

Universidad Católica de Santa María
Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales
Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica
Eléctrica y Mecatrónica



**PROCEDIMIENTOS DE CONTROL DE CALIDAD DE UNIONES SOLDADAS
POR FCAW PARA LA FABRICACIÓN DE UN TANQUE DE ALMACENAJE
PARA AGUA INDUSTRIAL**

Tesis presentada por el bachiller:

Machacca Huacarpuma, Julio

para optar el Título Profesional de:

Ingeniero Mecánico Electricista.

Asesor:

Mgter. Carpio Rivera, Marco Antonio.

AREQUIPA-PERÚ

2018



Universidad Católica de Santa María

☎ (51 54) 382038 Fax: (51 54) 251213 ✉ ucsm@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe Apartado: 1350

AREQUIPA - PERÚ

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECÁNICA
ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA**

INFORME DICTAMINATORIO

VISTO

EL BORRADOR DE TESIS TITULADO:

**“PROCEDIMIENTOS DE CONTROL DE CALIDAD DE
UNIONES SOLDADAS POR FCAW PARA LA
FABRICACION DE UN TANQUE DE ALMACENAJE
PARA AGUA INDUSTRIAL”**

Presentado por el Bachiller:

MACHACCA HUACARPUMA, Julio

Nuestro **DICTAMEN** es:

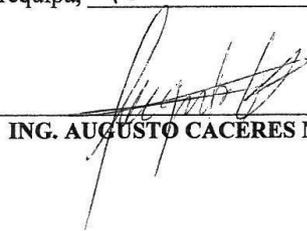
Aprobado

OBSERVACIONES: *Ninguna.*

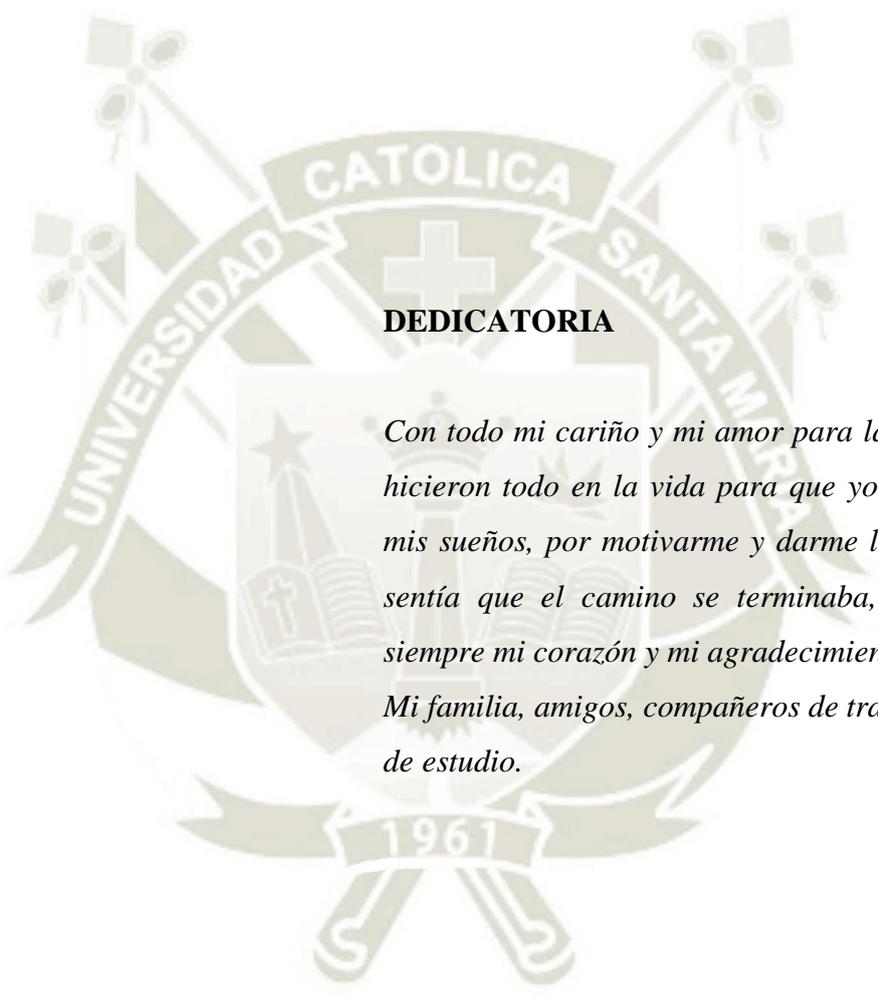
Arequipa, 18 Diciembre 2018



ING. MARCO CARPIO RIVERA



ING. AUGUSTO CACERES NUÑEZ



DEDICATORIA

Con todo mi cariño y mi amor para las personas que hicieron todo en la vida para que yo pudiera lograr mis sueños, por motivarme y darme la mano cuando sentía que el camino se terminaba, a ustedes por siempre mi corazón y mi agradecimiento.

Mi familia, amigos, compañeros de trabajo y docentes de estudio.

AGRADECIMIENTO

Dedico esta tesis a mis padres Felipe M.M y Estefa H.L quienes me apoyaron siempre en mi formación académica y a mi esposa Melissa L. C.H, que me alentaron y apoyaron para seguir siempre adelante y sortear las dificultades que se me presentaron. Gracias por estar siempre a mi lado.

INTRODUCCION

El presente trabajo de procedimientos de control de calidad de uniones soldadas para la fabricación de tanques de almacenamiento, para la industria y minería surge por la problemática de la falta de preparación de estándares y capacidad para trabajar en forma sistemática y controlada en el área de ingeniería, fabricación y su control de calidad en las empresas metalmecánicas de Arequipa, ya que no se pueda garantizar un diseño confiable a los clientes para la fabricación de tanques de almacenamiento para la industria y minera, ya que se encuentran muchos problemas en el proceso y procedimientos de soldadura.

Ya que esta va a ser una gran demanda en el sector metalmecánico debido grandes proyectos de envergadura que se están realizando en el sur del país debido a las ampliaciones mineras, donde se necesitan grandes tanques de almacenaje para diferentes elementos de almacenaje para garantizar los óptimos trabajos en la industria y la minería.

Se comienza esta tesis con los capítulos 1 y 2; que son los antecedentes del tema, el cual permitió identificar el problema del control de calidad de las uniones de soldadura, fabricación y así se pudo plantear los objetivos necesarios. Se realizó un marco teórico, para hacerse un panorama general de la fabricación de los tanques de almacenamiento, soldadura, y los pasos para el control de calidad de las uniones soldadas con controles necesarios antes, durante y después del proceso de soldadura para un adecuado control de calidad tanto en la parte operativa.

En el capítulo 3, el proceso de control de calidad de soldadura para la construcción del tanque de almacenamiento, se planteó parámetros de diseño, en función a los requerimientos del proyecto y en base a esto se realizó el control de calidad de soldadura con todas sus variables esenciales de temperatura, mecánicas, dureza, etc. donde se verifico el control de garantizar un buen trabajo con los ensayos no destructivos aplicados a los cordones de soldadura así como ensayos destructivos de las probetas. Para un adecuado control se planteó un procedimiento sistemático secuencial para seguir un patrón adecuado que nos garantiza la calidad del trabajo para asegurar uniones soldadas de calidad.

En el capítulo 4, comprende sobre el proceso de granallado que es una técnica de tratamiento superficial por impacto que lograr un excelente grado de limpieza y terminación superficie. Como también el proceso de aplicación pintura que es un sistema de recubrimiento de protección de la superficie si es aplicado correctamente sobre una superficie adecuadamente preparada y en un ambiente atmosférico favorable.

RESUMEN

Ante la demanda de nuevas ampliaciones en la minería, petroleras, petroquímica y otras industrias; son utilizados distintos tipos de recipientes para almacenar una gran variedad de productos. Los tanques de almacenamiento forman parte de distintas operaciones en la industria; tales como, producción, tratamiento, transporte, refinación, distribución, inventario, reservas y servicios; estos recipientes deben ser renovados cada cierto tiempo, por el desgaste, el deterioro ambiental, exigencias de trabajo, operación de trabajo o diseño no adecuado.

Con el fin de satisfacer las necesidades de la rápida demanda de la fabricación de tanques de alta calidad, para la minería e industria se debe certificar un buen servicio de funcionamiento del tanque y para esto se requiere requisitos mínimos de control de calidad de las uniones soldadas, así como los materiales, la fabricación, las pruebas, los ensayos destructivos y no destructivos en la construcción de recipientes de acero soldados a temperatura atmosférica.

El control de las uniones soldadas podría definirse como el conjunto de actividades encaminadas a asegurar la fiabilidad de un conjunto soldado, mediante la verificación del mismo por medios adecuados durante diferentes fases del proceso productivo.

El propósito de esta tesis ha sido estructurar un sistema de control de inspección de uniones soldadas, de acuerdo a los estándares y normas internacionales que garanticen una construcción óptima de tanques para el almacenaje, se optimizo y mejora los controles del diseño y fabricación planteándose un sistema de control de calidad bajo los estándares internacionales. Al evaluar el sistema se llegó a la conclusión que, al mejorar el control de calidad de los procesos de soldadura, se mejora también el sistema de control de calidad de todo el proceso de fabricación del tanque, por tanto, se tiene un efecto en reducción de costes debido a la reducción de los reprocesos, fallos etc. y también un aumento de la producción.

Palabras claves:

Calidad, procedimiento, soldadura, uniones, almacenamiento, tanques.

ABSTRACT

Facing the demand for new expansions in mining, oil, petrochemical and other industries, Different types of containers are used to store a wide variety of products. Storage tanks are part of different operations in the industry; such as, production, treatment, transportation, refining, distribution, inventory, reserves and services; these containers must be renewed every so often, due to wear, environmental deterioration, work demands, work operation or design that is not adequate.

In order to meet the needs of the rapid demand for the manufacture of high quality tanks, for mining and industry, a good operation service of the tank must be certified and for this minimum requirements of quality control of the welded joints are required. , as well as the materials, the manufacture, the tests, the destructive and non-destructive tests in the construction of steel vessels welded at atmospheric temperature.

The control of welded joints could be defined as the set of activities aimed at ensuring the reliability of a welded assembly, by verifying it by appropriate means during different phases of the production process.

The purpose of this thesis has been to structure a control system for inspection of welded joints, according to international standards and standards that ensure optimal construction of tanks for storage, optimizing and improving design and manufacturing controls by considering a system of quality control under international standards. When evaluating the system, it was concluded that, by improving the quality control of the welding processes, the quality control system of the entire tank manufacturing process is also improved, therefore, there is an effect on reduction of costs due to the reduction of reprocessing, failures etc. and also an increase in production

Key words:

Quality, procedure, welding, joints, storage, tanks.

ÍNDICE

INTRODUCCION.....	V
RESUMEN	VI
ABSTRACT	VII
CAPITULO I GENERALIDADES.....	1
1.1. Objetivo general.....	1
1.2. Objetivos específicos	2
1.3. Alcances y limitaciones	2
1.4. Justificación de la investigación	3
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.....	4
2. DESCRIPCIÓN DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO Y CONTROL DE CALIDAD DE UNIONES SOLDADAS	4
2.1. Tanques de almacenamiento	4
2.2. Códigos de diseño	4
2.2.1. Código API 650	6
2.2.2. Código API 653	7
2.3. Partes del código API 650.....	7
2.3.1. Secciones.....	7
2.3.2. Anexos	8
2.4. Consideraciones generales de diseño.....	9
2.5. Materiales a emplear	11
2.5.1. Propiedades mecánicas	12
2.6. Componentes que conforman los tanques de almacenaje vertical.....	13
2.6.1. Techo de tanques de almacenamiento.....	14
2.6.1.1. Cargas en techos de tanques.....	15
2.6.1.2. Tanques de techo fijo	15
2.6.1.3. Tanques de techo flotante.....	20
2.6.2. Pared de tanque de almacenamiento	25
2.6.2.1. Método de cálculo del pie	27
2.6.2.2. Cálculo de espesor de pared (método de punto de diseño variable)	28
2.6.2.3. Calculo de espesores por análisis elástico.....	28
2.6.3. Fondo del tanque.....	28
2.6.3.1. Distribución de las planchas del fondo del tanque.....	29
	VIII

2.6.3.2.	Chapa anular.....	30
2.6.4.	Conexiones para tanques de almacenamiento.....	32
2.6.4.1.	Bridas de conexión.....	32
2.6.4.2.	Cuello de conexiones	34
2.6.4.3.	Refuerzos.....	34
2.6.4.4.	Requerimientos principales para conexiones del tanque	35
2.7.	Consideraciones de diseño debido a las acciones de viento y sismo	37
2.7.1.	Acciones de viento en los tanques	37
2.7.1.1.	Resistencia al vuelco	38
2.7.1.2.	Deslizamiento debido al viento.....	39
2.7.1.3.	Pernos de anclaje.....	40
2.7.1.4.	Silletas para pernos de anclaje	42
2.7.2.	Estabilidad de la pared por anillos de viento	42
2.7.2.1.	Perfil de coronamiento (top angle).....	43
2.7.2.2.	Anillo superior de viento (top wind girder)	45
2.7.2.3.	Anillos intermedios (intermediate wind girders)	46
2.7.3.	Verificación por presión exterior.....	48
2.7.3.1.	Pared del tanque	49
2.7.3.2.	Altura transformada	50
2.7.3.3.	Presión exterior admisible.....	51
2.7.3.4.	Separación entre anillos rigidizadores:	51
2.7.3.5.	Números de anillos de rigidización.....	52
2.7.3.6.	Momento de inercia.....	52
2.7.3.7.	Área requerida.....	52
2.7.3.8.	Ubicación de anillos.....	53
2.7.4.	Acciones sísmicas	53
2.7.4.1.	Respuestas sísmicas	55
2.7.4.2.	Cargas de diseño	56
2.7.4.3.	Resistencia a cargas de diseño	57
2.8.	Uniones soldadas en tanques en almacenamiento	59
2.8.1.	Soldabilidad	59
2.8.1.1.	Soldadura por arco con alambres tubulares (FCAW)	60
2.8.1.2.	Principio de funcionamiento	61
2.8.1.3.	Ventajas y limitaciones	62
2.8.1.4.	Fuente de poder.....	63
		IX

2.8.1.5.	Sistema de alimentación.....	63
2.8.1.6.	Antorcha.....	63
2.8.1.7.	Alambres tubulares están formados por.....	64
2.8.1.8.	Gases de protección.....	66
2.8.2.	Consideraciones de detalles de soldadura.....	67
2.8.3.	Uniones soldadas de cascos verticales.....	68
2.8.4.	Uniones soldadas del fondo a solape.....	69
2.8.5.	Uniones de fondo soldadas a tope.....	71
2.8.6.	Uniones de planchas anulares de fondo.....	71
2.8.7.	Soldadura con filete para casco y fondo.....	71
2.8.8.	Unión de viga al viento.....	72
2.8.9.	Uniones de tejado y ángulo superior.....	73
2.8.10.	Inspección de uniones de soldadura.....	73
2.8.10.1.	Pruebas de vacío (techo).....	73
2.8.10.2.	Inspección de soldadura del fondo del tanque.....	74
2.8.10.3.	Inspección de soldadura de planchas de reforzamiento.....	75
2.8.10.4.	Pruebas del casco del tanque.....	75
2.9.	Control de calidad en uniones soldadas para tanques de almacenamiento.....	76
2.9.1.	Control de calidad (Aseguramiento de la calidad).....	76
2.9.2.	Inspector de soldadura.....	77
2.9.2.1.	Inspector del contratista.....	77
2.9.2.2.	Inspector de verificación.....	77
2.9.2.3.	Responsabilidades del inspector de soldadura.....	78
2.9.3.	Actividades de la inspección de las uniones soldadas.....	78
2.9.3.1.	Antes de la soldadura.....	78
2.9.3.2.	Durante la soldadura.....	85
2.9.3.3.	Después de la soldadura.....	88
2.9.4.	Ensayos no destructivos END.....	90
2.9.4.1.	Inspección visual – VT.....	94
2.9.4.2.	Defectos y discontinuidades en la soldadura.....	98
2.9.5.	Inspección con líquidos penetrantes.....	107
2.9.5.1.	Materiales usados para el método de líquidos penetrantes.....	108
2.9.5.2.	Clasificación de tipos de métodos de prueba por líquidos penetrantes.....	108
2.9.5.3.	Secuencia de aplicación del ensayo PT.....	110
2.9.6.	Inspección con partículas magnéticas.....	111
		X

2.9.6.1.	Ventajas y limitaciones de partículas magnéticas.....	112
2.9.6.2.	Método de partículas magnéticas.....	113
2.9.6.3.	Etapas de aplicación MP.....	113
2.9.6.4.	Factores a tener en cuenta para la magnetización.....	114
2.9.6.5.	Partículas magnéticas no fluorescentes.....	114
2.9.6.6.	Partículas magnéticas fluorescentes.....	115
2.9.7.	Inspección por ultrasonido.....	115
2.9.7.1.	Características:.....	116
2.9.7.2.	Ventajas.....	116
2.9.7.3.	Limitaciones.....	117
2.9.7.4.	Elementos que intervienen en la inspección por Ultrasonido.....	117
2.9.7.5.	El Material a Inspeccionar determina.....	118
2.9.7.6.	Tipos de discontinuidades.....	118
2.9.7.7.	El Transductor y la Zapata.....	118
2.9.8.	Inspección por radiografía.....	121
2.9.8.1.	Material inspeccionado por radiografía industrial.....	122
2.9.8.2.	Ventajas de la radiografía industrial.....	122
2.9.8.3.	Limitaciones de la radiografía industrial.....	123
2.9.8.4.	Técnicas radiográficas.....	123
2.9.8.5.	Proceso de inspección radiográfica.....	124
2.9.8.6.	Equipo más utilizado para la radiografía industrial.....	126
CAPITULO III.....		127
3. CONTROL DE CALIDAD DE UNIONES SOLDADAS PARA LA FABRICACIÓN DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO.....		127
3.1.	Parámetros de diseño del tanque de almacenamiento.....	127
3.1.1.	Características de la instalación.....	127
3.1.2.	Consideraciones de diseño.....	127
3.1.3.	Geometría del tanque.....	128
3.1.4.	Diseño del casco método 1 pie.....	129
3.1.5.	Distribución de planchas del techo del tanque.....	129
3.1.6.	Distribución de planchas de la base del tanque.....	131
3.1.7.	Diseño por carga de viento.....	133
3.1.8.	Diseño por carga sísmica (diseño sísmico (estabilidad al volteo).....	134
3.1.9.	Verificación por compresión.....	135

3.1.10.	Anclajes.....	135
3.2.	Inspección para control de calidad de las uniones soldadas para la construcción de tanques de almacenamiento.....	137
3.2.1.	Antes de la soldadura.....	137
3.2.1.1.	Características del material base.....	137
3.2.1.2.	Características del material de aporte (AWS A5.20 E71T-1C).....	138
3.2.1.3.	Procedimientos de soldadura.....	139
3.2.1.4.	Requerimientos específicos.....	146
3.2.1.5.	Calificación de soldadores.....	148
3.2.1.6.	Validez de la calificación.....	150
3.2.1.7.	Medios.....	151
3.2.1.8.	Preparación de la junta.....	152
3.2.1.9.	Posición de soldadura.....	156
3.2.2.	Durante la soldadura.....	156
3.2.2.1.	Pre calentamiento.....	156
3.2.2.2.	Temperatura entre pases.....	157
3.2.2.3.	Deposición y penetración del cordón de raíz.....	157
3.2.2.4.	Grietas en el cordón de raíz y resanado.....	158
3.2.2.5.	Limpieza entre cordones.....	158
3.2.2.6.	Forma de los cordones.....	158
3.2.2.7.	Características eléctricas.....	158
3.2.2.8.	Atmosferas protectoras.....	159
3.2.3.	Después de la soldadura.....	159
3.2.3.1.	Velocidad de enfriamiento.....	159
3.2.3.2.	Aspecto exterior.....	160
3.2.3.3.	Dimensiones.....	161
3.2.3.4.	Deformaciones.....	161
3.2.3.5.	Ensayos no destructivos END.....	162
3.2.3.6.	Inspección visual.....	163
3.2.3.7.	Ensayos líquidos penetrantes.....	168
3.2.3.8.	Ensayo de radiografía.....	173
3.2.3.9.	Prueba hidrostática (estanqueidad).....	180
3.2.3.10.	Pruebas neumáticas en los refuerzos.....	182
3.2.3.11.	Prueba de vacío fondo del tanque.....	184
3.2.4.	Ensayos destructivos.....	186
		XII

3.2.4.1. Ensayo de tracción sección reducida – plancha (QW-150)	186
3.2.4.2. Ensayos dobles guiados QW-160.....	188
3.2.4.3. Ensayo de soldadura de filete.....	191
CAPITULO IV	192
4. PREPARACIÓN SUPERFICIAL Y APLICACIÓN DE PINTURA	192
4.1. Superficie preparada con chorro abrasivo.....	192
4.2. Procedimiento de pintado de exterior del tanque.....	195
4.2.1. Recomendaciones	195
4.2.2. El personal encargado de la ejecución de los trabajos.....	195
4.2.3. Las condiciones ambientales.....	196
4.2.4. Preparación de la pintura	196
4.2.5. Plan de pintado.....	196
4.2.6. Ejecución.....	197
4.2.7. Resumen parámetros de diseño y control de diseño	200
CONCLUSIONES	201
RECOMENDACIONES	202
BIBLIOGRAFÍA	203
PLANOS.....	204

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 2.1: Procesos para tanques atmosféricos	7
Tabla N° 2.2: Especificaciones de aceros y su tratamiento térmico.....	13
Tabla N° 2.3: Materiales de planchas permitidos y tensiones admisibles (SI).....	13
Tabla N° 2.4: Espesor de planchas para fabricación de tanques	26
Tabla N° 2.5: Espesor de la plancha anular para tanques	31
Tabla N° 2.6: Tipos de bridas	33
Tabla N° 2.7: De emplazamiento de viento	38
Tabla N° 2.8: Tamaño mínimo de perfiles para anillos de junta	44
Tabla N° 2.9: Comportamiento de los fluidos almacenados	54
Tabla N° 2.10: Clasificación de alambre según AWS	65
Tabla N° 2.11: Características del proceso FCAW	66
Tabla N° 2.12: Espesor de la plancha y tamaño mínimo de filete.....	72
Tabla N° 2.13: Diámetro del tanque y tamaño mínimo del ángulo superior	73
Tabla N° 2.14: Características eléctricas	87
Tabla N° 2.15: Características de velocidad de soldeo.....	87
Tabla N° 2.16: Atmosferas protectoras para el proceso de soldadura	88
Tabla N° 2.17: Métodos de pruebas por líquidos penetrantes	108
Tabla N° 2.18: Tiempos de secado de líquidos penetrantes	111
Tabla N° 2.19: Criterios de aceptación de inspección visual ASME VIII	115
Tabla N° 2.20: Parámetros de ultrasonido	120
Tabla N° 2.21: Inspección con ultrasonido ASME V.....	121
Tabla N° 3.1: Características del material ASTM A36	128
Tabla N° 3.2: Características geométricas del tanque de almacenamiento	128
Tabla N° 3.3: Espesor de virolas del tanque de almacenamiento	129
Tabla N° 3.4: Característico del techo del tanque	130
Tabla N° 3.5: Características de soporte del techo	132
Tabla N° 3.6: Diseño por carga de viento.....	133
Tabla N° 3.7: Diseño de carga sísmica	134
Tabla N° 3.8: Datos de verificación por compresión.....	135
Tabla N° 3.9: Anclajes en el tanque	135
Tabla N° 3.10: Composición química de acero ASTM A36	137
Tabla N° 3.11: Características mecánicas del acero A36	138

Tabla N° 3.12: Composición química de E71T-1C	138
Tabla N° 3.13: Características mecánicas de E71T-1C	138
Tabla N° 3.14: Comparativo de E71T-1C – Acero A36.....	139
Tabla N° 3.15: Características mecánicas del acero A36	139
Tabla N° 3.16 Formato PQR.....	140
Tabla N° 3.17: Formato: Informe de ensayo de tracción.....	142
Tabla N° 3.18: Reporte y grafica del ensayo de tracción	143
Tabla N° 3.19: Formato WPS	144
Tabla N° 3.20: Formato de registro de calificación.....	148
Tabla N° 3.21: Registro de ensayo de dobles guiado	149
Tabla N° 3.22: Registró de calificación de soldador (WPQR)	150
Tabla N° 3.23: Temperatura de precalentamiento	157
Tabla N° 3.24: Características eléctricas	158
Tabla N° 3.25: Método de inspección API 650	164
Tabla N° 3.26: Registro de inspección visual de soldadura	165
Tabla N° 3.27: Registro de inspección visual de soldadura	166
Tabla N° 3.28: Registro de inspección visual de soldadura	167
Tabla N° 3.29: Inspección con líquidos penetrantes.....	168
Tabla N° 3.30: Registro de inspección por tintes penetrantes	169
Tabla N° 3.31: Registro de inspección por tintes penetrantes	170
Tabla N° 3.32: Registro de inspección por tintes penetrantes	171
Tabla N° 3.33: Criterio de aceptación por tintes penetrantes	172
Tabla N° 3.34: Registro de Gammagrafia de soldadura	175
Tabla N° 3.35: Registro de Gammagrafia de soldadura	176
Tabla N° 3.36: Registro de Gammagrafia de soldadura	177
Tabla N° 3.37: Inspección radiografía.....	178
Tabla N° 3.38: Registro de control hidrostático	181
Tabla N° 3.39: Control de registro de pruebas de fugas	183
Tabla N° 3.40: Prueba de fugas de tanque.....	185
Tabla N° 3.41: Espesores de probeta para dobles guiado.....	188
Tabla N° 3.42: Espesor de probeta para ensayo de dobles guiado	189
Tabla N° 3.43: Ensayo de soldadura de filete.....	191
Tabla N° 4.1: Registro de pintado	194

Tabla N° 4.2: Registro de pintado	195
Tabla N° 4.3: Condiciones ambientales para pintado.....	196
Tabla N° 4.4: Tiempo de vida útil de mezclas de pintura.....	196
Tabla N° 4.5: Plan de pintado del tanque	196
Tabla N° 4.6: Registro de pintado	199



ÍNDICE DE DIAGRAMAS

Diagrama N° 2.1: Standard API	5
Diagrama N° 2.2: Diferencias de códigos para el diseño de tanques	6
Diagrama N° 2.3: Propiedades de los aceros	11
Diagrama N° 2.4: Esfuerzo –deformación.....	12
Diagrama N° 2.5: Diseño de temperatura y espesor de planchas	12
Diagrama N° 2.6: Clasificación de los techos de tanques de almacenamiento	14
Diagrama N° 2.7: Métodos para el espesor de pared del tanque API 650.....	26
Diagrama N° 2.8: Procesos de soldadura.....	60
Diagrama N° 2.9: Procesos de elaboración de PQR-WPS	82
Diagrama N° 2.10: Proceso de calificación de soldadores	82
Diagrama N° 2.11: Velocidad de enfriamiento de soldadura	89
Diagrama N° 2.12: Pasos para un END.....	92
Diagrama N° 2.13: Elaboración de WPS.....	93
Diagrama N° 2.14: Grados de porosidad	99
Diagrama N° 2.15: Tipos de imperfección	100
Diagrama N° 2.16: Etapas de partículas magnéticas	113
Diagrama N° 2.17: Mediciones angulares	120
Diagrama N° 3.1: Fabricación de tanque de almacenamiento.....	136
Diagrama N° 3.2: Temperatura mínima para diseño de tanques de almacenamiento ..	137
Diagrama N° 3.3: TTT tiempo de transformación de temperatura.....	146
Diagrama N° 3.4: Tiempo de transformación de temperatura TTT	159
Diagrama N° 3.5: Ensayo no destructivo END	162
Diagrama N° 3.6: Proceso END	163
Diagrama N° 3.7: Proceso de tintes penetrantes.....	172

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 2.1 Tanques de almacenamiento vertical	4
Figura N° 2.2 Tanques de almacenamiento atmosféricos.....	6
Figura N° 2.3: Inspección y mantenimiento API 653	7
Figura N° 2.4: Cargas de diseño para tanques verticales.....	9
Figura N° 2.5: Combinación de cargas en tanques verticales.....	10
Figura N° 2.6: Capacidad volumétrica de tanques verticales	10
Figura N° 2.7: Consideraciones para el diseño de un tanque general.....	10
Figura N° 2.8: Partes de tanque de almacenamiento	14
Figura N° 2.9: Techo fijo	15
Figura N° 2.10: Tanque de almacenamiento techo tipo cono.....	16
Figura N° 2.11: Tanque de almacenamiento techo tipo dono.....	17
Figura N° 2.12: Tanque de almacenamiento techo tipo sombrilla	17
Figura N° 2.13: Tanque de almacenamiento con techo soportado	18
Figura N° 2.14: Estructura de soporte	18
Figura N° 2.15: Tanque de almacenamiento con techo soportado con columnas	19
Figura N° 2.16: Techo auto- soportado	19
Figura N° 2.17: Techo flotante	20
Figura N° 2.18: Tanque de almacenamiento con techo flotante externo.....	21
Figura N° 2.19: Techo flotante de cubierta simple	21
Figura N° 2.20: Techo flotante de cubierta doble.....	22
Figura N° 2.21: Estructura del pontón	22
Figura N° 2.22: Escalera flotante.....	23
Figura N° 2.23: Techo flotante interno	23
Figura N° 2.24: Tipos de techos flotantes internos.....	24
Figura N° 2.25: Partes de un techo flotante interno:.....	24
Figura N° 2.26: Sellos mecánicos primarios y secundaria	25
Figura N° 2.27: Pared de tanque de almacenamiento.....	25
Figura N° 2.28: Presión hidrostática en la columna del líquido del tanque.....	26
Figura N° 2.29: Diseño de método del pie.....	27
Figura N° 2.30: Cimentación de la base del tanque.....	28
Figura N° 2.31: Distribución de chapas en el fondo del tanque	30
Figura N° 2.32: Distribución de la plancha anular en el fondo	30

Figura N° 2.33: Configuración de la plancha anular	31
Figura N° 2.34: Distribución de conexiones para tanques de almacenamiento.....	32
Figura N° 2.35: Boquillas de bridas tipo regular	34
Figura N° 2.36: Refuerzos tipo diamante o circular	35
Figura N° 2.37: Conexiones de pared y techo en tanques	35
Figura N° 2.38: Entrada de hombre o Manhole.....	36
Figura N° 2.39: Drenajes y sumideros.....	37
Figura N° 2.40: Velocidad del viento	37
Figura N° 2.41: Movimientos a acciones de viento del tanque	38
Figura N° 2.42: Acciones del viento en el tanque	38
Figura N° 2.43: Deslizamiento del tanque debido al viento	40
Figura N° 2.44: Pernos de anclaje	40
Figura N° 2.45: Levantamiento por acción del viento.....	41
Figura N° 2.46: Distribución de Pernos de anclaje.....	41
Figura N° 2.47: Silletas para pernos de anclaje	42
Figura N° 2.48: Anillos rigidizadores	43
Figura N° 2.49: Perfiles de coronamiento de techos auto soportado.....	44
Figura N° 2.50: Perfil de coronamiento para techos soportados	45
Figura N° 2.51: Distribución de anillos de rigidización por viento.....	45
Figura N° 2.52: Anillo superior de viento	46
Figura N° 2.53: Secciones típicas de anillos de refuerzo para tanques	48
Figura N° 2.54: Distribución de los espesores de las virolas en el tanque.	50
Figura N° 2.55: Análisis de estabilidad sísmica de tanques de almacenamiento	54
Figura N° 2.56: Análisis sísmico de los tanques de almacenamiento	54
Figura N° 2.57: Soldabilidad de los aceros.....	59
Figura N° 2.58: Unión soldada a tope y filete	60
Figura N° 2.59: Procesos FCAW auto-prottegido y gas de protección.....	61
Figura N° 2.60: Proceso FCAW	62
Figura N° 2.61: Alimentador de alambre tubular	63
Figura N° 2.62: Antorcha de proceso FCAW.....	64
Figura N° 2.63: Alambre tubular y macizo.....	64
Figura N° 2.64: Designación de alambre proceso FCAW	65
Figura N° 2.65: Botella de CO ₂	66

Figura N° 2.66: Tipo de juntas verticales en cascos de tanques de almacenamiento	68
Figura N° 2.67: Tipos de juntas para cascos envolventes.....	69
Figura N° 2.68: Preparación de planchas de fondo soldadas a solapa y techos	70
Figura N° 2.69: Distribución de chapas en el fondo del tanque	70
Figura N° 2.70: Detalle de soldadura doble filete para fondo con espesor nominal	72
Figura N° 2.71: Caja de vacío para pruebas en el fondo de tanques	74
Figura N° 2.72: Inspección en fondos de tanques	74
Figura N° 2.73: Prueba en planchas reforzadas.....	75
Figura N° 2.74: Inspección de cordones de coladura del casco con agua	75
Figura N° 2.75: Procesos de control de calidad.....	76
Figura N° 2.76: Formato WPS - PQR.....	79
Figura N° 2.77: Calificación de soldadura.....	80
Figura N° 2.78: Ensayo de dobles cara y raíz - ensayo de tracción.....	80
Figura N° 2.79: Certificado de calificación de soldador	81
Figura N° 2.80: WPS - PQR	81
Figura N° 2.81: Taller de soldadura.....	83
Figura N° 2.82: Horno para la conservación de electrodos	84
Figura N° 2.83: Posiciones de soldeo según AWS - ASME IX	85
Figura N° 2.84: Procesos de precalentamiento.....	85
Figura N° 2.85: Lápiz térmico	86
Figura N° 2.86: Deposición múltiple de cordones de soldadura	86
Figura N° 2.87: Cordón de soldadura	87
Figura N° 2.88: Atmosfera protectora	88
Figura N° 2.89: Verificación del cordón de soldadura	89
Figura N° 2.90: Deformación por temperatura.....	90
Figura N° 2.91: Inspección visual de uniones soldadas.....	94
Figura N° 2.92: Herramientas de inspección visual de soldadura	94
Figura N° 2.93: Galga pipe pitge	95
Figura N° 2.94: Galga bridge cam	95
Figura N° 2.95: Galga para sobremontas refuerzos	96
Figura N° 2.96: Galgas para filetes de soldadura	96
Figura N° 2.97: Calibrador de Soldadura HI-LO	97
Figura N° 2.98: Medidor filete soldadura V-WAC	97

Figura N° 2.99: Otras herramientas de inspección visual.....	97
Figura N° 2.100: Defectos de soldadura.....	98
Figura N° 2.101: Tipos de fisuras.....	101
Figura N° 2.102: Tipos de porosidad.....	102
Figura N° 2.103: Inclusiones en cordón de soldadura.....	102
Figura N° 2.104: Penetración incompleta.....	104
Figura N° 2.105: Socavación en soldadura con bisel y de filete.....	104
Figura N° 2.106: Concavidad Interna (IC).....	105
Figura N° 2.107: Desalineamiento en soldadura.....	106
Figura N° 2.108: Salpicaduras de soldadura.....	106
Figura N° 2.109: Tintes penetrantes.....	107
Figura N° 2.110: Procedimiento de tintes penetrantes.....	111
Figura N° 2.111: Yugo para partículas magnéticas.....	113
Figura N° 2.112: Discontinuidad en materiales ferromagnéticos.....	114
Figura N° 2.113: Aplicación de partículas magnéticas.....	114
Figura N° 2.114: Partículas magnéticas húmedas fluorescentes.....	115
Figura N° 2.115: Inspección de ultrasonido.....	116
Figura N° 2.116: Equipo de ultrasonido.....	117
Figura N° 2.117: Bloques patrón para calibración de equipos de ultrasonido.....	118
Figura N° 2.118: Zapatas y transductores.....	119
Figura N° 2.119: Anatomía de un transductor.....	119
Figura N° 2.120: Tipos de transductores.....	119
Figura N° 2.121: Radiografía industrial.....	122
Figura N° 2.122: Emisión de la radiografía.....	125
Figura N° 2.123: Películas Radiográficas.....	125
Figura N° 2.124: Equipo para la radiografía industrial:.....	126
Figura N° 3.1: Características de las maquinas.....	151
Figura N° 3.2: Máquina de soldar Miller.....	151
Figura N° 3.3: Moladora Bosh.....	152
Figura N° 3.4: Equipo de soldeo.....	152
Figura N° 3.5: Trabajos de cuadrado, biselado y rolado.....	153
Figura N° 3.6: Proceso de soldadura de la base del tanque.....	154
Figura N° 3.7: Gateo de los anillos del tanque.....	154

Figura N° 3.8: Estructura de soporte del techo	155
Figura N° 3.9: Posesión de soldadura	156
Figura N° 3.10: Inspección de cordón exterior	160
Figura N° 3.11: Kit de inspección visual de soldadura.....	163
Figura N° 3.12: Defectos en uniones soldadas	179
Figura N° 3.13: Toma de radiografía a cordón de soldadura.....	179
Figura N° 3.14: Ensayo de prueba hidrostática	180
Figura N° 3.15: Llenado de agua en tanque.....	182
Figura N° 3.16: Pruebas de Fuga – Manhole del tanque	182
Figura N° 3.17: Ensayo con caja de Vacío en el Fondo del Tanque	185
Figura N° 3.18: Ensayo de tracción de planchas	186
Figura N° 3.19: Fractura del ensayo de tracción de planchas.....	186
Figura N° 3.20: Equipo de ensayo de tracción	187
Figura N° 3.21: Dimensiones de la matriz del ensayo de doblez guiado	188
Figura N° 3.22: Matriz de rodillo para doblez guiado	189
Figura N° 3.23: Doble de cara	189
Figura N° 3.24: Doble de raíz	190
Figura N° 3.25: Ensayo de dobles de probeta de ensayo	190
Figura N° 3.26: Probeta para ensayo de filete	191
Figura N° 4.1: Granallado de planchas	192
Figura N° 4.2: Medición de granallado	193
Figura N° 4.3: Medición de la capa de pintura	198
Figura N° 4.4: Pintado exterior e interior del tanque.....	200

GLOSARIO

Definición de términos, considerados relevantes en el transcurso de la investigación

Calidad: Es el juicio que el cliente tiene sobre un producto o servicio y resulta por lo general en la aprobación o rechazo del producto, también es tener un producto o servicio que llene o supere las expectativas del cliente

Indicadores de calidad: Ratio o relaciones que permiten cuantificar el comportamiento de las variables de mayor importancia para la calidad de la empresa.

