153.2	255.3	425.5
50	19.2	50.1	66.8	100.2	150.4	250.6	417.7
100	17.7	46.6	62.1	93.2	139.8	233.0	388.3
150	15.8	45.1	60.1	90.2	135.2	225.4	375.6
200	13.8	43.8	58.4	87.6	131.4	219.0	365.0
250	12.1	41.9	55.9	83.9	125.8	209.7	349.5
300	10.2	39.8	53.1	79.6	119.5	199.1	331.8
325	9.3	38.7	51.6	77.4	116.1	193.6	322.6
350	8.4	37.6	50.1	75.1	112.7	187.8	313.0
375	7.4	36.4	48.5	72.7	109.1	181.8	303.1
400	6.5	34.7	46.3	69.4	104.2	173.6	289.3
425	5.5	28.8	38.4	57.5	86.3	143.8	239.7
450	4.6	23.0	30.7	46.0	69.0	115.0	191.7
475	3.7	17.4	23.2	34.9	52.3	87.2	145.3
500	2.8	11.8	15.7	23.5	35.3	58.8	97.9
538	1.4	5.9	7.9	11.8	17.7	29.5	49.2

NOTES:

- (1) Upon prolonged exposure to temperatures above 425°C, the carbide phase of steel may be converted to graphite. Permissible but not recommended for prolonged use above 425°C.
- (2) Not to be used over 455°C.
- (3) Not to be used over 370°C.
- (4) Not to be used over 260°C.

Tomado de ASME B16.5-2003

APÉNDICE E

Catálogo Acerimallas



Rejillas Electrosoldadas

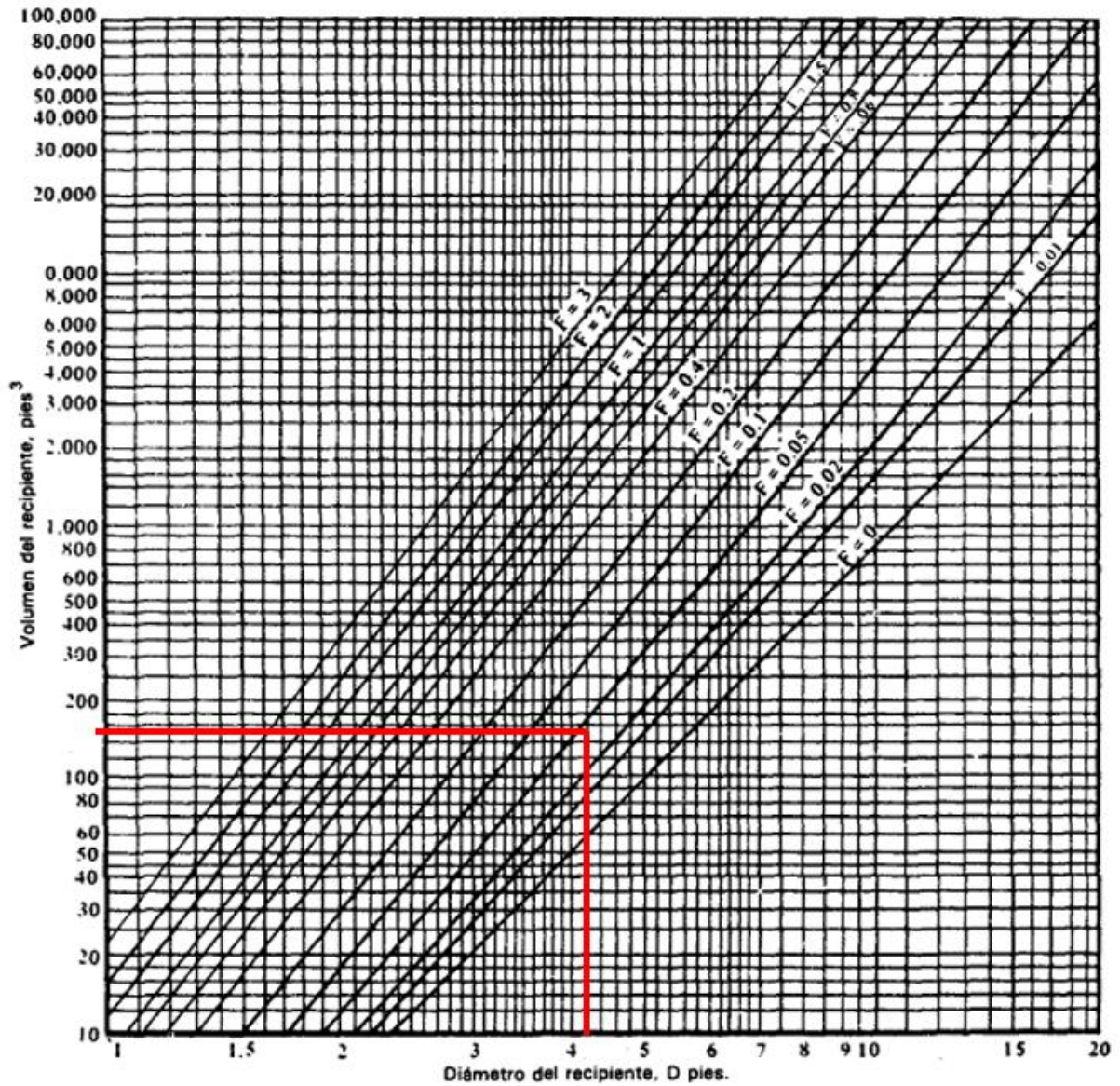
Estas rejillas electrosoldadas son fabricadas en dimensiones de 1000 x 2000 mm. Están compuestas por platinas y ejes galvanizados, son antideslizantes por su eje entorchado el cual siempre será mayor al espesor de la platina. La unión entre platina y ejes se logra mediante un proceso de electrosoldado que garantiza la fusión en cada punto.

Espesor y ancho de la platina (mm)	Diámetros de Eje (mm)	Modelo	Dimensión	Peso Total de Rejilla (Kg)
2 x 30	6,0	30 x 30	1000 x 2000	46,80
3 x 30	6,0	30 x 60	1000 x 2000	55
3 x 30	6,0	30 x 100	1000 x 2000	50
4 x 30	6,0	30 x 60	1000 x 2000	65
4 x 30	6,0	30 x 100	1000 x 2000	62

Tomado del catálogo de "Acerimallas"

APÉNDICE F

Grafica para determinar el tamaño óptimo del recipiente



Tomado de "Megyesy, E. F. (1992). *Manual de recipientes a presión*"

APÉNDICE G

Verificación de espesor de la cabeza toriesférica

En el diseño de cabezas existen reglas para verificar si el espesor calculado con la Ecuación 2.15 es el adecuado, estas se aplican cuando la relación está en el siguiente rango:

$$\frac{t_r}{L} < 0,002$$

Con $t_r/L < 0,002$ cuando la temperatura máxima de diseño es menor o igual que la temperatura límite del metal empleado, se utilizan las siguientes reglas:

- Calcular un coeficiente C_1

$$C_1 = 9,31 \frac{r}{D} - 0,086, \text{ para } \frac{r}{D} \leq 0,08$$
$$C_1 = 0,692 \frac{r}{D} - 0,605, \text{ para } \frac{r}{D} > 0,08$$

- Calcular el esfuerzo elástico de pandeo, S_e

$$S_e = C_1 E_T (t_r/r)$$

- Calcular un coeficiente, C_2

$$C_2 = 1,25, \text{ para } r/D \leq 0,08$$
$$C_2 = 1,46 - \frac{2,6r}{D}, \text{ para } r/D > 0,08$$

- Calcular valores de constantes a , b , β , y ϕ

$$a = 0,5D - r$$

$$b = L - r$$

$$\beta = \arccos(a/b), \text{ radianes}$$

$$\phi = (\sqrt{Lt_r})/r, \text{ radianes}$$

- Calcular el valor de c .

Si ϕ es menor que β , entonces

$$c = a / [\cos(\beta - \phi)]$$

Si ϕ es igual o mayor que β , entonces

$$c = a$$

Determinar el valor de R_e

- Calcular el valor de la presión interna esperada para producir el pandeo elástico, P_e .

$$P_e = \frac{S_e t_r}{C_2 R_e [(0,5R_e / r) - 1]}$$

- Calcular el valor de la presión interna esperada para dar lugar al esfuerzo de fluencia en el punto de esfuerzo máximo, P_y .

$$P_y = \frac{S_y t_r}{C_2 R_e [(0,5R_e / r) - 1]}$$

- Calcular el valor de la presión interna esperada para dar lugar a la falla en el nudillo, P_{ck} .

$$P_{ck} = 0,6P_e, \text{ para } \frac{P_e}{P_y} \leq 1,0$$

$$P_{ck} = 0,408P_y + 0,192P_e, \text{ para } 1,0 < \frac{P_e}{P_y} \leq 8,29$$

$$P_{ck} = 2,0P_y, \text{ para } \frac{P_e}{P_y} > 8,29$$

- Calcular el valor de $P_{ck}/1,5$. Si $P_{ck}/1,5$ es igual o mayor que la presión interna de diseño requerida P entonces el diseño estará completo. Si $P_{ck}/1,5$ es menor que la presión interna de diseño requerida P entonces se incrementa el espesor y se repite los cálculos.

Con $t_r/L < 0,002$ cuando la temperatura máxima de diseño excede la temperatura límite del metal empleado el fabricante estará sujeto a la aceptación de los detalles de diseño y construcción proporcionados por el inspector que serán tan seguros como los previstos por la norma.

APÉNDICE H

Requisitos para registros de inspección

Como se indica en la parte UG46 (f) los recipientes que requieren de aberturas de acceso o inspección serán equipadas como sigue:

1. Todos los recipientes entre 12 y 18 pulg (300 y 450 mm) de diámetro interior tendrá al menos dos registros de manos (handholes) o dos aberturas con tubo roscado no menores que NPS 1 ½ (DN 40).
2. Todos los recipientes de 18 pulgadas (450 mm) a 36 pulg (900 mm) de diámetro interior tendrá un registro de hombre (manhole) o al menos dos registros de mano (handholes) o dos aberturas con tubos roscados no menores que NPS 2 (DN 50).
3. Todos los recipientes mayores que 36 pulg (900 mm) de diámetro interior tendrá un registro de hombre (manhole) no menor que 16 pulg (400 mm) de diámetro interior o dos registros de mano (handholes) de 4 x 6 pulgadas (100 mm x 150 mm).

Como se indica en la parte UG-46 (b-c-d-e) los recipientes que no requieren de registros de inspección son:

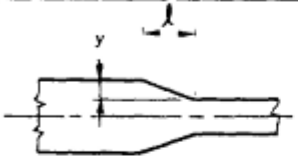
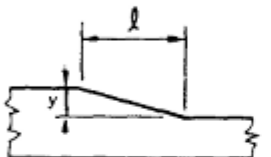
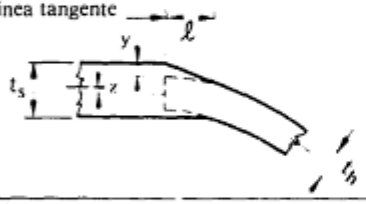
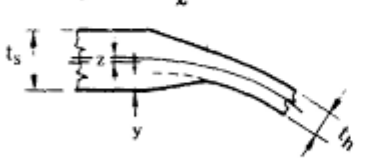
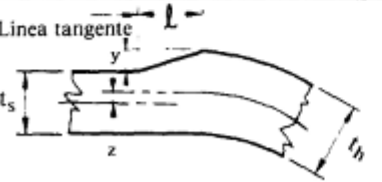
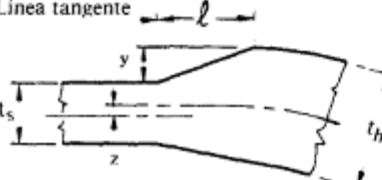
1. En recipientes de 12 pulg (300 mm) de diámetro o menores, si tienen por lo menos dos conexiones removibles no menores que NPS ¾ (DN 20).
2. En recipientes de más de 12 pulg (300 mm) pero menos de 16 pulg (400 mm) de diámetro interior que se van a instalar de manera que puedan desconectarse de un arreglo para permitir su inspección, si tienen por lo menos dos conexiones para tubo removibles no menores de 1 ½ (DN40).
3. En recipientes no mayores de 36 pulg (900 mm) de diámetro interior provistos de agujeros de aviso (como mínimo un agujero por cada 10 pies² (0.9m²)) que cumplan con las disposiciones de la norma UG-25, que están sometidos solo a corrosión y que no sean para uso con aire comprimido.
4. En recipientes de más de 12 pulg (300 mm) de diámetro interior sujetos a presión interna de aire que también contengan otras sustancias que impidan la corrosión, siempre que el recipiente tenga aberturas adecuadas por las que pueda hacerse convenientemente su inspección, y dichas aberturas sean equivalentes en cuanto a tamaño y número a las indicadas en UG-46 (f).