Productividad: Es tener ese producto al mejor costo, en el menos tiempo y en la mayor cantidad., también se tiene este otro concepto de la capacidad de producir satisfactoriamente bienes o servicios con menos recursos. Es la relación entre las entradas y las salidas en el proceso de transformación, es decir la relación entre la cantidad de bienes y servicios producidos y la cantidad de recursos utilizados.

Escoria: Materia que, al ser martilleada, suelta el hierro candente.

Fundente: Sustancia que se mezcla con otra para facilitar la fusión de esta.

Cristalización: Hacer que una sustancia adquiera la forma y la estructura del cristal.

Nucleación: La primera etapa de un cambio de fase, donde se generan pequeñas superficies de fase distinta a la existente, llamadas núcleos.

Coalescencia: Propiedad de las cosas de unirse o fundirse.

CAPITULO I GENERALIDADES

Se ha visto un problema grande en las empresas de fabricación de tanques estructurales en la ciudad de Arequipa con respecto a la falta de calidad del producto o servicio que prestan.

- No se tiene claro los requerimientos al 100% de los clientes, por tanto, no se puede dirigir una operación de calidad al cliente al menos que se comprenda la naturaleza de lo que está dando. No se asegura que el producto este conforme con los requisitos establecidos en las especificaciones técnicas del proyecto.
- Las empresas no tienen un procedimiento adecuado o sistema de control de calidad de uniones soldadas con sus pruebas de inspección claras en lo concerniente a la fabricación de tanques, por tanto, no se puede medir su desempeño de control y también no se puede asegurar una buena toma de decisiones y ver los puntos críticos, para buscar una mejora continua en el proceso.
- Las empresas no tienen un control estandarizado específico en la fabricación de tanques de almacenaje para la minería con proceso de soldadura. Los costos de no calidad que surgen por falta de control adecuado en los momentos de hacer el trabajo, trae como consecuencia, reprocesos durante las diferentes actividades, reparaciones, invertir nuevamente tiempo en rehacer o mejorar el trabajo, sin la conformidad de calidad y horas hombre perdidas que se vuelven a invertir en un trabajo que se hizo mal.
- No logra el producto terminado la satisfacción del cliente, ni se cubre las expectativas del cliente, lo que trae como consecuencia una mala imagen a la empresa.

1.1. Objetivo general

El presente trabajo establece las consideraciones para el control de calidad de uniones soldadas para la fabricación de tanques de almacenamiento para agua industrial, para la industria y minería.

1.2. Objetivos específicos

- Crear y estructurar un sistema que asegure la calidad de soldadura del proceso FCAW para la fabricación de un tanque de almacenamiento para la industria y minería, sirviendo como una guía.
- Mostrar la importancia del desarrollo adecuado del procedimiento de soldadura en los documentos de la WPS y PQR para el proceso FCAW.
- Mostrar cómo se realiza el control de calidad de las uniones soldadas del procedimiento de soldadura y la calificación de soldadores, de acuerdo al estándar API 650, ASME IX y ASME V.
- Ejecutar y evaluar los procedimientos de ensayos mecánicos y ensayos no destructivos requeridos para el aseguramiento de la calidad de las uniones soldadas del tanque de almacenamiento.

1.3. Alcances y limitaciones

- Este sistema de control de calidad de soldadura establecerá los requisitos mínimos de las uniones soldadas y plan de inspección para asegurar la optimización de la fabricación y pruebas a realizarse en el tanque.
- Los siguientes Normas y reglamentos se usarán para el control de las uniones soldadas, selección de materiales, pruebas, ensayos y procedimientos de la respectiva fabricación de un tanque.

API 650: Welded steel tanks for oil storage.

ASME V Métodos de inspección.

ASME VIII Códigos de aceptación.

ASME IX Normas para la calificación de procedimientos de soldadura

- El presente trabajo, se circunscribe al control de calidad de las uniones soldadas, para la fabricación de un tanque de almacenaje de agua industrial en el sector minero e industrias en la ciudad de Arequipa, pero este sistema de control de calidad es un modelo para diferentes fabricaciones de tanques con características similares, de acuerdo a las normas internacionales.
- El tanque para analizar el control de soldadura, fabricación, será un tanque típico que almacene agua industrial, con las siguientes medidas 7 metros de diámetro y 8.5 metros de altura.
- Se trabajará para este sistema de control de calidad con tanques que trabajen a presión atmosférica, principalmente la base, casco y techo del tanque de almacenamiento.

1.4. Justificación de la investigación

El presente sistema de control de calidad de soldadura en la fabricación de tanques de almacenamiento para la minería e industria es importante ya que los resultados favorecerán a responsables del área de calidad de las empresas de fabricación de estructuras metálicas (empresa y trabajadores); y a los clientes que requieren su servicio de fabricación de tanques, ya que se tendrá un sistema de calidad en la fabricación de forma especializada, permitiendo esto aumentar la productividad, buena competitividad, calidad, eficiencia y satisfacción al cliente.

Técnicamente se logrará la optimización de calidad en la fabricación de los tanques de almacenaje, utilizando y cumpliendo las normas internacionales de control de calidad de soldadura, fabricación, pruebas, ensayos no destructivos y destructivos.

Metodológicamente servirá de partida para futuros trabajos de sistema de control de calidad en las uniones soldadas para la fabricación de tanques de almacenamiento, ayudaran como modelo a otras ciudades de implementar este sistema del control de calidad en la soldadura, buscando un beneficio a la industria y minería.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2. DESCRIPCIÓN DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO Y CONTROL DE CALIDAD DE UNIONES SOLDADAS

2.1. Tanques de almacenamiento

Los tanques de almacenamiento bajo la norma API 650 en sus distintos tipos son usados para almacenar una serie de productos como: petróleo crudo y sus distintos derivados como: butano, propano, gas licuado de petróleo, solventes, agua, etc.

Usándose, así como depósitos para almacenar una reserva lo suficiente de algún producto para su uso posterior o comercialización.

Los tanques de almacenamiento verticales con una base plana en el fondo nos permiten almacenar grandes cantidades de volumen, con un presupuesto relativamente bajo, y con una limitante que son usados a presión atmosférica o presiones internas de operación menores a 18KPa.

Figura N° 2.1 Tanques de almacenamiento vertical



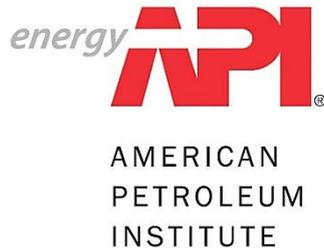
Fuente: Fotografía tomada en minera las Bambas

2.2. Códigos de diseño

Debido a la existencia de distintos tipos de códigos de diseño de tanques de almacenamiento, el cliente establecerá el código de aplicación para su diseño.

Los códigos de diseño más usados para tanques de almacenamiento son.

Diagrama N° 2.1: Standard API



API Standard 620

Design and Construction of
Large, Welded, Low - Pressure
Storage Tanks

API Standard 650

Welded tanks for oil storage

API Standard 653

Tank Inspection, Repair, Alteration,
and Reconstruction

Fuente: Elaboración propia

Son documentos con información técnica o normalizada que definen los procedimientos básicos de la construcción de un elemento soldado, con cumplimiento obligatorio que define el uso adicional de tales y cuales normas y especificaciones.

- **El código:** Es un listado de reglamentos que son organizados y actualizados sistemáticamente, las cuales definen las condiciones de su diseño, materiales, construcción, fabricación, personal, montaje instalación, inspección, procedimientos, reparación, mantenimiento y/u operación de equipos o elementos soldados.
- **La Norma:** Este documento determina las características de un elemento o actividad a realizar, así como también las condiciones técnicas de construcción, fabricación, montaje y generalmente se acude a la norma por referencia de un código, y cuando esta ocurre su aplicación es de carácter mandatorio.
- **Especificación:** Este documento posee los requerimientos técnicos esenciales sobre cada una de las partes de un equipo o elementos soldado, de manera que detalla claramente aspectos como: tipo del material y ensayos, procedimientos, clasificación, herramientas y equipos para realizar la actividad.

2.2.1. Código API 650

Esta norma cubre aquellos tanques donde se almacenan fluidos líquidos y están contruidos de planchas de acero con fondo plano soportado por cama de suelo tratado diseñados para soportar presiones internas de operación atmosférica (menor a 18KPa) y con temperatura de operación que no sea mayor a 93°C.

Éste código aplica sólo a tanques de almacenamiento que no se usen para servicios de refrigeración.

El anexo “M” permite diseños de tanques de almacenamiento con temperaturas de operación hasta 260°C cuando cumplen especificaciones del material y requerimientos de diseño.

Para presiones internas relativamente mayores son aceptadas cuando los requerimientos en el anexo “F” sean cumplidos.

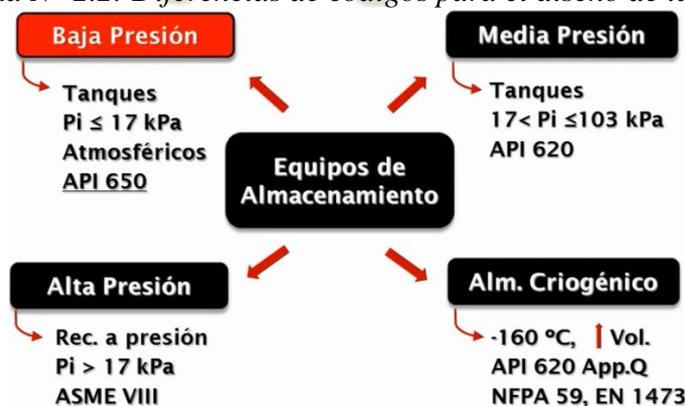
El código permite al diseñador seleccionar las dimensiones de mejor requerimiento para cada aplicación. (API 650, 2013)

Figura N° 2.2 Tanques de almacenamiento atmosféricos



Fuente: <http://www.cydisa.com/cyd/tanques-almacenamiento-grandes-dimensiones/>

Diagrama N° 2.2: Diferencias de códigos para el diseño de tanques



Fuente: www.arvengconsulting.com tanques de almacenamiento API 650

2.2.2. Código API 653

Esta norma cubre los requisitos para la inspección, reparación, alteración, soldadura, examen de prueba y reconstrucción de tanques de almacenamiento atmosférico API 650 que ya se han puesto en servicio.

Figura N° 2.3: Inspección y mantenimiento API 653



Fuente: <http://cenace.upsa.edu.bo/Portafolio-de-Cursos/Inspeccion-y-Mantenimiento-de-Tanques>

Tabla N° 2.1: Procesos para tanques atmosféricos

PROCESO	TANQUES ATMOSFÉRICOS
Diseño	API 650
Construcción	API 650
Soldadura	ASME IX
Inspección	API 653
Reparación	API 653
Aptitud para el mantenimiento	API 653

Fuente: *Elaboración propia*

2.3. Partes del código API 650

Se divide en diez secciones y veintisiete anexos.

2.3.1. Secciones

- Sección 1: Alcance.
- Sección 2: Referencias.
- Sección 3: Definiciones.
- Sección 4: Materiales.
- Sección 5: Diseño.
- Sección 6: Fabricación.
- Sección 7: Izado.
- Sección 8: Métodos de inspección de uniones.

- Sección 9: Procedimientos y calificación de soldadores.
- Sección 10: Identificación y responsabilidad.

2.3.2. Anexos

- Anexo A: Bases de diseño opcionales para tanques pequeños.
- Anexo AL: Banques de almacenamiento de aluminio.
- Anexo B: Recomendaciones para el diseño y la construcción de fundaciones para tanques de almacenamiento de petróleo.
- Anexo C: Techos flotantes externos.
- Anexo D: Consultas técnicas.
- Anexo E: Diseño sísmico de tanques de almacenamiento.
- Anexo EC: Comentarios al Anexo E.
- Anexo F: Diseño de tanques para presiones de diseño internas pequeñas.
- Anexo G: Techos de aluminio estructuralmente soportados.
- Anexo H: Techos flotantes internos.
- Anexo I: Detección de pérdidas en el fondo y protección de camas.
- Anexo J: Tanques ensamblados en taller.
- Anexo K: Ejemplos de aplicación del método del punto variable para determinar el espesor de la envolvente.
- Anexo L: Hoja de datos de acuerdo a API 650.
- Anexo M: Requerimientos de tanques operando a elevada temperatura.
- Anexo N: Utilización de materiales nuevos no identificados.
- Anexo O: Recomendaciones para conexiones debajo del tanque.
- Anexo P: Cargas externas admisibles para conexiones en la envolvente.
- Anexo S: Tanques de almacenamiento fabricados con acero inoxidable austenítico.
- Anexo SC: Tanques de almacenamiento fabricados acero inox y carbono.
- Anexo T: Sumario de requerimientos de ensayos no destructivos.
- Anexo U: Examen ultrasónico en lugar de examen radiográfico.
- Anexo V: Diseño de tanques de almacenamiento para presión exterior.
- Anexo W: Recomendaciones comerciales y de documentación.
- Anexo X: Tanques de almacenamiento fabricados con acero dúplex.
- Anexo Y: Nomograma API. (API 650, 2013)

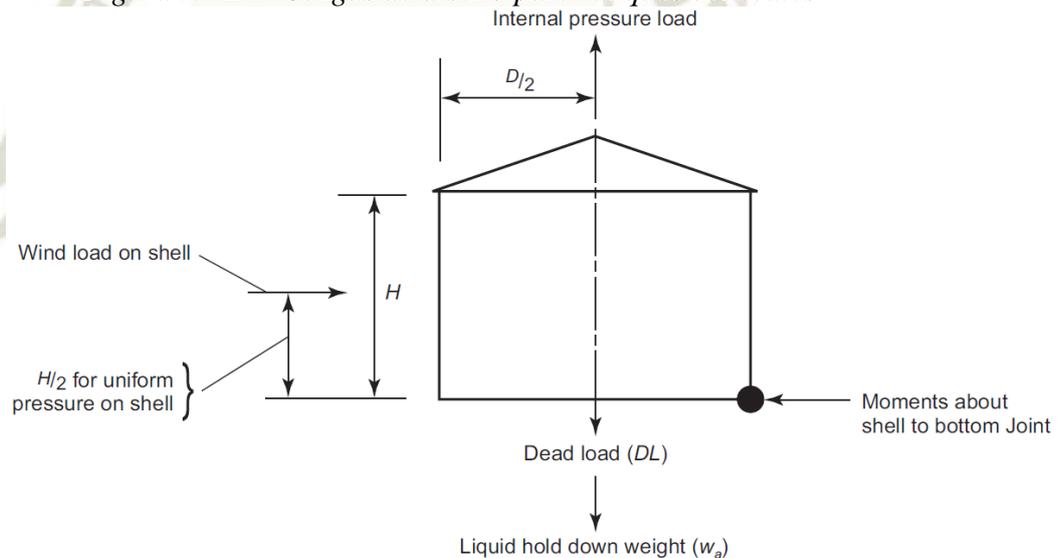
2.4. Consideraciones generales de diseño

Las consideraciones para el diseño del tanque, fabricación y la adecuada definición de las condiciones de diseño es la piedra fundamental de todo diseño satisfactorio, en algunos casos la dificultad que puede presentar un diseño no radica en el cálculo mecánico propiamente sino en la definición condiciones de diseño.

La presión y la temperatura son un par de los muchos requerimientos de diseño deben ser tomados en cuenta en consideración algunos de ellos son:

- **Temperatura:** Temperatura ambiente, temperatura del fluido.
- **Presión:** Presión interior, presión exterior.
- **Cargas externas:** Cargas por viento, cargas por sismo, cargas por nieve.
- **Cargas:** Peso propio, cargas vivas, cargas muertas.

Figura N° 2.4: Cargas de diseño para tanques verticales

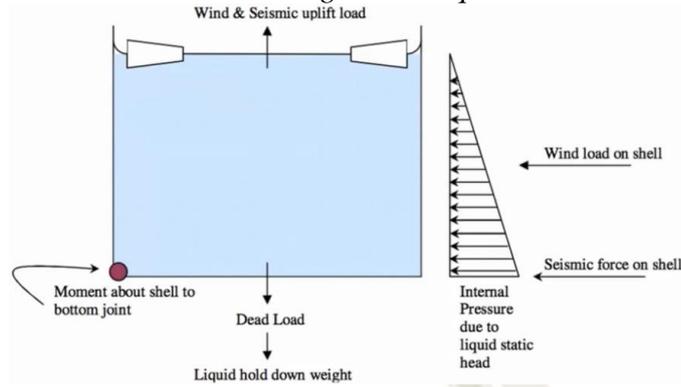


Fuente: API 650 -2013 -12ª Edición

- La carga de levantamiento por viento. (wind uplift load)
- La carga del viento por la presión interior. (internal presure load)
- La carga resistente del peso propio del tanque (dead load DL)
- La carga resistente del peso del fluido (liquid hold down weigt w)

Todas las cargas sobre el tanque en forma simultánea deben ser tomadas en cuenta. De esta forma se plantea los diferentes escenarios de diseño y se evalúa el tanque en los distintos casos para determinar el más favorable.

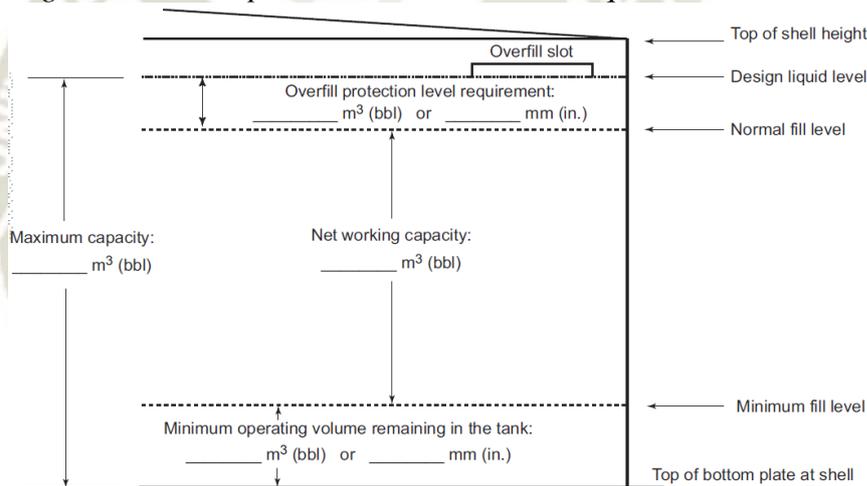
Figura N° 2.5: Combinación de cargas en tanques verticales



Fuente: www.arvengconsulting.com tanques de almacenamiento API 650

- **La corrosión admisible.**
- **Capacidad del tanque:** Diámetro, altura, altura neta, nivel de líquido.

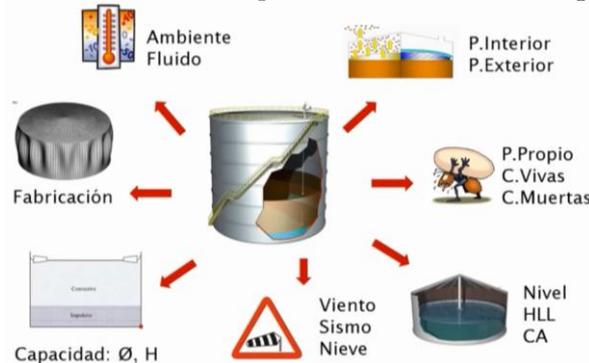
Figura N° 2.6: Capacidad volumétrica de tanques verticales



Fuente: API 650 -2013 -12ª Edición

- **Consideraciones a la hora de fabricación.**

Figura N° 2.7: Consideraciones para el diseño de un tanque general



Fuente: www.arvengconsulting.com tanques de almacenamiento API 650

- **Espesores mínimos:** Los tanques de almacenamiento operando bajo el rango de temperaturas 93°C cuyo diámetro excede los 30 m deberán contar con una plancha anular soldada a tope en la base del perímetro de tanque.
Y para tanques de almacenamiento con techo auto- soportado se realizará el cálculo del espesor mínimo de las planchas de acuerdo a lo indicado en el API 650 (5.10.5 y 5.10.6). (API 650, 2013)

2.5. Materiales a emplear

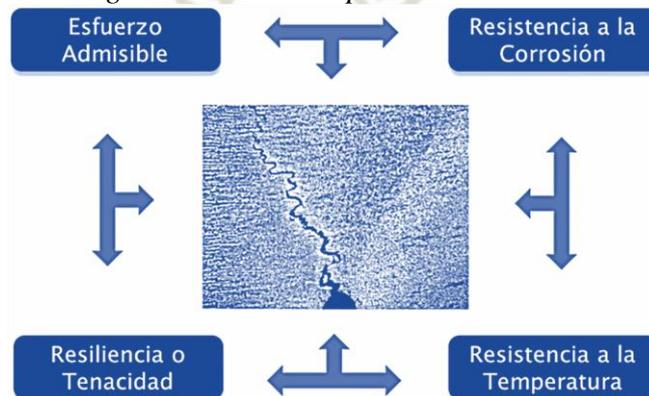
El código no recomienda ni sugiere ningún material para ninguna aplicación en concreto, el código solamente indica y lista los materiales con la que un tanque debe construirse y los requerimientos que los materiales deben de cumplir.

Para una aplicación en particular las siguientes propiedades deben ser evaluadas.

Las propiedades mecánicas del acero pueden ser fácilmente obtenidas a través de un ensayo de tracción.

- **Esfuerzo admisible:** Dependerá del material seleccionado.
- **Resistencia a la corrosión:** La resistencia que ofrece los aceros a la oxidación.
- **Resistencia a la temperatura:** No alteran sus propiedades procesos de operación.
- **Resiliencia o tenacidad:** Capacidad de absorber energías sin romperse o sufrir deformación permanente o plástica. (API 650, 2013)

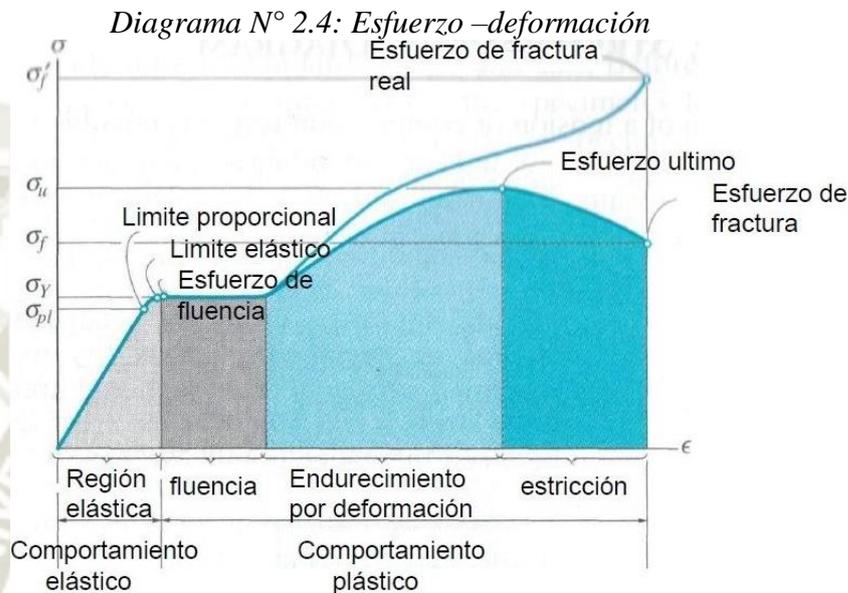
Diagrama N° 2.3: Propiedades de los aceros



Fuente: www.arvengconsulting.com tanques de almacenamiento API 650

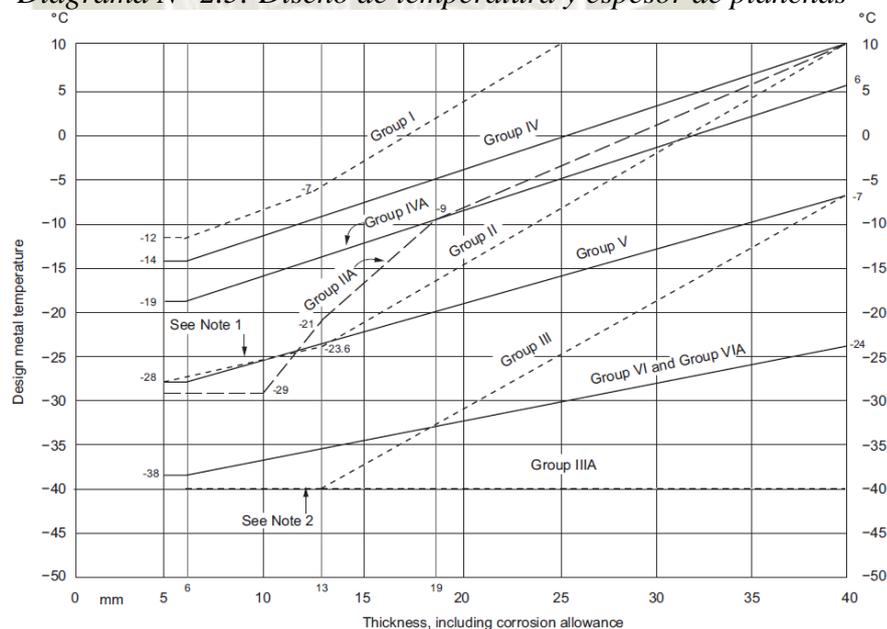
2.5.1. Propiedades mecánicas

Estas propiedades mecánicas deben ser conocidas para el diseño y fabricación, y son obtenidas a través de un ensayo a tracción el cual nos muestra un diagrama esfuerzo deformación.



Fuente: <http://www.areatecnologia.com/materiales/ensayo-de-traccion.html>

Diagrama N° 2.5: Diseño de temperatura y espesor de planchas



Fuente: *Estándar API 650 -2013 -12ª Edición*

Notas:

1. Las líneas de los grupos II y V para espesores menores que 12.5 mm.
2. Las líneas de los grupos III y IIIA para espesores menores que 12.5 mm.
3. Usar el Grupo IIIA y Grupo VIA, para tubería y perfiles.

Tabla N° 2.2: Especificaciones de aceros y su tratamiento térmico.

Grupo I Tal como se roló Semi calmado		Grupo II Tal como se roló, calmado o semi calmado		Grupo III Tal como se roló, calmado, práctica de grano fino		Grupo III A Normalizado calmado, práctica de grano fino	
Material	Notas	Material	Notas	Material	Notas	Material	Notas
A283M C	2	A 131M B	6	A 573M-400		A 573M-400	9
A285M C	2	A 36M	2, 6	A 516M-380		A 516M-380	9
A131M A	2	G40,21-260W		A 516M-415		A 516M-415	9
A 36M	2, 3	Grado 250	7	G40,21-260W	8	G40,21-260W	8, 9
Grado 235	3			Grado 250	8	Grado 250	8, 9
Grado 250	5						
Grupo IV Tal como se roló, Calmado práctica de grano fino		Grupo IV A Tal como se roló, Calmado práctica de grano fino		Grupo V Normalizado calmado Práctica de grano fino		Grupo VI Normalizado o templado y revenido, calmado, práctica de grano fino carbono reducido	
Material	Notas	Material	Notas	Material	Notas	Material	Notas
A573M-450		A662M C		A573M-485	9	A131M EH 36	
A573M-485		A573M-485	10	A516M-450	9	A633M C	
A516M-450		G40.21-300W	8, 9	A516M-485	9	A633M D	
A516M-485		G40.21-350W	8, 9	G40.21-300W	8, 9	A537M Clase 1	
A662M B		E275 D		G40.21-350W	8, 9	A537M Clase 2	12
G40.21-300W	8	E355 D	8			A678M A	
G40.21-350W	8	S275 J2	8			A678M B	12
E275 C	8	S355 J2 o K2				A737M B	
E355 C	8					A841M,, Grade A, Class 1	11, 12, 13
S275 J0	8					A841M, Grade B, Class 2	11, 12, 13
S355 J0	8						
Grade 275	8						

Fuente: Estándar API 650 -2013 -12ª Edición

Tabla N° 2.3: Materiales de planchas permitidos y tensiones admisibles (SI)

Especificación de Planchas	Grado	Espesor nominal de plancha (t) mm	Límite de fluencia mínimo MPa	Resistencia Mínimo a la tracción MPa	Esfuerzo de Diseño Sd MPa	Esfuerzo de Prueba Hidrostático St MPa
ASTM especificación						
A283M	C		205	380	137	154
A285M	C		205	380	137	154
A131M	A, B		235	400	157	171
A36M	-		250	400	160	171
A131M	EH 36		360	490 ^a	196	210
A573M	400		220	400	147	165
A573M	450		240	450	160	180
A573M	485		290	485 ^a	193	208

Fuente: Estándar API 650 -2013 -12ª Edición

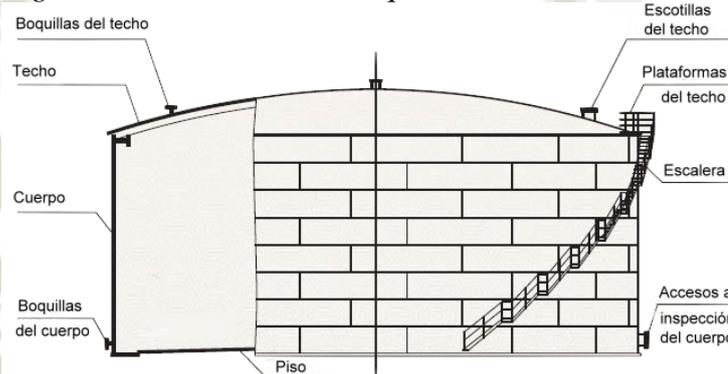
2.6. Componentes que conforman los tanques de almacenaje vertical

Los tanques de almacenamiento lo conforman diferentes elementos, pero sus principales elementos son:

- Techo del tanque.
- Pared del tanque.
- Fondo o base del tanque.

Se requiere conocer la configuración del tanque para diseñar los diferentes componentes y las cargas a ser soportadas.

Figura N° 2.8: Partes de tanque de almacenamiento



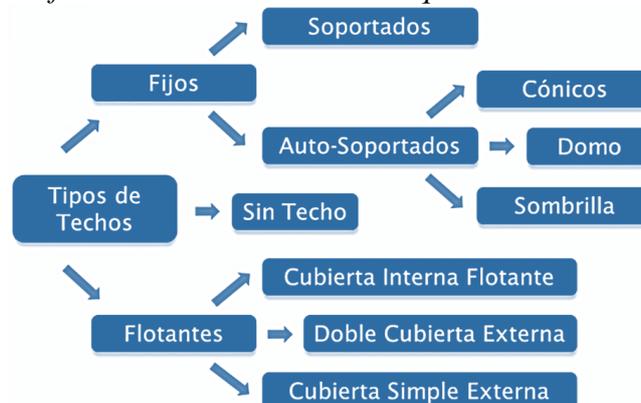
Fuente: <http://www.demaquinasyherramientas.com/wp-content/uploads/2015/11/Estructura-de-un-Tanque-de-Almacenamiento-Figura-1.gif>

2.6.1. Techo de tanques de almacenamiento

Los tanques de almacenaje podemos clasificar por el tipo de techo, dependiendo de los requerimientos del proceso y emplazamiento estos tipos de techo son:

- Tanques de techo fijo.
- Tanques de techo flotante.

Diagrama N° 2.6: Clasificación de los techos de tanques de almacenamiento



Fuente: www.arvengconsulting.com tanques de almacenamiento API 650

2.6.1.1. Cargas en techos de tanques

Consideraciones de diseño, sobre las cargas en el techo de los tanques.

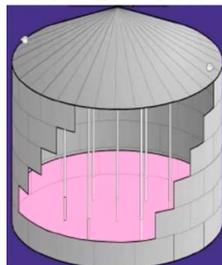
- **Peso propio:** Las planchas y estructura del techo se establecen en función del espesor de las planchas no corroídas, API 650 exhorta a verificar los largueros por peso propio sin la ganancia de arriostramiento.
- **Cargas vivas:** API 650 en la sección 5.2.1.F sugiere una carga viva mínima de 1KPa en el área horizontal proyectada del techo. Y las condiciones locales pueden necesitar que la carga viva se incremente en áreas de fuertes nevadas.
- **Viento:** Para el diseño de estructura de techos fijo no se considera debido a que la proyección del viento en la superficie es inferior.
Pero cuando la velocidad del viento supera a 240 km/h puede originar la elevación de las planchas del techo, se sugiere que la estructura debe tener el doble de carga que el peso de la plancha del techo.
- **Cargas de construcción:** La carga mínima de construcción es de 0,72 KPa para planchas de techo de 5 mm de espesor y 1 KPa para plancha de techos mayores a 7 mm de espesor. (API 650, 2013)

2.6.1.2. Tanques de techo fijo

Se emplean para el almacenar una gran serie de productos generalmente fluidos no inflamables cercanas a la temperatura ambiente como son el agua, el diésel, asfalto, el petróleo crudo etc.

Se puede decir que la mayor cantidad de su aplicación es en el sector industrial, minería y refinerías donde habitualmente utilizan tanques de techo fijo. (API 650, 2013)

Figura N° 2.9: Techo fijo



Fuente: www.arvengconsulting.com tanques de almacenamiento API 650

Algunas consideraciones para tanques de almacenamiento:

- Para tanques con $\emptyset \leq 16\text{m}$ los techos pueden ser auto-soportados.
- Para tanques con \emptyset entre 16m a 22m los techos deben diseñarse con estructura.
- Para tanque con $\emptyset > 22\text{m}$ los techos descansan en estructuras soportadas por columnas internas del tanque.

Nota: Los criterios indicados anteriormente representan solamente una guía para la selección del techo de un tanque. No debe adoptarse como un criterio de diseño.

Las configuraciones permitidas por el código API 650 para techos fijos son:

➤ **Techo cónico**

Se caracteriza por ser de fácil fabricación. La conformación de este tipo techo tiene una forma de envolvente con forma y superficie de un cono. Y el ángulo de inclinación de la superficie del techo es con respecto a la horizontal que está entre $9,5^\circ$ y 37° .

Figura N° 2.10: Tanque de almacenamiento techo tipo cono



Fuente: www.arvengconsulting.com tanques de almacenamiento API 650

➤ **Techo domo**

No tienen mucha demanda de fabricación como los de techo cónico esto debido a que su proceso de fabricación es complejo debido a que es más laborioso, ya que cada plancha de acero se tiene que trazar con un radio de curvatura, aumentando así el valor del costo de fabricación y plazo de entrega al cliente.

Acuerdo a la sección 5.10.6.1, API 650 el radio de curvatura de la superficie de los techos domo está entre 0,8 y 1,2 veces del diámetro nominal del tanque.

Figura N° 2.11: Tanque de almacenamiento techo tipo domo



Fuente: www.arvengconsulting.com tanques de almacenamiento API 650

➤ **Techo tipo sombrilla**

Este tipo de techo mantiene la curvatura sobre el eje vertical ya que el eje circunferencial del techo mantiene una similitud con respecto al techo tipo cónico. La forma de curvatura de la superficie del techo tipo sombrilla se realiza con los valores realizados del techo tipo domo.

Figura N° 2.12: Tanque de almacenamiento techo tipo sombrilla



Fuente: www.arvengconsulting.com tanques de almacenamiento API 650

Al mismo tiempo el techo puede ser:

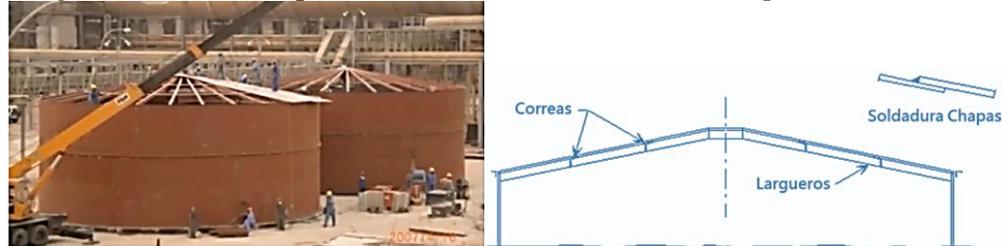
❖ **Techos soportados**

Es un conjunto de planchas distribuidas que descansan sobre una estructura adosada a la pared del tanque de almacenamiento.

Se utiliza una estructura para soportar las planchas del techo soldadas a solape, el principal motivo para utilizar un marco de estructura se debe al peso propio de las planchas a soportar y las cargas externas a la que está comprometido el techo, como peso propio, elementos mecánicos adosados al tanque, nieve, etc.

Dependiendo del diámetro del tanque, el peso y las cargas que pueda soportar se pueden diseñarse con o sin columnas internas.

Figura N° 2.13: Tanque de almacenamiento con techo soportado



Fuente: www.arvengconsulting.com tanques de almacenamiento API 650

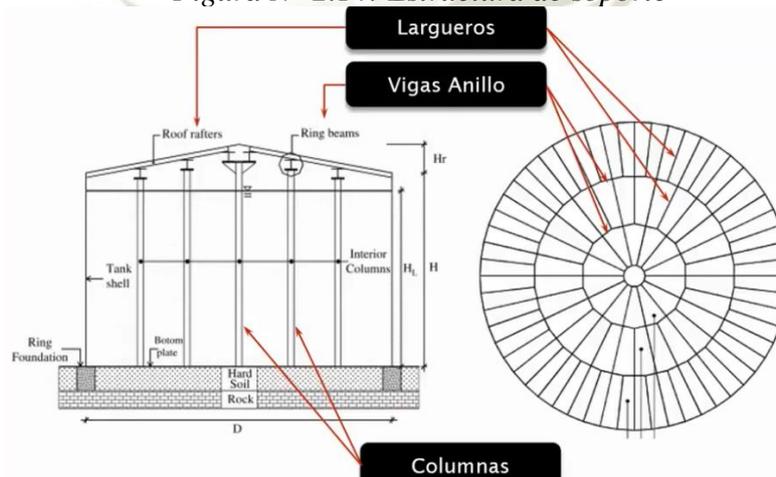
La estructura está formada por un sistema de largueros y unida a la pared del tanque, esta estructura será diseñada con el fin de soportar toda la carga del techo.

La configuración típica de la estructura soporte se muestra en la figura,

- Largueros: Soportan el peso de las planchas del techo.
- Vigas anillo: Son las que reciben las cargas de todos los largueros.
- Columnas: Soportan las vigas anillo de la estructura del techo.

Dependiendo del diámetro del tanque y de longitud adoptada para los largueros se dispondrán tantas vigas como sean necesarias.

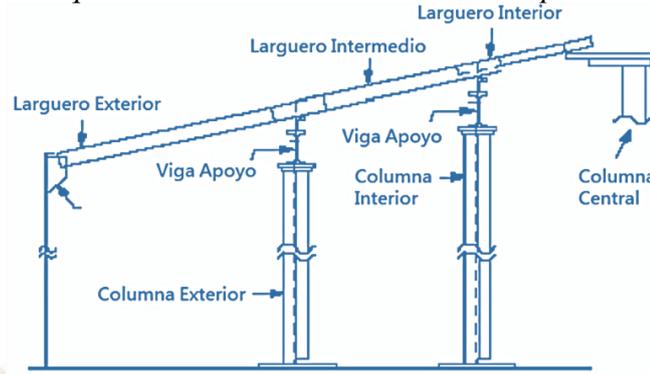
Figura N° 2.14: Estructura de soporte



Fuente: www.arvengconsulting.com tanques de almacenamiento API 650

Para tanques de grandes dimensiones, existen tres filas de largueros exteriores, intermedios e interiores.

Figura N° 2.15: Tanque de almacenamiento con techo soportado con columnas



Fuente: www.arvengconsulting.com tanques de almacenamiento API 650

Las características principales de techos soportados con columnas son las siguientes:

- Se utilizan para tanques de gran diámetro.
- Generalmente las planchas se sueldan a solape.
- Los pandeos de columnas deben ser verificadas con a 5.10.3.4. API 650.
- La pendiente mínima de este tipo de techos será de 1 a 16.
- Normalmente las vigas forman un polígono regular.
- Las columnas se apoyan sobre una base en el fondo.

❖ Techos auto-soportados

Consisten en un grupo de planchas con uniones soldadas a tope o solape, ya que por sus formas geométricas son capaces de apoyarse sin ninguna estructura sobre la pared del tanque básicamente soportado por la pared del tanque, y puede adoptar cualquiera de las tres configuraciones como techos tipo cónico, tipo domo o tipo sombrilla.

Figura N° 2.16: Techo auto- soportado



Fuente: www.arvengconsulting.com tanques de almacenamiento API 650

Las principales características de techos auto-soportados son:

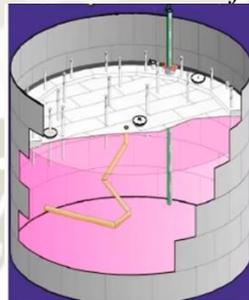
- Se usarán en tanques pequeños.
- Las planchas deberán ser soldadas a solapada o tope.
- Las planchas deberán ser rectangulares.
- Criterios de diseño deben ser:
- Espesores según código API 650 en el punto 5.10.5.1
 - Espesor Max. 13mm sin la corrosión admisible.
 - Espesor Min. 5mm sin la corrosión admisible.
- Pendiente del techo: Max. 37° min. 9.5°.

2.6.1.3. Tanques de techo flotante

Usados normalmente para almacenar productos volátiles como: aquellos derivados del petróleo.

Cuando el fluido a almacenarse es un producto que tiende a evaporarse a la temperatura de operación del tanque se genera una cámara de vapor o aire entre el nivel del líquido y el techo fijo del tanque para eliminar la cámara de aire entre el nivel del líquido y el techo se utilizan techo flotante que descansan sobre el líquido.

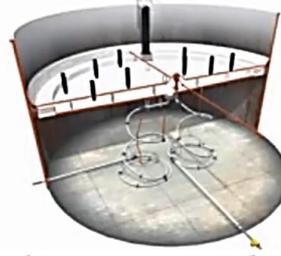
Figura N° 2.17: Techo flotante



Fuente: www.arvengconsulting.com tanques de almacenamiento API 650

- **Techo flotante externo:** Estas descansan sobre el líquido almacenado y testan a la intemperie. El anexo C del código API 650 establece los requerimientos mínimos de seguridad y durabilidad del techo flotante externos, el diseño del techo y sus accesorios deberán desplazarse desde el límite inferior de la pared del tanque hasta la parte superior de la pared llegando al límite del nivel del líquido almacenado o viceversa sin dañar el cuerpo del tanque, tapa o cualquier otro accesorio.

Figura N° 2.18: Tanque de almacenamiento con techo flotante externo

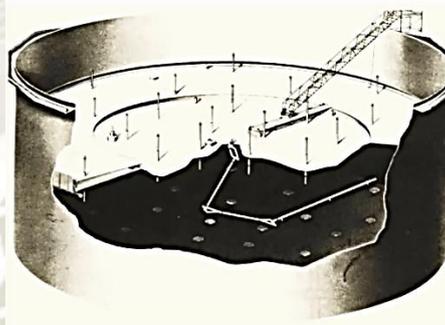


Fuente: www.arvengconsulting.com tanques de almacenamiento API 650

- **Los techos flotantes de cubierta simple:** Posee en una cubierta central plana rodeada por pontones flotantes los cuales se dividen radialmente en compartimientos donde el techo está expuesto a la intemperie su diseño garantiza un drenaje apropiado.

El techo central está formado por planchas de acero solapadas y soldadas por filete la parte superior y unida a la parte interior del pontón, estos techos son recomendado para tanques hasta 65 metros de diámetro y mayores a esta se experimentan fatigas inducidas por el viento debido a la flexibilidad que se originan en el centro del tanque.

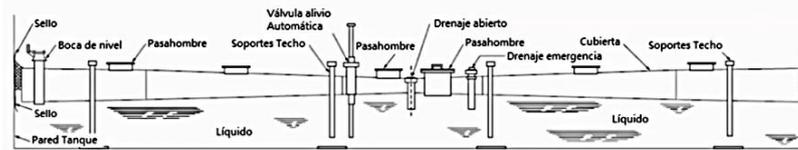
Figura N° 2.19: Techo flotante de cubierta simple



Fuente: www.arvengconsulting.com tanques de almacenamiento API 650

- **Techo flotante de cubierta doble:** Se componen de dos recubrimientos que conforman un solo pontón que compromete todo el techo, el pontón presenta una membrana superior e inferior separada por una serie de cartelas circunferenciales que definen los compartimientos, donde el anillo externo del compartimiento del techo representa la flotabilidad del mismo.

Figura N° 2.20: Techo flotante de cubierta doble



Fuente: www.arvengconsulting.com tanques de almacenamiento API 650

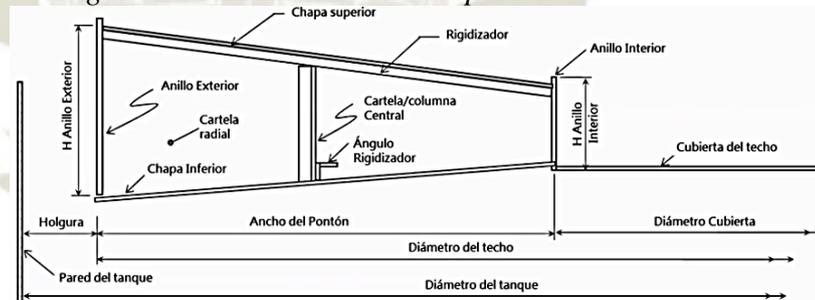
Por su forma y diseño son más pesadas y un valor de fabricación elevado sin embargo es más rígida y permite un drenaje mucho mejor en el techo y a su vez la membrana inferior tiene mayor contacto con el fluido almacenado debido a la baja deformación de la misma.

Tienen gran preferencia para tanques con diámetros superiores a 65 metros y para tanques con diámetros menores a 10 metros.

- **Pontón:** Es un elemento que ofrece la flotabilidad del techo del tanque, es una caja formado por 5 planchas, una parte superior y una inferior con dos anillos exterior e interior y un conjunto de cartelas radiales.

Las medidas del pontón alto y ancho varían en función de las necesidades de flotabilidad y dimensiones del tanque.

Figura N° 2.21: Estructura del pontón



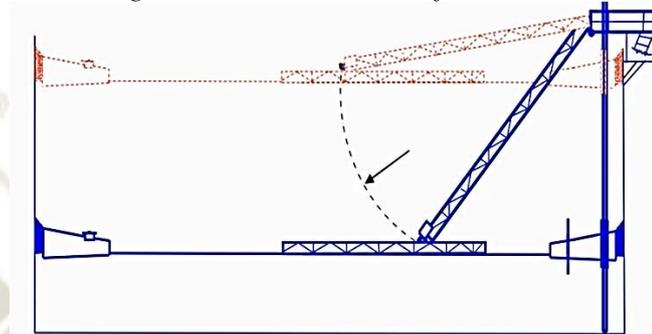
Fuente: www.arvengconsulting.com tanques de almacenamiento API 650

Alguno de los requerimientos más importantes es:

- Son diseñados para soportar a flote con una carga 250mm de agua en la cubierta central por lo menos 24 horas sin drenar.
- Deberán mantenerse a flote con dos compartimentos adyacentes inundados.
- Cada compartimento tendrá una entrada de hombre de inspección al menos de 0.51 metros o 20 pulgadas de diámetro.

- **Escalera flotante:** Los tanques con techo flotante tendrán una escalera que se adecue automáticamente a las posiciones del techo durante su operación y parada, y tendrá la capacidad de escoltar al techo en todo su desplazamiento sin interrumpir con la posición normal de los soportes del techo.

Figura N° 2.22: Escalera flotante

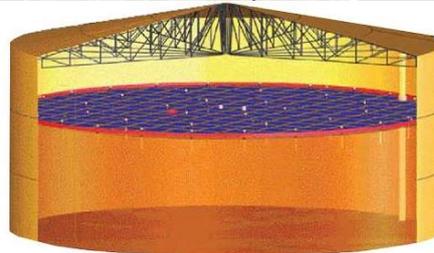


Fuente: www.arvengconsulting.com tanques de almacenamiento API 650

- **Techo flotante interno**

Son aquellos que no están expuestos a los rayos del sol y las precipitaciones fluviales.

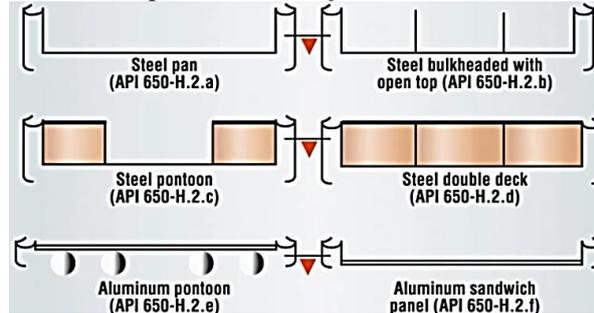
Figura N° 2.23: Techo flotante interno



Fuente: www.arvengconsulting.com tanques de almacenamiento API 650

Este tipo de techos no están expuestos a la intemperie están ubicadas internamente en los tanques de techo fijo para minimizar las emisiones de vapor, su fabricación es mucho más ligera comparado con los techos flotantes externos, las demandas de este tipo de techos flotantes internos son limitados solo por factores que afectan la seguridad y durabilidad del techo.

Figura N° 2.24: Tipos de techos flotantes internos



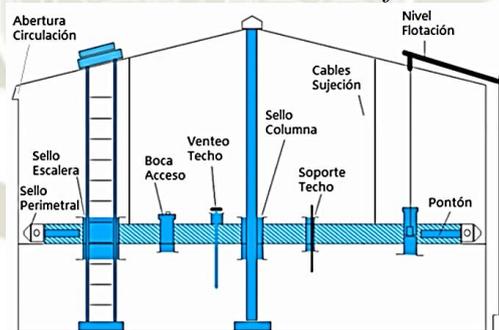
Fuente: www.arvengconsulting.com tanques de almacenamiento API 650

El diseño de techos flotantes internos debe cumplir con el anexo H del código API 650.

Algunos de los requerimientos más importantes son:

- Funcionamiento normal en todo el nivel del tanque sin intervención manual.
- Interconexión eléctrica del techo con pared del tanque.
- El techo debe flotar con dos compartimientos inundados.
- Debe soportar al menos 250 kilos en cualquier parte del techo.

Figura N° 2.25: Partes de un techo flotante interno:



Fuente: www.arvengconsulting.com tanques de almacenamiento API 650

La diferencia entre techo flotante externo y techo flotante interno son:

- Ambos reducen las pérdidas por evaporación.
- Los internos previenen la contaminación del fluido.
- Los internos son fáciles de construir y mantener.
- Los externos son más adecuados para tanques de grandes dimensiones.
- Los externos son por lo general menos costosos.

- **Sellos mecánicos:** El diámetro de techo flotante es menor que el diámetro interior de la pared del tanque.

Es un sistema de sellos mecánicos que tiene un sello primario y secundario dispuesto alrededor del perímetro del techo flotante con una tolerancia establecida las cuales impiden pasar el líquido almacenado de una cámara hacia otra, este conjunto de sellos se desplaza en forma alternativa e ininterrumpida en la pared interior del tanque dependiendo del nivel de líquido almacenado.

Figura N° 2.26: Sellos mecánicos primarios y secundaria



Fuente: www.arvengconsulting.com tanques de almacenamiento API 650

2.6.2. Pared de tanque de almacenamiento

Es el componente más grande del tanque ya que representa prácticamente el 60% del material utilizado y la parte más compleja para su diseño y fabricación.

Se construye con planchas de aceros comerciales con dimensiones estandarizadas de ancho, largo y espesor.

Las planchas se distribuyen de forma tal que las uniones soldadas verticales están desfasadas unas de otras con el fin de impedir la concentración de esfuerzos. La carga actuando sobre la pared de un tanque de almacenamiento y que define su espesor, es la presión o prueba hidrostática de los fluidos.

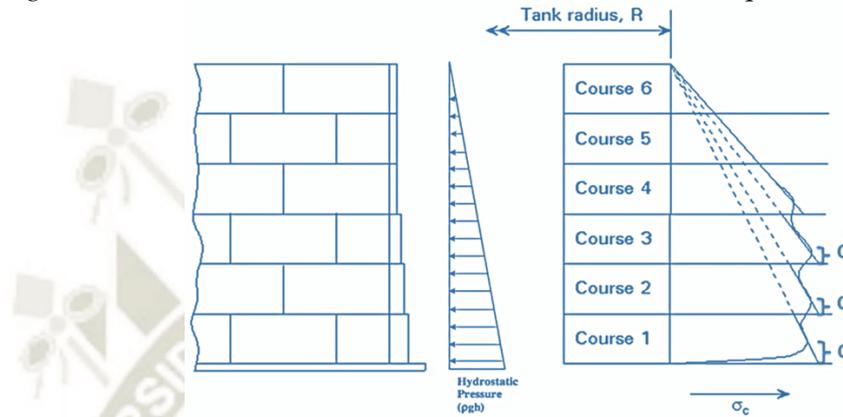
Figura N° 2.27: Pared de tanque de almacenamiento



Fuente: <http://dtsimexico.com/tanques-almacenamiento.html>

Debido a una mayor columna de líquido, la presión hidrostática será mayor en la base del tanque es por esto que se colocara planchas con mayor espesor en la primera virola del fondo del tanque disminuyendo el espesor de la plancha en forma progresiva a medida que se vayan ascendiendo las virolas unas tras otras.

Figura N° 2.28: Presión hidrostática en la columna del líquido del tanque



Fuente: www.arvengconsulting.com tanques de almacenamiento API 650

Para determinar el espesor de la pared API 650 determina 3 métodos

Diagrama N° 2.7: Métodos para el espesor de pared del tanque API 650



Fuente: Elaboración propia

Los espesores de las planchas no deben ser menores que los valores siguientes:

Tabla N° 2.4: Espesor de planchas para fabricación de tanques

Ø nominal del tanque		(t) nominal de la plancha	
Metros	Pies	Milímetros	Pulgadas
<15	<50	5	3/16
15 < 36	50 < 120	6	1/4
30 a 60	120 a 200	8	5/16
>60	>200	10	3/8

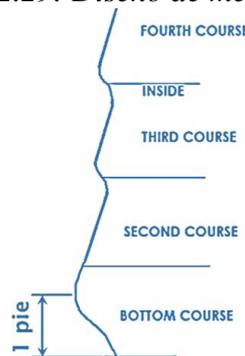
Fuente: Elaboración propia

2.6.2.1. Método de cálculo del pie

Es un método constantemente más usado debido a su simplicidad y forma conservadora de sus resultados para cada virola del tanque:

- El punto de mayor esfuerzo se sitúa a un pie por encima de la parte más baja de la virola,
- Esta simplificación de cálculo siempre del lado de la seguridad y el método
- No puede usarse para tanques con diámetros mayores de 61 metros.

Figura N° 2.29: Diseño de método del pie



Fuente: Elaboración propia

El cálculo del espesor de la pared del tanque según el método del pie compara dos combinaciones de carga: (API 650, 5.6.3.2)

- ❖ Las condiciones de operación normal.

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

- ❖ Las condiciones de prueba hidrostática.

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

- ❖ Espesor del casco del tanque

$$t = t_d + t_t$$

El mayor espesor para estas cargas será adoptado para la pared del tanque.

Dónde:

T_d : Espesor de la pared de diseño del tanque, en plg o mm.

T_t : Espesor de la pared de prueba hidrostática en plg o mm.

D : Diámetro nominal del tanque en plg o m.

H: Nivel de diseño del líquido, plg o m.

G: Densidad relativa del fluido almacenado.

CA: Corrosión admisible, plg o mm. (Vea 5.3.2).

Sd: Esfuerzo admisible para la condición de diseño Mpa. (Vea 5.2a/b).

St: Esfuerzo admisible para condición de prueba hidrostática Mpa.

2.6.2.2. Cálculo de espesor de pared (método de punto de diseño variable)

Este método es usado para tanques con diámetros mayores a 60 metros (200 pies) los cuales debe de cumplir con las secciones del API 650 (5.6.4) este método proporciona una disminución del espesor de carcasa y el peso total del material, así como también cuando el código no lo especifica el uso del método de pie. (API 650, 2013)

2.6.2.3. Calculo de espesores por análisis elástico

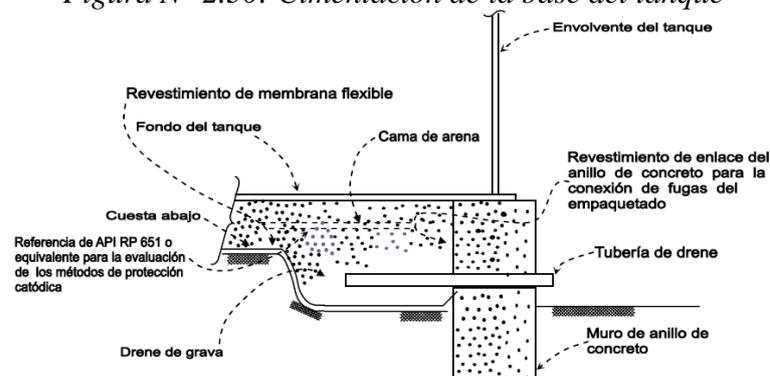
Están basadas en un análisis elástico que muestra los cálculos de esfuerzos de la pared cilíndrica del tanque por debajo de los esfuerzos límite.

2.6.3. Fondo del tanque

Los fondos de tanques de almacenamiento verticales son normalmente construidos de planchas de acero con uniones soldadas logrando así la hermeticidad y evitando las filtraciones del producto almacenado.

La base de hormigón o arena debe tener la capacidad de soportar el fondo tanque con su producto almacenado.

Figura N° 2.30: Cimentación de la base del tanque



Fuente: Pemex diseño de tanques atmosféricos NRF-113-pemex-2007

El fondo del tanque dependerá del diseño y las consideraciones como la cimentación para soportar el tanque, método que se utilizará para evacuar el producto almacenado, grado de sedimentación de sólidos, corrosión del fondo y la dimensión del tanque.

El fondo del tanque será de un diámetro mayor que el diámetro exterior de la pared como mínimo de 51mm más el ancho del filete de soldadura y las uniones del cuerpo y fondo. (API 650, 2013)

El fondo puede tomar dos configuraciones.

- **Fondo hacia abajo:** Usados normalmente para tanques con techo conico fijo donde existe un drenaje en la parte inferior.



- **Fondo hacia arriba:** Usados normalmente para tanques con techo flotante donde se usaran de 3 a 4 colectores cerca a la pared.



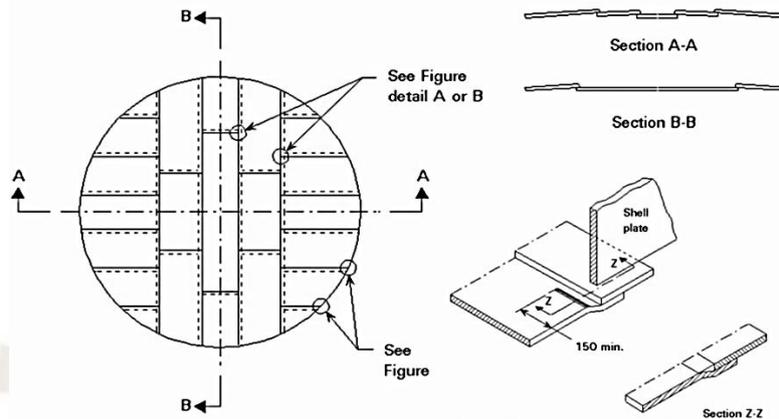
2.6.3.1. Distribución de las planchas del fondo del tanque

La presión hidrostática del líquido almacenado no afecta a las planchas distribuidas en el fondo como cargas de compresión y flexión ya que estas planchas podrían ser de menor espesor que las planchas de la pared del tanque, ya que las planchas del fondo se apoyan sobre la base del hormigón y garantizando así la estanqueidad del tanque.

El API 650 establece como mínimo un espesor de 6mm.

El diámetro del tanque establece la distribución y configuración de las planchas del fondo, en donde se debe tener en cuenta la deformación de las planchas de acero al ser sometidas a un proceso de soldadura.

Figura N° 2.31: Distribución de chapas en el fondo del tanque



Fuente: www.arvengconsulting.com tanques de almacenamiento API 650

2.6.3.2. Chapa anular

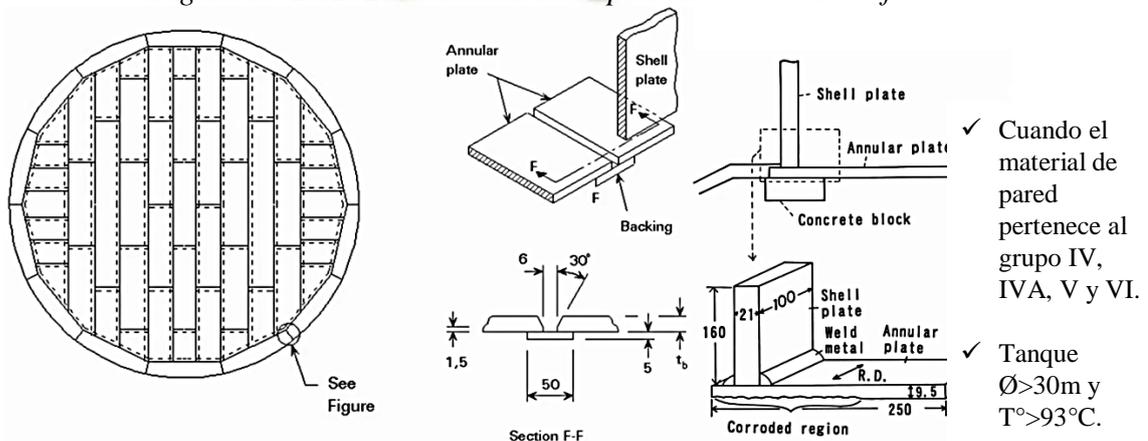
En los tanques de almacenamiento el fondo puede soportar directamente por las planchas o por una plancha anular.

Y son utilizadas para reducir el efecto de acumulación de esfuerzos en la junta de pared y fondo.

El estándar API 650 sugiere el uso de una plancha anular de mayor espesor y peso abajo de la pared del tanque, estas planchas de acero minimizan el efecto de los asentamientos diferenciales en todo el fondo y se incrementa la resistencia del tanque contra el momento de vuelco debido a las cargas externas.

Las chapas anulares tienen una distribución circular y en la parte interior una configuración poligonal. (API 650, 2013)

Figura N° 2.32: Distribución de la plancha anular en el fondo



Fuente: www.arvengconsulting.com tanques de almacenamiento API 650

Cuando se necesita el uso de la plancha anular, esta debe tener un ancho radial establecido por la ecuación mostrada, pero de ningún modo deberá ser menor a 600 mm entre el interior del tanque y cordón de soldadura en el fondo, y proyectando la distancia de plancha exterior de 51mm como mínimo.

El ancho recomendado de la placa anular es función de:

$$\frac{215t_b}{(HG)^{0.5}}$$

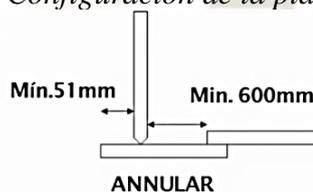
Donde:

T_b : Espesor de la placa anular

H : Nivel máximo del líquido

G : Gravedad específica del líquido a almacenar.

Figura N° 2.33: Configuración de la plancha anular



Fuente: www.arvengconsulting.com tanques de almacenamiento API 650

Dependiendo del espesor de la primera virola de la pared del tanque y dependiendo del esfuerzo de esta misma virola el estándar API 650 establece el espesor mínimo de las chapas anulares.

Tabla N° 2.5: Espesor de la plancha anular para tanques

Espesores de la placa anular del fondo				
Unidades S.I.				
Espesor nominal de placa del primer anillo (mm)	Esfuerzo de prueba hidrostática en el primer anillo (MPa)			
	≤ 190	≤ 210	≤ 230	≤ 250
$t \leq 19$	6	6	7	9
$19 < t \leq 25$	6	7	10	11
$25 < t \leq 32$	6	9	12	14
$32 < t \leq 40$	8	11	14	17
$40 < t \leq 45$	9	13	16	19

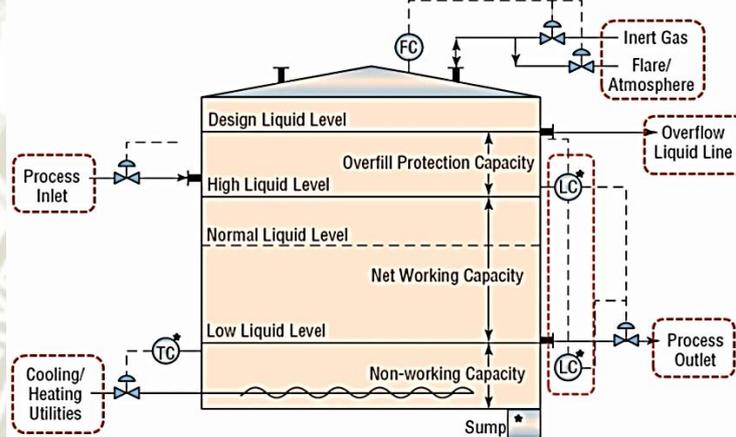
Fuente: Estándar API 650 -2013 -12ª Edición

2.6.4. Conexiones para tanques de almacenamiento

Los tanques de almacenamiento deberán contar con conexiones dependiendo del fluido almacenado, su simplicidad de producción y la distribución de las líneas de planta variando las dimensiones y cantidades de conexiones.

Las principales conexiones en los tanques de almacenamiento los encontramos en la siguiente figura.

Figura N° 2.34: Distribución de conexiones para tanques de almacenamiento



Fuente: www.arvengconsulting.com tanques de almacenamiento API 650

Los tanques de almacenamiento están expuestos a presiones atmosféricas y a la columna del líquido almacenado, las conexiones del tanque no se calculan se seleccionan, las dimensiones mínimas de las conexiones se disponen en las tablas de código API 650.

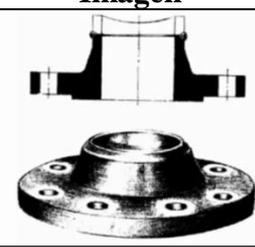
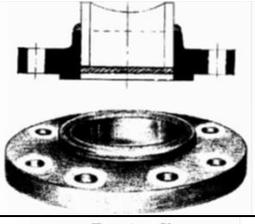
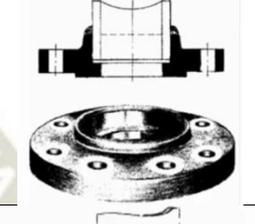
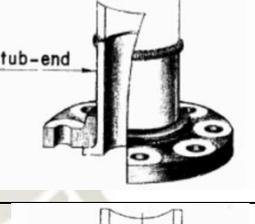
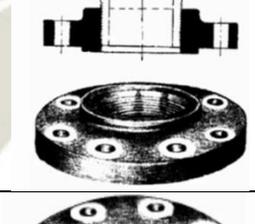
Básicamente para facilitar el diseño y homogeneizar el tanque simplificando el abastecimiento del fluido.

Los componentes principales de una conexión son: Brida, cuello y el refuerzo.