APÉNDICE I

PINTURA		
TABLA III, ESPECIFICACIONES PARA LA PREPARACION DE SUPERFICIES		
Referencia a la Tabla I	Titulo y objetivo	Número de especificación
1	LIMPIEZA CON DISOLVENTES Eliminación de aceite, grasa, mugre, tierra natural, sales y contaminantes con disolventes, emulsiones, compuestos para limpieza o vapor de agua.	SSPC-SP 1-63
2	LIMPIEZA CON HERRAMIENTAS DE MANO Eliminación de escamas de laminación sueltas, herrumbre y pintura sueltas cepillando, lijando, raspando o eliminando las rebabas a mano o con otras herramientas manuales de impacto, o por combinación de estos métodos.	SSPC-SP 2-63
3	LIMPIEZA CON MAQUINAS HERRAMIENTAS Eliminación de escamas de laminación sueltas, herrumbre y pintura sueltas con cepillos de alambre, herramientas de impacto, esmeriles y lijadoras mecánicas o por combinación de estos métodos.	SSPC-SP 3-63
4	LIMPIEZA A LA FLAMA DEL ACERO NUEVO Eliminación de escamas, herrumbre y otras materias extrañas perjudiciales por medio de llamas oxiacetilénicas de alta velocidad, seguida por la limpieza con cepillo de alambre.	SSPC-SP 4-63
5	LIMPIEZA A METAL BLANCO CON CHORRO A PRESION Eliminación de escamas de laminación, herrumbre, de oxidación, pintura o materia extraña por medio de chorro de arena, moyuelo o munición hasta obtener una superficie metálica de color uniforme blanco grisáceo.	SSPC-SP 5-63
6	LIMPIEZA COMERCIAL CON CHORRO A PRESION Eliminación completa de las escamas de laminación, herrumbre, escamas de oxidación, pintura o materia extraña, excepto las sombras, rayaduras o decoloraciones ligeras ocasionadas por la oxidación, el manchado, los óxidos de escamas de laminación y los residuos de pintura o recubrimientos que pueden quedar.	SSPC-SP 6-63
7	LIMPIEZA DE CEPILLADO PROFUNDO A CHORRO DE PRESION Eliminación de todos los residuos, excepto los de alto grado de adherencia de las escamas de laminación, herrumbre y pintura mediante el impacto de abrasivos. (Arena, moyuelo o munición).	SSPC-SP 7-63
8	LIMPIEZA QUIMICA Eliminación completa de las escamas de laminación, herrumbre y escamas de oxidación por reacción química, electrólisis, o por ambos procesos. La superficie debe quedar sin restos de ácido, álcali y lodos que no hayan reaccionado o sean perjudiciales.	SSPC-SP 8-63
10	LIMPIEZA A CHORRO HASTA LOGRAR UNA SUPERFICIE CASI BLANCA Eliminación de casi toda la escama de laminación, herrumbre, escamas de oxidación, pintura o materia extraña por medio de abrasivos (arena, moyuelo, munición). Pueden quedar las sombras, rayaduras o decoloraciones muy ligeras producidas por manchas de oxidación, óxidos de escamas de laminación o residuos ligeros muy adheridos de pintura o recubrimientos.	SSPC-SP 10-63T

Tomado de (Megyesy, 1992)

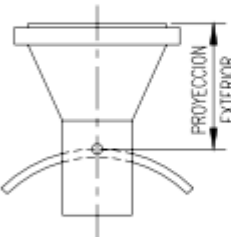
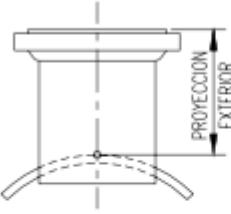
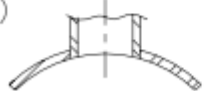
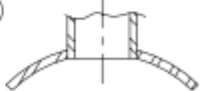
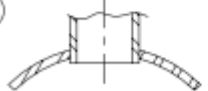
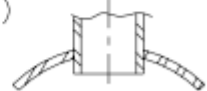
APÉNDICE J

JUNTAS SOLDADAS A TOPE DE PLACAS DE ESPESOR DESIGUAL	
<p>CUANDO SE UNEN PLACAS DE ESPESOR DESIGUAL CON SOLDADURA A TOPE, LA PLACA MAS GRUESA DEBERA ACHAFLANARSE SI LA DIFERENCIA DE ESPESOR ES MAYOR DE 1/8 DE PULG O DE LA CUARTA PARTE DE LA PLACA MAS DELICADA, NORMA UW-9(c), UW-13.</p> <p>LA LONGITUD DE LA TRANSICION ACHAFLANADA DEBERA SER COMO MINIMO DE TRES VECES EL DESPLAZAMIENTO QUE HAYA ENTRE LAS SUPERFICIES ADYACENTES. LA SOLDADURA PUEDE ESTAR PARCIAL O TOTALMENTE DENTRO DE LA SECCION ACHAFLANADA O ADYACENTE A ESTA.</p>	
	$l \geq 3y$
	$l \geq 3y$ Achaflanado por el interior o por el exterior del recipiente
<p>Línea tangente → l</p> 	UNIONES DE CABEZAS A CASCOS $l \geq 3y \quad z \geq 1/2 (t_s - t_h)$
<p>Línea tangente → l</p> 	El eje de la placa del casco puede estar a cualquier lado del eje de la placa de la cabeza.
<p>Línea tangente → l</p> 	UNIONES DE CABEZAS A CASCOS $l \geq 3y \quad z \geq 1/2 (t_h - t_s)$
<p>Línea tangente → l</p> 	Cuando t_h sea mayor que t_s , la longitud mínima de la brida recta es $3t_h$, pero necesita no ser mayor de 1 1/2 pulg., excepto cuando sea necesario para dar la longitud necesaria del chafán. Cuando t_h sea igual a o menor que $1.25 t_s$, la longitud de la brida recta será suficiente para cualquier achaflanado que se requiera. La línea de centros de la placa del casco puede estar a cualquier lado de la línea de centros de la placa de la cabeza.

Tomado de (Megyesy, 1992)

APÉNDICE K

Proyecciones mínimas recomendadas para boquillas

LAS TABLAS DAN PROYECCION EXTERIOR MINIMA DE BOQUILLAS, Y EN CASO NECESARIO DEBERA INCREMENTARSE LA PROYECCION, POR ESPESORES DE AISLAMIENTO Y PLACA DE REFUERZO (A CRITERIO DEL DISEÑADOR)								
PROYECCION EXTERIOR EN PULGADAS PARA BRIDAS WELDING NECK								
	DIAM. NOM. TUBO	RANGO DE PRESION DE LA BRIDA EN LBS.						
		150	300	600	900	1500	2500	
	2	6	6	6	6	8	8	8
	3	6	6	8	8	8	8	10
	4	6	8	8	8	8	8	12
	6	8	8	8	8	10	10	14
	8	8	8	8	10	10	12	16
	10	8	8	10	10	12	14	20
	12	8	8	10	10	12	16	22
	14	8	10	10	10	14	16	
	16	8	10	10	10	14	16	
	18	10	10	12	12	14	18	
	20	10	10	12	12	14	18	
	24	10	10	12	12	14	20	
PROYECCION EXTERIOR EN PULGADAS PARA BRIDAS {SLIP-ON {LAP-JOINT								
	DIAM. NOM. TUBO	RANGO DE PRESION DE LA BRIDA EN LBS.						
		150	300	600	900	1500	2500	
	2	6	6	6	6	8	8	8
	3	6	6	6	8	8	8	10
	4	6	8	8	8	8	10	10
	6	8	8	8	8	10	12	12
	8	8	8	8	10	10	12	12
	10	8	8	10	10	12	12	14
	12	8	10	10	10	12	12	16
	14	10	10	10	10	12		
	16	10	10	10	12	12		
	18	10	10	12	12	12		
	20	10	10	12	12	12		
	24	10	12	12	12	12		
PROYECCION INTERIOR								
a)		b)		c)		d)		
	CORTE AL RAS DEL TUBO A LA CURVATURA DEL RECIPIENTE		CORTE RECTO A LA CURVATURA		PROYECCION MINIMA PARA SOLDADURA		PROYECCION PARA REFUERZO U OTRO PROPOSITO	

Tomada de (Estrada, 2001)

APÉNDICE L

Tubos cedulaados, (VEMACERO)



**TUBERIA DE ACERO AL CARBONO
ASTM A53 / A106
Area de La Superficie del Tubo**

Diámetro Nominal NPS DN		Diámetro Exterior Real		Espesor de Pared		Identificación		Peso del Tubo		Área de La Superficie Exterior en mt2 por metro lineal de tubería
Pulgadas in.	Milímetros mm.	(in.)	mm.	Pulgadas (in.)	Milímetros (mm.)	Weight Class	Schedule	lb/pie	kg/m	
1/2	15	0.840	21.3	0.109	2.77	STD	40	0.85	1.27	
				0.147	3.73	XS	80	1.09	1.62	
3/4	20	1.050	26.7	0.113	2.87	STD	40	1.13	1.69	0.084
				0.154	3.91	XS	80	1.47	2.20	
1	25	1.315	33.4	0.133	3.38	STD	40	1.68	2.50	0.105
				0.179	4.55	XS	80	2.17	3.24	
1-1/4	32	1.660	42.2	0.140	3.56	STD	40	2.27	3.39	0.132
				0.191	4.85	XS	80	3.00	4.47	
1-1/2	40	1.900	48.3	0.145	3.68	STD	40	2.72	4.05	0.152
				0.200	5.08	XS	80	3.63	5.41	
2	50	2.375	60.3	0.154	3.91	STD	40	3.65	5.44	0.190
				0.218	5.54	XS	80	5.02	7.48	
2-1/2	65	2.875	73.03	0.203	5.16	STD	40	5.79	8.63	0.229
				0.276	7.01	XS	80	7.66	11.41	
				0.375	9.52	-	160	-	-	
				0.552	14.02	XXS	-	-	-	
3	80	3.500	88.90	0.125	3.18	-	-	4.51	6.72	0.279
				0.156	3.96	-	-	5.57	8.29	
				0.188	4.78	-	-	6.65	9.92	
				0.216	5.49	STD	40	7.58	11.29	
				0.250	6.35	-	-	8.68	12.93	
				0.281	7.14	-	-	9.66	14.40	
4	100	4.500	114.30	0.125	3.18	-	-	5.84	8.71	0.359
				0.156	3.96	-	-	7.24	10.78	
				0.188	4.78	-	-	8.66	12.91	
				0.219	5.56	-	-	10.01	14.91	
				0.237	6.02	STD	40	10.79	16.07	
				0.250	6.35	-	-	11.35	16.90	
				0.281	7.14	-	-	12.66	18.87	
				0.312	7.92	-	-	13.98	20.78	
				0.337	8.56	XS	80	14.98	22.32	
				0.438	11.13	-	120	19.00	28.32	
				0.531	13.49	-	160	22.51	33.54	
5	125	5.563	141.29	0.188	4.78	-	-	10.79	16.09	0.444
				0.219	5.56	-	-	12.50	18.61	
				0.258	6.55	STD	40	14.62	21.77	
				0.281	7.14	-	-	15.85	23.62	
				0.312	7.92	-	-	17.50	26.05	
				0.344	8.74	-	-	19.17	28.57	
6	150	6.625	168.28	0.188	4.78	-	-	12.92	19.27	0.529
				0.219	5.56	-	-	14.98	22.31	
				0.250	6.35	-	-	17.02	25.36	
				0.280	7.11	STD	40	18.97	28.26	
				0.312	7.92	-	-	21.04	31.32	
				0.344	8.74	-	-	23.08	34.39	
				0.375	9.52	-	-	25.02	37.28	
				0.432	10.97	XS	80	28.57	42.56	
				0.562	14.27	-	120	36.39	54.20	
				0.719	18.26	-	160	45.35	67.56	
0.864	21.95	XXS	-	53.16	79.22					

Diámetro Nominal NPS DN		Diámetro Exterior Real		Espesor de Pared		Identificación		Peso del Tubo		Área de La Superficie Exterior en m ² por metro lineal de tubería
Pulgadas in.	Milímetros mm.	(in.)	mm.	Pulgadas (in.)	Milímetros (mm.)	Weight Class	Schedule	lb/pie	kg/m	
8	200	8.625	219.08	0.188	4.78	-	-	16.94	25.26	
				0.203	5.16	-	-	18.26	27.22	
				0.219	5.56	-	-	19.66	29.28	
				0.250	6.35	-	20	22.36	33.31	
				0.277	7.04	-	30	24.70	36.81	
				0.312	7.92	-	-	27.70	41.24	
				0.322	8.18	STD	40	28.55	42.55	
				0.344	8.74	-	-	30.42	45.34	
				0.375	9.52	-	-	33.04	49.20	
				0.406	10.31	-	60	35.64	53.08	
				0.438	11.13	-	-	38.30	57.08	
				0.500	12.70	XS	80	43.39	64.64	
				0.594	15.09	-	100	50.95	75.92	
				0.719	18.26	-	120	60.71	90.44	
				0.812	20.62	-	140	67.76	100.92	
0.875	22.22	XXS	-	72.42	107.88					
0.906	23.01	-	160	74.69	111.27					
10	250	10.750	273.05	0.188	4.78	-	-	21.21	31.62	0.858
				0.203	5.16	-	-	22.87	34.08	
				0.219	5.56	-	-	24.63	36.67	
				0.250	6.35	-	20	28.04	41.75	
				0.279	7.09	-	-	31.20	46.49	
				0.307	7.80	-	30	34.24	51.01	
				0.344	8.74	-	-	38.23	56.96	
				0.365	9.27	STD	40	40.48	60.29	
				0.438	11.13	-	-	48.19	71.87	
				0.500	12.70	XS	60	54.71	81.52	
				0.594	15.09	-	80	64.43	95.97	
				0.719	18.26	-	100	77.03	114.70	
				0.844	21.44	-	120	89.29	133.00	
				1.000	25.40	XXS	140	104.13	155.09	
				1.125	28.57	-	160	115.65	172.21	
12	300	12.750	323.85	0.203	5.16	-	-	27.20	40.55	1.017
				0.219	5.56	-	-	29.31	43.63	
				0.250	6.35	-	20	33.38	49.71	
				0.281	7.14	-	-	37.42	55.75	
				0.312	7.92	-	-	41.45	61.69	
				0.330	8.38	-	30	43.77	65.18	
				0.344	8.74	-	-	45.58	67.90	
				0.375	9.52	STD	-	49.52	73.78	
				0.406	10.31	-	40	53.52	79.70	
				0.438	11.13	-	-	57.59	85.82	
				0.500	12.70	XS	-	65.42	97.43	
				0.562	14.27	-	60	73.15	108.92	
				0.688	17.28	-	80	88.63	132.04	
				0.844	21.44	-	100	107.32	159.86	
				1.000	25.40	XXS	120	125.49	186.91	
1.125	28.57	-	140	139.68	208.00					
1.312	33.32	-	160	160.27	238.68					

Diámetro Nominal NPS DN		Diámetro Exterior Real		Espesor de Pared		Identificación		Peso del Tubo		Área de La Superficie Exterior en mt2 por metro lineal de tubería
Pulgadas in.	Milímetros mm.	(in.)	mm.	Pulgadas (in.)	Milímetros (mm.)	Weight Class	Schedule	lb/pie	kg/m	
14	350	14.00	355.60	0.250	6.35	-	10	36.71	54.69	
				0.281	7.14	-	-	41.17	61.35	
				0.312	7.92	-	20	45.61	67.90	
				0.344	8.74	-	-	50.17	74.76	
				0.375	9.52	STD	30	54.57	81.25	
				0.438	11.13	-	40	63.44	94.55	
				0.469	11.91	-	-	67.78	100.94	
0.500	12.70	XS	-	72.09	107.39					
16	400	16.00	406.40	0.250	6.35	-	10	42.05	62.64	1.277
				0.281	7.14	-	-	47.17	70.30	
				0.312	7.92	-	20	52.27	77.83	
				0.344	8.74	-	-	57.52	85.71	
				0.375	9.52	STD	30	62.58	93.17	
				0.438	11.13	-	-	72.80	108.49	
				0.469	11.91	-	-	77.79	115.86	
0.500	12.70	XS	40	82.77	123.30					
18	450	18.000	457.20	0.250	6.35	-	10	47.39	70.60	1.436
				0.281	7.14	-	-	53.18	79.24	
				0.312	7.92	-	20	58.94	87.75	
				0.344	8.74	-	-	64.87	96.66	
				0.375	9.52	STD	-	70.59	105.10	
				0.406	10.31	-	-	76.29	113.62	
				0.438	11.13	-	30	82.15	122.43	
				0.469	11.91	-	-	87.81	130.78	
0.500	12.70	XS	-	93.45	139.20					
20	500	20.000	508.00	0.250	6.35	-	10	52.73	78.55	1.596
				0.281	7.14	-	-	59.18	88.19	
				0.312	7.92	-	-	65.60	97.67	
				0.344	8.74	-	-	72.21	107.60	
				0.375	9.52	STD	20	78.60	117.02	
				0.406	10.31	-	-	84.96	126.53	
				0.438	11.13	-	-	91.51	136.37	
				0.469	11.91	-	-	97.83	145.70	
0.500	12.70	XS	30	104.13	155.12					
24	600	24.000	609.60	0.250	6.35	-	10	63.41	94.46	1.915
				0.281	7.14	-	-	71.18	106.08	
				0.312	7.92	-	-	78.93	117.51	
				0.344	8.74	-	-	86.91	129.50	
				0.375	9.52	STD	20	94.62	140.88	
				0.406	10.31	-	-	102.31	152.37	
				0.438	11.13	-	-	110.22	164.26	
				0.469	11.91	-	-	117.86	175.54	
				0.500	12.70	XS	-	125.49	186.94	
0.562	14.27	-	30	140.68	209.50					

Tolerancias dimensionales:

Espesor: $\pm 12,5\%$ de espesor nominal en cualquier punto del tubo.

Peso: $\pm 10\%$ del paquete de tubos con diámetro menor o igual a 4" (114,3mm) o tubos individuales con diámetro nominal mayor a 4" (114,3mm)

Diámetro externo: Para diámetros menores o iguales a 1-1/2" (48,3mm) $+0,016$ pulg (+0,40mm)

Para diámetros mayores o iguales a 2" (60,3mm): $\pm 1\%$

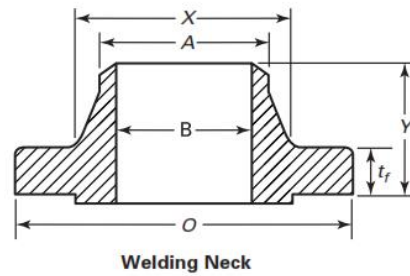
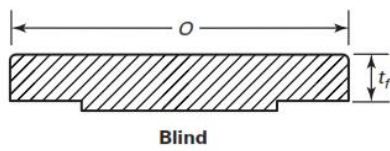
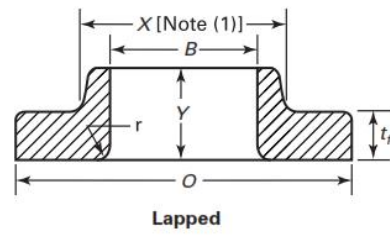
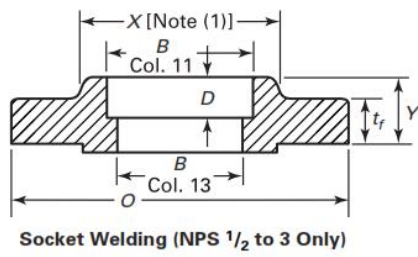
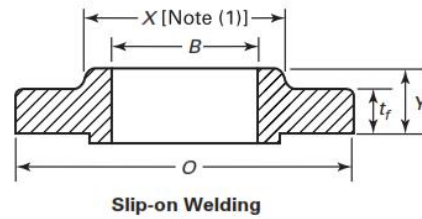
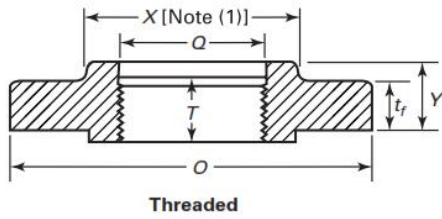
Tomada del catálogo de VEMACERO

APÉNDICE M

Dimensiones de bridas clase 150

ASME B16.5-2003

PIPE FLANGES AND FLANGED FITTINGS



Tomada de ANSI B16.5-2003

Table 8 Dimensions of Class 150 Flanges (Cont'd)

Nominal Pipe Size NPS	Outside Diameter of Flange, O	Thickness of Flange, t_f Min., [Notes (2)-(4)]	Thickness of Lap Joint Min., ϕ	Diameter of Hub, X	Chamfer Welding Neck, A [Note (5)]	Length Through Hub				Bore			Corner Radius of Bore of Lapped Flange and of Pipe, r	Depth of Socket, D
						Threaded/Slip-on/Socket Welding, Y	Lapped, Y	Welding Neck, Y	Thread Length Threaded Min., T [Note (6)]	Slip-on/Socket Welding, Min., B	Lapped Min., B	Welding Neck/Socket Welding, B [Note (7)]		
1/2	90	9.6	11.2	30	21.3	14	16	46	16	22.2	22.9	15.8	3	10
3/4	100	11.2	12.7	38	26.7	14	16	51	16	27.7	28.2	20.9	3	11
1	110	12.7	14.3	49	33.4	16	17	54	17	34.5	34.9	26.6	3	13
1 1/4	115	14.3	15.9	59	42.2	19	21	56	21	43.2	43.7	35.1	5	14
1 1/2	125	15.9	17.5	65	48.3	21	22	60	22	49.5	50.0	40.9	6	16
2	150	17.5	19.1	78	60.3	24	25	62	25	61.9	62.5	52.5	8	17
2 1/2	180	20.7	22.3	90	73.0	27	29	68	29	74.6	75.4	62.7	8	19
3	190	22.3	23.9	108	88.9	29	30	68	30	90.7	91.4	77.9	10	21
3 1/2	215	22.3	23.9	122	101.6	30	32	70	32	103.4	104.1	90.1	10	...
4	230	22.3	23.9	135	114.3	32	33	75	33	116.1	116.8	102.3	11	...
5	255	22.3	23.9	164	141.3	35	36	87	36	143.8	144.4	128.2	11	...
6	280	23.9	25.4	192	168.3	38	40	87	40	170.7	171.4	154.1	13	...
8	345	27.0	28.6	246	219.1	43	44	100	44	221.5	222.2	202.7	13	...
10	405	28.6	30.2	305	273.0	48	49	100	49	276.2	277.4	254.6	13	...
12	485	30.2	31.8	365	323.8	54	56	113	56	327.0	328.2	304.8	13	...
14	535	33.4	35.0	400	355.6	56	79	125	57	359.2	360.2	To be	13	...
16	595	35.0	36.6	457	406.4	62	87	125	64	410.5	411.2	Specified	13	...
18	635	38.1	39.7	505	457.0	67	97	138	68	461.8	462.3	by	13	...
20	700	41.3	42.9	559	508.0	71	103	143	73	513.1	514.4	Pur-	13	...
24	815	46.1	47.7	663	610.0	81	111	151	83	616.0	616.0	chaser	13	...

Tomada de ANSI B16.5-2003

APÉNDICE N

Mapa para diseño sísmico del Ecuador

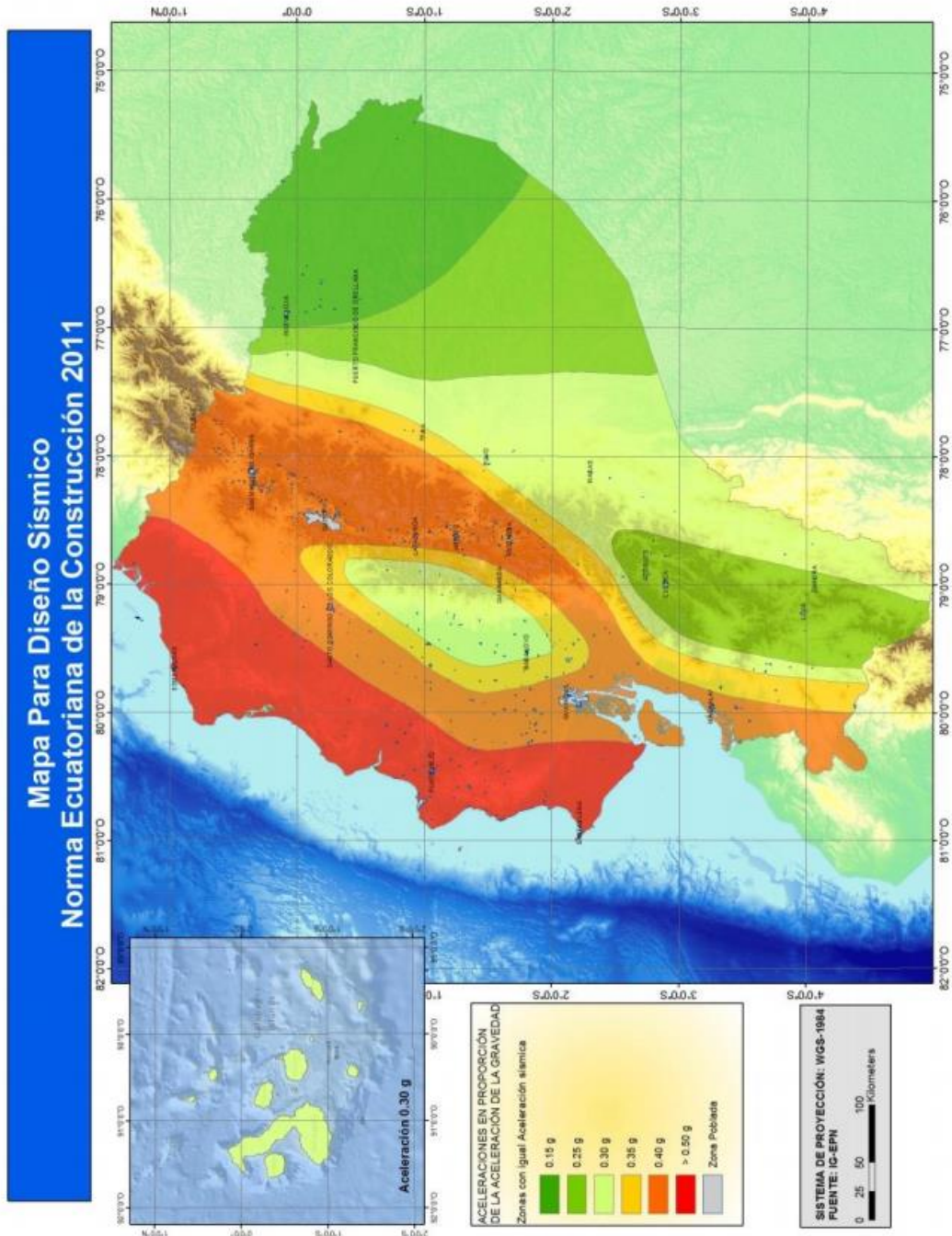


Figura N-1. Ecuador, zonas sísmicas para propósitos de diseño y valor del factor Z

Tomado de la norma ecuatoriana de construcción –NEC>Cargas Sísmicas Diseño sísmo resistente.

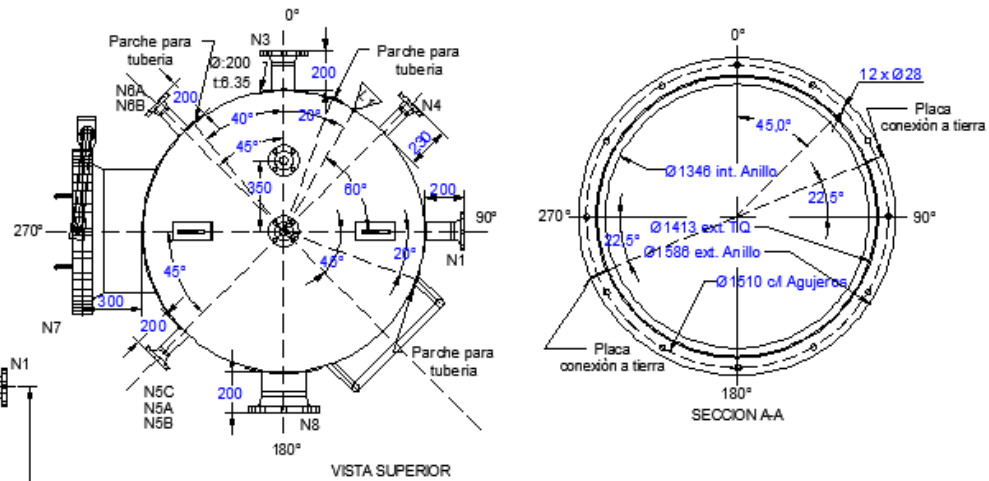
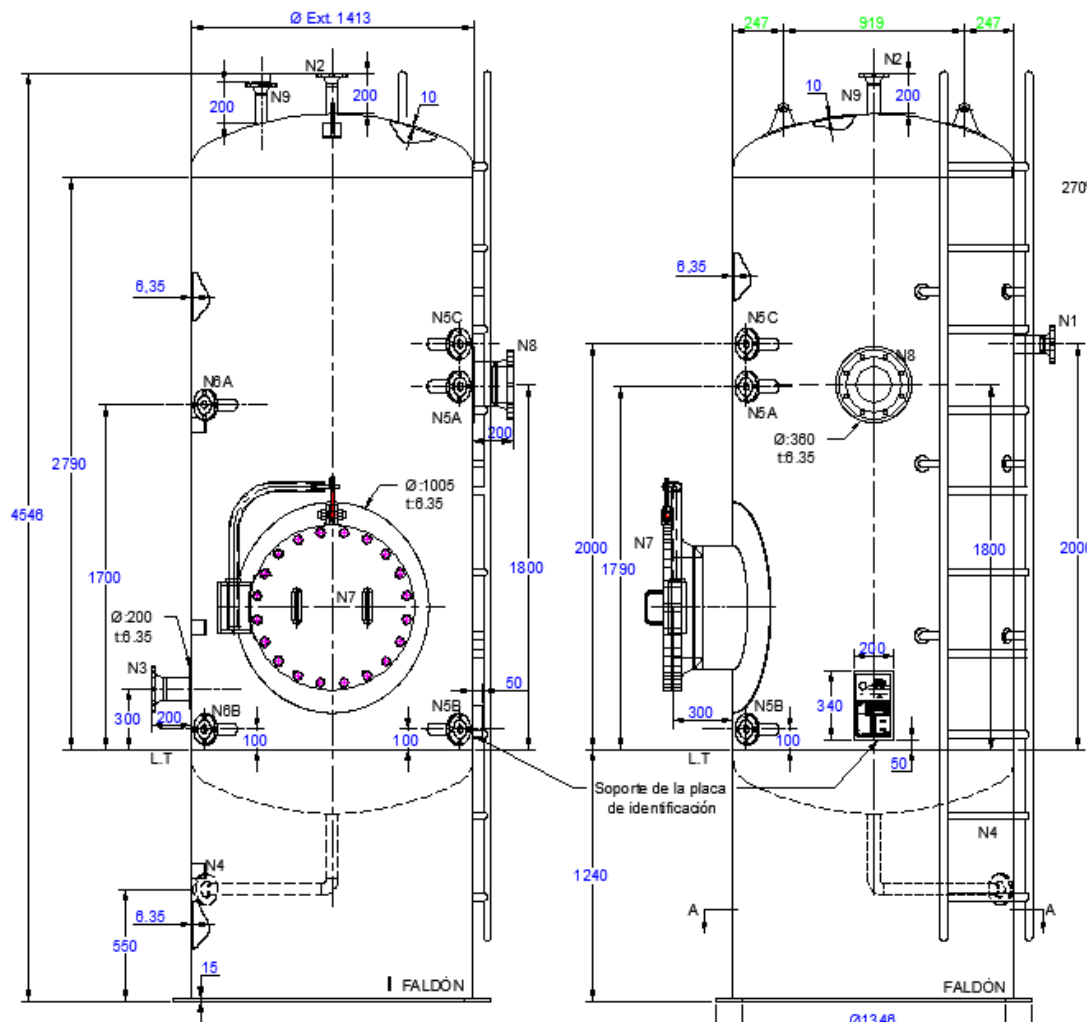
www.habitatyvivienda.gob.ec/wpcontent/uploads/downloads/2014/08/NEC-SE-DS.pdf