2.6.4.1. Bridas de conexión

- ❖ **Bridas estándar:** Algunas de las bridas mayormente usadas en la fabricación de recipientes sometidos a presión son:

Tabla N° 2.6: Tipos de bridas

Bridas estándar	Características	Imagen
BRIDAS CON CUELLO	De gran resistencia	
BRIDAS DESLIZANTES	No recomendable para presiones elevadas	
BRIDAS PARA ENCHUFE	Para diámetros pequeños menores a 1.5''	
BRIDA LOCA LAP-JOINT	Los agujeros no necesitan ser alineados para la soldadura. No está en contacto con el fluido	
BRIDA ROSCADA THREADED	Útiles cuando la soldadura debe ser evitada. Como gases inflamables.	
BRIDAS CIEGAS BLIND	Para tapar bocas de conexiones	

Fuente: www.arvengconsulting.com tanques de almacenamiento API 650

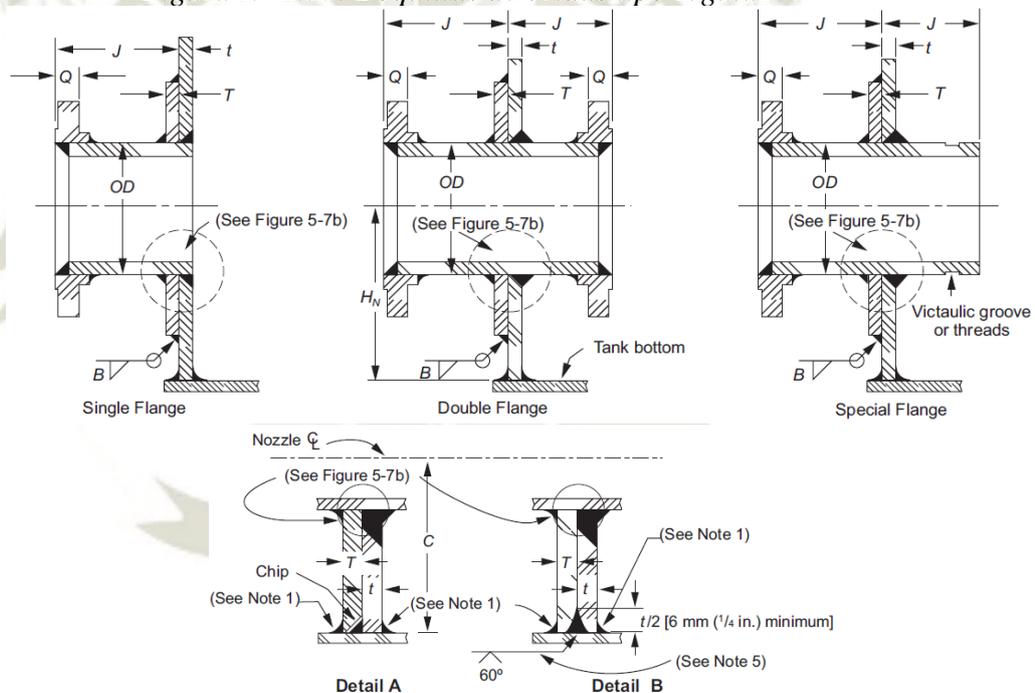
Estas bridas poseen dimensiones estándar y han sido diseñados para resistir condiciones de diseño específico, rangos de presión y temperatura es por esto que no se calculan se seleccionan, incluso hasta dimensiones de 24'' de diámetro nominal establecido en ANSI ASME B16.5.

2.6.4.2. Cuello de conexiones

Pueden asumir diferentes disposiciones dependiendo de la temperatura, tamaño, fluido, presión y la exigencia del cliente. Por lo general pueden ser construidos de tuberías de acero comercial que es la opción preferida cuando están disponibles comúnmente de 12" o 16" pulgadas de diámetro nominal o también puede ser fabricada de planchas de acero cuando los tubos no están disponibles.

Si surge la necesidad de una verificación manual se tomará en cuenta la columna del líquido, la resistencia mecánica de las conexiones y las cargas de las conexiones debido al análisis de flexibilidad.

Figura N° 2.35: Boquillas de bridas tipo regular



Fuente: Estándar API 650 -2013 -12ª Edición

Los espesores de los cuellos de las conexiones deberán ser determinados en base al código API 650 tabla 5-6a. (API 650, 2013)

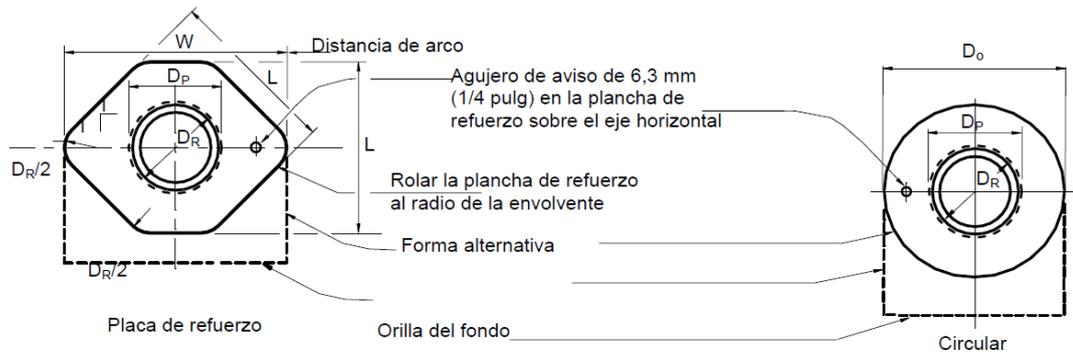
Donde el espesor determina el diámetro requerido

2.6.4.3. Refuerzos

Son planchas de acero que adoptan formas de diamante o circular sus características mecánicas son idénticas, la diferencia está en el método

constructivo del refuerzo. Las dimensiones de los refuerzos son establecidas en la tabla 5-6a del estándar API 650 que muestra. Las conexiones menores a 2", de diámetro nominal no requieren refuerzos.

Figura N° 2.36: Refuerzos tipo diamante o circular



Fuente: Pemex diseño de tanques atmosféricos NRF-113-pemex-2007

2.6.4.4. Requerimientos principales para conexiones del tanque

El mayor número de conexiones están ubicadas en la pared del tanque y techo, estas están citadas en el estándar API 650, se deberá tener en cuenta la distancia entre conexiones.

Figura N° 2.37: Conexiones de pared y techo en tanques



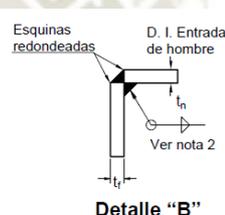
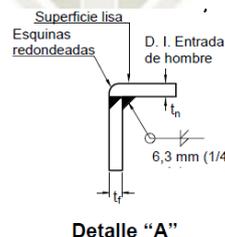
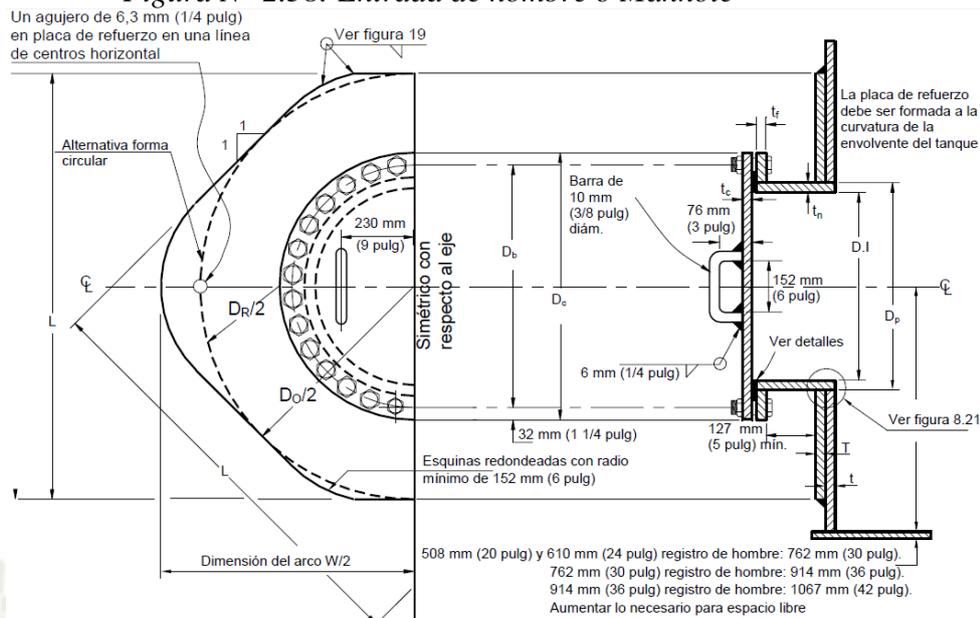
Fuente: www.arvengconsulting.com tanques de almacenamiento API 650

➤ Entrada de hombre

Los tanques de almacenamiento dispondrán como mínimo de una entrada de hombre ya sea ubicado en la pared del tanque o techo con la finalidad de realizar limpieza, inspecciones, mantenimiento o reparación dentro del tanque.

Para tanques con grandes dimensiones de diámetro se dispondrá de múltiples entradas de hombre. (API 650, 2013)

Figura N° 2.38: Entrada de hombre o Manhole



Fuente: Pemex diseño de tanques atmosféricos NRF-113-pemex-2007

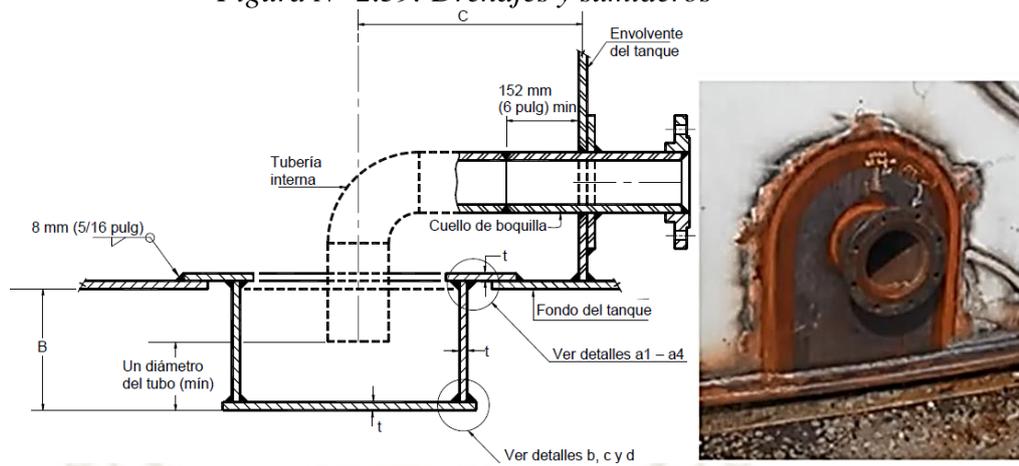
Nota:

- 1.- El material del empaque debe ser de lámina de "no asbesto" de fibra larga, a menos que se especifique otra cosa.
- 2.- El tamaño de la soldadura debe ser igual al espesor más delgado a unir.

➤ Drenajes y sumideros

Los tanques de almacenamiento deben contar con una vía de drenaje el cual estará ubicado entre el fondo y la pared del tanque o al ras del suelo esta línea se usará para la limpieza del interior del tanque debido a la concentración de sedimentos localizados en el fondo, derivándolo hacia un sumidero. En algunos casos también pueden ser usadas como conexiones de proceso.

Figura N° 2.39: Drenajes y sumideros



Fuente: Pemex diseño de tanques atmosféricos NRF-113-pemex-2007

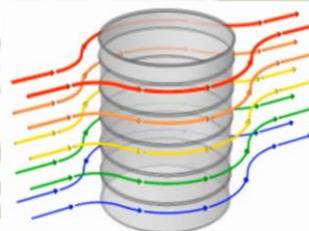
2.7. Consideraciones de diseño debido a las acciones de viento y sismo

2.7.1. Acciones de viento en los tanques

Cuando se decide evaluar la estabilidad del tanque por la acción del viento es indispensable saber la velocidad y la presión del viento de estos parámetros están determinados en la sección 5.2.1K del estándar API 650.

La velocidad del viento depende del emplazamiento del tanque, donde el estándar API 650 determina la velocidad de diseño mínima de 190Km/hora.

Figura N° 2.40: Velocidad del viento



Fuente: www.arvengconsulting.com

Los datos de diseño de la presión del viento para los diferentes componentes del tanque teniendo en cuenta los factores de forma y criterios de diseño, el estándar API 650 especifica valores que se demuestran en la tabla siguiente.

(API 650, 2013)

- Presión de viento en la pared $P_{ws}: 0.86x(v/190)^2$ KPa
- Presión de levantamiento techo $P_{wr}: 1.44x(v/190)^2$ KPa

Tabla N° 2.7: De emplazamiento de viento

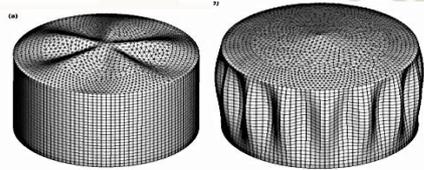
VIENTO DEL EMPLAZAMIENTO PARA TANQUES	
Hasta elevación 8 m	Presión 50 Kg/m ²
Hasta elevación 20 m	Presión 80 Kg/m ²
Hasta elevación 100 m	Presión 110 Kg/m ²
Hasta elevación 200 m	Presión 130 Kg/m ²

Fuente: Elaboración propia

2.7.1.1. Resistencia al vuelco

Para constatar la estabilidad del tanque y resistencia al vuelco debido a las acciones del viento se debe aplicar lo establecido en la sección 5.11 del API 650. Donde dispone dos verificaciones diferentes, tanques anclados y para tanques sin anclar. Los tanques sin anclar deben tener la capacidad de soportar el levantamiento producido por la acción del viento. (API 650, 2013)

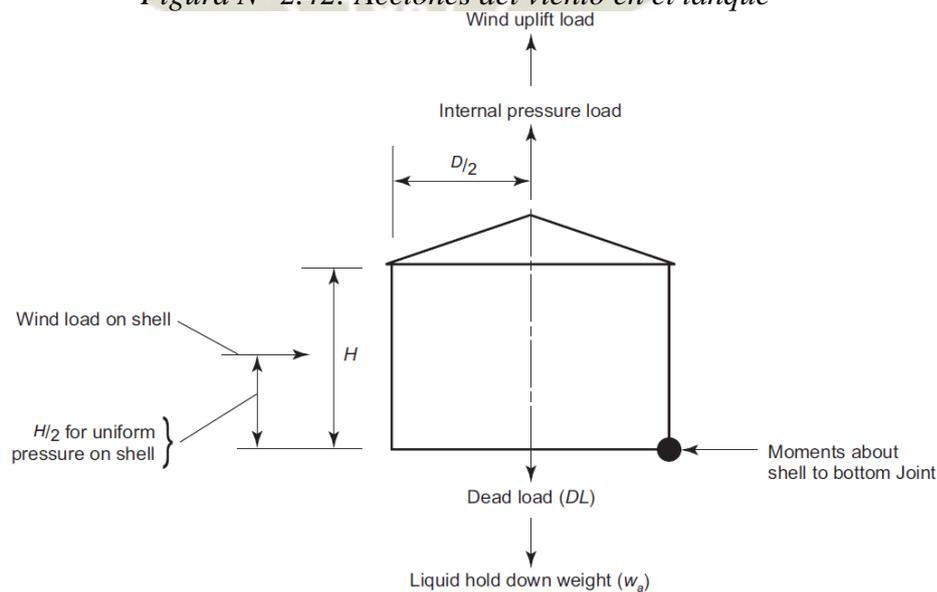
Figura N°2.41: Movimientos a acciones de viento del tanque



Fuente: www.arvengconsulting.com

Para analizar la resistencia del vuelco de un tanque de almacenamiento se deben de analizar las siguientes 4 cargas actuando en el tanque.

Figura N° 2.42: Acciones del viento en el tanque



Fuente: Estándar API 650 -2013 -12ª Edición

- Carga de levantamiento por viento. (wind uplift load)
- Carga del viento por la presión interior. (internal pressure load)
- Carga resistente del peso propio del tanque (dead load DL)
- Cargas resistentes del peso del fluido (liquid hold down weight w)

Una vez determinado estas 4 cargas se deben de cumplir 3 ecuaciones establecidos en el estándar API 650.

1° Viento + presión interior vs peso del tanque

$$0.6M_w + M_{Pi} < MDL / 1.5 + MDLR$$

2° Viento + presión interior vs peso del tanque + peso del fluido

$$M_w + F_p(M_{Pi}) < (MDL + MF) / 2 + MDLR$$

3° Viento horizontal + presión interior π vs peso del tanque

$$M_{ws} + F_p(M_{Pi}) < MDL / 1.5 + MDLR$$

M_w : Momento de vuelco debido al viento.

M_{Pi} : Momento de vuelco debido a presión interior.

F_p : Ratio presión operación / diseño, < 0.4

MDL : Momento de vuelco por el peso de pared del tanque.

MF : Momento de vuelco debido al peso del líquido.

$MDLR$: Momento de vuelco debido al peso del techo.

M_{ws} : Momento de vuelco debido al viento (H).

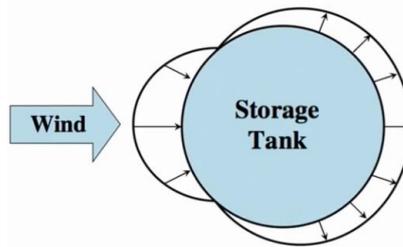
Si unas de las 3 exigencias no se acatan, los tanques de almacenamiento deben ser anclados mecánicamente con pernos de anclaje sobre sus silletas.

2.7.1.2. Deslizamiento debido al viento

Los tanques de almacenamiento cuando se encuentran vacías ante las acciones del viento, no deben sufrir deslizamientos.

Se debe constatar que la fuerza resistente debe ser mayor que la carga horizontal del viento. (API 650, 2013)

Figura N° 2.43: Deslizamiento del tanque debido al viento



Fuente: www.arvengconsulting.com

$$F_w > F_s$$

$$F_w \Rightarrow T_w \times F_f$$

Dónde:

F_s : Carga horizontal en la pared del tanque

F_w : Carga resistente

T_w : Peso del tanque

F_f : Factor de fricción (máx. 0.4)

2.7.1.3. Pernos de anclaje

Cuando los tanques de almacenamiento están sometido a levantamiento y o deslizamiento es indispensable el uso de pernos de anclaje. El proceso de cálculo de los pernos de anclaje será evaluado para el caso más desfavorable para determinar las cantidades necesarias y las dimensiones de los pernos seleccionados con sus silletas para evitar el levantamiento y deslizamiento del tanque.

Y pueden ser anclados por distintas causas:

- Por acciones del viento, del punto 5.12 código API 650.
- Por acciones de sismo, punto E6 código API 650.
- Por presiones internas, punto F7 código API 650.

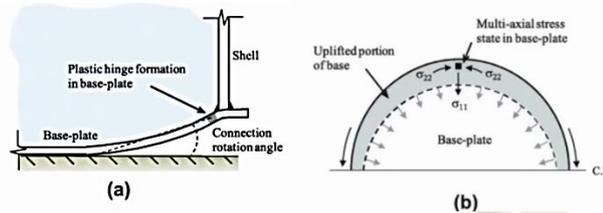
Figura N° 2.44: Pernos de anclaje



Fuente: <http://www.gsei.ca/project.php?category=08-Tanks>

El procedimiento de cálculo de los pernos de anclaje se efectúa de acuerdo a la sección 5.12 del estándar API 650.

Figura N° 2.45: Levantamiento por acción del viento



Fuente: www.arvengconsulting.com tanques de almacenamiento API 650

$$t_b = \frac{U}{N}$$

Dónde:

t_b : Carga en cada perno.

N : Numero de pernos.

U : Carga de levantamiento neta tabla 5-21 código API 650.

Comparando la tensión admisible de diseño de los pernos indicados en la tabla, de seleccionando el diámetro y número de los pernos.

Algunas consideraciones importantes para el diseño de pernos de anclaje son:

- Punto 5.12 del código API 650.
- Número mínimo de pernos 4.
- Espacio máximo entre pernos 3 metros.
- Tamaño mínimo de 25mm.
- Pernos deben soportar posibles dilaciones del tanque. > 93°C

Figura N° 2.46: Distribución de Pernos de anclaje



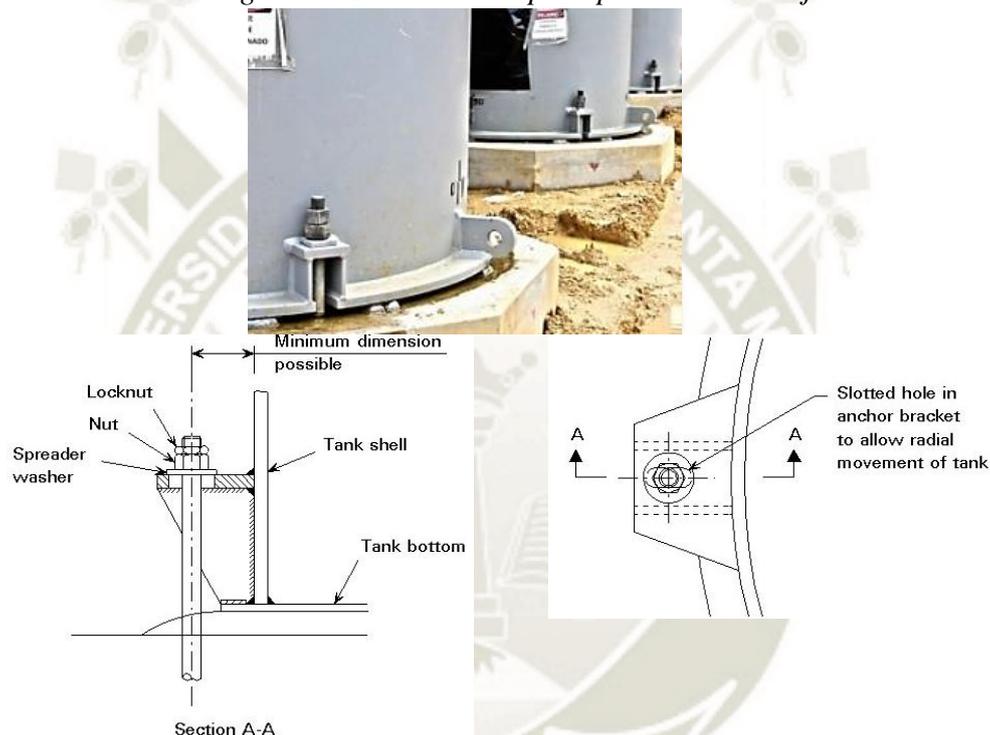
Fuente: www.arvengconsulting.com

2.7.1.4. Silletas para pernos de anclaje

La función de las silletas es transferir la carga del tanque y el fondo de manera uniforme.

El cálculo de las silletas se realiza mediante ecuaciones de mecánica clásica, como también comprobando con software de análisis de elementos finitos o recurriendo AISI E-1 volumen II parte VII anchor bolt chairs.

Figura N° 2.47: Silletas para pernos de anclaje



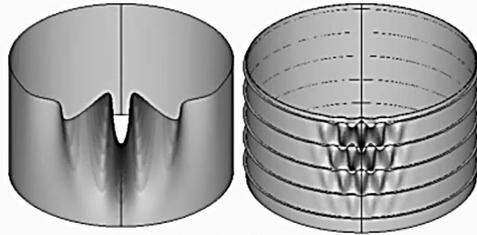
Fuente: <http://fgg-web.fgg.uni-lj.si/~pmoze/esdep/media/wg15c/f0100007.jpg>

2.7.2. Estabilidad de la pared por anillos de viento

Cuando la pared del tanque de almacenamiento es expuesta a las acciones del viento la pared es vulnerable a aboyarse, generalmente cuando está vacío o cerca de estarlo.

Para evitar este fenómeno se dispone de anillos exteriores que serán distribuidos en la pared del tanque desde la parte superior que es el menos resistente debido por el espesor de las planchas distribuyendo los anillos en forma descendente hasta la parte intermedia para reducir las deformaciones que sean necesarios.

Figura N° 2.48: Anillos rigidizadores



Fuente: www.arvengconsulting.com

Estos anillos pueden construir de perfiles de acero estructural, planchas o una combinación de estas anteriores normalmente se requiere por dos motivos:

- **Unión techo pared**
 - Perfil de coronamiento (Top angle)
 - Tanques con techos
 - Soportado
 - Auto-soportado
 - Mínimo punto 5.1.5.9 códigos API 650.
- **Resistir el viento**
 - Anillos de rigidización (wind girders).
 - Tanques con techo abierto.
 - Anillos superiores e intermedios
 - Punto 5.9.3.1 del código API 650.

2.7.2.1. Perfil de coronamiento (top angle)

Durante el proceso de operación de los tanques con presión interior pueden generarse sobrepresiones en su interior estos fenómenos inducen a desprenderse el techo de la pared del tanque

En estos casos se deben instalar un anillo o perfil de coronamiento para contrarrestar la fuerza generada en el interior.

Conforme a lo citado en la sección 5.1.5.9 del estándar API 650 las paredes del tanque con techo deben ser equipados con perfiles de coronamiento de dimensiones mayores señaladas en la tabla siguiente.

Tabla N° 2.8: Tamaño mínimo de perfiles para anillos de junta

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

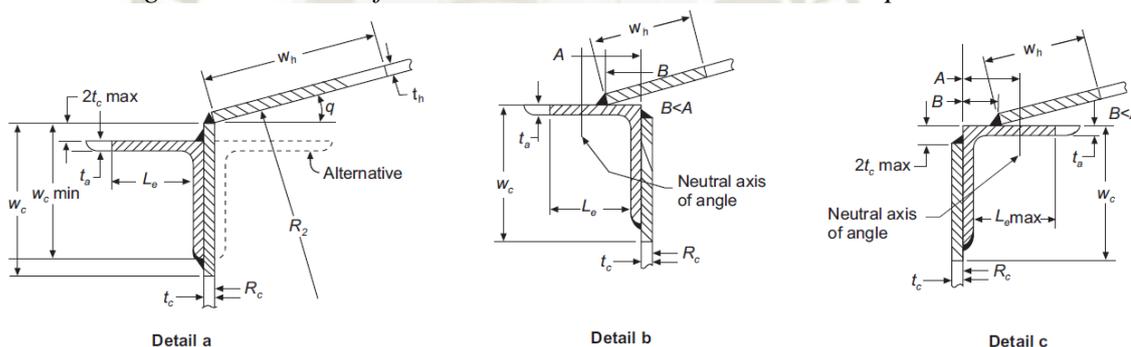
Fuente: Estándar API 650 -2013 -12ª Edición

➤ Techos auto-soportados

Conforme al anexo F del API 650 el área de la sección transversal del perfil de coronamiento donde se apoyan los diferentes tipos de techos auto-soportados deben guardar las características que se detallan en la figura.

La unión de la sección transversal tiene que guardar las características establecidas en la sección del estándar API 650. (API 650, 2013)

Figura N° 2.49: Perfiles de coronamiento de techos auto soportado

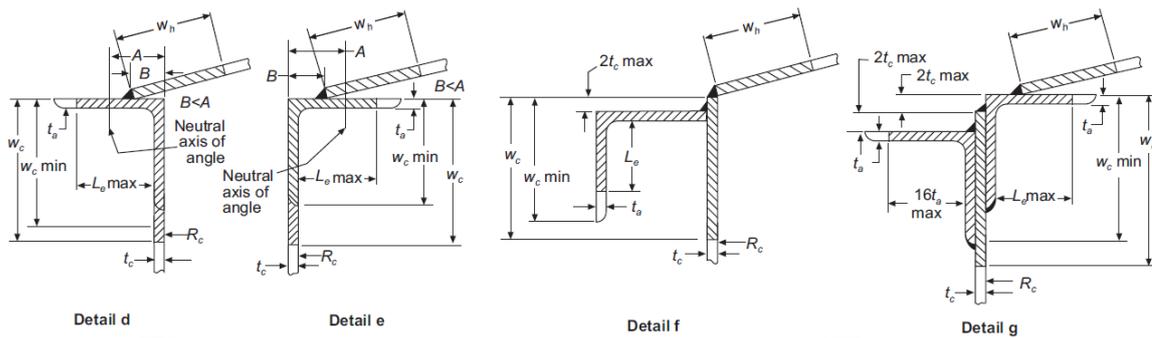


Fuente: Estándar API 650 -2013 -12ª Edición

➤ Techos soportados

El perfil de coronamiento deberá estar de acuerdo con lo ilustrado en la figura, y se considera como una junta frágil, donde el área de la sección transversal del perfil de coronamiento de tanques con techos soportados deberá acatar lo determinado en la norma de diseño de tanques de almacenamiento.

Figura N° 2.50: Perfil de coronamiento para techos soportados



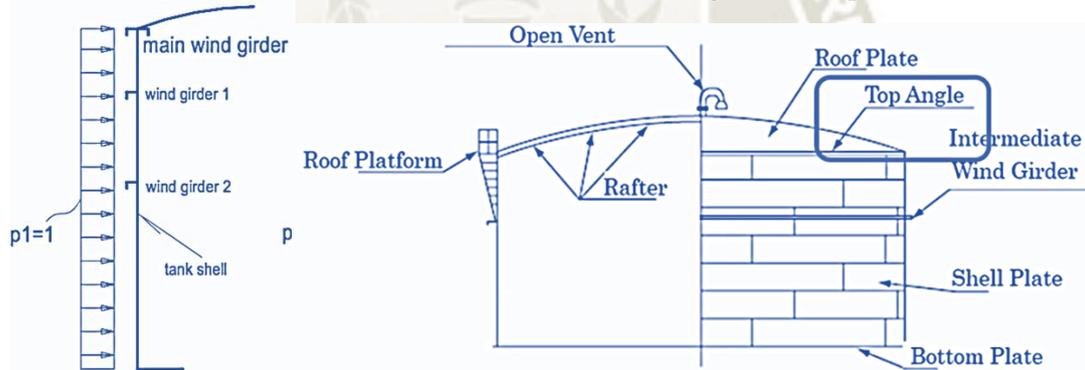
Fuente: Estándar API 650 -2013 -12ª Edición

➤ **Anillos de rigidización por viento (wind girders)**

Debido a la acción del viento el diseño de la pared del tanque es uno de los ítems más importantes debido a que están expuestas a sufrir deformaciones por las cargas transmitidas en la pared del tanque. (API 650, 2013)

La rigidización se realiza en dos puntos de la pared del tanque:

Figura N° 2.51: Distribución de anillos de rigidización por viento



Fuente: www.arvengconsulting.com

Estas protegen la pared del contra presiones de viento y se realiza en dos puntos.

2.7.2.2. Anillo superior de viento (top wind girder)

El objetivo de estos anillos es de rigidizar la última virola ubicada en la parte superior del tanque evitando ovalamiento y deformaciones durante su operación, montaje y mantenimiento del tanque.

Estos anillos son esenciales cuando los tanques sin techo donde es importante rigidizar la parte superior del anillo para que pueda resistir las acciones del viento.

El tamaño mínimo de perfiles a utilizar se describe en la sección 5.9.3 del API 650.

Estos anillos tienen la función de:

- Rigidiza el último anillo del tanque en su parte superior.
- Perfiles 75x75x6mm para tanques > 5mm.

Figura N° 2.52: Anillo superior de viento



Fuente: Fuente: www.arvengconsulting.com

La resistencia mínima del anillo superior de viento está dada por la ecuación mostrada en la sección 5.9.6 del código API 650.

$$Z = \frac{D^2 H_2}{17} \left(\frac{V}{190} \right)^2$$

Dónde:

Z: Módulo de resistente

D: Diámetro nominal del tanque.

H₂: Altura de la pared del tanque, incluyendo cualquier espacio libre.

V: Velocidad del viento.

2.7.2.3. Anillos intermedios (intermediate wind girders)

El área intermedia de la pared del tanque está expuesta a la deformación por pandeo debido a la acción del viento, en la construcción, operación y mantenimiento.

Para obviar estos fenómenos producidos en la pared se requiere de anillos rigidizadores intermedios y son implementados ya sea para tanques con o sin techo. (API 650, 2013)

Este método consiste en calcular el espaciamiento vertical entre anillos.

1° Espacio entre anillos de la pared vertical del tanque

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

Dónde:

H₁: Distancia vertical entre anillos intermedios y superior.

t: Espesor nominal de la virola más fina.

D: Diámetro nominal del tanque.

V: Velocidad del viento.

Las virolas de los tanques tienen diferentes espesores donde el incremento del espesor va aumentando a medida que va ascendiendo en la pared del tanque.

Para la evaluación de las acciones del viento en la pared del tanque es fundamental unificar el espesor de las virolas del tanque para encontrar la nueva altura transformada de la pared.

Este valor se puede obtener de la sección 5.9.7.2 del estándar API 650.

2° Ancho transpuesto

$$W_{tr} = W \sqrt{\left(\frac{t_{uniforme}}{t_{actual}}\right)^5}$$

Dónde:

W_{tr}: Ancho transpuesto de cada virola

W: Ancho actual de cada virola

t uniforme: Espesor de la virola más fina de la pared del tanque.

t actual: Espesor de la virola a trasponer.

Si la altura total transpuesta suma de las virolas transpuestas $W_{tr} > H_1$ calculada. Este cálculo se muestra en la sección 5.9.7 y tabla 5.20a del estándar API 650.

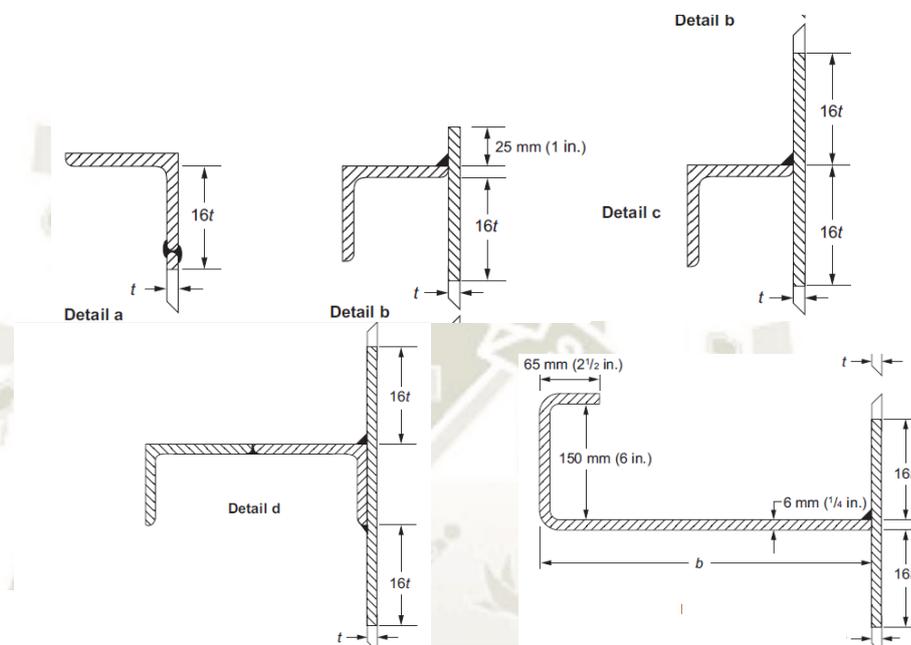
3° Altura transpuesta:

- Sumar el nuevo ancho de cada virola (H)

4° Determinación:

- Si $H > H_1$ se requiere anillo intermedio.
- Si $H/2 > H_1$ se requiere 2 anillos intermedios.

Figura N° 2.53: Secciones típicas de anillos de refuerzo para tanques



Fuente: Estándar API 650 -2013 -12ª Edición

Los anillos pueden ser elaborados de perfiles de acero, planchas comerciales o la combinación de ambos materiales.

Algunas consideraciones de los anillos de rigidización.

- Perfiles mínimos 65x65x6mm punto 5.9.3.1 del código API 650.
- Chapas: mínimo de 6mm.
- Recargue de soldadura.
- Los anillos no deben retener agua.
- Las soldaduras de los anillos no coincidan con las de la pared del tanque.

2.7.3. Verificación por presión exterior

Los mecanismos de falla sometidos en tanques de almacenamiento son distintos por presión externa y acciones internas.

El anexo V del estándar API 650 especifica las exigencias mínimas para tanques diseñados para presiones exteriores uniformes cuya presión exterior va desde 0.25KPA hasta 6.9 KPA. (API 650, 2013)

2.7.3.1. Pared del tanque

Cuando la presión exterior actúa sobre el tanque se deben verificar el techo, la pared y el fondo del tanque, donde la pared del tanque es la parte más crítica para el caso de presión exterior y en donde se debe poner mayor interés.

El procedimiento de cálculo para determinar si la pared del tanque puede soportar la presión exterior es el siguiente:

- 1° *Calcular los espesores por carga hidráulica y presión interior.*
- 2° *Comprobar la condición de pandeo elástico (zona elástica del material).*
- 3° *Encontrar la altura total transformada de la pared del tanque.*
- 4° *Determinar la presión exterior admisible que puede soportar el tanque.*

Para la verificación por presión exterior según lo mencionado en el anexo V.8.1.1 del estándar API 650 se debe llevar a cabo lo siguiente:

Aplicando el método de verificación.

$$\left(\frac{D}{t_{s \min}} \right)^{0.75} = \left[\left(\frac{H_{TS}}{D} \right) \left(\frac{F_y}{E} \right)^{0.5} \right] \geq 0.00675$$

Dónde:

D: Diámetro del tanque en m.

H_{TS}: Altura total transformada, m.

F_y: Tensión de fluencia del componente a mayor temperatura de operación, MPa.

T_{smin}: Espesor de la virola más fina de la pared del tanque, mm.

E: Módulo de elasticidad del material, MPa.

Nota: Si no se cumple, calcular de acuerdo al ASME VIII, división 1

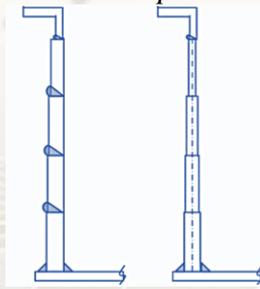
2.7.3.2. Altura transformada

Las virolas de los tanques tienen diferentes espesores donde el incremento del espesor va aumentando a medida que va ascendiendo en la pared del tanque.

Para la evaluación de las acciones del viento en la pared del tanque es fundamental unificar el espesor de las virolas del tanque para encontrar la nueva altura transformada de la pared.

- Diferentes espesores en la pared del tanque.
- Mayores espesores en la base.
- Se requiere unificar los espesores de las virolas.
- Encontrar la altura transformada.
- Unificar los espesores de la pared del tanque.

Figura N° 2.54: Distribución de los espesores de las virolas en el tanque.



Fuente: www.arvengconsulting.com

Unificando los espesores de la virola en función del menor espesor de las planchas de la pared del tanque.

Anexo V8.1.4 del estándar API 650

$$H_{TS} = h_1 \left(\frac{t_{s1}}{t_{s1}} \right)^{2.5} + h_2 \left(\frac{t_{s1}}{t_{s2}} \right)^{2.5} + \dots h_n \left(\frac{t_{s1}}{t_{s_n}} \right)^{2.5}$$

Dónde:

H_{TS} : Altura total transformada, m.

h_1 : Altura de la virola de menor espesor (primera virola) m.

t_{s1} : Espesor de la virola de menor espesor, mm.

h_2 : Altura de la segunda virola, m.

t_{s2} : Espesor de la segunda virola, mm.

2.7.3.3. Presión exterior admisible

La pared del tanque que resiste la presión exterior debe ser mayor a los requerimientos.

Esta ecuación debe garantizar una resistencia a la presión exterior que soporta la pared. Anexo V8.1.2: del estándar API 650

$$P_s = P_e \leq \frac{E}{12.203 \times \Psi \left(\frac{H_{TS}}{D} \right) \left(\frac{D}{t_{s \min}} \right)^{2.5}}$$

Dónde:

D: Diámetro del tanque, m.

H_{TS}: Altura total transformada, m.

T_{smin}: Espesor de la virola más fina de la pared del tanque, mm.

E: Módulo de elasticidad del material, MPa.

Ψ: Factor de estabilidad adimensional.

La presión exterior que resiste la pared del tanque debe ser mayor a las solicitaciones.

2.7.3.4. Separación entre anillos rigidizadores:

Se calcula con la ecuación.

Anexo V8.2.1 del estándar API 650. (Separación máxima entre anillos)

$$H_{Safe} = \frac{(t_{s \min})^{2.5} (E)}{15.203 \times D^{1.5} (P_s) \Psi}$$

Si $H_{safe} > H_{TS}$ no son requeridos anillos de rigidización.

Dónde:

H_{safe}: Máxima separación entre anillos

D: Diámetro del tanque, m.

P_s: Presión exterior admisible.

T_{smin}: Espesor de la virola más fina de la pared del tanque, mm.

E: Módulo de elasticidad del material MPa.

Ψ: Factor de estabilidad adimensional.

H_{TS}: Altura total transformada, m.

2.7.3.5. Números de anillos de rigidización

Se calcula mediante la siguiente ecuación:

Anexo V 8.2.1.3 del estándar API 650.

$$N_s + 1 = \frac{H_{TS}}{H_{safe}}$$

Dónde:

N_s: Numero de anillos

H_{TS}: Altura total transformada, m.

H_{safe}: Espacio máximo entre anillos, m.

2.7.3.6. Momento de inercia

Para la combinación de pared y anillos de rigidización del tanque se determina mediante la siguiente ecuación:

Apéndice V 8.2.2.5 del código API 650. (Momento de inercia requerido).

$$I_{reqd} = \frac{37.5 \times Q \times D^3}{E(N^2 - 1)}$$

Se debe de seleccionar un perfil con momento de inercia superior a Ireqd.

Dónde:

D: Diámetro del tanque, m.

Ireqd: Momento de inercia requerido en cm⁴.

Q: Carga radial impuesta al anillo, N/m.

N²: Numero de ondas de pandeo teóricas, adimensional.

2.7.3.7. Área requerida

El área necesaria para el anillo de rigidización se determina por la siguiente ecuación:

Anexo V 8.2.2.6.1 del estándar API 650. (Área requerido del perfil a seleccionar). (API 650, 2013)

$$A_{reqd} = \frac{Q \times D}{2 \times f_c}$$

Se debe seleccionar un perfil con área disponible superior a A_{reqd} .

Dónde:

D: Diámetro del tanque, m.

Areqd: Área requerido en mm^2 .

Q: Carga radial impuesta al anillo, N/m.

f_c: Esfuerzo de compresión de la chapa, MPa.

Se calcula como 0.4x esfuerzo de fluencia del material, F_y .

2.7.3.8. Ubicación de anillos

Los anillos deben localizarse en función al espesor de las planchas de la pared y se ubican donde el espesor de la pared en menor y más alejados cuando el espesor de la pared es mayor.

El momento de inercia requerido se debe respetar en toda la superficie del tanque. (API 650, 2013)

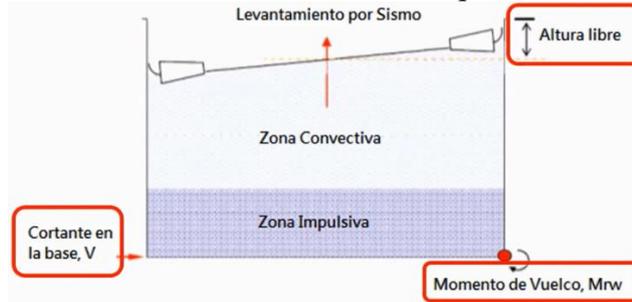
2.7.4. Acciones sísmicas

El fondo de los tanques de almacenamiento que descansan sobre una base de concreto están diseñados para soportar las cargas de sísmicas, para determinar se considera la masa efectiva del líquido almacenado, la columna del líquido, estructura del tanque y entre otras cosas. La estabilidad sísmica de los tanques de debe verificarse como esta descrito en el anexo E del estándar API 650.

Los análisis realizados son 3 las cuales deben ser comprobadas. (API 650, 2013)

- La estabilidad del tanque contra el vuelco, esta debe comprobarse se calcula el momento de vuelco y se determina el requerimiento de pernos de anclaje.
- El desplazamiento horizontal cortante en la base.
- El requerimiento de anillo anti desborde por oleaje.

Figura N° 2.55: Análisis de estabilidad sísmica de tanques de almacenamiento



Fuente: www.arvengconsulting.com tanques de almacenamiento API 650

Comportamiento de los fluidos almacenados en el interior de los tanques ante un evento sísmico se dividen en:

Tabla N° 2.9: Comportamiento de los fluidos almacenados

Impulsiva	Convectiva
➤ Porción de líquido en la parte inferior del tanque	➤ Porción de líquido en la parte superior del tanque
➤ Se mueve con el tanque como un solo elemento	➤ Puede formar oleaje y agitación
➤ Mismas aceleraciones y desplazamiento	➤ Frecuencia natural de vibración mucho mayor

Fuente: www.arvengconsulting.com tanques de almacenamiento API 650

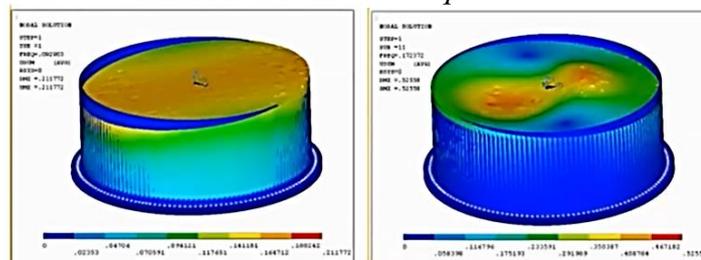
Para realizar un análisis sísmico en los tanques ante estos eventos se sigue los pasos descritos en el anexo E del estándar API 650 donde indica 3 pasos a seguir.

1° Respuesta sísmica (se define la respuesta sísmica)

2° Cargas de diseño (se determina las cargas de diseño)

3° Resistencia a cargas (calcular y definir la resistencia a las cargas de diseño)

Figura N° 2.56: Análisis sísmico de los tanques de almacenamiento



Fuente: www.arvengconsulting.com tanques de almacenamiento API 650

2.7.4.1. Respuestas sísmicas

Los eventos sísmicos y sus consecuencias son un tema muy importante del diseño del tanque de almacenamiento generalmente donde existe zonas con alta grado de sismos, las fuerzas que actúan en el centro de gravedad del tanque multiplicado por el brazo de palanca del fondo ocasiona una fuerza cortante y un momento de vuelco sobre la base para evitar estos fenómenos es necesario determinar el espectro de aceleraciones lo que depende del emplazamiento.

El espectro de aceleraciones esta descrito en el anexo E6.1 del estándar API 650. (API 650, 2013)

1° Cálculo del periodo de vibración natural del tanque impulsivo y convectivo.

Anexo E4.5 del estándar API 650.

- * Impulsivo T_i .
- * Convectivo T_c .

2° En función de respuesta espectral se obtiene la aceleración espectral impulsiva y Convectiva.

Anexo E4.6 del estándar API 650.

- * Aceleración impulsiva A_i .
- * Aceleración convectiva A_c .

3° Determinar el peso efectivo de los componentes impulsivos y convectivos del producto.

Anexo E 6.1.1 del estándar API 650.

- * Peso impulsivo W_i .
- * Peso convectivo W_c .

4° Definir los puntos de acción de ambos componentes es decir donde actúan las masas del producto con respecto a la base.

Anexo E 6.1.2.1 del estándar API 650.

- * Coordenada impulsiva X_i .
- * Coordenada convectiva X_c .

2.7.4.2. Cargas de diseño

Obtenido todos los coeficientes anteriores se procede a determinar las cargas de diseño, donde el momento de vuelco en la base de la pared del tanque deberá realizarse de acuerdo al anexo E 6.1.5 del estándar API 650.

$$Mrw = \sqrt{[Ai \times (Wi \times Xi + Ws \times Xs + Wr \times Xr)]^2 + [Ac \times (Wc \times Xc)]^2}$$

Donde.

Mrw: Momento de vuelco en la base de la pared del tanque

Ai/Ac: Aceleración espectral

Ws/r: Peso del tanque

Wi: Peso efectivo

Wc: Peso efectivo convectivo

Xi/Xc: Aplicación de pesos efectivos

De acuerdo lo indicado en el anexo E 6.1 del estándar API 650 el cortantes en la base de un tanque será la sumatoria vectorial de las componentes impulsiva y convectiva.

$$Vi = Ai(Ws + Wr + Wf + Wi) \quad Vc = Ac \times Wc \quad V = \sqrt{Vi^2 + Vc^2}$$

Dónde:

V: Cortante en la base.

Vi: Cortante impulsivo.

Vc: Cortante convectivo.

Ai: Aceleración espectral impulsiva.

Ac: Aceleración espectral convectiva.

Ws: Peso de la pared.

Wr: Peso del techo.

Wf: Peso del fondo.

Wi: Peso efectivo impulsivo.

Wc: Peso efectivo convectivo.

Suma vectorial de cortantes:

2.7.4.3. Resistencia a cargas de diseño

Una vez terminada las cargas sísmicas se debe constatar si el tanque presenta la estabilidad necesaria para soportar las cargas de diseño por si misma o requiere elementos de soporte.

La resistencia de las magnitudes de las cargas sísmicas de un tanque es:

- El peso de la pared del tanque
- Peso del producto almacenado
- Soporte mecánico.

Dependiendo de las dimensiones de las cargas sísmicas en un tanque podrán ser: soportados y auto-soportados.

Para saber si el tanque es estable o requiere elementos de fijación mecánica se evalúa el factor J según lo indicado en el anexo E 6.2.1.1.1 del estándar API 650. (API 650, 2013)

$$W_t = \left[\frac{W_s}{\pi \times D} + W_{rs} \right]$$

$$J = \frac{Mrw}{D^2 [W_t \times (1 - 0.4 \times A_v) + W_a - 0.4 \times W_{int}]}$$

Dónde:

W_t: Peso de la pared y techo actuando en base.

J: Radio de anclaje.

Mrw: Momento de vuelco en la base de la pared del tanque.

W_s: Peso de la pared del tanque.

W_{rs}: Peso del techo actuando en la pared.

D: Diámetro nominal del tanque.

A_v: Coeficiente de aceleración de sismo vertical.

W_a: Fuerza resistente al levantamiento.

W_{int}: Carga por presión interior.

Si el factor **J** >1.54 el tanque no soporta cargas sísmicas y necesita ser soportado mecánicamente por ello se calcula la carga de diseño de pernos mencionado en el anexo E.6.2.1.2 del estándar API 650 como se muestra:

Cargas de diseño de pernos:

$$P_{AB} = W_{AB} \left(\frac{\pi \times D}{n_A} \right)$$

Cargas de levantamiento:

$$W_{AB} = \left(\frac{1.273 \times Mrw}{D^2} - Wt \times (1 - 0.4 \times Av) \right)$$

Dónde:

Mrw: Momento de vuelco en la pared.

Wt: Peso del techo soportado por la pared.

D: Diámetro nominal del tanque.

n_A: Numero de pernos.

Av: Aceleración espectral de sismo vertical.

También se debe verificar es el deslizamiento por cortante en la base solo para tanques que no necesitan pernos de anclaje por vuelco.

El desplazamiento por cortante en la base tiende a desplazar al tanque.

- Tanques anclados no requieren ser anclados.
- Tanques auto-soportados se debe de verificar la fuerza de fricción resistente.

La fuerza resistente al deslizamiento V_s se calcula de acuerdo al anexo E.7.6 del estándar API 650.

Si $V_s \geq V \rightarrow ok$

$$V_s = \mu \times (W_s + W_r + W_f + W_p) (1.0 - 0.4 \times Av)$$

$W_s/W_r/W_f/W_p =$ *Peso de componentes del tanque.*

Dónde:

V: Cortante por sismo.

V_s: Fuerza de fricción.

μ: Factor de fricción.

Av: Aceleración espectral de sismo vertical.

Para evitar que el líquido se derrame en tanques con techo flotante para que el techo no abandone el tanque se debe determinar la altura del anillo anti desborde.

El cálculo de la altura por encima del nivel de operación del fluido para contener el oleaje (δs) se determina por el anexo E 7.2 del estándar API 650. Se muestra a continuación:

$$\delta s = 0.42 \times D \times A_s$$

Dónde:

D: Diámetro nominal del tanque.

A_f: Coeficiente de aceleración por oleaje.

Nota: Los cálculos y selección silletas y pernos de anclaje requerido para los tanques de almacenamiento debido a las cargas sísmicas se recurre a los puntos 2.5.1.3 y 2.5.1.4 de este capítulo.

2.8. Uniones soldadas en tanques en almacenamiento

2.8.1. Soldabilidad

Un acero se considera soldable en un grado prefijado, por un procedimiento determinado y para una aplicación específica, cuando mediante una técnica adecuada se pueda conseguir la continuidad metálica de la unión, de tal manera que esta cumpla con las exigencias prescritas con respecto a sus propiedades locales y a su influencia en la construcción de la cual forma parte integrante. (AWS A3.0, 2001)

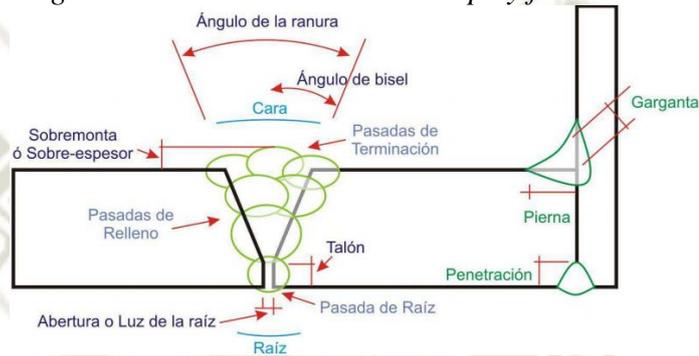
Figura N° 2.57: Soldabilidad de los aceros



Fuente: <https://www.usomurcia.org/el-soldador-y-los-humos-de-soldadura/>

- ❖ **Soldadura a tope:** Es una soldadura localizada en una ranura entre los extremos de dos elementos donde las caras pueden ser cuadradas o biseladas V o U.
- ❖ **Soldadura de filete:** Es la soldadura de una sección recta aproximadamente triangular, uniendo dos superficies que se encuentran aproximadamente en ángulo recto entre sí, como una unión de traslape, unión T o junta de esquina.

Figura N° 2.58: Unión soldad a tope y filete



Fuente: <http://campusvirtual.edu.uy/archivos/mecanica-general/soldadura/02%20Terminos%20y%20Definiciones%20soldadura.pdf>

2.8.1.1. Soldadura por arco con alambres tubulares (FCAW)

Es un proceso donde la coalescencia entre metales es obtenida a través del arco eléctrico entre la pieza de trabajo y el electrodo tubular metálico consumible.

La protección del arco y del cordón de soldadura es realizada por el flujo dentro del alambre, como también puede ser auxiliada por un gas de protección externa a la fuente.

Diagrama N° 2.8: Procesos de soldadura



Fuente: Soldexa Peru

Es un proceso llamado también semi-automático muy parecido al proceso (GMAW), principalmente en cuanto a los equipos y principios de funcionamiento.

2.8.1.2. Principio de funcionamiento

El arco se forma entre un electrodo con forma tubular, que es consumible y se alimenta continuamente por un sistema de alimentación.

(AWS A3.0, 2001)

❖ Variaciones básicas:

➤ Proceso de soldadura auto protegido (FCAW-S):

(Soldadura por arco con alambres tubulares auto-protegidos).- Una variación del proceso de soldadura por arco con alambres tubulares en el cual el gas de protección es obtenido exclusivamente del fundente contenido dentro del electrodo.

➤ Proceso con gas de protección (FCAW-G):

(Soldadura por arco con alambres tubulares protegido con gas).- Una variación del proceso de soldadura por alambres tubulares en el cual un gas de protección es suministrado a través de una boquilla, adicional al obtenido del fundente dentro del electrodo.

Figura N° 2.59: Procesos FCAW auto-protegido y gas de protección



Fuente: <https://es.slideshare.net/RamonVelascoStoll/unidad-6-proceso-soldadura-de-la-construccin-naval>

2.8.1.3. Ventajas y limitaciones

❖ Ventajas

- Apariencia de Cordón Excelente
- Altas tasas de deposición
- Propiedades mecánicas excelentes
- Alta eficiencia – 90%
- Fácil- re-encendido de arco
- Toda Posición
- Producen depósitos de bajo contenido de hidrogeno

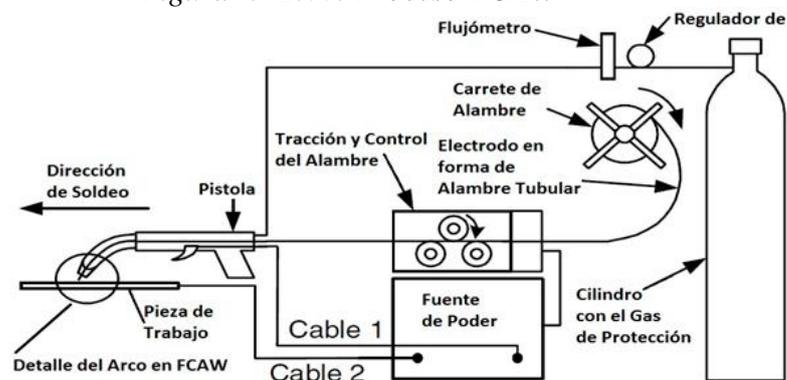
❖ Limitaciones

- Produce gran cantidad de humos
- Menos portabilidad si se usa con gas de protección
- Produce escoria
- Elevado aporte térmico
- Mayormente utilizado a mayores espesores.
- Equipo más costoso que el proceso SMAW

❖ Equipos y componentes

- Fuente de poder.
- Sistema de alimentación de alambre.
- Fuente de gas de protección y sistema de regulación de gas.
- Antorcha.
- Pinza de tierra.
- Cables de conexión.

Figura N° 2.60: Proceso FCAW



Fuente: <https://sparkweld.wordpress.com/2017/09/09/soldadura-con-alambre-tubular-o-flux-cored/>

2.8.1.4. Fuente de poder

- Proporciona energía eléctrica con las características adecuadas para establecer y mantener el arco.
- Las más populares son las de corriente directa, voltaje constante (CV).
- Se recomienda la capacidad sea 300A mínimo y un ciclo de trabajo 100%.

2.8.1.5. Sistema de alimentación

- Tienen la función de proporcionar una alimentación continua y uniforme de alambre a una velocidad previamente seleccionada.
- Se prefieren los de velocidad constante en conjunto con las máquinas CV.
- La velocidad de alimentación de alambre determina el amperaje aplicado al electrodo.
- Es preferido el uso de rodillos (estriados) moleteados.

Figura N° 2.61: Alimentador de alambre tubular



Fuente: Foto tomada a alimentador Miller TECSUP 2016

2.8.1.6. Antorcha

- Tiene la función de conducir la corriente eléctrica, el gas de protección y el electrodo.
- Se recomienda una capacidad mínima de 400 A.
- Existen modelos enfriados por aire y por agua.
- Lo que busca un operador es la fácil manipulación, comodidad, poco peso y durabilidad.

Figura N° 2.62: Antorcha de proceso FCAW

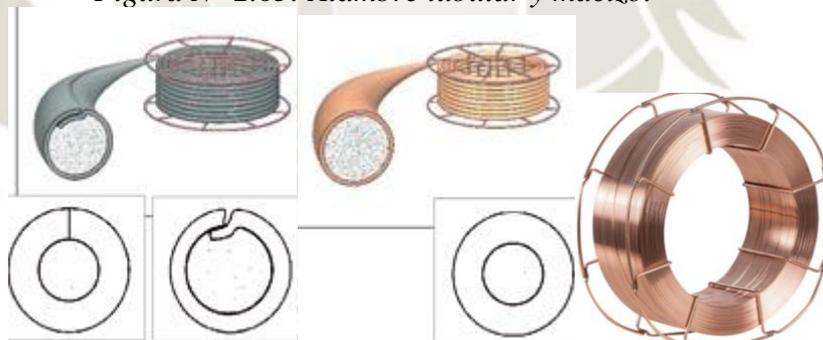


Fuente: Tecnología de la soldadura Tecsup 2016

2.8.1.7. Alambres tubulares están formados por

- Forro metálico.
- Núcleo.
 - Fundente.
 - Elementos de aleación.
 - Formadores de escoria.

Figura N° 2.63: Alambre tubular y macizo.



Fuente: <http://www.interempresas.net/MetalMecanica/Articulos/121071-Hilos-tubulares-para-union-de-voestalpine-Bohler-Welding.html>

- El forro el fundente del núcleo y conducir la corriente.

Los elementos formadores del núcleo tienen las siguientes funciones:

 - Formar una capa de escoria que proteja al depósito durante la solidificación.
 - Proporcionar elementos desoxidantes y refinadores para incrementar las propiedades mecánicas del depósito.
 - Proporcionar elementos estabilizadores de arco que incrementen su suavidad y reduzcan la salpicadura.

- Adicionar elementos de aleación que incrementen la resistencia del depósito y mejoren otra propiedad específica.
 - Producir la atmósfera de gas que proteja al arco, la transferencia de metal y la zona de metal líquido (sólo autoprottegidos).
- Con protección de gas.
- Requieren de un gas de protección que es suministrado externamente. Alambre tubular (outershield)
- Auto-prottegidos.
- En el núcleo se encuentran elementos que al descomponerse químicamente producen una atmósfera rica en CO₂ y CO.
- Alambres tubulares (innershield)

Tabla N° 2.10: Clasificación de alambre según AWS

Metal	AWS clasificación metal de aporte
Aceros al carbono	AWS A5.20
Aceros inoxidable	AWS A5.22
Aceros al carbono de baja aleación	AWS A5.29

Fuente: Elaboración propia

La AWS clasifica estos alambres según su aplicación tanto para auto-prottegidos como con gas de protección:

Figura N° 2.64: Designación de alambre proceso FCAW



Fuente: Tecnología de la soldadura Tecsup 2016

Tabla N° 2.11: Características del proceso FCAW

AWS	Gas	Ø's	Características
E70T-1	100% CO ₂	1/16" 5/64" 3/32"	<ol style="list-style-type: none"> Propósitos generales Mejor desempeño a altos amperajes Buena geometría del cordón de soldadura
E70T-1	100% CO ₂	1/16" 5/64" 3/32"	<ol style="list-style-type: none"> La escoria solidifica con mayor rapidez que el TM-11 Excelente estabilidad de arco Fácil remoción de escoria, aun en ranuras profundas Menor salpicadura que el TM-11, especialmente en el rango bajo
E70T-1	100% CO ₂	1/16" 5/64" 3/32" 1/8"	<ol style="list-style-type: none"> Buen desempeño sobre todo el rango de amperaje Mayor desoxidación que lo usual, mejor desempeño sobre placa sucia u oxidada Excelente configuración del cordón en filetes horizontales Sobresaliente E70T-1 para propósitos generales Se debe tener cuidado al soldar sobre secciones de gran espesor que requieran de múltiples pasos

Fuente: Tecnología de la soldadura Tecsup 2016

2.8.1.8. Gases de protección

Dióxido de Carbono (CO₂).

- Menor costo.
- Alta profundidad de penetración.
- Produce una transferencia globular, aunque con algunas formulaciones la transferencia puede ser tipo spray axial.
- Tendencia a oxidar los metales presentes en el arco.

Figura N° 2.65: Botella de CO₂



Fuente: <http://www.mixture-gas.com/industrial-gases/carbon-dioxide/co2-gas-manufacturers.html>

2.8.2. Consideraciones de detalles de soldadura

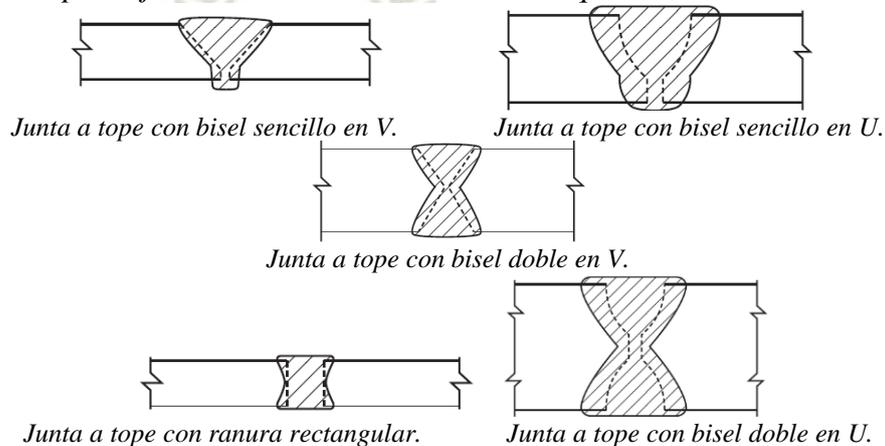
La soldadura puede realizarse por un proceso manual, semi-automática y automática como se especifica en la sección IX del código ASME. El proceso de soldadura se debe realizar de manera que se asegure fusión y penetración completa del material de aporte con el metal base. (ASME IX, 2010)

- No se procederá soldar cuando el metal base este con temperaturas por debajo de -20°C (0°F) como también cuando el área a ser soldada presenta humedad, contaminación con agua o algún otro liquido derivado del petróleo, vientos, lluvias, hielo, nieve u otros, estos fenómenos se deben eliminar usando tiendas de trabajo temporal.
- Se procederá a limpiar el área a ser soldada cada vez que se realice pase de soldadura para evitar de defectos en el cordón de soldadura.
- Para las uniones verticales a tope, el máximo descalce aceptable es 0.4 mm ($1/64''$) de la base del metal.
- Para uniones horizontales a tope, el descalce aceptable es hasta 0.8 mm ($1/32''$) de profundidad.
- La soldadura provisional para el ensamble de uniones verticales de los cascos deberá ser removidos.
Sí la soldadura temporal es removida o dejada en el lugar, se evaluará de acuerdo a lo especificado en la sección IX del código ASME.
- Los electrodos de bajo hidrógeno serán usados para soldadura manual, incluyendo la unión del primer cordón del casco y fondo o planchas anulares, donde los cordones de soldadura mayores a 12.5 mm ($1/2''$) de espesor son usados del material del grupo I-III.

2.8.3. Uniones soldadas de cascos verticales

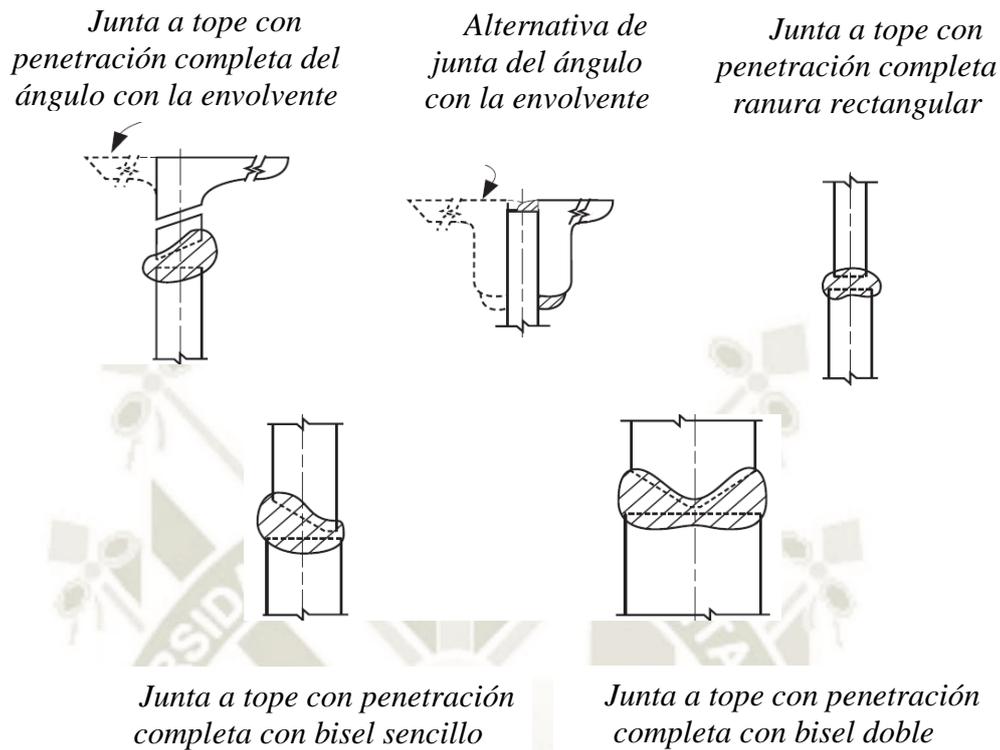
- Estas uniones deberán ser a tope con penetración y fusión total con un proceso de soldadura, donde el material de aporte y el metal base tendrán las mismas características mecánicas, eléctricas, composición. Así como el procedimiento de calificación de los procesos y preparación de los materiales. (API 650, 2013)
- Las uniones verticales de los tanques con cordones de soldadura adyacentes no estarán alineadas, pero si desplazadas unas de otras manteniendo una distancia mínima de $5t$ donde t será el espesor de plancha más gruesa.
- Las planchas deberán ser preparadas para las uniones a tope y retenidas en su posición durante el proceso de soldadura.
- El desalineamiento total de las uniones verticales para planchas mayores a 16mm (5/8") de espesor no deberá exceder el 10% del espesor de la plancha ó 3mm (1/8") y para planchas menores o iguales a 16 mm (5/8") de espesor no deberá exceder 1.5mm (1/16") máximo.
- Para las uniones horizontales a tope del casco, la plancha superior no podrá proyectarse sobre la plancha inferior de la superficie más de 20% del espesor de la plancha superior o con una proyección máxima de 3mm (1/8"). Sin embargo para planchas menores a 8mm (5/16") de espesor su proyección máxima será 1.5mm (1/16").

Figura N° 2.66: Tipo de juntas verticales en cascos de tanques de almacenamiento



Fuente: Estándar API 650 -2013 -12ª Edición

Figura N° 2.67: Tipos de juntas para cascos envolventes



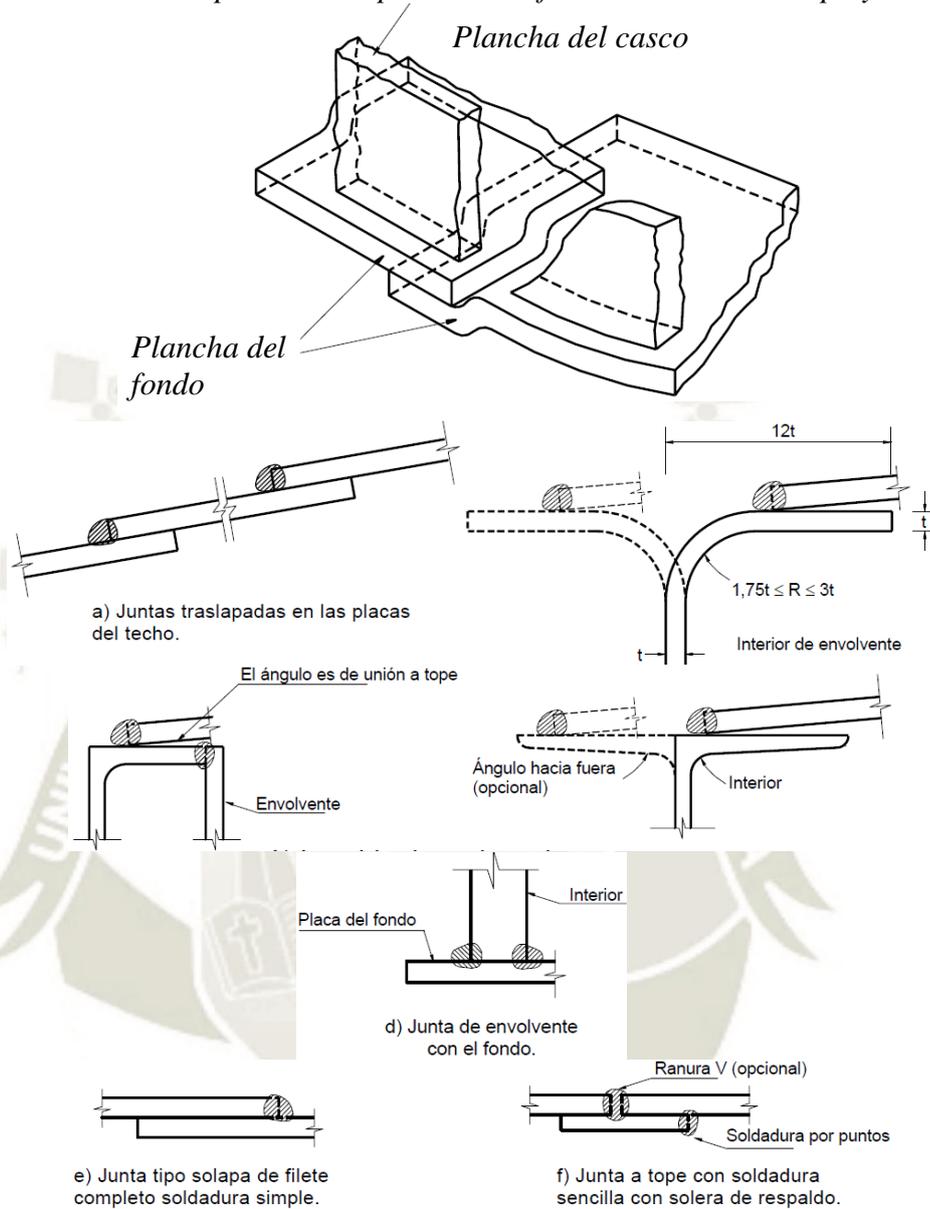
Fuente: Estándar API 650 -2013 -12ª Edición

2.8.4. Uniones soldadas del fondo a solape

Las planchas de fondo del tanque son soldadas a solape con planchas preparadas y encuadradas en sus perímetros.