APÉNDICE I

PLANOS

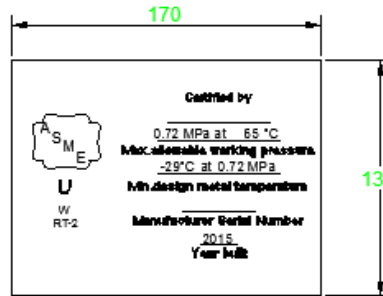
LISTADO DE PLANOS

DESCRIPCIÓN	PLANO N°
Detalles generales	P1
Cabeza toriesférica	P2
Placas de identificación del tanque hidroneumático	P3
Despiece del tanque	P4
Conexiones bridadas	P5
Fabricación del tanque	P6
Fabricación de la escalera	P7
Ubicación de refuerzos de las aberturas	P8
Fabricación de plataforma de mantenimiento	P9
Fabricación de pasamanos	P10
Fabricación manhole tipo davit	P11
Corte de plancha ASTM A-516 Gr. 70	P12
Corte de faldón	P13
Corte del anillo del faldón	P14



PESOS		PESO VACIO		2140.23 KG						
		PESO LLENO CON AGUA		6821.99 KG						
N9	VALVULA DE SEGURIDAD	1	2	180	150	WN	RF	0°, 350 DESDE CL	200	
N8	HND HOLE CON BRIDA CIEGA	1	8	20	150	WN	RF	180°	200	
N7	MANHOLE CON DAWY Y BRIDA CIEGA	1	24	20	150	WN	RF	270°	300	
NS4B	TOM A PARA TRANSMISOR DE NIVEL	2	2	180	150	WN	RF	270°	200	
NSC	TOM A PARA MEDIDOR DE NIVEL (LG)	1	2	180	150	WN	RF	225°	200	
NS4B	TOM A PARA MEDIDOR DE NIVEL (LG)	2	2	180	150	WN	RF	225°	200	
N4	DRENAJE	1	2	180	150	WN	RF	45°	230	
N3	SALIDA DE LIQUIDO	1	4	80	150	WN	RF	0°	200	
N2	ENTRADA DE AIRE DE PRESURIZACION	1	2	180	150	WN	RF	CL	200	
N1	ENTRADA DE LIQUIDO	1	3	180	150	WN	RF	90°	200	
No.	SERVICIO	CANT	NPS	CECULA	CLASS	TIPO	GARA	FACE	LUGAR	PROYECCION

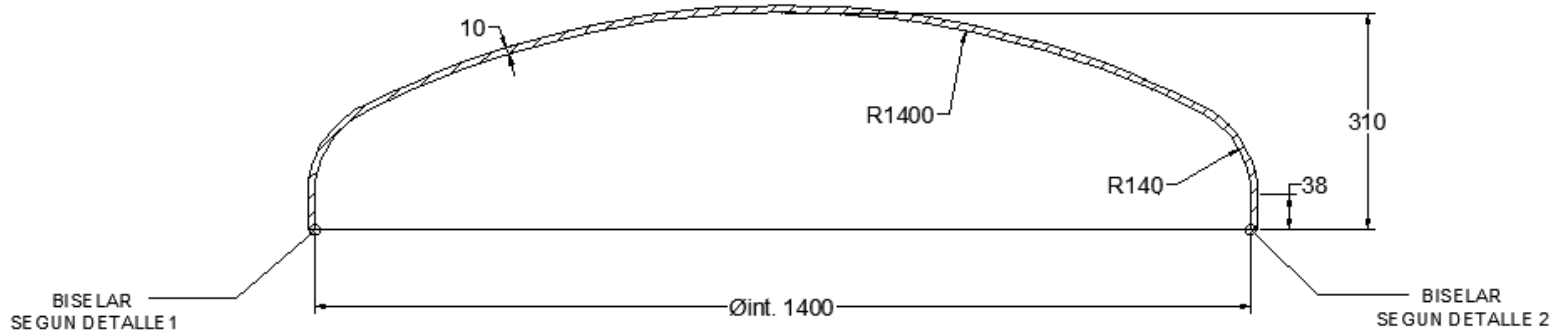
Notas:
 Soldadura longitudinal
 Soldadura circunferencial



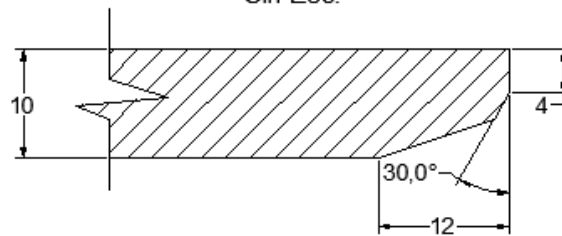
<h1>FIMCP-ESPOL</h1>		N°:
		FECHA:
PROYECTO:	TANQUE HIDRONEUMATICO PARA AGUA POTABLE	ESCALA: INDICADA
OBRA:	TANQUE HIDRONEUMATICO	
CONTIENE:	PLANO GENERAL DE DETALLES	PLANO N°: <h2>P-1</h2>
ELABORADO POR:	D.ZAMORA	
REVISADO POR:		
APROBADO POR:		
FECHA DE APROBACION:		HOJAS N°: 1

DETALLE 1
(PLACA DE IDENTIFICACION)

TH2T, TH2B
Escala 1:8



DETALLE 2
Sin Esc.



FIMCP-ESPOL

PROYECTO : TANQUE HIDRONEUMATICO PARA AGUA POTABLE

OBRA : TANQUE HIDRONEUMATICO V-1

CONTIENE : CABEZA TORI ESFERICA

N° : 0

FECHA :

ESCALA :
INDICADA

ELABORADO POR : D.ZAMORA

REVISADO POR :

APROBADO POR :

FECHA DE
APROBACION :

FECHA :

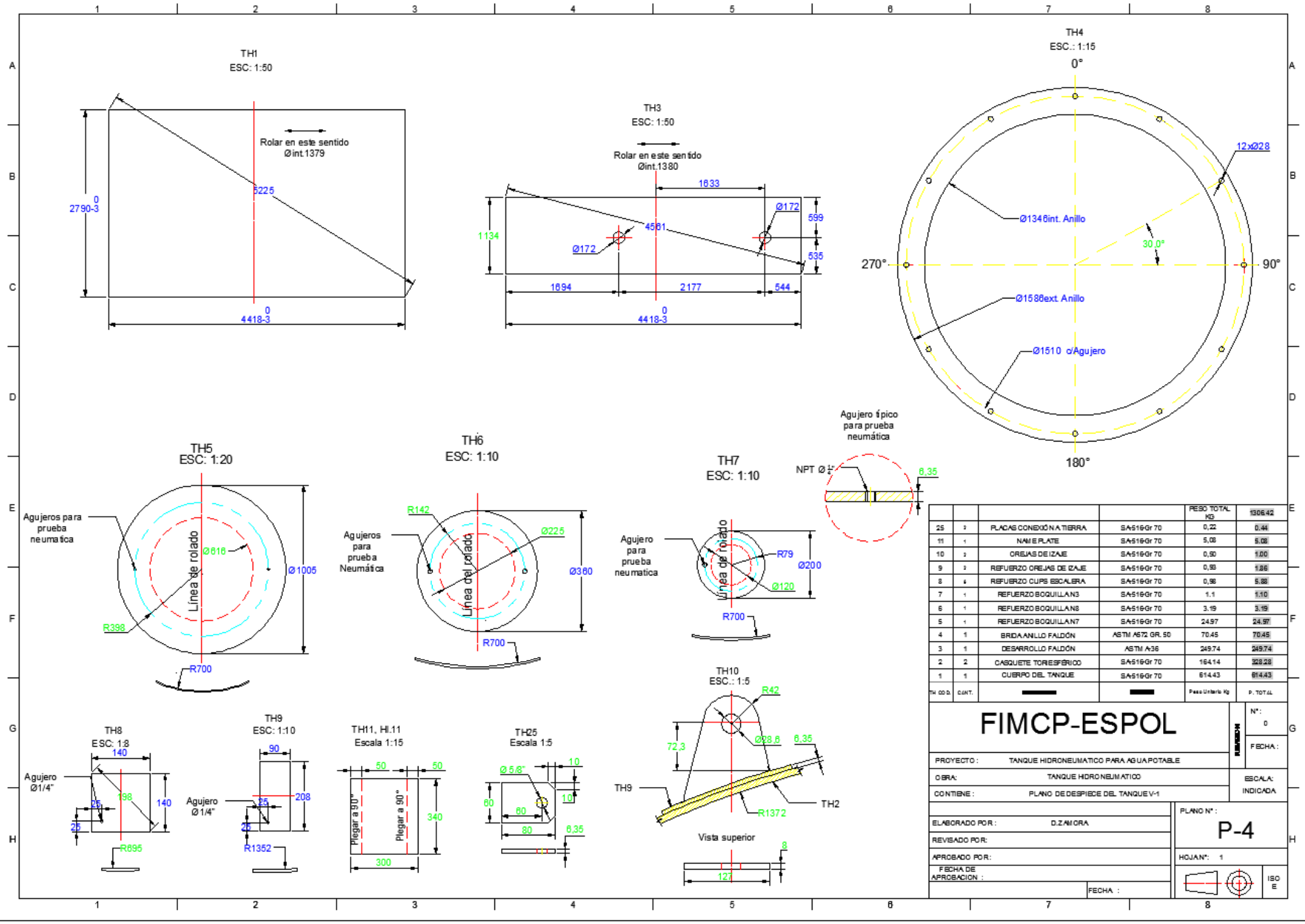
PLANO N° :

P-2

HOJA N° : 1



ISO
E



				PESO TOTAL KG	1306.42
25	2	PLACAS CONEXIÓN A TIERRA	SA516Gr 70	0.22	0.44
11	1	NAME PLATE	SA516Gr 70	5.08	5.08
10	2	OREJAS DE IZAJE	SA516Gr 70	0.30	1.00
9	2	REFUERZO OREJAS DE IZAJE	SA516Gr 70	0.35	1.86
8	4	REFUERZO CURS ESCALERA	SA516Gr 70	0.36	5.88
7	1	REFUERZO BOQUILLAN3	SA516Gr 70	1.1	1.10
6	1	REFUERZO BOQUILLAN6	SA516Gr 70	3.19	3.19
5	1	REFUERZO BOQUILLAN7	SA516Gr 70	24.97	24.97
4	1	BRIDA ANILLO FALDÓN	ASTM A572 GR. 50	70.45	70.45
3	1	DESARROLLO FALDÓN	ASTM A36	249.74	249.74
2	2	CASQUETE TORRESFERICO	SA516Gr 70	164.14	328.28
1	1	CUBRO DEL TANQUE	SA516Gr 70	514.43	514.43
TH 001	CANT.			Peso Unitario Kg	P. TOTAL

FIMCP-ESPOL

Nº: 0
FECHA:

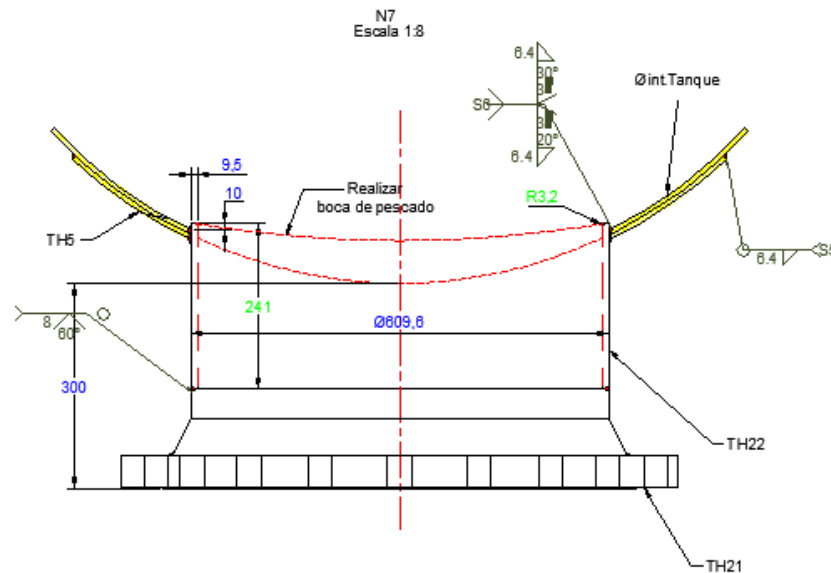
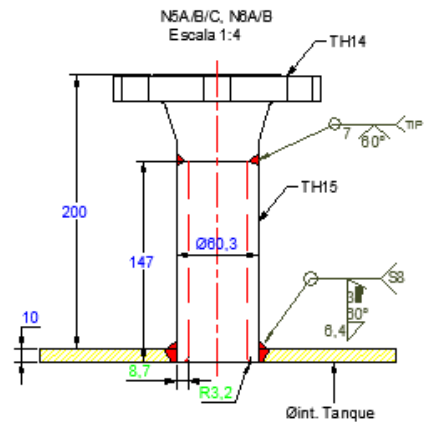
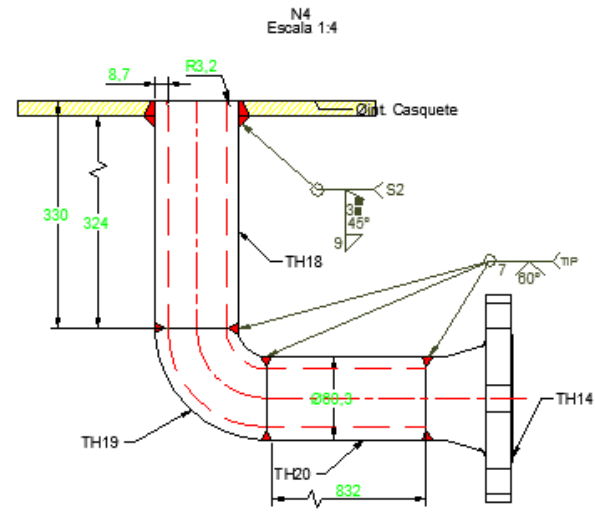
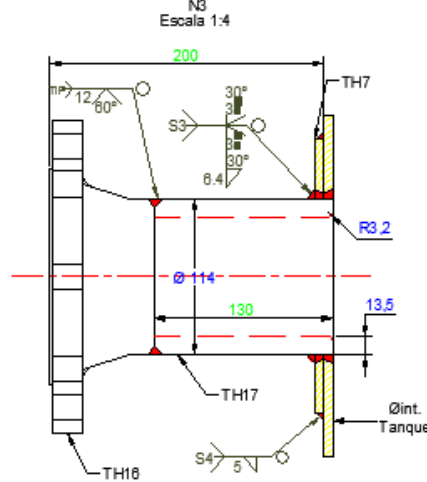
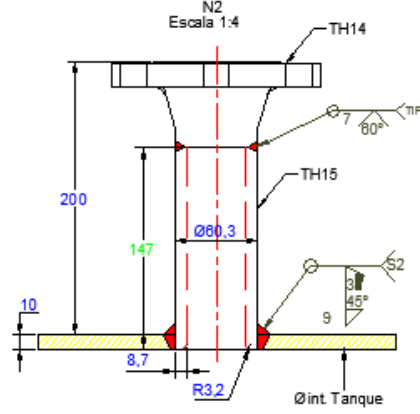
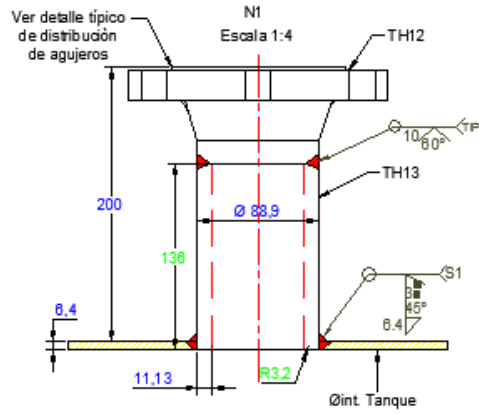
PROYECTO: TANQUE HIDRONEUMÁTICO PARA AGUA POTABLE
OBRA: TANQUE HIDRONEUMÁTICO
CONTIENE: PLANO DE DESPIECE DEL TANQUE V-1

ELABORADO POR: D.ZAMORA
REVISADO POR:
APROBADO POR:
FECHA DE APROBACIÓN:

PLANO Nº: **P-4**
HOJANº: 1

FECHA: ISO E

DETALLE GENERAL DE SOLDADURA DE BOQUILLAS DE TANQUE HIDRONEUMATICO



				PESO TOTAL	280.58
				KG	
7	22	1	Tubo D=24 pulg- Sch 20L= 242 mm	SA-106-Gr B	34.15
	21	1	Bride WN-RF- 24 pulg-Clase 150	SA-105	157.50
	5	1	Refuerzo boquilla D:100mm	SA-516-Gr 70	-
409	15	3	Tubo D=2 pulg- Sch 160L= 147 mm	SA-106-Gr B	1.87
	14	3	Bride WN-RF- 2 pulg-Clase 150	SA-105	2.80
	15a	1	Bride BL-RF- 2 pulg-Clase 150	SA-105	2.80
10	15	1	Tubo D=2 pulg- Sch 160L= 147 mm	SA-106-Gr B	1.87
	14	1	Bride WN-RF- 2 pulg-Clase 150	SA-105	2.80
409	15	3	Tubo D=2 pulg- Sch 160L= 147 mm	SA-106-Gr B	1.87
	14	3	Bride WN-RF- 2 pulg-Clase 150	SA-105	2.80
	20	1	Tubo D=2 pulg- Sch 160L= 832 mm	SA-106-Gr B	9.23
	19	1	Codo 90° D=2 pulg- Sch 160	SA-234 WPB	0.95
4	18	1	Tubo D=2 pulg- Sch 160L= 334 mm	SA-106-Gr B	1.87
	14	1	Bride WN-RF- 2 pulg-Clase 150	SA-105	2.80
	17	1	Tubo D=4 pulg- Sch 80L= 1204 mm	SA-106-Gr B	4.37
4	16	1	Bride WN-RF- 4 pulg-Clase 150	SA-105	7.40
	7	1	Refuerzo boquilla D:200mm	SA-516-Gr 70	-
3	15	1	Tubo D=2 pulg- Sch 160L= 147 mm	SA-106-Gr B	1.87
	14	1	Bride WN-RF- 2 pulg-Clase 150	SA-105	2.80
	13	1	Tubo D=3 pulg- Sch 160L= 136 mm	SA-106-Gr B	2.90
1	12	1	Bride WN-RF- 3 pulg-Clase 150	SA-105	5.20
N	TH	QUNT.			Peso Utilario Kg
					P. TOTAL

FIMCP-ESPOL

PROYECTO: TANQUE HIDRONEUMATICO PARA AGUA POTABLE

OBRA: TANQUE HIDRONEUMATICO

CONTIENE: PLANO DE CONEXIONES BRIDADAS TANQUEV-1

ELABORADO POR: D.ZAMORA

REVISADO POR:

APROBADO POR:

FECHA DE APROBACION:

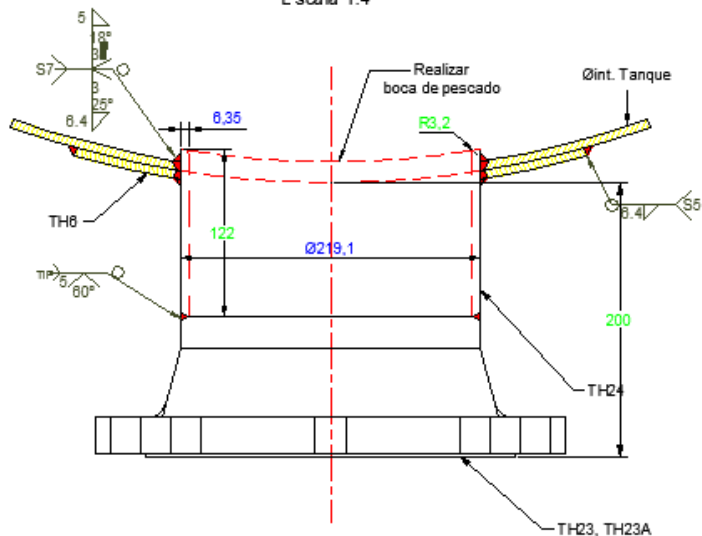
PLANO N°: **P-5**

HOJA N°: 1/2

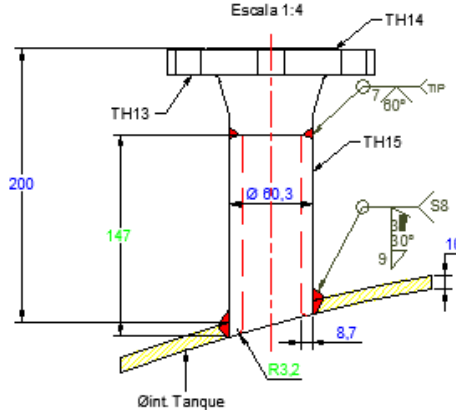
FECHA:

ISO E

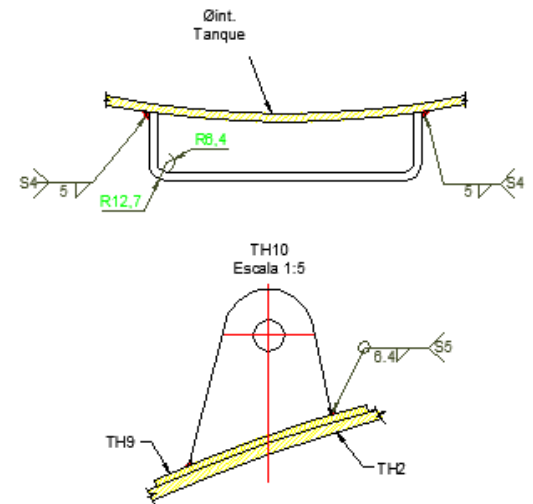
N8
Escala 1:4



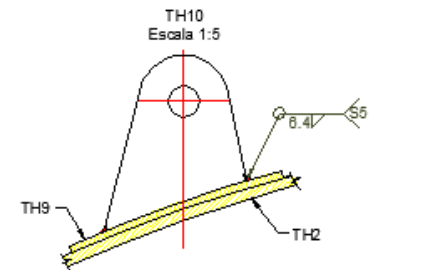
N9
Escala 1:4



TH11
Escala 1:4

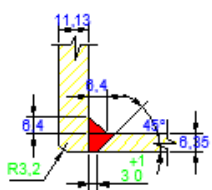


TH10
Escala 1:5

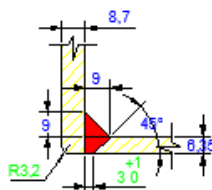


DETALLES DE SOLDADURA DEL CUERPO
ESCALA 1:2

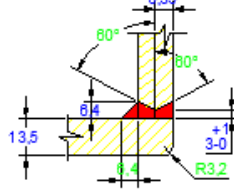
S1-WPS-FCAW-E71T1



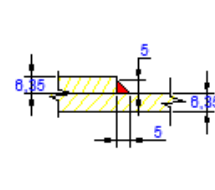
S2-WPS-FCAW-E71T1



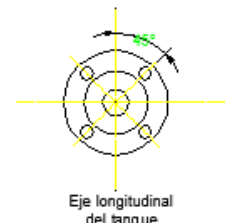
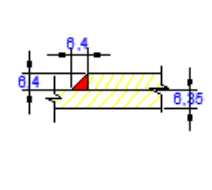
S3-WPS-FCAW-E71T1



S4-WPS-FCAW-E71T1



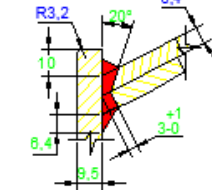
S5-WPS-FCAW-E71T1



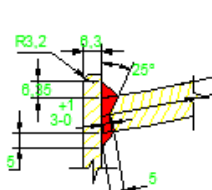
Detalle típico de distribución de agujeros de bridas

Eje longitudinal del tanque

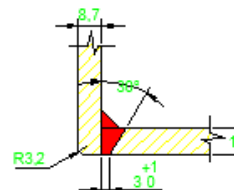
S6-WPS-FCAW-E71T1



S7-WPS-FCAW-E71T1



S8-WPS-FCAW-E71T1



DETALLE TÍPICO DE UNION BRIDA/BOQUILLA

Conexiones	r (mm)	a (mm)	e (mm)	h (mm)	Cédula
N1	3	1.8	11.13	10	180
N2	3	1.8	8.70	7	180
N3	3	1.8	13.50	12	180
N4 N5A/B/C; N8A/B; N9	3	1.8	8.74	7	180
N8	3	1.8	6.35	5	20

#	DESCRIPCIÓN	ESPECIFICACIONES	PESO TOTAL KG	SEAD	
13	1	Tubo D=2 pulg. Sch 160-L= 147 mm	SA-106Gr B	1.80	1.80
14	1	Bride WHRF- 2 pulg-Class 150	SA-106	2.80	2.80
24	1	Tubo D=8 pulg. Sch 20-L= 122 mm	SA-106Gr B	4.00	4.00
23a	1	Bride tipo SL-Cara FF- 5 pulg-Class 150	SA-106	20.00	21.00
23	1	Bride WHRF- 5 pulg-Class 150	SA-106	20.00	20.00
6	1	Refuerzo boquilla Ø380 mm	SA-516 Gr. 70	5.00	5.00
N	TH	CANT.		Peso Unitario Kg	P. TOTAL

FIMCP-ESPOL

N°:
FECHA:

PROYECTO: TANQUE HIDRONEUMÁTICO PARA AGUA POTABLE
 OBRA: TANQUE HIDRONEUMÁTICO
 CONTIENE: PLANO DE CONEXIONES BRIDADAS TANQUE V-1

ESCALA:
INDICADA

ELABORADO POR: D.ZAMORA
 REVISADO POR:
 APROBADO POR:
 FECHA DE APROBACION:

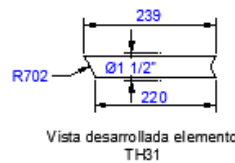
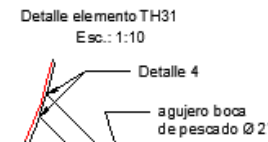
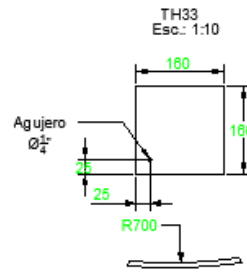
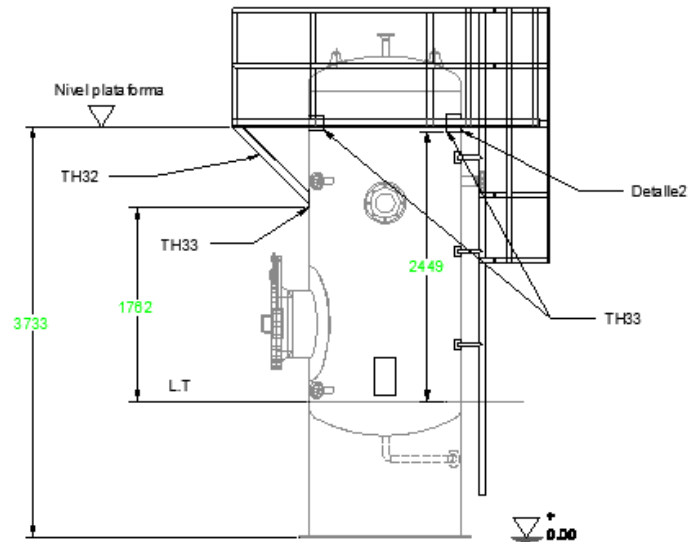
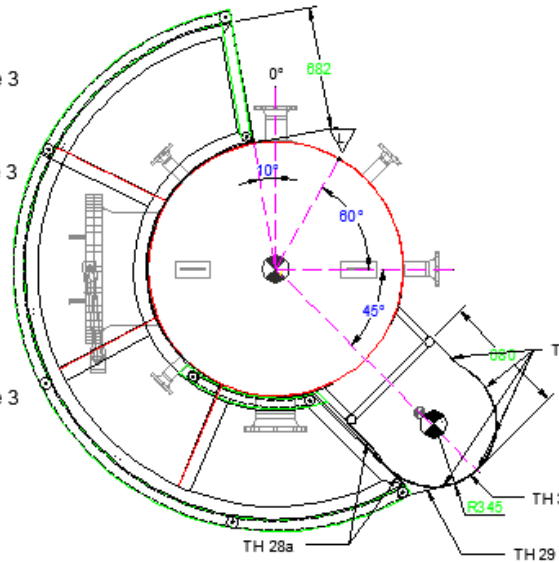
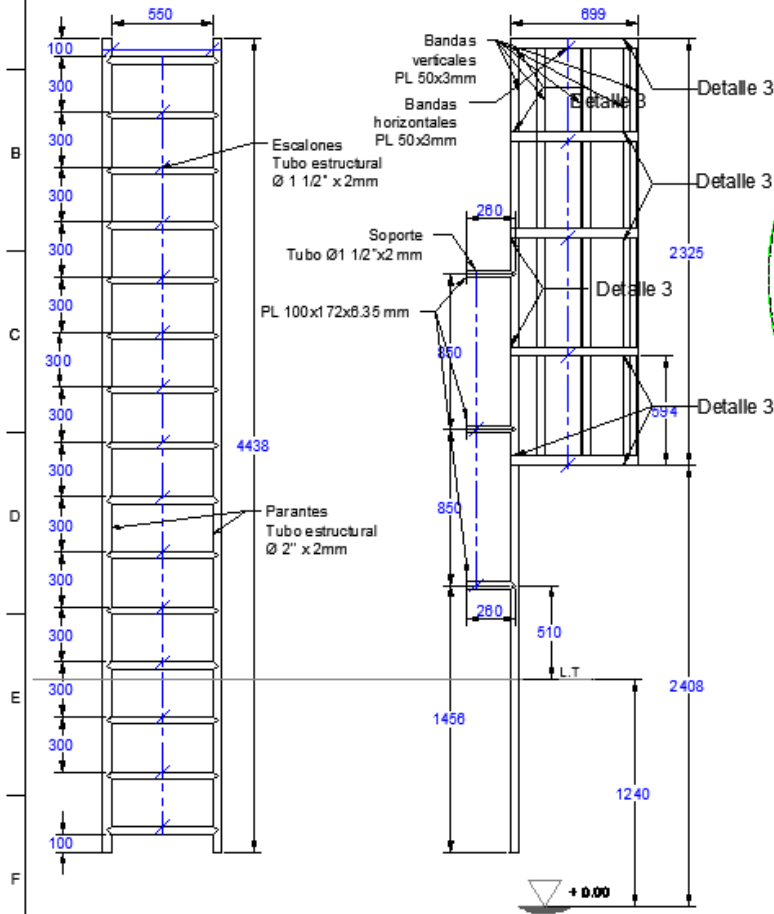
PLANO N°:
P-5
 HOJA N°: 22
 ISO E

FECHA:

Esquema general conjunto escalera-canastilla de protección
Esc.: 1:30

Esquema general Plataforma de Mantenimiento
Esc.: 1:30

Esquema conjunto tanque
plataforma de mantenimiento
Esc.: 1:50

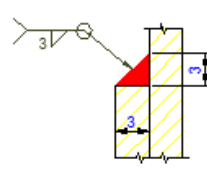
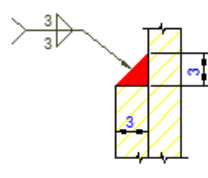
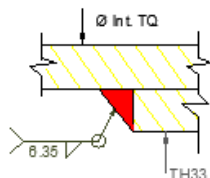
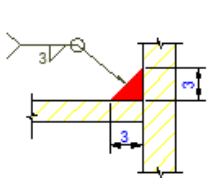


DETALLE 1
SOLDADURA TÍPICA EN ESCALERA
ESC. 2:1

DETALLE 2
SOLDADURA TÍPICA DE REFUERZOS
ESC. 1:1

DETALLE 3
SOLDADURA TÍPICA DE CANASTILLA
ESC. 2:1

DETALLE 4
SOLDADURA TÍPICA CLIPS ESCALERA
ESC. 2:1



			PESO TOTAL KG	13655		
33	7	Placa 140x140x3.5	SABIGORITO	0,97	6,79	REFUERZOS PARA UNION PLATAFORMA/TANQUE
32	4	Perfil L 50x50x4 mm L: 1500 mm	ASTM-A06	10,59	42,36	SOPORTE PERMANENTE PARA PLATAFORMA
31	6	Tubo estructural Ø1 1/2" - esp. 2 mm - L=400mm	ASTM-A06	0,92	5,52	CLIPS DE SUELDACION ESCALERA
30	2	Pl. 50x3 mm Desarrollo: 1702 mm	ASTM-A06	1,47	2,94	ENVOLVENTE INFERIOR CANASTILLA
29	3	Pl. 50x3 mm Desarrollo: 1285 mm	ASTM-A06	1,96	5,88	ENVOLVENTE SUPERIOR CANASTILLA
29a	2	Pl. 50x3 mm L: 1285 mm	ASTM-A06	1,52	3,04	LARGUERO CAVASTA DE SEGURIDAD
28	5	Pl. 50x3 mm L: 2325 mm	ASTM-A06	2,73	13,65	LARGUERO CAVASTA DE SEGURIDAD
27	2	Tubo estructural Ø2" - esp. 3 mm - L=400mm	ASTM-A06	18,01	37,62	LARGUERO ESCALERA
26	15	Tubo estructural Ø1 1/2" - esp. 2 mm - L=400mm	ASTM-A06	1,25	18,75	PERDÓN DE ESCALERA

FIMCP-ESPOL

PROYECTO: TANQUE HIDRONEUMÁTICO PARA AGUA POTABLE

OBRA: TANQUE HIDRONEUMÁTICO V-1

CONTIENE: PLANO DE FABRICACION DE LA ESCALERA

ELABORADO POR: D.ZAMORA

REVISADO POR:

APROBADO POR:

FECHA DE APROBACION:

FECHA:

REVISION
N°:
FECHA:

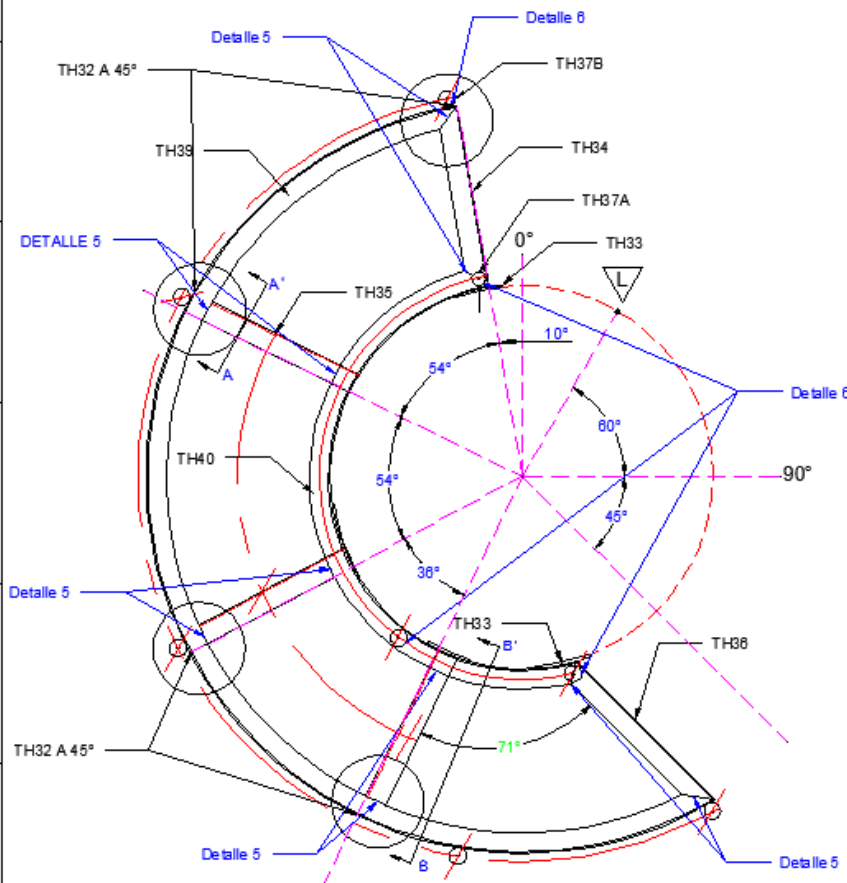
ESCALA:
INDICADA

PLANO N°:
P-7

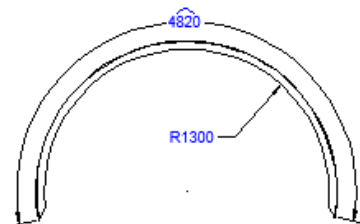
HOJA N°: 1

180 E

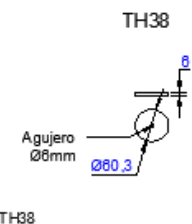
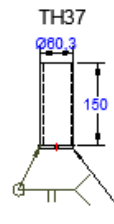
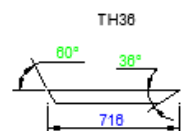
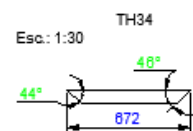
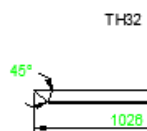
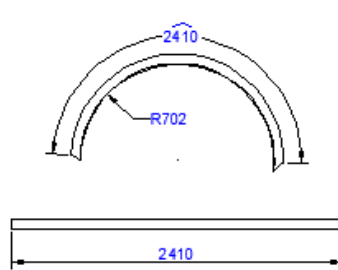
Detalle de Elementos de Plataforma de Mantenimiento
Esc.: 1:20



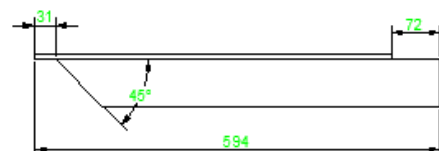
TH39
Esc.: 1:50



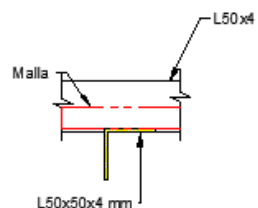
TH40
Esc.: 1:40



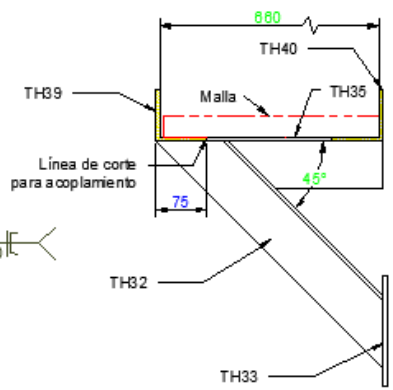
TH35
Esc.: 1:8



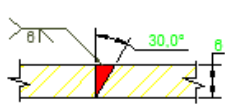
SECCION A-A'
ESC.: 1:10



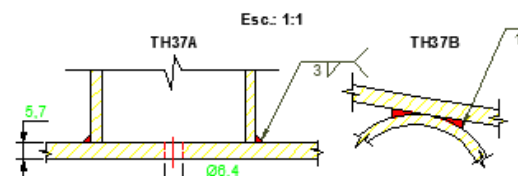
SECCION B-B'
ESC.: 1:10



DETALLE 5
Soldadura típica en elementos de plataforma de mantenimiento
Esc.: 2:1



DETALLE 6
Soldadura típica de bolsillos para soporte de pasamanos
Esc.: 1:1

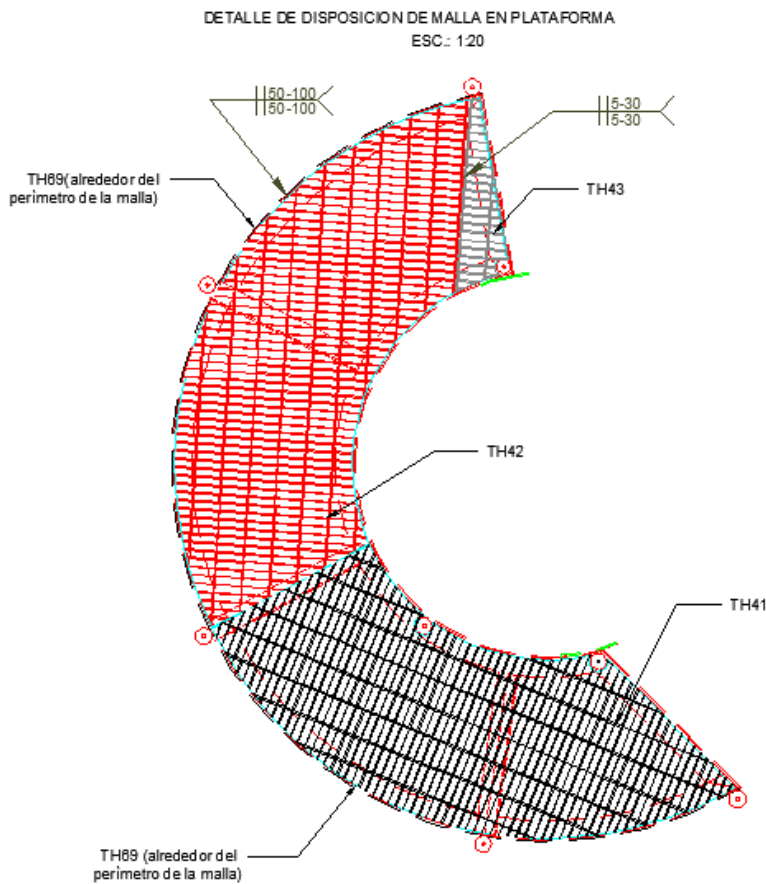


CANT.	DESCRIPCIÓN DESCRIPTION	P. UNT.	P. TOTAL	OBSERVACIONES	
0	0		77,83		
40	1 Perfil L50x50x4 mm L: 2410 mm	ASTMA36	16,34	16,34	PERFIL CURVO PLATAFORMA
39	1 Perfil L50x50x4 mm L: 4820 mm	ASTMA36	32,67	32,67	PERFIL CURVO PLATAFORMA
38	5 Disco Ø60,3x6 mm	ASTMA36	0,13	0,65	TAPABOLSILLO
37	8 Tubo Ø2" Sch. 40 L=150mm	ASTMA36	0,82	6,56	BOLSILLO BASE PASAMANO
36	1 Perfil L50x50x4 mm L: 718 mm	ASTMA36	4,25	4,25	SOPORTE PLATAFORMA
35	3 Perfil L50x50x4 mm L: 601 mm	ASTMA36	4,07	12,21	SOPORTE PLATAFORMA
34	1 Perfil L50x50x4 mm L: 672 mm	ASTMA36	4,55	4,55	SOPORTE PLATAFORMA