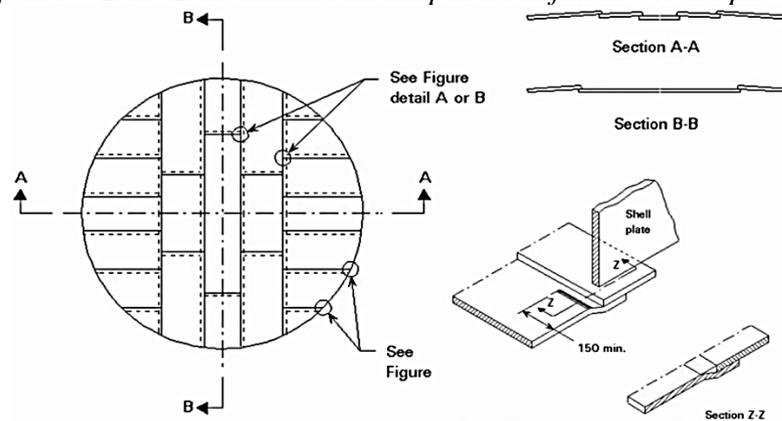
Tres planchas solapadas en el fondo del tanque deberán estar por lo menos 300 mm (12") cada una de otra, desde el casco del tanque, de las uniones de planchas anulares soldadas a tope y de uniones entre planchas anulares y de fondo. El solapado de dos planchas de fondo sobre las planchas anulares soldadas a tope no constituye una plancha soldada a solape. (API 650, 2013, pág. 3.1.5.4)

Figura N° 2.68: Preparación de planchas de fondo soldadas a solapa y techos



Fuente: PEMEX-2007 diseño de tanques atmosféricos.

Figura N° 2.69: Distribución de chapas en el fondo del tanque



Fuente: www.arvengconsulting.com tanques de almacenamiento API 650

2.8.5. Uniones de fondo soldadas a tope

Las planchas de fondo soldadas a tope deberán tener paralelo a ellas los bordes preparados para el soldado a tope con su escuadra o ranura en V. Si las ranuras escuadradas son empleadas, la cara de raíz deberá no ser menor de 6 mm o (1/4"). La soldadura a tope deberán ser hechos por soldadura a punto con una platina de respaldo de por lo menos de 3mm o (1/8") de espesor por la parte inferior de la plancha. (API 650, 2013, pág. 3.1.5.5)

2.8.6. Uniones de planchas anulares de fondo

Las uniones anulares de planchas anulares del fondo del tanque deberán ser soldadas a tope con penetración y fusión completa del cordón depositado.

Las planchas de fondo anular tendrán un ancho radial mínimo de 600mm (24") entre el interior del casco y cualquier tipo de unión solapada, donde la plancha sobre saldrá del perímetro exterior del casco como mínimo 50mm (2").

Las planchas anulares del fondo deberán tener como mínimo un espesor de 6mm (1/4") y una resistencia mínima a la tensión de 70KPa 10.2Lbs/pul².

De preferencia la plancha rectangular deberá ser de un ancho de 1800 mm (71").

2.8.7. Soldadura con filete para casco y fondo

- Las planchas del casco pueden ser alineadas mediante sujetadores metálicos fijados a las planchas del fondo y el casco puede ser soldado provisionalmente al fondo antes que se inicie el soldado continuo entre el borde inferior de las planchas del casco y las planchas del fondo.

- Para el fondo y las planchas anulares con un espesor nominal de 12.5 mm (1 / 2 "), y menos, la conexión entre el borde inferior del cordón más bajo de la plancha de casco y la plancha de fondo deberá ser un soldeo de filete continuo colocado en cada lugar de la plancha del casco.

El tamaño de cada soldadura no será más de 12.5mm (1 / 2 ") y no será menor del espesor nominal de la más delgada de las planchas unidas, (esto es, la plancha de casco o la plancha de fondo inmediatamente debajo del casco) o menor que los siguientes valores. (API 650, 2013, pág. 3.1.5.7a)

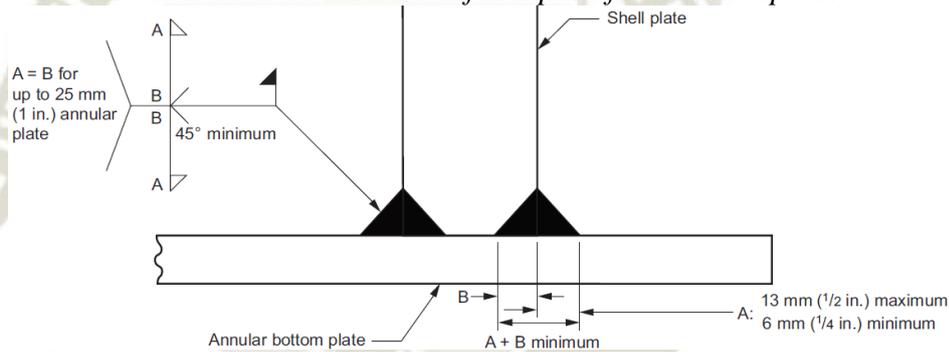
Tabla N° 2.12: *Espesor de la plancha y tamaño mínimo de filete*

Ø Espesor nominal de la plancha del casco		Tamaño mínimo del filete soldadura.	
(mm)	(Pulg)	(mm)	(Pulg)
5	0.1875	5	3/16
> 5 to 20	> 0.1875 to 0.75	6	¼
> 20 to 32	> 0.75 to 1.25	8	5/16
> 32 to 45	> 1.25 to 1.75	10	3/8

Fuente: *Estándar API 650 -2013 -12ª Edición*

- Para planchas anulares con un espesor nominal mayor que 12.5 mm (1 / 2 "), las juntas soldadas serán de tamaño tal que cualquiera de los catetos o la profundidad de la ranura más el cateto para un soldado combinado es de un tamaño igual al espesor de la plancha anular pero no deberá exceder el espesor de la plancha del casco. (API 650, 2013, pág. 3.1.5.7b)

Figura N° 2.70: *Detalle de soldadura doble filete para fondo con espesor nominal*



Fuente: *Estándar API 650 -2013 -12ª Edición*

Nota:

A: *Tamaño del filete soldado limitado a 13mm (1/2 ") máximo.*

A+B: *Espesor más delgado de la plancha del fondo anular.*

Soldadura ranurada B puede exceder el tamaño del filete A solo cuando la plancha anular es más gruesa que 25mm (1").

2.8.8. Unión de viga al viento

- La soldadura a tope con penetración total para la unión de secciones de anillo.
- Se usará soldadura continua en todas las juntas del casco y techo. Las juntas del tanque deberán ser soldadas sello.

2.8.9. Uniones de tejado y ángulo superior

- Las planchas de tejado deben ser soldada sobre el lado superior con soldaduras continuas en todo el filete, la soldadura a tope es también aceptables.
- Las planchas del tejado deben ser unidas para el ángulo superior del tanque con soldadura continua en el filete sobre el lado superior del ángulo.
- Las secciones del ángulo superior para tanques con techos auto-soportado deben ser unidos por soldadura continua a tope con penetración y fusión total.

Tabla N° 2.13: Diámetro del tanque y tamaño mínimo del ángulo superior

Diámetro del tanque (D)	Tamaño mínimo de ángulo superior (mm)	Tamaño mínimo de ángulo superior (pulg)
$D \leq 11 \text{ m}, (D \leq 35")$	50 50 × 5	2 "× 2" × 3/16"
$11 \text{ m} < D \leq 18 \text{ m}, (35" < D \leq 60")$	50 × 50 × 6	2" × 2" × 1/4"
$D > 18 \text{ m}, (D > 60")$	75 × 75 × 10	3" × 3" × 3/8"

Fuente: Estándar API 650 -2013 -12ª Edición

- Los tanques con techo cónico soportado con diámetro menor a 10 metros, el borde superior se le realizara unos dobles para evitar el uso de un ángulo superior.

2.8.10. Inspección de uniones de soldadura

2.8.10.1. Pruebas de vacío (techo)

Una prueba de vacío es ejecutada por medio de una caja metálica de ensayos, de 150mm (6") de ancho por 750 mm (30") de largo, con una ventana de vidrio en su cara superior. El fondo abierto de la caja es sellado contra la superficie del tanque mediante una empaquetadura de jebe esponjoso. Deberán suministrarse conexiones adecuadas, válvulas y manómetros.

Cubrir la costura bajo prueba aproximadamente 750 mm (30") de longitud, con una solución jabonosa o aceite de linaza. En lugares fríos una solución des-congelante puede ser necesaria. La caja de vacío es colocada sobre la zona recubierta de la costura y el vacío es aplicado a la caja. La presencia de porosidad en la costura es indicada por las burbujas o espuma producida por el aire succionado a través de la costura soldada. (API 650, 2013, pág. 5.3.3)

Figura N° 2.71: Caja de vacío para pruebas en el fondo de tanques



Fuente: <https://www.sendades.com.ec/vacio.html>

2.8.10.2. Inspección de soldadura del fondo del tanque

Deberán ser probadas las uniones por uno de los siguientes métodos:

- Aire a presión o vacío deberán aplicarse a las juntas, usando espuma de jabón, aceite de linaza u otro material adecuado para la detección de grietas.
- Después de fijar como mínimo el anillo más bajo del casco, se bombeará agua (a ser suministrado por el comprador) debajo del fondo. Una altura del líquido de 150mm (6") deberá mantenerse por retención a fin de que la altura alrededor del borde del fondo se vuelva una represa temporal. La línea conteniendo agua para la prueba puede ser instalada temporalmente para el acarreo a través de un paso de hombre a una conexión embridada temporal en uno o más puntos en el fondo del tanque. (API 650, 2013, pág. 5.3.4b)

Figura N° 2.72: Inspección en fondos de tanques



Fuente: <http://snappipeinspeccion.com/neumatica.html>

2.8.10.3. Inspección de soldadura de planchas de reforzamiento

Las planchas de refuerzo serán probadas para una aplicación superior a 100 KPa (15 lbf/in²) de presión neumática manométrica entre el casco del tanque y la plancha de refuerzo sobre cada apertura usando el indicador de nivel del agujero especificado en cada espacio es sometido una presión, una película de jabón, aceite de linaza, u otro material conveniente para la detección de fugas en todas las uniones soldadas del refuerzo, este procedimiento se realizará dentro y fuera del tanque. (API 650, 2013, pág. 5.3.5)

Figura N° 2.73: Prueba en planchas reforzadas



Fuente: <http://snappipeinspeccion.com/neumatica.html>

2.8.10.4. Pruebas del casco del tanque

El tanque será llenado con agua tal como sigue:

- El nivel de llenado será 500mm (2") sobre el cordón de soldadura que conecta la plancha del techo al ángulo superior del casco.
- Si no se realiza la prueba con agua, se puede usar líquido de alta penetración WD-40 sobre el cordón de soldadura y examinando desde la parte exterior del si se manifiestan estas fisuras.

Figura N° 2.74: Inspección de cordones de coladura del casco con agua



Fuente: Foto tomada en el campo de trabajo

2.9. Control de calidad en uniones soldadas para tanques de almacenamiento

2.9.1. Control de calidad (Aseguramiento de la calidad)

El aseguramiento de calidad se refiere a un sistema debidamente planificado, controlado, puesto por escrito y de cumplimiento obligatorio que asegure que todo lo que se hace está de acuerdo con las especificaciones, con un carácter marcadamente preventivo, pero que en ningún caso desecha las acciones evaluativas de (la inspección). PUCP, Ingesold Daniel Merino Ponce.

Solo existe un camino para determinarla.

Figura N° 2.75: Procesos de control de calidad



Medición

especificación

Fuente: http://www.llogsa.com/Descargas/Ultratips/Ediciones/Utipsed_160.php

Las uniones soldadas proporcionan la base para el control efectivo de estas variables siguiendo una secuencia de actividades, que requiere tres elementos fundamentales:

- **Personal calificado:** Para ser un supervisor de soldadura o un inspector de soldadura hay que calificarse y certificarse con alguna entidad avalada como la AWS la American Welding Society.
- **Herramienta de medición:** Certificación de calibración de equipos y herramientas.
- **Documentación técnica en procesos constructivos por soldadura:** Son en su mayoría documentos técnicos normalizados que plantean el porqué, el cómo, el conque y el para que, de la construcción de elementos o conjuntos soldados.

2.9.2. Inspector de soldadura

Es el responsable de verificar que todas las operaciones del proceso de soldadura se realicen correctamente y de acuerdo a los códigos, normas, especificaciones y procedimientos que se detallan con el fin de garantizar la calidad de las uniones soldadas.

Para la AWS y ASME los inspectores de soldadura los clasifican en:

2.9.2.1. Inspector del contratista

Es el inspector que representa al contratista, en todo lo referente a la inspección y calidad de la construcción de las uniones soldadas, realizándola antes, durante y después del proceso de fabricación para asegurar que los materiales y los procedimientos estén dentro del alcance del contrato.

2.9.2.2. Inspector de verificación

Representan al comprador sus deberes normalmente no incluyen vigilancia obligatoria del desarrollo del proceso de soldar, sin embargo, tiene el derecho de observar el proceso de producción. Su trabajo es como una función de auditoria, lo cual implica revisión de los registros para asegurar que se han respetado todos los requerimientos de las especificaciones, dibujos y otros documentos contractuales. Esto incluye, pero no limita a revisión del proceso de soldar, calificación de soldadores y operadores de máquina, pre y post-calentamiento, informes de ensayos no destructivos. (Perez, 2011)

El inspector de soldadura debe cumplir los siguientes requisitos:

- Principios fundamentales de Soldadura.
- Propiedades de los materiales incluidos en el proceso de soldadura.
- Defectos de soldadura, sus causas, importancias y corrección de los mismos.
- Tratamientos Térmicos.
- Métodos de ensayos destructivos y no destructivos.
- Interpretación de planos.
- Simbología de soldadura y ensayos no destructivos.
- Códigos: AWS, ASME, API.

2.9.2.3. Responsabilidades del inspector de soldadura

El inspector de soldadura es una persona altamente calificada en el campo de la tecnología de soldeo y de la inspección con características personales de trato agradable y una ética profesional acusada. El inspector deberá reunir una serie de características que le permitan realizar su actividad en medio de un ambiente de confianza respecto y buen trato, ya que deberá de comunicarse con la mayoría de personas involucradas durante la fabricación de una estructura soldada.

2.9.3. Actividades de la inspección de las uniones soldadas

La inspección de soldadura será en tres fases las cuales son:

- Antes de la soldadura.
- Durante la soldadura.
- Después de la soldadura.

2.9.3.1. Antes de la soldadura

❖ Material base

Constatar si cumple con los requerimientos de especificación para la fabricación. Con la documentación necesaria como la recepción de compra, certificación y conformidad del material.

- Composición Química.
- Características Mecánicas.
- Homogeneidad.
- Posibles defectos internos.

❖ Materiales de aporte

Se realizará los mismos procedimientos que del material base, para su compra, recepción certificación y conformidad de los productos para la fabricación.

- Composición química
- Características mecánicas
- Estado de conservación

❖ **Procedimientos de soldadura**

Son los pasos para realizar una unión soldada de calidad para ello se debe tener en cuenta los siguientes pasos.

- **Compatibilidad del metal base con el de aporte**
- **Ensayos de calificación:** Para demostrar que se realiza soldadura de calidad. Este procedimiento va redactado en el WPS.

Figura N° 2.76: Formato WPS - PQR

The image shows two forms side-by-side. The left form is a 'WPS' (Welding Procedure Specification) for 'REFINERÍA INGENIERO ANTONIO M. AMOR SALAMANCA GTO.'. It includes fields for 'Especificación de Procedimiento de Soldadura (WPS)', 'Procedimiento de soldadura No.', 'Fecha', 'Aprobado', 'Revisado', 'Revisado', 'Tipo', and 'Manual'. It also has sections for '1. JUNTA (QW-402)', '2. METAL BASE (QW-403)', and '3. METALES DE APORTE (QW-404)'. The right form is a 'PQR' (Procedure Qualification Record) for 'PEMEX REFINACION'. It includes fields for 'CLIENTE', 'WPS No.', 'PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA', 'PQR No.', 'FECHA', 'TIPO', and 'MANUAL'. It also has sections for 'JUNTA', 'METAL BASE', 'METAL DE APORTE', 'PRECALENTAMIENTO', and 'PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA'. Below the PQR form is a table with columns for 'PAQUETE', 'PROCESO', 'METAL DE APORTE', 'CORRIENTE', 'VOLTAJE', 'AVANCE', and 'DETALLE DE JUNTA'.

WPS

PQR

Fuente: <https://www.slideshare.net/DanielAntonioAzocarY/79395486-wpsqrwpq>

- **Requerimientos específicos:** Son definidos en el WPS previamente antes de realizar la soldadura de producción.

- Precalentamiento
- Aporte Térmico
- Tratamientos Térmicos
- Alineamiento
- Costuras en caso de tubos, etc.

❖ **Calificación de soldadores**

Es un artículo donde enumera los procesos para la calificación de las habilidades del soldador que está limitada por variables esenciales establecida para cada proceso de soldadura, donde puede ser calificado mediante END mediante un cupón de ensayo.

Figura N° 2.77: Calificación de soldadura

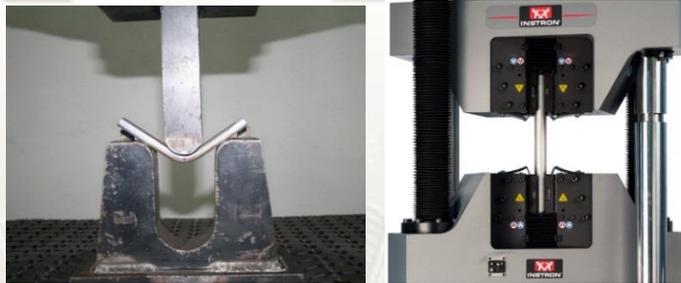


<http://ayudayeconomia.site/wp-content/uploads/2018/05/Soldador-750x450.jpg>

➤ **Ensayo de calificación**

Este ensayo determina la destreza del soldador.

Figura N° 2.78: Ensayo de dobles cara y raíz - ensayo de tracción



Fuente: <http://inissa.com/prueba-de-doblez.php>

➤ **Validez de la calificación**

La calificación del soldador tendrá un periodo de validez de 2 años teniendo que ser validado por la empresa que lo contrata cada 6 meses, donde soldador acredita su condición de 'calificado' con un certificado de calificación u homologado.

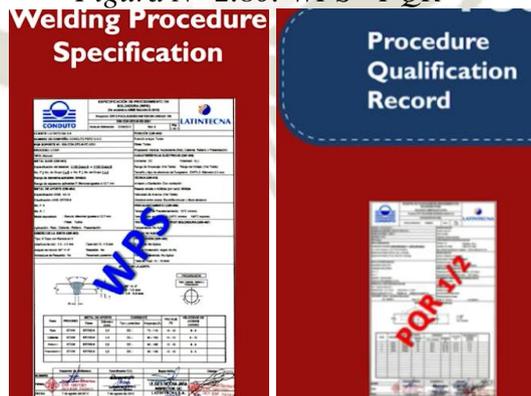
Figura N° 2.79: Certificado de calificación de soldador



Fuente: <https://plus.google.com/113972117780864230018/posts/UgxRXdWUHcb>

- ❖ **WPS:** Es la especificación del procedimiento de soldadura es un documento que guía a los soldadores y le proporciona todos los parámetros que necesita para soldar además contiene los rangos de valides del mismo. El indicara al soldador el proceso de soldadura a emplear, así como el voltaje, el amperaje, la velocidad de soldeo entre otros datos. Y debe elaborar una persona con experiencia, competencia y capacidad para ello, además debe ser aceptado y reconocido por la agencia de ingeniería.

Figura N° 2.80: WPS - PQR

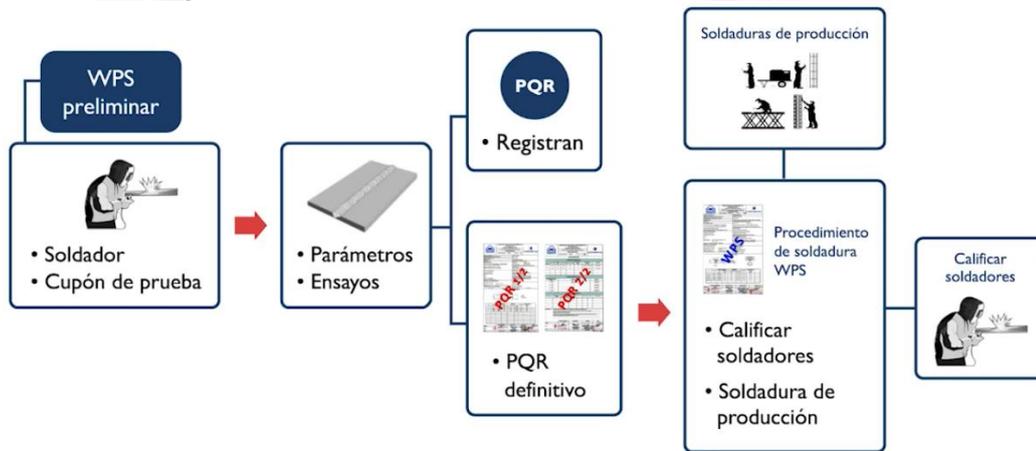


Fuente: Ingesold PUCP

- ❖ **PQR:** Es un registro de los datos obtenidos de la soldadura de un cupón de prueba, en el PQR se encuentra los parámetros de soldadura empleados en la realización del cupón de prueba también se encontrará los resultados de los ensayos realizados al cupón de prueba.

La elaboración del WPS y PQR se elabora un procedimiento pre liminar con el cual un soldador con la debida experiencia obtendrá un cupón de prueba se registran en el PQR los parámetros de soldadura empleados y los resultados de los ensayos realizados al cupón de prueba cuando el cupón pasa los ensayos se obtendrá el PQR definitivo que servirá para elaborar el WPS que se empleará para calificar a los soldadores y la soldadura de producción.

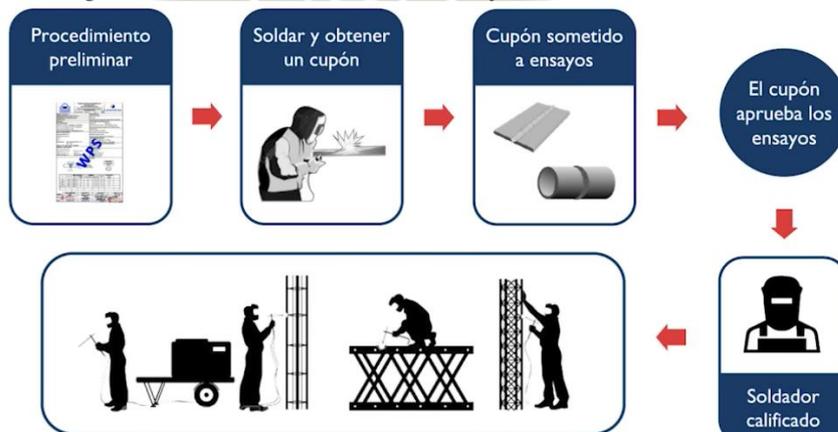
Diagrama N° 2.9: Procesos de elaboración de PQR-WPS



Fuente: Ingesold PUCP

De acuerdo a códigos y estándares de soldadura quien califica a los soldadores es el inspector de soldadura que está certificado y que tiene la experiencia, competencia y capacidad, además debe ser aceptado y reconocido por la agencia de ingeniería.

Diagrama N° 2.10: Proceso de calificación de soldadores



Fuente: Ingesold PUCP

Una vez obtenido el WPS ahora se podrá calificar a los soldadores n donde el soldador deberá aprobar su habilidad de producir soldadura sana para ello deberá de soldar y obtener un cupón de soldadura de acuerdo a los parámetros establecidos en el WPS, el cupón realizado por el soldador será sometido a ensayos, con la finalidad de establecer su habilidad, si el cupón aprueba los ensayos el soldador estará calificado y apto para realizar la soldadura de la estructura a construirse.

❖ Medios

Preparar un reporte de operabilidad, calibración y condiciones de seguridad. Verificar si es apropiado para el trabajo y cumple con los requisitos de las especificaciones del proceso de soldadura.

- **Características de la maquina:** Verificar los certificados de conformidad de las máquinas de soldar que serán utilizadas en la soldadura de producción.

Figura N° 2.81: Taller de soldadura



Fuente: Foto tomada en taller

- **Características de los medios auxiliares**

Se debe verificar:

- Amoladoras.
- Termos de secado.
- Equipo de calentamiento.
- Clamp de alineamiento etc.

- **Estado de conservación y mantenimiento:** El estado de conservación de las maquinas, equipos y herramientas deben contar con un chek list con la verificación adecuado para un correcto y uso de estos.

Figura N° 2.82: Horno para la conservación de electrodos



Fuente: <https://assets.lincolnelectric.com/assets/global/Products/K2942-1/300x300.jpg>

❖ **Planta o taller donde se realiza el trabajo**

Ejecutar la inspección para constatar que se trabaja acorde a los códigos, estándares y especificaciones.

- **Control de preparaciones de bordes:** Verificar.
 - Angulo de bisel.
 - Abertura de raíz.
 - Altura de talón.
- **Limpieza:** Las juntas deben estar libre de óxido, humedad, grasas, aceite etc.
- **Características del punteado o medios de sujeción:** El punteado se realizará con el mismo electrodo que se va a realizar la soldadura y debe ser cóncavo. Los medios de sujeción solo se usarán en caso de ser necesarios.
- **Alineación y separación entre bordes:** Debe minimizarse el desalineado entre las superficies.
- **Pre deformaciones:** Se puede producir pérdida de material en el bisel por mala operación del esmeril angular.
- **Posición en la que vaya a soldarse.**

Figura N° 2.83: Posiciones de soldeo según AWS - ASME IX

AWS: 1G EN: PA	AWS: 1F EN: PA	AWS: 1G EN: PA	AWS: 2F EN: PB
AWS: 2G EN: PC	AWS: 2F EN: PB	AWS: 2G EN: PC	AWS: 2F EN: PB
AWS: 3G EN: PG (down) PF (up)	AWS: 3F EN: PG (down) PF (up)	AWS: 5G EN: PG (down) PF (up)	AWS: 5F EN: PG (down) PF (up)
AWS: 4G EN: PE	AWS: 4F EN: PD	AWS: 6G EN: H-L045	AWS: 4F EN: PD

Fuente: ASME IX

2.9.3.2. Durante la soldadura

Durante el soldeo se deberá inspeccionar:

- ❖ **Precalentamiento:** Se debe verificar el precalentamiento de las juntas a soldar antes de ejecutar el pase de raíz y entre pases para evitar formación de fisuras. El área de precalentamiento será de 3" a cada lado del cordón de soldadura. El precalentamiento deberá ser lo más uniforme posible.

Figura N° 2.84: Procesos de precalentamiento



Fuente: <http://orbitalequipment.com.mx/sistemas-de-precalentamiento>

- ❖ **Temperatura entre pases:** Se debe verificar la temperatura de precalentamiento de la junta para los diferentes pases o cordones de soldadura usando, lápices de temperatura y/o Pirómetros de contacto.

Figura N° 2.85: Lápiz térmico

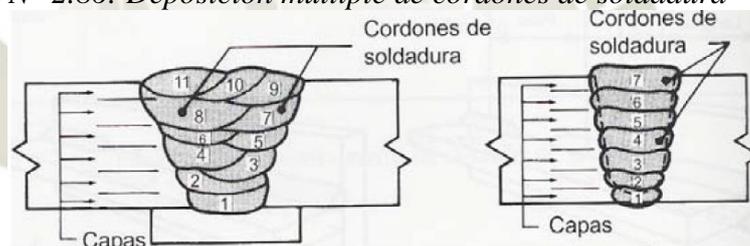


Fuente: www.sumig.com/es/producto/Detalle/lapiz-de-temperatura

- ❖ **Deposición y penetración del cordón de raíz:** Se debe verificar que la deposición del material de aporte en la raíz (1°pase) sea uniforme y no presente grietas u otros defectos. La penetración en la raíz no debe ser ni excesiva ni tampoco debe faltar.

El conjunto de pases conforma un cordón de soldadura.

Figura N° 2.86: Deposición múltiple de cordones de soldadura



Fuente: Bibliografía Tecsup tecnología de la soldadura

- ❖ **limpieza entre cordones:** Escamas y escoria deben ser removidas de cada pase. Las agrupaciones de porosidades superficiales, puntos altos e inicios de arco deben ser removidos por amolado antes de ejecutar el siguiente pase.
- ❖ **Forma de los cordones:** Debe verificarse que sea lo más uniforme posible. No deben presentar defectos, de ser así, estos deben ser removidos o reparados por el soldador.

Figura N° 2.87: Cordón de soldadura



Fuente: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid

- ❖ **Características eléctricas:** Se deben verificar los rangos de voltaje e intensidad de corriente previamente aprobados.

Uso de pinza amperimétrica para la verificación de ambas variables.

Tabla N° 2.14: Características eléctricas

CARACTERISTICAS ELECTRICAS PARA PROCESOS SMAW - FCAW				
N° DE PASES		PROCESOS	CORRIENTE - A	VOLTAJE - V
1st	Root	SMAW	105/161	24/37
2nd	Hot	FCAW	149/269	18/25
3rd	Fill	FCAW	150/291	17/24
n	Stripper	FCAW	150/291	17/24
n+1	Cover	FCAW	152/269	17/24

Fuente: *Bibliografía Tecsup tecnología de la soldadura*

- ❖ **Velocidad de soldeo**

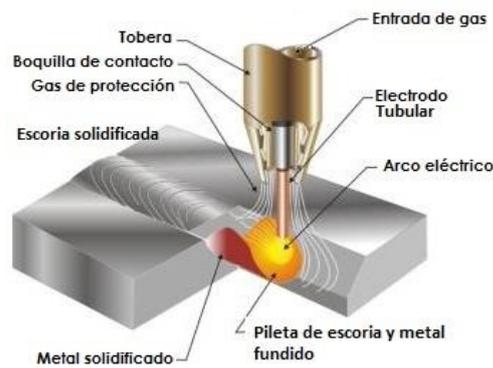
Tabla N° 2.15: Características de velocidad de soldeo

CARACTERISTICAS ELECTRICAS PARA PROCESOS SMAW - FCAW			
N° DE PASES		PROCESOS	VELOCIDAD - cm/min
1st	Root	SMAW	21/50
2nd	Hot	FCAW	22/73
3rd	Fill	FCAW	16/61
n	Stripper	FCAW	16/61
n+1	Cover	FCAW	13/61

Fuente: *Bibliografía Tecsup tecnología de la soldadura*

- ❖ **Atmósferas protectoras:** Verificar que se estén utilizando correctamente los gases de protección (o mezcla de gases) si así lo requiere el proceso de soldadura previamente seleccionado.

Figura N° 2.88: Atmosfera protectora



Fuente: <http://soldadurayestructuras.com/proceso-fcaw.html>

Tabla N° 2.16: Atmosferas protectoras para el proceso de soldadura

Gas de protección	Proceso	Material
Argón (Ar)	TIG	Todos los materiales
Helio (He)	MIG	Todos los materiales metálicos y aceros inoxidables
Argón + Helio		
Ar + O ₂ (Ar+CO ₂)	MAG	Aceros altamente aleados
Ar + CO ₂		Aceros no aleados y de baja y media aleación
Ar + CO ₂ + Oxígeno		
CO ₂		
Ar + CO ₂ + Oxígeno	FCAW	Aceros al carbono, de baja aleación y aceros inoxidables
CO ₂		
Ar + Oxígeno		
Ar + He	Protección de raíz	Metales afines con el oxígeno, titanio
Argón		
Nitrógeno + Hidrógeno		Otros metales
Nitrógeno		
Argón + Nitrógeno		
Argón + Hidrógeno		

Fuente: Bibliografía Tecsup tecnología de la soldadura 2016

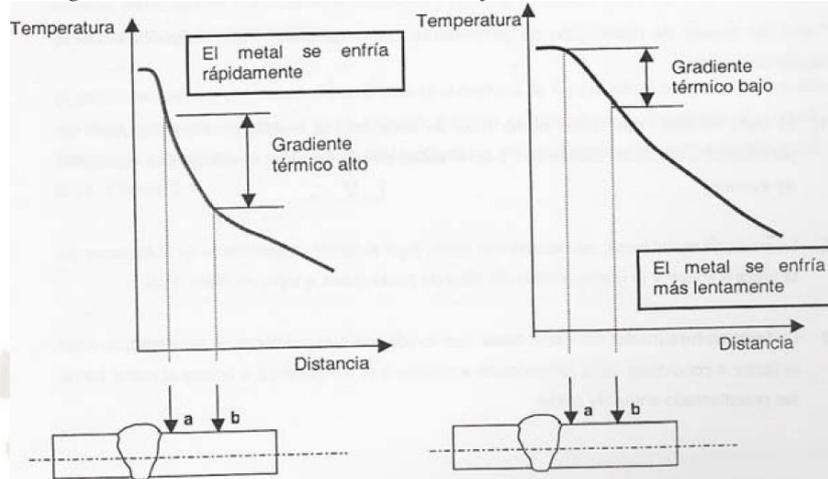
2.9.3.3. Después de la soldadura

En esta fase la inspección está relacionada con:

- ❖ **Velocidad de enfriamiento:** Se debe evitar enfriamientos rápidos ya que estos pueden originar fisuras en la soldadura terminada.

Cubrir la junta terminada con una manta o similar para reducir la V.E.

Diagrama N° 2.11: Velocidad de enfriamiento de soldadura



Fuente: Bibliografía Tecsup tecnología de la soldadura

- ❖ **Aspecto exterior:** Verificar el acabado de la junta con el uso de galgas comprobando la *no presencia* de cualquier tipo de defecto en la superficie; así como, restos de escoria, concavidad y salpicaduras. Rechazar la soldadura si ésta no está conforme a las especificaciones.

Figura N° 2.89: Verificación del cordón de soldadura



Fuente: Bibliografía Tecsup tecnología de la soldadura

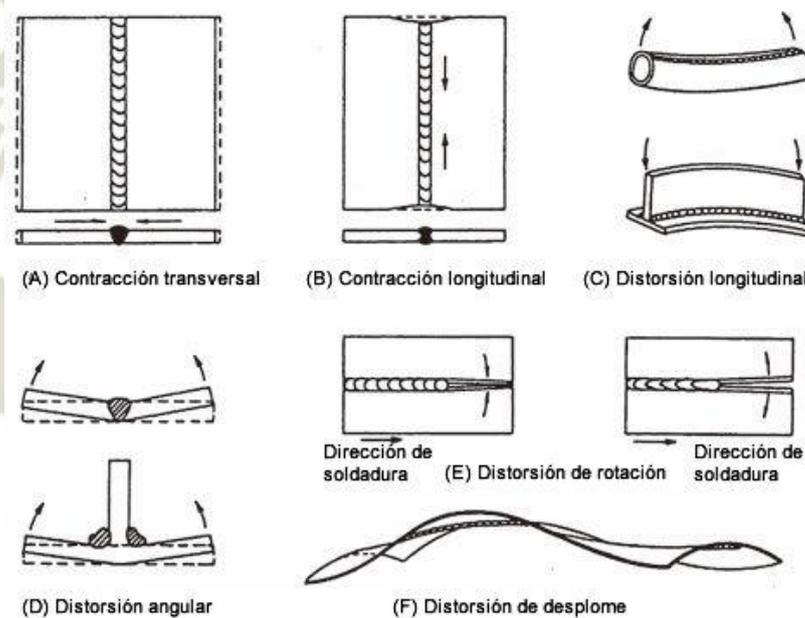
- ❖ **Tratamientos térmicos post-soldadura:** Verificar, cuando éste sea necesario, que se realice de acuerdo al procedimiento el propósito de estos es para:
 - Reducir el nivel de tensiones residuales que se han podido producir durante el soldeo.
 - Mejorar alguna propiedad o característica de la soldadura que haya podido quedar afectada durante el soldeo.

- ❖ **Deformaciones:** Se producen como consecuencia de enfriamientos y calentamientos no uniformes se puede distinguir entre contracción longitudinal, transversal y angular.

La deformación durante el soldeo será menor cuanto:

- Menor sea la cantidad de soldadura
- Mayor sea la simetría de la unión
- Menor sea la cantidad de calor aportado
- El tipo de preparación de la unión influye en la deformación durante la soldadura

Figura N° 2.90: Deformación por temperatura



Fuente: http://www.kobelco-welding.jp/espanol/education-center/abc/ABC_2006-03.html

2.9.4. Ensayos no destructivos END

Son métodos utilizados ampliamente para el control de calidad de materiales, en el área de producción, operación, mantenimiento, proyectos y estructuras, los cuales son requeridos por un plan de aseguramiento de la calidad. Esto significa también evaluar sus propiedades cualitativas del material sin alterar sus características o destruir la pieza a inspeccionar.

❖ Características

Los ensayos destructivos END o NDT nos permiten observar discontinuidades superficiales y/o internas tales como:

- Detección y evaluación de Grietas
- Detección de Fugas
- Determinación de Posición
- Medidas Dimensionales
- Caracterización de Estructura y Microestructura.
- Estimación de Propiedades mecánicas y físicas
- Medidas de Deformación
- Determinación de Composición Química

❖ Ventajas

- Directos sobre el componente a inspeccionar
- No requiere desmontaje
- Reproducibles
- Mínima preparación de la muestra
- Rápida respuesta y evaluación
- Equipos portátiles

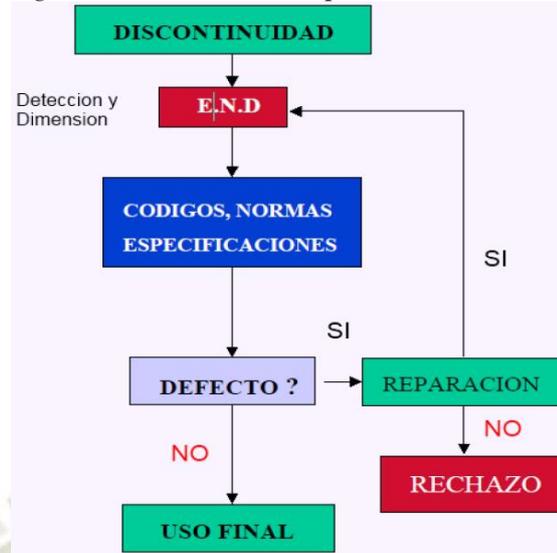
❖ Aspectos

- Control de Calidad
- Mejora en los procesos
- Mejora en la calidad
- Extensión en la vida útil

❖ Principales END

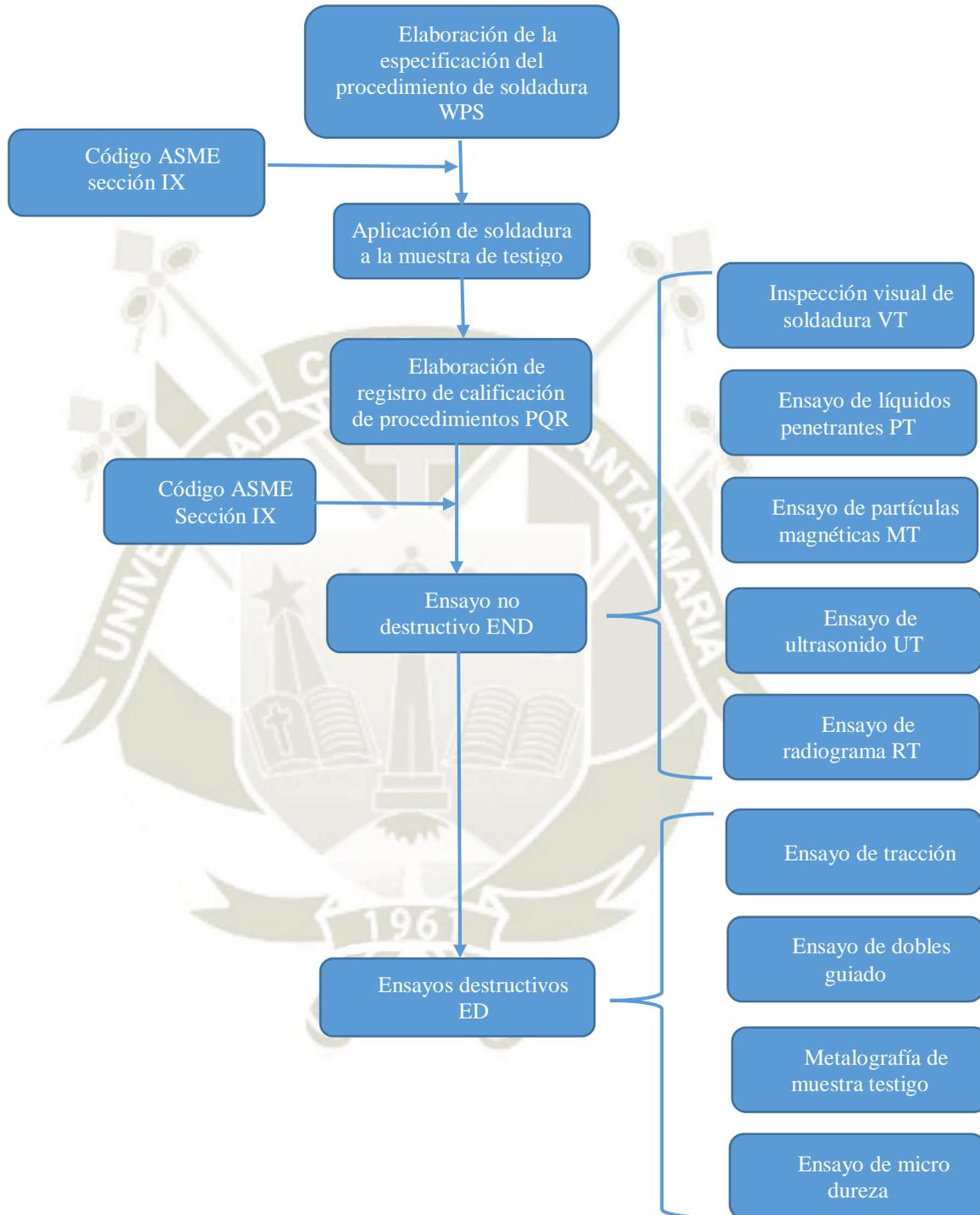
- Inspección visual.
- Macrografías.
- Tintes penetrantes.
- Partículas magnéticas.
- Ultrasonido.
- Rayos gamma gammagrafía.

Diagrama N° 2.12: Pasos para un END



Fuente: Elaboración propia

Diagrama N° 2.13: Elaboración de WPS



Fuente: Elaboración propia

2.9.4.1. Inspección visual – VT

Es un método de inspección visual detallada de las uniones soldadas bajo determinadas condiciones, efectuada a simple vista o con la ayuda de instrumentos auxiliares para mejorar el alcance y la percepción del sentido de la vista (luminarias, lupas, espejos, galgas, etc.).

Donde se requiere de agudeza visual, visión cromática y gran experiencia y conocimiento de los materiales para la inspección, medición y evaluación

Figura N° 2.91: Inspección visual de uniones soldadas



Fuente: <https://www.calimet.com.mx/inspeccion-visual>

❖ Accesorios y herramientas básicas de ayuda para ensayo visual

El ensayo visual está compuesto de cinco elementos:

- El Inspector
- El Objeto de ensayo
- El instrumento óptico
- Iluminación
- Método de Registro

Figura N° 2.92: Herramientas de inspección visual de soldadura

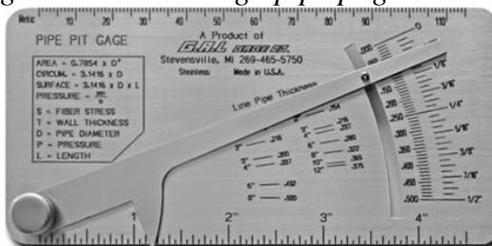


Fuente: PUCP ingeniería de soldadura ingesold

❖ Galga de Medición de Pittings

Detector de picaduras de corrosión.

Figura N° 2.93: Galga pipe pitge



Fuente: <http://www.welderskill.com/g-a-l-gage/>

❖ Galga Bridge Cam

Figura N° 2.94: Galga bridge cam



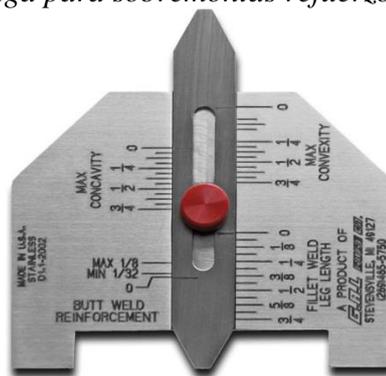
Fuente: <http://www.inspeqingenieria.com/esp/images/fichastecnicas>

- El ángulo de preparación del bisel de la junta
- El refuerzo o corona de las juntas a tope
- La profundidad de socavado
- La profundidad de picaduras
- Tamaño de la garganta en soldaduras de filete
- Longitud de la pierna en soldaduras de filete
- Desalineamiento de la junta

❖ Galga para Refuerzos de Soldadura y Filetes

- Medición de Refuerzo (sobre-monta) acabado de soldadura
- Medición de Garganta (throat) de soldadura de filete

Figura N° 2.95: Galga para sobremontas refuerzos



Fuente: <http://www.bluemetric.mx/nueva/shop/calibrador-de-soldadura>

❖ Galgas para soldadura de filetes

Son calibradores pasa/ no pasa para realizar mediciones de soldadura de filete de manera rápida y precisa desde un 1/8 hasta 1.

- Longitud de pierna.
- Cordón de soldadura cóncava.
- Cordón de soldadura convexa.

Figura N° 2.96: Galgas para filetes de soldadura



Fuente: <https://www.endsa.com/calibradores-de-soldadura.html>

❖ Galgas para Desalineamiento HI-LO

- El desalineamiento durante el ajuste
- La abertura de raíz de la junta
- La longitud de pierna o tamaño, en soldaduras de filete
- El refuerzo o corona de las soldaduras a tope
- El espesor de pared en uniones a tope de tubos
- Cuenta con un calibrador pasa / no pasa para el ángulo de preparación del bisel de la junta.

Figura N° 2.97: Calibrador de Soldadura HI-LO



Fuente: <https://www.endsa.com/calibradores-de-soldadura.html>

❖ **Galgas V-WAC**

La profundidad de la escala de la corona, puede ser medida hasta 1/32 de pulgada, profundidad del corte inferior, la porosidad de comparación, la cantidad de porosidad por cada pulgada lineal.

Figura N° 2.98: Medidor filete soldadura V-WAC



Fuente: <https://www.endsa.com/calibradores-de-soldadura.html>

❖ **Otras herramientas de inspección visual**

Existen otras herramientas de ayuda para mejorar la inspección visual como se muestran en la figura siguiente.

Figura N° 2.99: Otras herramientas de inspección visual



Fuente: Bibliografía Tecsup END

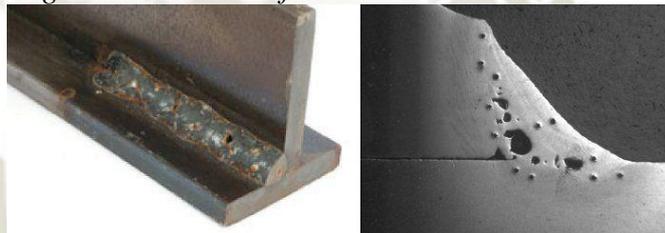
2.9.4.2. Defectos y discontinuidades en la soldadura

❖ **Discontinuidad:** Una interrupción de la estructura típica de un material tal como la falta de homogeneidad y sus características mecánicas, metalúrgicas o físicas. Una discontinuidad no es necesariamente un defecto. (AWS A3.0, 2001, pág. 26)

❖ **Defecto:** Una discontinuidad o discontinuidades que por naturaleza o por efecto acumulado (por ejemplo, longitud total de fisura) hacen una parte o un producto, indisponible para cumplir al mínimo la aceptación de normas o especificaciones. El término designa rechazo. (AWS A3.0, 2001, pág. 24)

Todo defecto es una discontinuidad, pero no toda discontinuidad es un defecto.

Figura N° 2.100: Defectos de soldadura



Fuente: <https://www.thefabricator.com/spanish/22-possibles-causas-de-la-porosidad-del-metal-de-soldadura>

❖ **Métodos de Ensayo:** Son utilizados para la detección y cuantificación de las discontinuidades y defectos encontrados para ello se utilizan diferentes métodos de END como:

- **RT-** Radiografía (Radiographic testing) ASME VIII Uw-51(b)
- **UT-** Ultrasonido (Ultrasonic testing) ASME V artículo 5
- **MT-** Partículas magnetizables (Magnetic testing) ASME V artículo 7
- **PT-** Líquidos penetrantes (Penetrant liquids testing) ASME V
- **VT-** Evaluación visual (Visual testing)
- **LT-** Ensayo de estanqueidad (Leak testing)
- **ET-** Corrientes parásitas (Eddy's current testing)
- **AE -** Emisión acústica (Acoustic emission)

➤ **Indicaciones alargadas**

Donde L es mayor a 3 veces su ancho A: ($L > 3A$)

➤ **Indicaciones redondeadas**

Donde L es menor o igual a 3 veces su ancho A: ($L \leq 3A$).

➤ **Indicaciones alineadas (radiografía):** Tres o más indicaciones alineadas aproximadamente paralelas al eje de la soldadura, espaciadas lo suficientemente cerca entre ellas como para ser considerada discontinuidad única e intermitente.

➤ **Principales defectos**

- Grietas o fisuras
- Sopladuras y Poros
- Inclusiones de escoria
- Falta de fusión
- Falta de penetración
- Imperfecciones de forma
- Socavaciones
- Otras imperfecciones

➤ **Causas**

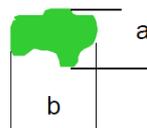
- Preparación, disposición o limpieza de las piezas a unir.
- Ejecución de la soldadura.
- Soldabilidad del metal base
- Elección de consumibles (gases, metal de aporte, fundente., etc.)

Diagrama N° 2.14: Grados de porosidad



Fuente: Bibliografía Tecsup supervisión de soldadura

➤ **Tipos de imperfecciones por su tamaño**



Redondeadas $b < 3a$ Alargadas $b > 3a$

Porosidad $a=b$ escoria $b > a$ fp, ff, fisura $b \gg a$

Tipos de imperfección por su posición:

- **Superficiales**
(Porosidad, falta de fusión, socavaciones, fisuras, etc.)
- **Sub Superficiales**
(Falta de fusión, inclusiones de escoria, porosidad, etc.)
- **Internas**
(Fisuras, falta de penetración, falta de fusión, socavaciones, etc.)

Diagrama N° 2.15: Tipos de imperfección



Fuente: Elaboración propia

- **Grietas o fisuras:** Es una discontinuidad tipo fractura caracterizada por tener sus extremos afilados, alargados y con un ancho.

Se pueden localizar en:

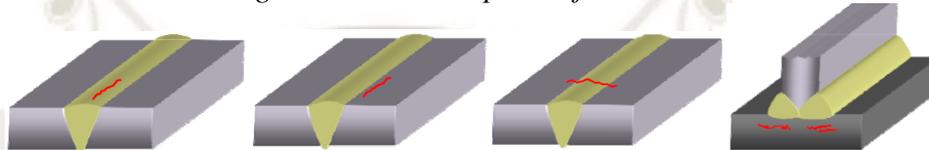
- Metal base
- En la Z.A.T
- La zona de unión entre la ZAT y MS
- En el cordón de soldadura.
- El cráter de soldadura

Estas fisuras se manifiestan en:

- **Fisuras en caliente:** Estas desarrollan durante la solidificación y su propagación es intergranular (entre granos).
- **Fisuras en frío estas:** Desarrollan luego de la solidificación, son asociadas comúnmente con fragilización por hidrógeno. Se propagan entre y a través de los granos (inter y transgranular).

Estas se manifiestan como fisuras longitudinales y transversales

Figura N° 2.101: Tipos de fisuras

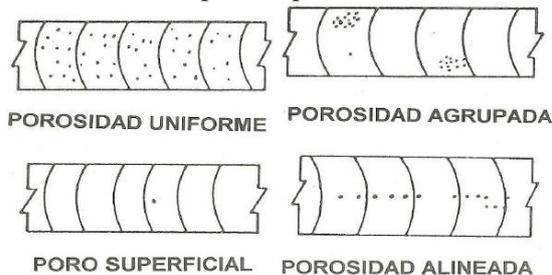


Fuente: Bibliografía Tecsup

Causas

- Soldar con excesiva intensidad.
 - Tensiones residuales en el metal base.
 - Mala secuencia de soldeo.
 - Inadecuado e insuficiente material de aporte.
 - Metal base de mala soldabilidad.
 - Finaliza el cordón de soldadura retirando el electrodo muy rápido y brusco.
 - La superficie del metal base está cubierta con aceites, grasas, etc.
 - Electrodo Húmedos.
-
- **Porosidad**
- Se define porosidad como el gas atrapado por solidificación del metal de soldadura antes de que el gas tenga la posibilidad de salir a la superficie del relleno fundido y escape. (AWS A3.0, 2001, pág. 51)
- Porosidad Linear “Linear Porosity”
 - Porosidad Dispersa Scattered Porosity”
 - Porosidad Agrupada “Cluster Porosity”
 - Porosidad Vermicular o Tipo Gusano “Herringbone Porosity”

Figura N° 2.102: Tipos de porosidad



Fuente: *Bibliografía Tecsup supervisión de soldadura 2016*

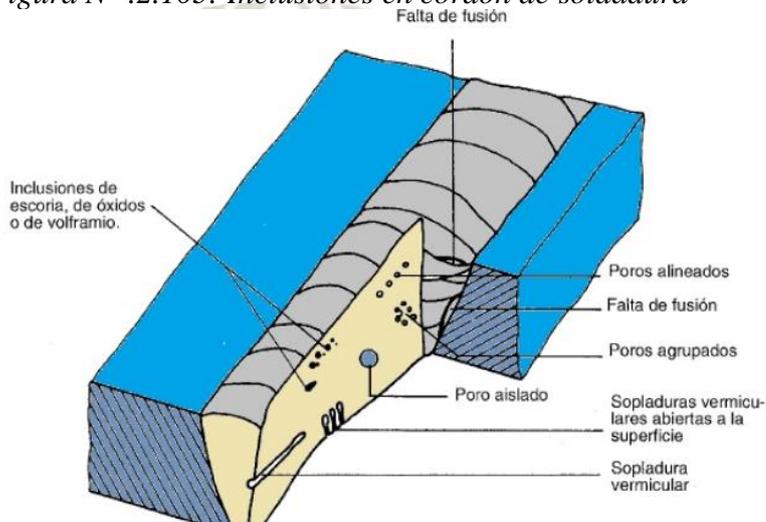
Causas

- Falta de limpieza en los bordes de la unión, presencia de óxidos, pintura o grasa.
- Intensidad Excesiva.
- Revestimientos Húmedos, electrodos mal conservados.
- Arco demasiado largo. Velocidad de avance rápido.
- Empleo de electrodos con el extremo desprovisto de recubrimientos.
- Condiciones atmosféricas desfavorables.

➤ Inclusiones

Se define una inclusión de escoria a un sólido no metálico atrapado entre el metal de soldadura y el metal depositado.

Figura N° .2.103: Inclusiones en cordón de soldadura



Fuente: *Defectos de uniones soldadas UNCP*

Causa

- Inclusiones originadas a partir del flujo de soldadura.
- Inclusiones causadas por una inadecuada limpieza.
- inclusiones por sílice, cobre, etc.
- Intensidad demasiado larga.
- Deficiente Limpieza de cada cordón.
- Arco demasiado largo.
- Movimiento oscilatorio demasiado grande.
- Inclinación incorrecta del electrodo.

➤ **Falta de fusión**

Se define fusión incompleta (IF) como una discontinuidad entre el metal de soldadura y el material de base que está abierta a la superficie o por la falta de unión entre los cordones de soldadura.

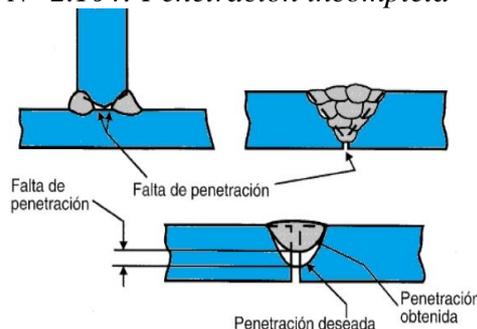
Causas:

- Soldar con arco demasiado largo.
- Intensidad de corriente baja.
- Velocidad de avance excesiva.
- Defectuosa preparación de bordes (bisel con ángulo muy pequeño, high-low, etc.)
- Soldar encima de un cordón con excesivo sobre espesor.
- Realizar empalmes defectuosos.
- Diámetro de electrodo muy grande.

➤ **Penetración incompleta**

Este fenómeno ocurre cuando “una condición de raíz en soldadura de ranura en el cual el metal de soldadura no se extiende a través del espesor de la junta”. (AWS A3.0, 2001, pág. 40)

Figura N° 2.104: Penetración incompleta



Fuente: Defectos en soldadura UNCP

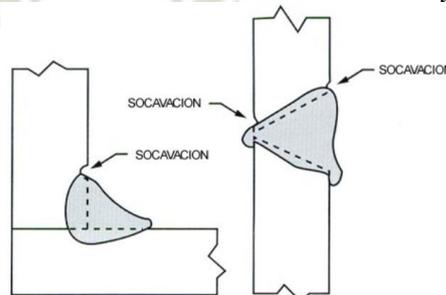
Causas

- Intensidad de corriente baja.
- Velocidad de soldeo excesiva.
- Mala preparación de la junta (abertura de raíz muy pequeña, pequeño ángulo de bisel o talón de raíz muy grande).
- Diámetro de electrodo muy grande.
- Desalineamiento excesivo (máx. 3mm).
- Longitud de arco grande.

➤ Socavaciones

La socavación es una muesca o canaleta o hendidura ubicada en los bordes de la soldadura, es un concentrador de tensiones y además disminuye el espesor de las planchas o caños, todo lo cual es perjudicial. Pueden darse en la raíz o en la cara de la soldadura.

Figura N° 2.105: Socavación en soldadura con bisel y de filete



Fuente: <http://josealfredocasanova.blogspot.com/2013/06/capitulo-ix.html>

Causas

- Exceso de calor electrodo inadecuado
- Manipulación incorrecta.
- Arco muy intenso
- Velocidad inadecuada

➤ Concavidad

Se produce cuando el metal de soldadura en la superficie de la cara externa, o en la superficie de la raíz interna, posee un nivel que está por debajo de la superficie adyacente del metal base.

Figura N° 2.106: Concavidad Interna (IC)



Fuente: Wilson López Perlaza control de calidad

➤ Causas de falta de metal en la soldadura

- Velocidad de soldeo muy elevada
- Demasiada separación entre las chapas.

➤ Desalineamiento

Esta discontinuidad se da cuando en las uniones soldadas a tope las superficies que deberían ser paralelas se presentan desalineadas.

Las normas limitan esta desalineación, normalmente en función del espesor de las partes a soldar.

Es frecuente que en la raíz de la soldadura esta desalineación origine un borde sin fundir.

Figura N° 2.107: Desalineamiento en soldadura



Fuente: Bibliografía Tecsup supervisión de soldadura

➤ **Salpicaduras**

Son los glóbulos de metal de aporte transferidos durante la soldadura y adheridos a la superficie del metal base, o a la zona fundida ya solidificada. Es inevitable producir cierto grado de salpicaduras, pero deben limitarse eliminándose, aunque más no sea por estética de la superficie soldada. Las salpicaduras pueden ser estéticas, soldadas. Origen de microfisuras (como los arranques de arco sobre el metal base), y simultáneamente son un punto de inicio de la oxidación en superficies pintadas ya que tarde o temprano estos glóbulos podrán desprenderse del metal base, llevando consigo la pintura superficial allí localizada.

Figura N° 2.108: Salpicaduras de soldadura



Fuente: Bibliografía Tecsup supervisión de soldadura

➤ **Sobremonta**

Es un concentrador de tensiones y, además, un exceso de ésta aumenta las tensiones residuales, presentes en cualquier soldadura, debido al aporte sobrante. Por estos motivos las normas limitan el valor de R, que en general no debe exceder de 1/8" (3mm).

➤ **Golpe de arco**

Ocurre cuando al inicio sobre el metal base fuera de la junta. Es perjudicial especialmente en aleaciones de alta resistencia y de baja aleación.

2.9.5. Inspección con líquidos penetrantes

Es un método de aplicación de un líquido con pigmentación visible (contrastante) o fluorescente, sobre la superficie de la pieza a examinar, con la finalidad de que se introduzca por capilaridad en las posibles discontinuidades superficiales que la pieza tenga; la aplicación se puede efectuar por aspersión, brocha, inmersión, o por cualquier otro método, en toda el área a ser inspeccionada está cubierta de tinte.

Figura N° 2.109: Tintes penetrantes



Fuente: https://nanopdf.com/download/liquididos-penetrantes-curso_pdf

❖ **Ventajas**

- Es relativamente fácil de aplicar. Es de bajo costo la inspección.
- El método detecta una gran gama de discontinuidades, no importando su orientación ni la configuración de la pieza.
- Requiere pocas horas de entrenamiento y experiencia inicial, comparado con otros métodos.
- El equipo es portátil y aplicable en campo.
- El equipo puede ser estacionario para grandes lotes de producción.
- Es aplicable a materiales metálicos y no metálicos.

❖ **Limitaciones**

- Solo detecta discontinuidades abiertas a la superficie.
- Una selección incorrecta en la combinación del revelador y penetrante puede ocasionar una reducción en la sensibilidad.
- Generalmente la indicación es más grande que la imperfección que la causa.
- No es aplicable en materiales porosos o de estructura esponjosa. Se requiere de una buena limpieza de la superficie a examinar.

- Las discontinuidades no deben estar obstruidas o contaminadas.
- Superficies muy rugosas limitan su uso, reduciendo la sensibilidad.

2.9.5.1. Materiales usados para el método de líquidos penetrantes

Los materiales para la inspección por líquidos penetrantes consisten de:

- Penetrantes fluorescentes y visibles.
- Emulsificadores (base aceite y base agua).
- Removedor/limpiador (solventes removedores).
- Reveladores.

No es recomendable mezclar penetrantes y emulsificadores o removedores de distintos fabricantes.

2.9.5.2. Clasificación de tipos de métodos de prueba por líquidos penetrantes

Tabla N° 2.17: Métodos de pruebas por líquidos penetrantes

Tipo I – Examinación con penetrantes fluorescentes
<u>Método A</u> – Removible con agua (Ver método de prueba E 1209)
<u>Método B</u> – Post-emulsificable lipofilico (Ver método de prueba E 1208)
<u>Método C</u> – Removibles con solvente (Ver método de prueba E 1219)
<u>Método D</u> – Post-emulsificable lhidrofilico (Ver método de prueba E 1210)
Tipo II – Examinación con penetrantes visibles
<u>Método A</u> – Removible con agua (Ver método de prueba E 1418)
<u>Método B</u> – Removibles con solvente (Ver método de prueba E 1219)

Fuente: Bibliografía Tecsup END

- El tipo pigmento se usa en el penetrante, sea fluorescente o coloreado.
Los tintes fluorescentes deben verse bajo luz negra.
Los tintes coloreados requieren verse bajo luz blanca de suficiente intensidad.
- El método o proceso indica como remover el penetrante en exceso de la superficie, después de transcurrido el tiempo de penetración apropiado.

❖ **Líquidos penetrantes**

❖ **Penetrantes visibles:** Su coloración puede ser observada con luz visible que generalmente es de color rojo y se emplea para la detección de discontinuidades de fabricaron en taller o en el campo. Se requiere de una iluminación apropiada para no tener pérdidas en la sensibilidad del examen.

❖ **Penetrantes fluorescentes:** Su coloración es fluorescente brillante cuando enfocado con luz negra, su aplicación es cuando se requiere alta sensibilidad de inspección de piezas críticas.

Este método fluorescente tiene mayor sensibilidad que cualquier método visible.

❖ **Penetrantes post emulsificante:** Es un penetrante base-aceite que no se mezcla con agua, al aplicar el emulsificador, este se combina con el exceso de penetrante y forma una mezcla lavable con agua. Puede revelar discontinuidades anchas y poco profundas (rayaduras y marcas de herramientas).

❖ **Emulsificadores**

❖ **Emulsificadores lipofílicos:** Son líquidos miscibles con agua, trabajan por difusión y se suministran listos para emulsificar el exceso de penetrantes base aceite, para formar una mezcla lavable con agua. Donde la velocidad de difusión se incrementa con el aumento de la concentración y las temperaturas altas su aplicación puede ser por inmersión o flujo, no se debe aplicar con brocha o por aspersión.

❖ **Emulsificadores Hidrofílicos:** Son líquidos miscibles con agua, usados para emulsifiacar el exceso de penetrante fluorescente base aceite, su aplicación es por inmersión, flujo y aspersión. Se debe aplica después de un pre-enjuague.

❖ **Solventes**

Es un líquido volátil se usa en la limpieza inicial de la pieza a inspeccionar, previa a la aplicación del penetrante. También se utiliza humedeciendo ligeramente un material absorbente para remover residuos del exceso de penetrante.

Clase 1, halogenado: clorinado, no flamable, evapora rápidamente.

Clase 2, no halogenado, clorinado, miscible en agua, relativamente volátil.

Clase 3, aplicación específica.

❖ **Reveladores**

- El revelador es un polvo blanco que tiene la habilidad de adherirse y extrae el penetrante atrapado en las discontinuidades.
- Fácil de remover.
- El modo de aplicación es polvoreado, inmersión, inundación o aspersión dependerá principalmente del tipo de revelador.
- Alto poder de absorción.
- No deben ser tóxicos, agresivos para la superficie y fluorescentes.

2.9.5.3. Secuencia de aplicación del ensayo PT

1. Limpieza inicial.
2. Secado.
3. Aplicación del penetrante.
4. Tiempo de penetración.
5. Aplicación del emulsificación*.
6. Tiempo de emulsificación*.
7. Remoción del exceso de penetrante
8. Secado.
9. Aplicación del revelador.
10. Tiempo de revelado.
11. Interpretación y evaluación (inspección)
12. Limpieza final.

Figura N° 2.110: Procedimiento de tintes penetrantes



Fuente: Bibliografía Tecsup END

Tabla N° 2.18: Tiempos de secado de líquidos penetrantes

MATERIAL	METODO DE FABRICACION	TIPO DE DISCONTINUIDAD	TIEMPO DE PERMANENCIA (EN MINUTOS) PARA LOS PROCESOS I-A, I-B, I-C y I-D; II-A y II-C	
			PENETRANTE (B)	REVELADOR (C)
Aluminio, Magnesio, Acero, Latón y Bronce, Aleaciones de Titanio y resistentes a altas temperaturas.	Fundición y Soldaduras	Traslapes, porosidad, falta de fusión y grietas.	5	10
	Materiales conformados por extrusión, forjado o laminado.	Traslapes y grietas	10	10
Herramientas con puntas de carburo.		Falta de fusión, porosidad y grietas	5	10

Fuente: Bibliografía Tecsup END

Temperatura de 10 a 38°C para penetrante fluorescente.

Temperatura de 10 a 52 °C para penetrante visibles.

Tiempo de revelado máximo: 2 horas para revelados acuosos y 1 hora para no acuosos.

2.9.6. Inspección con partículas magnéticas

Esta técnica se aplica para la detección de discontinuidades en la inspección de materiales ferro magnéticos.

2.9.6.1. Ventajas y limitaciones de partículas magnéticas

❖ **Ventajas**

- Proceso de resultados seguros e inmediatos es más rápida que los líquidos penetrantes y más económicos.
- Relativamente simple, provisto de controles para ajustar la corriente, y un amperímetro visible, la portabilidad y adaptabilidad a muestras pequeñas o grandes.
- Requiere menor limpieza que líquidos penetrantes.
- Detecta tantas discontinuidades superficiales y sub superficiales.
- Los resultados se manifiestan sobre la superficie de la pieza, indicando la longitud, localización, tamaño y forma de las discontinuidades.
- El equipo no requiere de un mantenimiento extensivo.

❖ **Limitaciones**

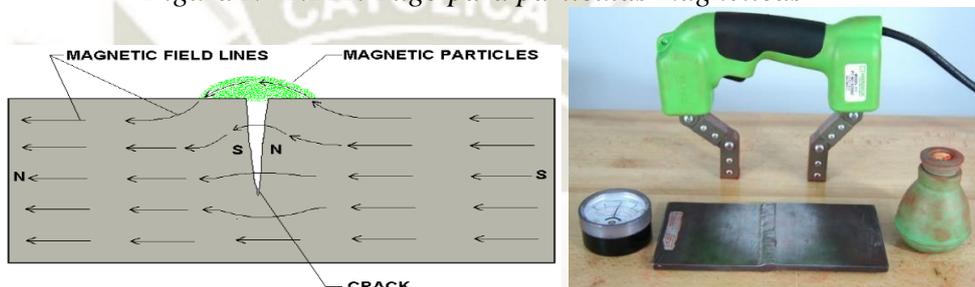
- Requiere de una fuente de poder.
- Utiliza partículas de fierro con criba de 100 mallas (0.00008")
- No detectará discontinuidades que se encuentren en profundidades mayores de 1/4".
- La detección de una discontinuidad dependerá de muchas variables, tales como la permeabilidad del material, tipo, localización y orientación de la discontinuidad, cantidad y tipo de corriente magnetizante empleada, tipo de partículas, etc.
- La aplicación del método en el campo es de mayor costo.
- La rugosidad superficial puede distorsionar las líneas de flujo.
- Se requieren dos o más inspecciones secuenciales con diferentes magnetizaciones.
- Generalmente después de la inspección se requiere de una desmagnetización.
- las indicaciones formadas son fácilmente observables, la experiencia en el significado de su interpretación es muchas veces necesario.