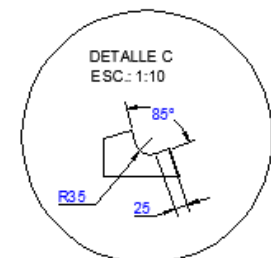
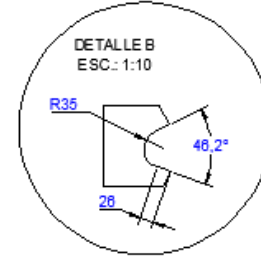
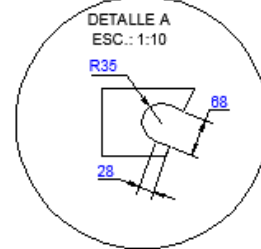
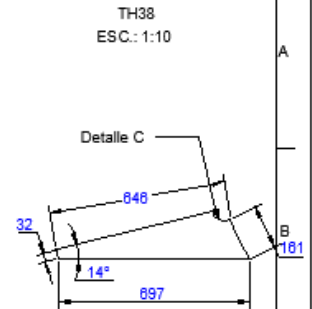
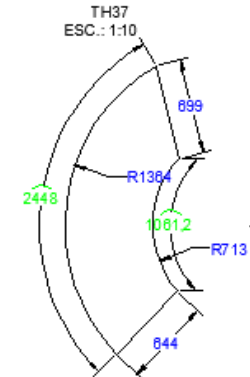
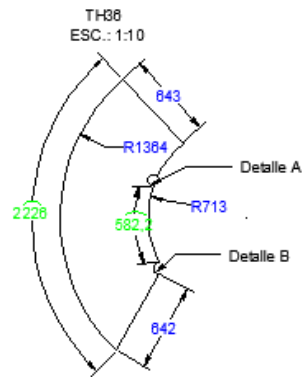
FIMCPC-ESPOL

PROYECTO:	TANQUE HIDRONEUMÁTICO PARA AGUA POTABLE	REVISIÓN N°:	0
OBRA:	TANQUE HIDRONEUMÁTICO V-1	FECHA:	
CONTIENE:	PLANO DE FABRICACION DE PLATAFORMA DE MANTENIMIENTO	ESCALA:	INDICADA
ELABORADO POR:	D.ZAMORA	PLANO N°:	P-9
REVISADO POR:		HOJA N°:	1/2
APROBADO POR:		FECHA DE APROBACION:	
FECHA:			

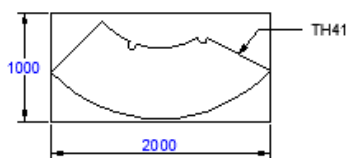




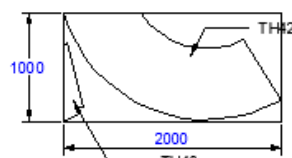
DETALLE DE DISPOSICION DE MALLA EN PLATAFORMA
ESC.: 1:20



Detalle de afectación de Malla
Esc.: 1:50



Detalle de afectación de Malla
Esc.: 1:50



- Notas:
 1. En los bordes de los cortes de los elementos TH41, TH42, TH43, se deberá soldar a lo largo de su perímetro el elemento TH89 (latina de 30x4 mm).
 2. Los elementos TH42 Y TH43 se unirán en su uno de sus extremos como se muestra en el detalle.
 3. Las dos secciones principales TH41 y la unión TH42, TH43 estarán asentadas sobre la plataforma de mantenimiento.

TH	CANT. DIV.	MATERIAL	P. UNIT. N. UNIT.	P. TOTAL N. TOTAL	OBSERVACIONES REVISIONES
0	0			79,28	
69	1	PLATINA 30X4 mm L=10449	ASTM-A36 9,84	9,84	
43	1	SECCIÓN 3	ASTM-A36 3,10	3,10	MALLA ELECTRO SOLDADA
42	1	SECCIÓN 2	ASTM-A36 34,10	34,10	MALLA ELECTRO SOLDADA
41	1	SECCIÓN 1	ASTM-A36 32,24	32,24	MALLA ELECTRO SOLDADA

FIMCP-ESPOL

PROYECTO: TANQUE HIDRONEUMATICO PARA AGUA POTABLE

OBRA: TANQUE HIDRONEUMATICO V-1

CONTIENE: PLANO DE FABRICACION DE PLATAFORMA DE MANTENIMIENTO

ELABORADO POR: D.ZAMORA

REVISADO POR:

APROBADO POR:

FECHA DE APROBACION:

FECHA:

PLANO N°:

P-9

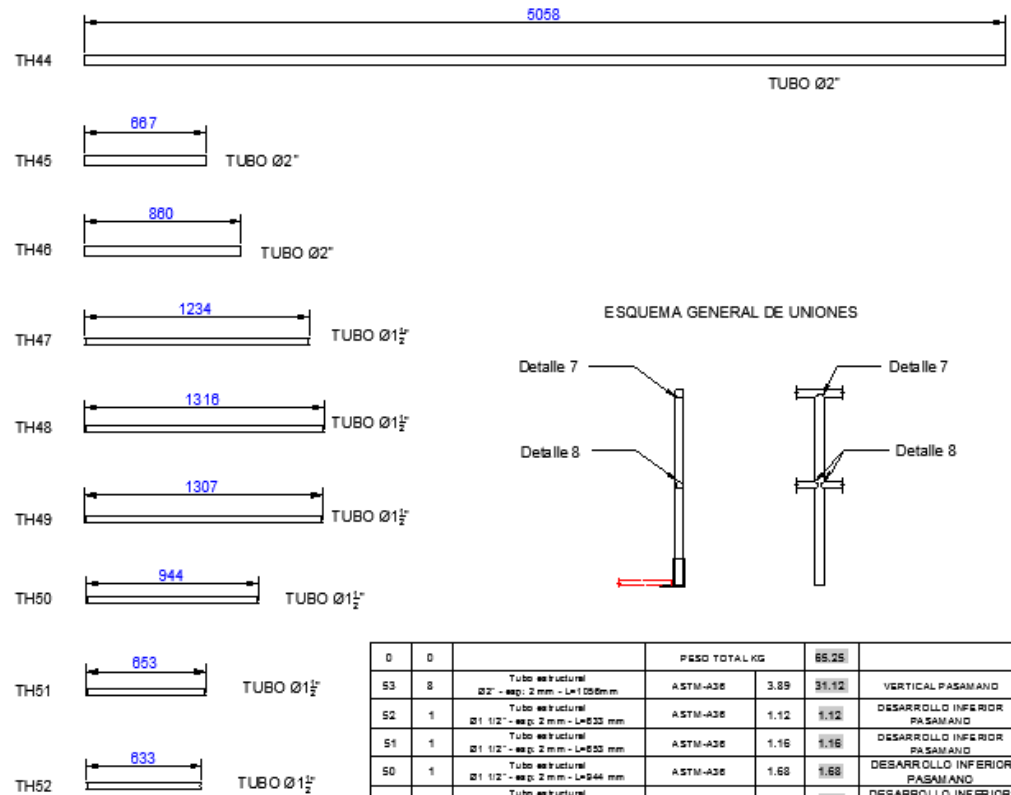
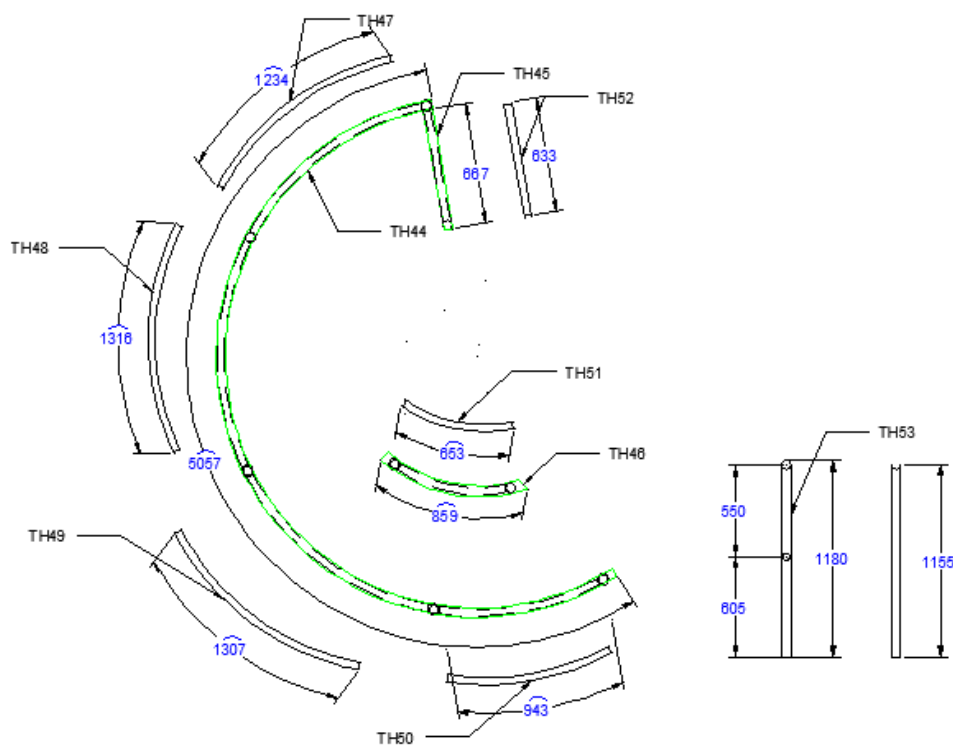
HOJAN°: 2/2



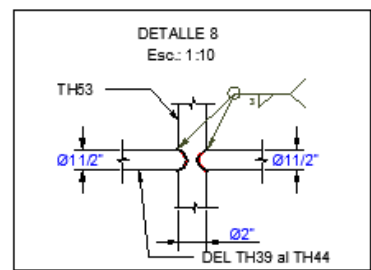
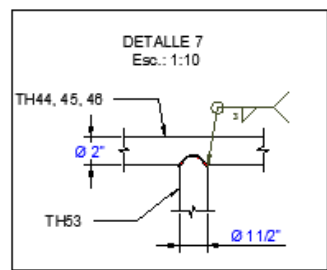
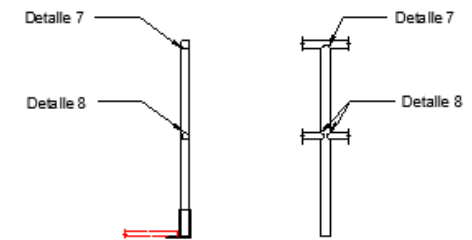
N°: 0
FECHA:

ESCALA: INDICADA

DETALLE DEL PASAMANO Y DESPIECE



ESQUEMA GENERAL DE UNIONES



- Nota:
- Los elementos desde TH47 hasta TH52 deberan ser maquinados en boca de pescado en sus extremos para acople con tubo Ø2".
 - Los elementos TH 53 deberan ser maquinados en boca de pescado por uno de sus extremos para acople con tubo Ø2".

0	0		PESO TOTAL KG	55,25		
53	8	Tubo estructural Ø2" - esp. 2 mm - L=1050mm	ASTM-A36	3,89	51,12	VERTICAL PASAMANO
52	1	Tubo estructural Ø1 1/2" - esp. 2 mm - L=833 mm	ASTM-A36	1,12	1,12	DESARROLLO INFERIOR PASAMANO
51	1	Tubo estructural Ø1 1/2" - esp. 2 mm - L=833 mm	ASTM-A36	1,16	1,16	DESARROLLO INFERIOR PASAMANO
50	1	Tubo estructural Ø1 1/2" - esp. 2 mm - L=944 mm	ASTM-A36	1,68	1,68	DESARROLLO INFERIOR PASAMANO
49	1	Tubo estructural Ø1 1/2" - esp. 2 mm - L=1307 mm	ASTM-A36	2,33	2,33	DESARROLLO INFERIOR PASAMANO
48	1	Tubo estructural Ø1 1/2" - esp. 2 mm - L=1318 mm	ASTM-A36	2,34	2,34	DESARROLLO INFERIOR PASAMANO
47	1	Tubo estructural Ø1 1/2" - esp. 2 mm - L=1234 mm	ASTM-A36	2,19	2,19	DESARROLLO INFERIOR PASAMANO
46	1	Tubo estructural Ø2" - esp. 2 mm - L=860mm	ASTM-A36	3,04	3,04	DESARROLLO SUPERIOR PASAMANO
45	1	Tubo estructural Ø2" - esp. 2 mm - L=867mm	ASTM-A36	2,36	2,36	DESARROLLO SUPERIOR PASAMANO
44	1	Tubo estructural Ø2" - esp. 2 mm - L=5058mm	ASTM-A36	17,91	17,91	DESARROLLO SUPERIOR PASAMANO
TH	CANT. DIVT.	DESCRIPCION DESCRIPTION	MATERIAL	P. UNIT. W. UNIT.	P. TOTAL W. TOTAL	OBSERVACIONES REMARKS

FIMCP-ESPOL

N°: 0

FECHA:

PROYECTO: TANQUE HIDRONEUMATICO PARA AGUA POTABLE

OBRA: TANQUE HIDRONEUMATICO V-1

CONTIENE: PLANO DE FABRICACION DE PASAMANOS

ESCALA: INDICADA

ELABORADO POR: D.ZAMORA

REVISADO POR:

APROBADO POR:

FECHA DE APROBACION:

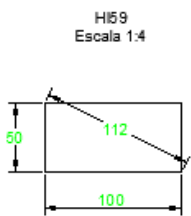
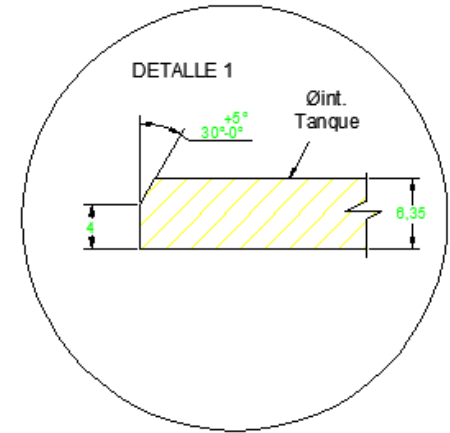
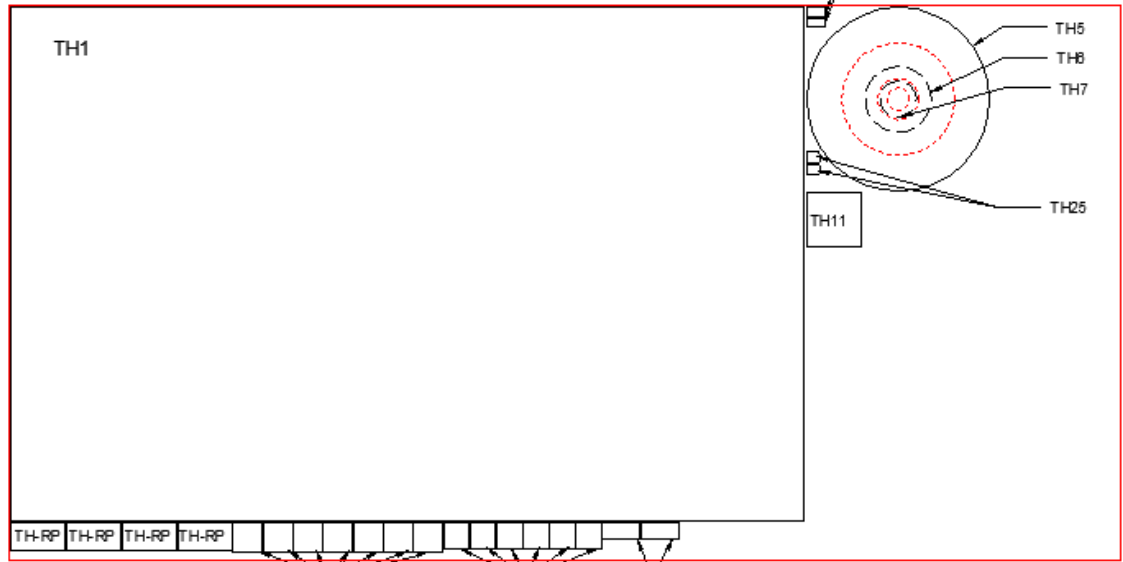
PLANO N°: P-10

HOJA N°: 1

FECHA:

ISO E

PL 6096X3048X6.35 MM-SA 516 GR 70

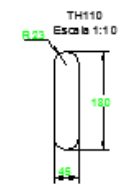
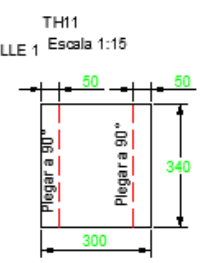
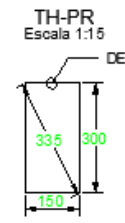
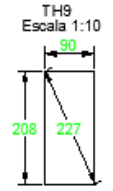
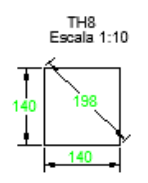
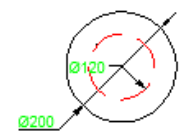
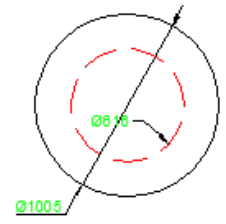
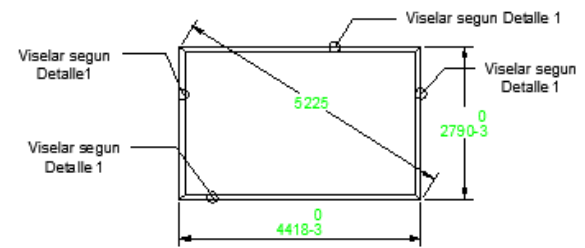


TH1 Escala 1:100

TH5 Escala 1:30

TH8 Escala 1:15

TH7 Escala 1:10



COD.	CANT QTY									TOTAL	690.32
TH10	2	PL	180.0	x	45	x	6.35	mm	SA-516 GR. 70	0.40	0.81
THPR	4	PL	300.0	x	150.0	x	6.35	mm	SA-516 GR. 70	2.24	8.97
HI59	2	PL	100.0	x	50	x	6.35	mm	SA-516 GR. 70	0.25	0.50
TH33	7	PL	160.0	x	160.0	x	6.35	mm	SA-516 GR. 70	1.28	8.93
TH11	1	PL	300.0	x	340.0	x	6.35	mm	SA-516 GR. 70	5.08	5.08
TH9	2	PL	208.0	x	90.0	x	6.35	mm	SA-516 GR. 70	0.93	1.87
TH8	6	PL	140.0	x	140.0	x	6.35	mm	SA-516 GR. 70	0.96	5.86
TH7	1	ANILLO							D 200.0 x 6.35 mm SA-516 GR. 70	1.57	1.57
TH6	1	ANILLO							D 375.0 x 6.35 mm SA-516 GR. 70	5.51	5.51
TH5	1	ANILLO							D 1005.0 x 6.35 mm SA-516 GR. 70	39.54	39.54
TH1	1	ANT PL	4353.0	x	2819	x	6.35	mm	SA-516 GR. 70	611.68	611.68
									ESPECIFICACION DEL MATERIAL	P. UNIT.(KG)	P.TOTAL (KG)

FIMCPE-ESPOL

PROYECTO: TANQUE HIDRONEUMATICO PARA AGUA POTABLE

OBRA: TANQUE HIDRONEUMATICO V-1

CONTIENE: PLANO DE CORTE V-1

ELABORADO POR: D. ZAMORA

REVISADO POR:

APROBADO POR:

FECHA DE APROBACION:

FECHA:

PLANO N°: P-12

HOJA N°: 1/2

REVISION: 0

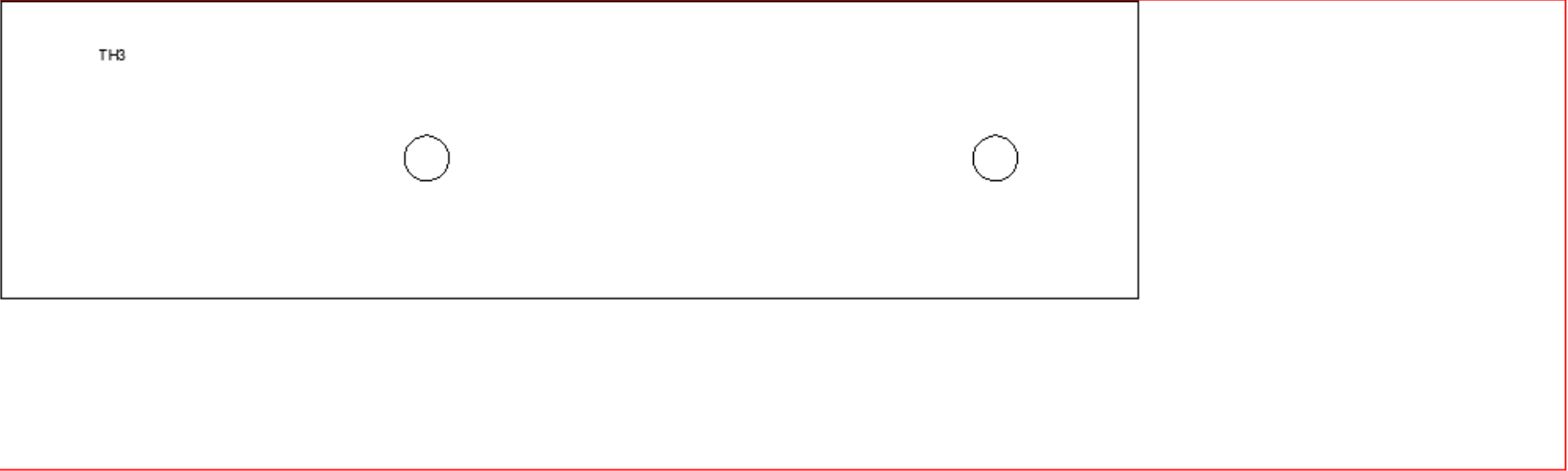
FECHA:

ESCALA: INDICADA

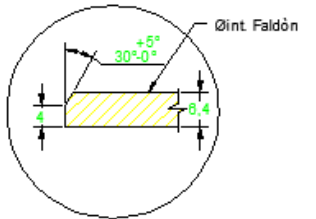
ISO E

PL 6000X1800X6.35 MM-ASTM A36

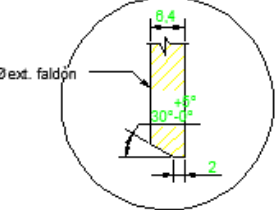
TH3



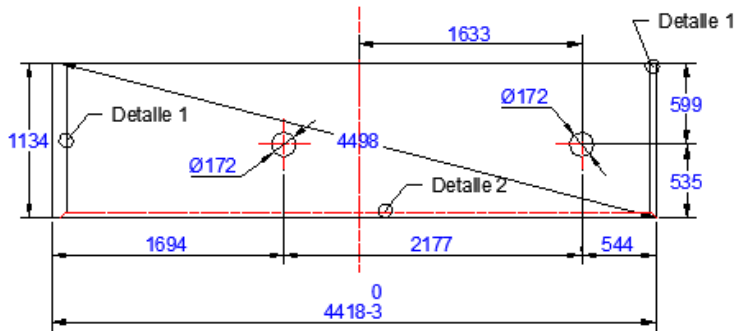
Detalle 1



Detalle 2

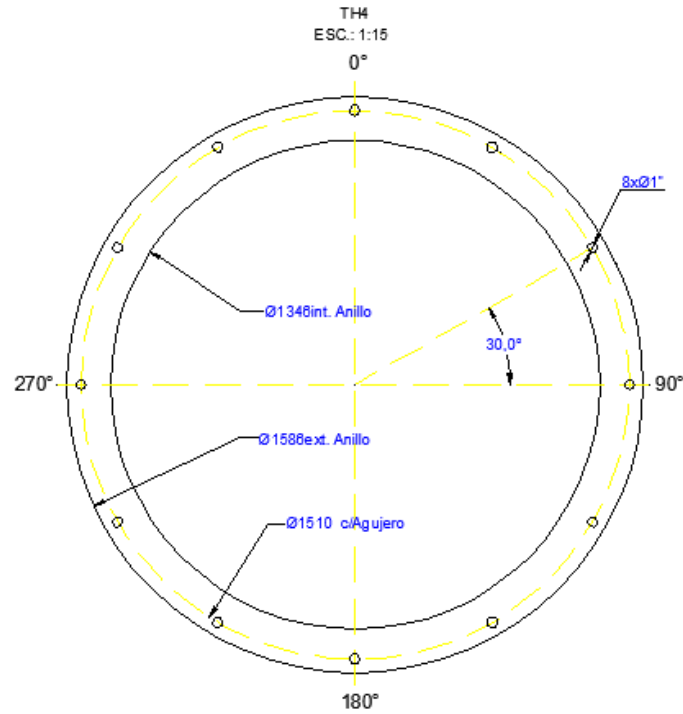
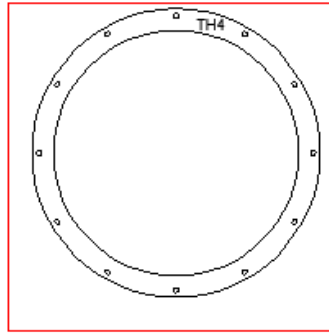


SENTIDO DE ROLADO



TH3	1	PL	4353.0	x	1134	x	6.35	mm	ASTM-A36	TOTAL	246.06	246.06
COD.	CANT	QTY	ESPECIFICACION DEL MATERIAL						P. UNIT.(KG)	P.TOTAL (KG)		
FIMCP-ESPOL										REVISION	N°:	0
PROYECTO: TANQUE HIDRONEUMATICO PARA AGUA POTABLE										FECHA:		
OBRA: TANQUE HIDRONEUMATICO V-1										ESCALA:	INDICADA	
CONTIENE: PLANO DE CORTE DEL FALDON										PLANO N°:	P-13	
ELABORADO POR: D.ZAMORA										HOJA N°:	1	
REVISADO POR:												
APROBADO POR:												
FECHA DE APROBACION:										FECHA:		

PL 1800x1800x15mm



							TOTAL	66,18		
TH4	1	ANILLO	D	1586.0	x	15.0	mm	ASTM A572 GR. 50	66,18	66,18
COD.	CANT QTY						ESPECIFICACION DEL MATERIAL	P. UNIT.(KG)	P.TOTAL (KG)	
FIMCP-ESPOL								REVISION	N°: 0	
PROYECTO: TANQUE HIDRONEUMATICO PARA AGUA POTABLE								FECHA:		
OBRA: TANQUE HIDRONEUMATICO V-1								ESCALA:	INDICADA	
CONTIENE: PLANO DE CORTE-ANILLO DEL FALDON										
ELABORADO POR: D.ZAMORA							PLANO N°:			
REVISADO POR:							P-14			
APROBADO POR:							HOJA N°: 2/2			
FECHA DE APROBACION:							FECHA:			