2.9.6.2. Método de partículas magnéticas

Es un método muy utilizado para pruebas no destructivas en materiales ferromagnéticos al ser imantado y/o sometidos a la acción de un campo magnético. La técnica se basa en distorsiones locales del flujo magnético, creados por la presencia de discontinuidades.

Una discontinuidad paralela al campo producirá un menor efecto sobre el objeto. La sensibilidad será alta con defectos orientados a 90°, resultados aceptables con orientación a 75°.

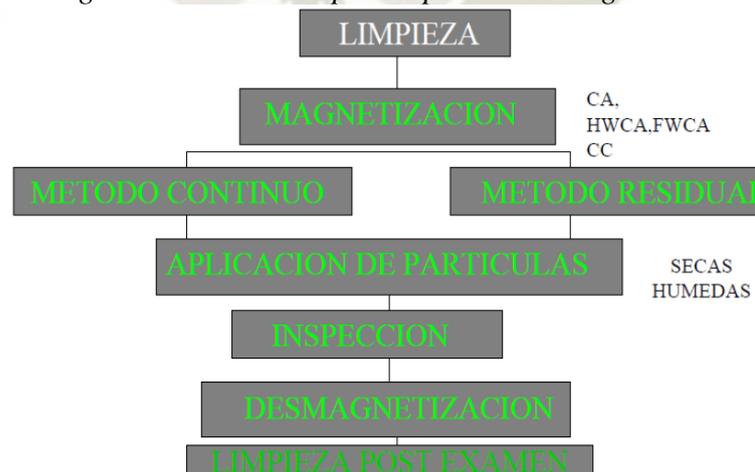
Figura N° 2.111: Yugo para partículas magnéticas



Fuente: http://www.llogsa.com/Descargas/Ultratips/Ediciones/Utipsed_166.php

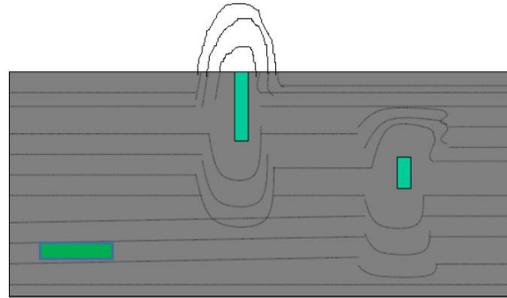
2.9.6.3. Etapas de aplicación MP

Diagrama N° 2.16: Etapas de partículas magnéticas



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 2.112: Discontinuidad en materiales ferromagnéticos



Fuente: Bibliografía Tecsup END

2.9.6.4. Factores a tener en cuenta para la magnetización

- Dirección e intensidad del campo magnético.
- Forma y tamaño de la discontinuidad y la orientación con respecto al campo magnético.
- Características magnéticas de la pieza a ensayar.
- Forma y dimensiones de la pieza, que afectan a la distribución del campo magnético.
- Estado de la superficie de la pieza, que afectara a la nitidez de las indicaciones.

2.9.6.5. Partículas magnéticas no fluorescentes

Son partículas magnéticas de color gris, rojo, negro o amarillo son los más usados la cual es contraste con el fondo a inspeccionar con luz visible.

Figura N° 2.113: Aplicación de partículas magnéticas



Fuente: <https://es.scribd.com/doc/132700973/temario-para-el-curso-de-particulas-magneticas>

2.9.6.6. Partículas magnéticas fluorescentes

No tienen mucho uso debido a su costo y limitaciones de uso, esta técnica requiere de una fuente de luz negra y un área oscura donde no siempre es disponible en aplicaciones de campo.

Figura N° 2.114: Partículas magnéticas húmedas fluorescentes



Fuente: Bibliografía Tecsup END

Tabla N° 2.19: Criterios de aceptación de inspección visual ASME VIII

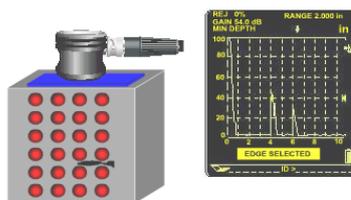
MÉTODO DE INSPECCIÓN PARTICULAS MAGNETICAS ASME V artículo 7 (criterio de aceptación ASME VIII apéndice 6)				
Método de inspección	Equipo requerido	Permite detectar	Ventajas	Limitaciones
Partículas magnéticas	<ul style="list-style-type: none"> Fuentes de poder, solenoides o puntas portátiles. Polvos magnéticos, secos o húmedos 	<ul style="list-style-type: none"> Excelente para detectar discontinuidades de superficie, especialmente grietas superficiales. 	<ul style="list-style-type: none"> Más simple que la radiográfica 	<ul style="list-style-type: none"> Solo aplicables a materiales ferro magnéticos. Requiere habilidad de interpretación.
<p>La exanimación de partículas magnéticas estará de acuerdo al código ASME V artículo 7. El criterio de aceptación será de acuerdo ASME VIII apéndice 6 - 6.3, 6.4. El tener una visión capaz de leer a una distancia mínima de 300mm o 12pulg. Cualquier dimensión mayor a 1/16" (1.5mm) se considera relevante. Indicación lineal pertinente, (su longitud es mayor 3 veces que su ancho). Indicaciones redondeadas pertinentes superiores a 3/16" (5mm), (forma circular o elíptica con una longitud igual o menor a 3 veces el ancho). 4 o más indicaciones redondeadas relevantes en línea separada 1/16" (1.5mm) o menos (de borde a borde).</p>				

Fuente: Elaboración propia

2.9.7. Inspección por ultrasonido

Se realiza fundamentalmente por el método donde la onda ultrasónica se transmite y se propaga dentro del volumen de una pieza a inspeccionar hasta que es reflejada en la cara posterior de la pieza y retorna al transmisor dando información de su recorrido, podríamos decir que es una energía mecánica en forma de ondas, con una frecuencia entre 20Khz y 25Mhz.

Figura N° 2.115: Inspección de ultrasonido



Fuente: LLOGSA ultrasonido

2.9.7.1. Características:

- Velocidad de Propagación
- Longitud de Onda
- Modos de Onda
- Impedancia Acústica
- Reflexión
- Refracción
- Difracción

2.9.7.2. Ventajas

- Gran poder de penetración, lo cual le permite inspeccionar grandes espesores.
- Gran sensibilidad, permitiendo la detección de discontinuidades muy pequeñas.
- Gran exactitud, para determinar la posición, tamaño y forma de las discontinuidades.
- Sólo se requiere una superficie de acceso (en la mayoría de los casos), eso simplifica el proceso de inspección.
- Su interpretación es inmediata.
- No existe ningún riesgo en su aplicación.
- Los equipos utilizados son portátiles, y con gran autonomía.
- Cualquier equipo moderno tiene capacidad para guardar datos en su memoria.

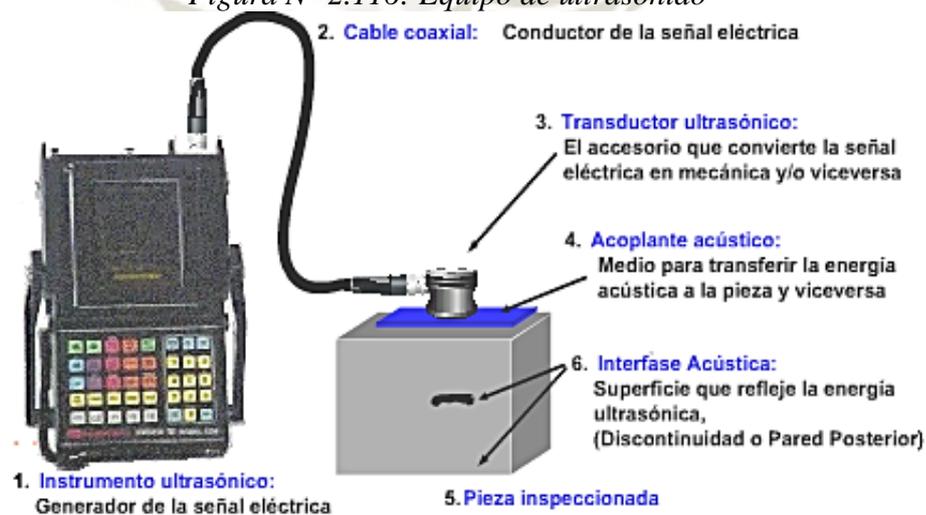
2.9.7.3. Limitaciones

- La inspección e interpretación deben ser realizadas por personal calificado y experimentado, lo cual lo hace más caro.
- Se requiere gran conocimiento para establecer correctamente los criterios y procesos de inspección
- La inspección se hace difícil en superficies demasiado rugosas.
- La inspección se hace difícil en superficies muy irregulares.
- La inspección se hace difícil en piezas muy pequeñas o muy delgadas.
- Las discontinuidades sub superficiales, podrían no ser detectadas.
- Es necesario utilizar un acoplante.
- Se necesitan patrones de referencia para la calibración de los equipos, así como para la caracterización de las discontinuidades.

2.9.7.4. Elementos que intervienen en la inspección por Ultrasonido

- 1.-Equipo de ultrasonido
- 2.-Cable (s)
- 3.-Transductor (es) y zapata (s)
- 4.-Acoplante (1)
- 5.-Pieza a inspeccionar

Figura N° 2.116: Equipo de ultrasonido



Fuente: Llogsa ultrasonido industrial

2.9.7.5. El Material a Inspeccionar determina

- La Velocidad de Propagación
- La Impedancia Acústica
- Tipos de discontinuidades
- La Frecuencia a Utilizar
- Los Patrones
- El Espesor (para angulares)

2.9.7.6. Tipos de discontinuidades

- **Inherentes:** Fundición primaria y secundaria.
- **De proceso:** Rolado, forjado, tratamiento térmico, maquinado.
- **De servicio:** Grietas por fatiga, corrosión, erosión.

Patrón de calibración: Bloques de dimensiones exactas, estandarizados, con indicaciones descébales y hechos con materiales y procesos libres de fallas.

Figura N° 2.117: Bloques patrón para calibración de equipos de ultrasonido



Fuente: León y ruso ingenieros

2.9.7.7. El Transductor y la Zapata

Estos dos dispositivos determinan:

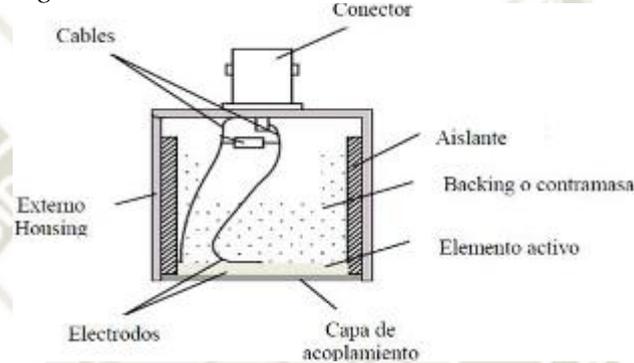
- El diámetro.
- La frecuencia.
- La sensibilidad y/o la resolución.
- El ángulo de entrada al material.
- Conector.
- Divergencia.

Figura N° 2.118: Zapatas y transductores



Fuente: León y ruso ingenieros

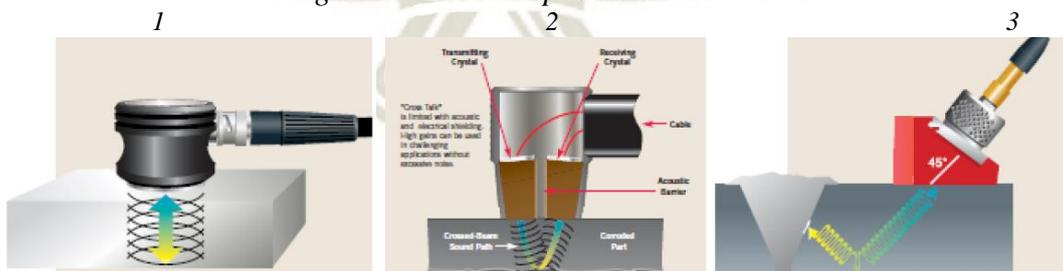
Figura N° 2.119: Anatomía de un transductor



Fuente: León y ruso ingenieros

- ❖ **Tipos de transductores:** Cada tipo de transductor tiene su propia aplicación específica, es importante conocer cada una de ellas, así como las características de cada tipo de transductor. De esta forma podremos seleccionar el más apropiado para cada trabajo.

Figura N° 2.120: Tipos de transductores



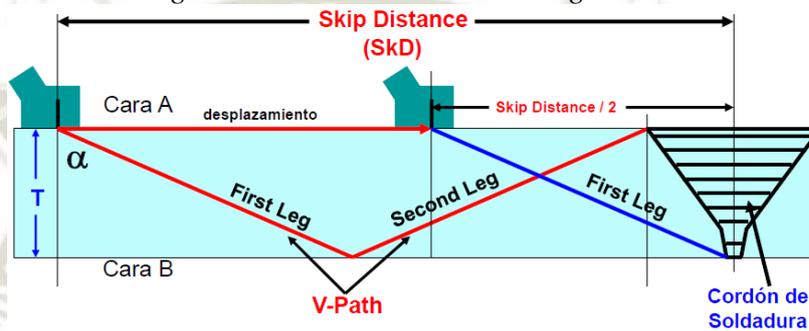
Fuente: León y ruso ingenieros

1. Transductor de contacto de haz recto.
2. Transductor de contacto Dual.
3. Transductor de haz recto para montarse en diversas zapatas para mediciones angulares.

❖ **Datos Combinados**

- La Longitud de Onda.
- El Campo Cercano.
- La Divergencia del Haz Ultrasónico.
- El Diámetro del Haz a una distancia “D”, determinada.
- Leg Length.
- V-Path.
- Skip Distance.

Diagrama N° 2.17: Mediciones angulares



$SKD = 2T \times \text{Tangente de } \alpha$ $V\text{-Path} = 2T / \text{coseno de } \alpha$

$\text{Leg Length} = T / \text{coseno de } \alpha$

Fuente: León & Russo ingenieros

Tabla N° 2.20: Parámetros de ultrasonido

MATERIAL	LONGITUDINAL VELOCITY		SHEAR VELOCITY		ACOUSTIC IMPEDANCE
	(in/μs)*	(m/s)	(in/μs)*	(m/s)	
Acrylic resin (Perspex®)	0.107	2,730	0.056	1,430	3.22
Aluminum	0.249	6,320	0.123	3,130	17.06
Beryllium	0.508	12,900	0.350	8,880	23.5
Brass, naval	0.174	4,430	0.083	2,120	37.30
Cadmium	0.109	2,780	0.059	1,500	24.02
Columbium	0.194	4,920	0.083	2,100	42.16
Copper	0.183	4,660	0.089	2,260	41.61
Glycerine	0.076	1,920	—	—	2.42
Gold	0.128	3,240	0.047	1,200	62.60
Inconel®	0.229	5,820	0.119	3,020	49.47
Iron	0.232	5,900	0.127	3,230	45.43
Iron, cast (slow)	0.138	3,500	0.067	2,200	25.00
Iron, cast (fast)	0.220	5,600	0.126	3,200	40.00
Lead	0.085	2,160	0.028	700	24.49
Lucite®	0.106	2,680	0.050	1,260	3.16
Mercury	0.057	1,450	—	—	19.66
Molybdenum	0.246	6,250	0.132	3,350	63.75
Motor oil (SAE 20 or 30)	0.069	1,740	—	—	1.51
Nickel, pure	0.222	5,630	0.117	2,960	49.99
Platinum	0.156	3,960	0.066	1,670	84.74
Polyamide (slow)	0.087	2,200	0.043	1,100	2.40
Polyamide (nylon, Perlon®) (fast)	0.102	2,600	0.047	1,200	3.10
Polystyrene	0.092	2,340	—	—	2.47
Polyvinylchloride, PVC hard	0.094	2,395	0.042	1,060	3.35
Silver	0.142	3,600	0.063	1,590	37.76
Steel, 1020	0.232	5,890	0.128	3,240	45.41
Steel, 4340	0.230	5,850	0.128	3,240	45.63
Steel, 302 austenitic stainless	0.223	5,660	0.123	3,120	45.45
Steel, 347 austenitic stainless	0.226	5,740	0.122	3,090	45.40
Tin	0.131	3,320	0.066	1,670	24.20
Titanium, Ti 150A	0.240	6,100	0.123	3,120	27.69
Tungsten	0.204	5,180	0.113	2,870	99.72
Uranium	0.133	3,370	0.078	1,980	63.02
Water (20°C)	0.058	1,480	—	—	1.48
Zinc	0.164	4,170	0.095	2,410	29.61
Zirconium	0.183	4,650	0.089	2,250	30.13

*Conversion Factor: 1 m/s = 3.937 x 10⁻⁵ in/μs

dB vs AMPLITUDE RATIO CHART			
dB	RATIO	dB	RATIO
0	1.00:1	11	3.55:1
.5	1.06:1	12	3.98:1
1	1.12:1	13	4.47:1
2	1.26:1	14	5.01:1
3	1.41:1	15	5.62:1
4	1.58:1	16	6.31:1
5	1.78:1	17	7.08:1
6	2.00:1	18	7.94:1
7	2.24:1	19	8.91:1
8	2.51:1	20	10.00:1
9	2.82:1	40	100.00:1
10	3.16:1	60	1000.00:1

OTHER RATIOS MAY BE COMPUTED AS IN THE FOLLOWING EXAMPLES:
 28 dB = (20 dB + 8 dB) → RATIO = (10 x 2.51) = 25.1:1
 77 dB = (60 dB + 17 dB) → RATIO = (1000 x 7.08) = 7080:1
 GENERAL FORMULA: dB = 20 log (A₁/A₂)

METRIC CONVERSION TABLE					
inch	decimal	mm.	inch	decimal	mm.
1/64	0.015625	0.3969	1/2	0.500000	12.7000
1/32	0.031250	0.7938	9/16	0.562500	14.2875
1/16	0.062500	1.5875	5/8	0.625000	15.8750
1/8	0.125000	3.1750	11/16	0.687500	17.4625
3/16	0.187500	4.7625	3/4	0.750000	19.0500
1/4	0.250000	6.3500	13/16	0.812500	20.6375
5/16	0.312500	7.9375	7/8	0.875000	22.2250
3/8	0.375000	9.5250	15/16	0.937500	23.8125
7/16	0.437500	11.1125	1	1.000000	25.4000



PANAMETRICS, INC.
 221 Crescent Street
 Waltham, MA 02154

617-899-2719
 800-225-8330

Fuente: León & Russo ingenieros

Tabla N° 2.21: Inspección con ultrasonido ASME V

MÉTODO DE INSPECCIÓN CON ULTRASONIDO ASME V				
Método de inspección	Equipo requerido	Permite detectar	Ventajas	Limitaciones
Ultrasonido	<ul style="list-style-type: none"> Equipo de ecopulso o transmisor standars de referencia para interpretación 	<ul style="list-style-type: none"> Fallas bajo la superficie, incluso aquellas demasiado pequeñas para ser detectadas por otro método. Defectos de laminación. 	<ul style="list-style-type: none"> Muy sensible inspección de uniones inaccesibles para la radiografía. 	<ul style="list-style-type: none"> La interpretación de los gráficos requiere gran habilidad. Normalmente no se obtiene testimonio permanente.
Criterio de aceptación y rechazo ASME V artículo 5				
<p>Las imperfecciones que producen una reacción mayor que el 20% del nivel de referencia debe ser investigado para la extensión que el operador pueda determinar la forma, identidad, y ubicación de todas las semejantes imperfecciones y evaluarlas en términos de los estándares de aceptación dados en (a) y (b) citados a continuación: Indicaciones caracterizadas como fisuras, falta de fusión, o penetración incompleta son NO ACEPTABLES Otras imperfecciones son NO ACEPTABLES si las indicaciones exceden el nivel de referencia y tienen longitudes que exceden :</p> <p>1/4" (6mm) para t hasta 3/4" (19mm) 1/3t para t desde 3/4", para 2 1/4" (19mm a 57mm) 3/4" (19mm) para t sobre 2 1/4" (57mm)</p> <p>t = espesor de la soldadura excluyendo cualquier refuerzo admisible.</p>				

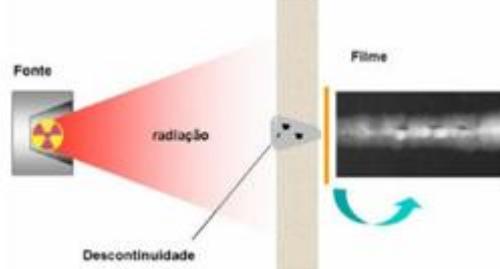
Fuente: Elaboración propia.

2.9.8. Inspección por radiografía

Es un procedimiento de inspección de ensayo no destructivo diseñado para localizar discontinuidades macroscópicas y alteraciones en la estructura interna de un material.

Al emplear RT, se logra obtener una imagen de la estructura interna de un material, debido a que se emplea una radiación de alta energía, que es capaz de ingresar a materiales sólidos, este ensayo es usado para localizar discontinuidades internas en una gran variedad de materiales. Y logrando así obtener por medio de una placa la imagen revelada del área inspeccionada.

Figura N° 2.121: Radiografía industrial



Fuente: <http://blog.utp.edu.co/metalografia/files/2015/12/Captura16.png>

2.9.8.1. Material inspeccionado por radiografía industrial

Es uno de los métodos más antiguos y de mayor uso en la industria, continuamente se realizan nuevos desarrollos que modifican las técnicas radiográficas aplicadas al estudio no sólo de materiales, sino también de partes y componentes.

El principio físico en el que se basa esta técnica es la interacción entre la materia y la radiación electromagnética, siendo esta última de una longitud de onda muy corta y de alta energía.

La exposición radiográfica en la inspección de juntas soldadas, la energía de los rayos X o gamma es absorbida al atravesar un material. Lo absorbido es proporcional a la densidad, espesor y forma del material.

El contenido radiográfico debe contener como mínimo la siguiente información:

- Tipo de material a inspeccionar.
- Fuente de radiación máxima de trabajo para caso de rayos X.
- Distancia mínima foco película.
- Tamaño máximo de emisión de radiación de foco.
- Marca, clase y tipo de la película.

2.9.8.2. Ventajas de la radiografía industrial

- Es un registro de inspección excelente.
- Su inspección se extiende a múltiples materiales.
- Se consigue una imagen del interior del material a inspeccionar.
- Se consigue un registro constante de inspección.
- Detecta errores de fabricación y para tomar acciones correctivas.
- Este ensayo deja un registro para luego analizar.

2.9.8.3. Limitaciones de la radiografía industrial

- No recomendable para componentes con geometrías complicadas
- El objeto a inspeccionar debe tener acceso por ambos lados.
- Requiere del cumplimiento de medidas de seguridad.
- Requiere de personal entrenado, calificado y con experiencia.
- Requiere de un área de exposición, equipo de seguridad y un área oscura para el proceso de revelado.

2.9.8.4. Técnicas radiográficas

- Documentos de aplicación ASME V, ASME VIII-UW-51(b), API 650.
- El personal deberá estar acreditado, capacitado, calificado y certificado con nivel 1 o 2 de acuerdo a ASNT (American Society For Non destructive Testing).
- Films radiográficos se encuentra dentro de lo establecido por ASTM E94, y será de grano fino tipo I6II empleando un film por cassette. Con pantallas de plomo de 0.005” para anterior y 0.010” parte posterior.
- Fuente de radiación se emplea radiación Gamma (Ir 192) la técnica radiográfica será demostrada por la sensibilidad radiográfica.
- Penetrametros (indicadores de calidad de imagen) son del mismo material a inspeccionar y serán del tipo alambre.
- Los penetrametros son colocados del alado de la fuente en la sección del cordón donde se va a realizar la inspección, de tal forma que el penetrametro sea normal al haz de radiación y colocado en forma perpendicular al cordón de soldadura.
- Técnicas radiográficas será de simple pared / simple imagen, para controlar la retro dispersión durante cada exposición y se anexará una letra B de plomo por la parte posterior del cassette con dimensiones 6mm de altura y 1.5mm de espesor. Si la letra B aparece en la imagen significa que la protección contra el retro dispersión es insuficiente por lo tanto la radiografía es inaceptable. Penumbra geométrica (Ug) no podrá superar:
- Para planchas de acero menor a 2” se usará Ug máximo 0.020”

$$Ug = \frac{F \times D}{d}$$

Dónde:

Ug= Penumbra geométrica

F= Tamaño de la fuente

D= Distancia fuente- objeto a radiografías.

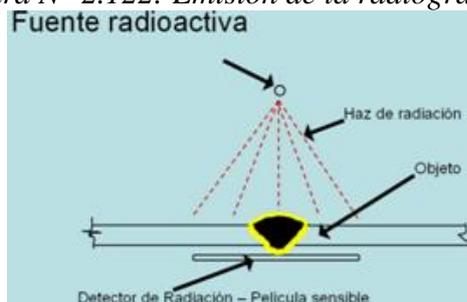
d= Distancia lado del objeto a radiografías dela fuente.

- La densidad del film tiene un rango de 2 a 4.
- La ubicación y números de films y cantidad será acuerdo a API 650 sección 6.1.2.
- Identificación de los films deberá estar identifica en forma clara, como código de elemento a inspeccionar, código del films, fecha de inspección e indicador de calidad.
- Calculo de tiempo de exposición se emplea una regla de cálculo de lo contrario una gráfica de tiempo de exposición.
- Almacenamiento de las películas radiográficas, están protegidas de la luz, presión o calor excesivos, humedad, vapores y radiaciones ionizantes que puedan dañar.
- La interpretación de las radiografías son examinadas con luz de intensidad variable, los densitómetros serán calibrados por lo menos cada 90 días cuando están en uso, con cinco escalones con densidad de 1 a 4.
- Aceptación de la radiografía

2.9.8.5. Proceso de inspección radiográfica

- Conocer características del material que se va a examinar.
- Calcular distancia de exposición entre la fuente, el objeto y la película.
- Selección de película.
- Implementación de medidas de seguridad.
- Arreglo de la fuente.
- Emisión de radiación.

Figura N° 2.122: Emisión de la radiografía



Fuente: <http://blog.utp.edu.co/metalografia/files/2015/12/Captura18.png>

- Absorción de radiación.
- Exposición.
- Calculo de tiempo para la exposición de Rayos X

$$\frac{T}{D^2} = \frac{T1}{D1^2}$$

Dónde:

T = Tiempo de exposición a una distancia de 70 cm (minutos)

T1 = Tiempo de exposición con distancia diferente de 70 cm (minutos)

D = Distancia de la fuente al film (70 cm).

D1 = Distancia de la fuente al film diferente a 70 cm.

- Impresión de la película fotográfica.

Figura N° 2.123: Películas Radiográficas



Fuente: <http://blog.utp.edu.co/metalografia/files/2015/12/Captura20.png>

- Sensibilidad y calidad de la radiografía.
- Interpretación.
- Condiciones específicas.

Figura N° 2.124: Equipo para la radiografía industrial:



Fuente: <http://blog.utp.edu.co/metalografia/files/2015/12/Captura24.png>

2.9.8.6. Equipo más utilizado para la radiografía industrial

- Fuente de radiación (rayos X o rayos gamma).
- Controles de la fuente.
- Película radiográfica sin revelar.
- Pantallas intensificadoras.
- Indicadores de calidad de la imagen.
- Medidores de radiación.
- Probetas soldadas.
- Densitómetro.
- Tubos de rayos X.
- Estándares radiográficos de la ASTM

CAPITULO III

3. CONTROL DE CALIDAD DE UNIONES SOLDADAS PARA LA FABRICACIÓN DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO

3.1. Parámetros de diseño del tanque de almacenamiento

Condiciones ambientales

- Presión atmosférica: 101.03KPa.
- Temperatura mínima: 15°C.
- Temperatura máxima: 27°C.
- Temperatura de diseño: 10°C.

Características del fluido

- Fluido almacenado: Agua industrial
- Gravedad específica: 1
- Viscosidad: 1 centipoise

3.1.1. Características de la instalación

- Dimensiones:
 - Diámetro: 7m
 - Altura: 8.5m
- Volumen útil: 310m³
- Tipo de techo: Cónico soportado.
- Tipo de fondo: fondo Plano.
- Presión de diseño: Atmosférica.
- Ciudad: Arequipa.

3.1.2. Consideraciones de diseño

Como guía para el diseño del tanque de almacenamiento se utilizó la norma API 650 el material utilizado para la construcción del tanque es el ASTM A36 para el que se tiene los siguientes valores de resistencia.

Planchas de acero laminadas en caliente con bordes de laminación, de espesores mayores que 4.75 mm, destinadas para la construcción de tanques de almacenamiento.

Tabla N° 3.1: Características del material ASTM A36

Especificación de plancha	Mínimo esfuerzo de fluencia lb/pulg ² (MPa)	Mínimo esfuerzo de tensión lb/pulg ² (MPa)	Esfuerzo de diseño del producto S _d lb/pulg ² (MPa)	Esfuerzo de prueba hidrostática S _t lb/pulg ² (MPa)
A 36 (A 36M)	36000 (250)	58000 (400)	23200 (160)	24900 (171)

Fuente: Elaboración propia

- Se ha utilizado un factor de seguridad de 1.8 para verificar la resistencia de los elementos estructurales por flexión. Por lo tanto, es el esfuerzo admisible, es considerando como 20000 ksi.
- El peso unitario de acero ha sido considerado como 7860Kg/m³.

Para la verificación del tanque por sismo se ha realizado una equivalencia de la norma ASCE7 (Sociedad Americana de Ingenieros Civiles), para esto se consideró el valor de Sp=0.4

3.1.3. Geometría del tanque

Tabla N° 3.2: Características geométricas del tanque de almacenamiento

Elementos	Unidades (métrico)	Unidades (ingles)
Ancho de la plancha	1.5 m	4.92 pies
Longitud de la plancha	6 m	19.69 pies
Cantidad horizontal	3.67 unidades	
Cantidad vertical	5.67 unidades	
Diámetro tanque	7 m	23 pies
Altura del tanque	8.5 m	27.89 pies
Capacidad	327 m ³	11547.9 pies ³
Norma	API 650	
Pendiente del techo	3.8°	0.066 rad
Velocidad del viento	193.12 Km/h	120 mph
Espesor del techo	6.35 mm	0.250 Pulg
Espesor fondo del tanque	8 mm	0.315 Pulg
N° columnas C1	1	
Gravedad específica del fluido (G)	1	
Tolerancia de corrosión pared (CA)	1.6 mm	0.0625 pulg
Tolerancia de corrosión fondo (CA)	1.6 mm	0.0625 pulg
Numero de virolas	6	
Material de plancha	A36	
Mínimo esfuerzo de fluencia	250 MPa	36000 psi
Esfuerzo permisible por diseño (S _d)	160 MPa	23206 psi
Esfuerzo permisible por prueba (S _t)	171 MPa	24801.5 psi

Fuente: Elaboración propia

3.1.4. Diseño del casco método 1 pie

- ❖ Calculo espesor del casco del tanque.

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

- ❖ Calculo espesor del casco de prueba hidrostática.

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

$$t = t_d + t_t$$

Tabla N° 3.3: Espesor de virolas del tanque de almacenamiento

Virolas N°	t _a (mm) (pulg)		t _t (mm) (pulg)		t (mm) (pulg)		t _{std} (mm)(pulg)		Peso casco (Kg)
1	3.35	0.1317	1.64	0.0644	5	0.1961	9	3/8	2330.5
2	3	0.1188	1.33	0.0525	4.35	0.1713	9	3/8	2330.5
3	2.69	0.1059	1.03	0.0405	3.72	0.1464	6	1/4	1553.7
4	2.36	0.0931	0.72	0.0285	3.09	0.1216	6	1/4	1553.7
5	2	0.0802	0.42	0.0165	2.46	0.0967	6	1/4	1553.7
6	1.71	0.0673	0.11	0.0045	1.82	0.0718	6	1/4	1553.7

10876 Kg

Fuente: Elaboración propia

El espesor requerido del casco será mayor que los espesores de diseño del casco t_d y t_t, pero no deberá ser menor a lo indicado en API 650 para tanques < 15 m Ø con un espesor mínimo a 5 mm.

3.1.5. Distribución de planchas del techo del tanque

❖ Techo cónico soportado

- El ∠ de inclinación del techo será (3/4") o 1.9 cm por cada (12") 30.5cm.
- Los techos y estructuras estarán diseñadas para soportar cargas muertas más cargas vivas no menor a 1.2 Kpa (25 lbf/pie²).
- Las planchas del techo no deberán ser menor a 5mm o (3/16").
- Todo elemento estructural interno o externo deberá tener un mínimo espesor nominal de 4.3mm o (0.17").
- Las planchas pueden ser reforzadas mediante perfiles soldados a las planchas, pero no a los largueros o vigas o portantes.

➤ Las vigas tendrán una pendiente 5 cm por cada 30.48 cm.

$$t_i = \frac{D}{4.8 \times \text{sen}(\alpha)} + CA \qquad t_i = \frac{7.070m}{4.8 \times \text{sen}(14)} + 0.0016m$$

$$t_i = 6mm$$

Factor de corrección del espesor del techo.

$$C_i = C_v + C_m$$

$$C_i = 122.06kg/m^2 + 37.34kg/m^2 \qquad C_i = 159.4kg/m^2$$

159.4kg/m² ≈ 1.56kpa es el valor presión total que es mayor a la presión mínima de 1.2kpa establecido por API 650.

Entonces el espesor calculado 6 mm es correcto.

$$P_{cono} = 2 \times \pi \times r \qquad A_{cono} = \pi \times r^2 \qquad V_{cono} = A_{cono} \times t$$

$$W_{cono} = \rho_{A36} \times V_{cono} \qquad \alpha_{cono} = \frac{2 \times \pi \times r}{g}$$

Ecu: 32

Peso del techo cónico del tanque de almacenamiento.

$$W_b = 1851.81kg \approx 1.85ton$$

Tabla N° 3.4: Característico del techo del tanque

Elementos	Unidades	
	(SI)	(SIG)
Radio de desarrollo	3.505 m	11.5 pies
Pendiente del techo	6.3° ≈ 6.2%	
Espesor de la plancha (t)	6 mm	1/4
N° de planchas	5 unidades	
Peso del techo	2250 Kg	4960.40 Lbs
Volumen del techo	0.2356m ³	
Viguetas Vg ₁	419 Kg	923.74 Lbs
Accesorios	251 Kg	553.36 Lbs
Peso específico A36	7860 kg/m ³	0.28lb/in ³
Distancia entre columna y casco	3.5	
N° de columnas	1	
Tubo columna	6" sch40	
N° de viguetas de anillo exterior	12	
Perfil de vigueta anillo exterior	C5x6.7	

Fuente: Elaboración propia

3.1.6. Distribución de planchas de la base del tanque

❖ **Área de planchas de acero de 6x1500x6000 mm (3,4,5,6 anillos)**

$$A_{plancha} = b \times h \quad A_{plancha} = 9m^2$$

❖ **Peso de la plancha de 6x1500x6000 mm.**

$$V_{plancha} = A \times H \quad V_{plancha} = 0.054m^3$$

$$W_{plancha} = \rho \times V \quad W_{plancha} = 424.44Kg$$

❖ **Peso de la plancha de 9x1500x6000 mm. (anillos 1 y 2)**

$$V_{plancha} = A \times H \quad V_{plancha} = 0.081m^3$$

$$W_{plancha} = \rho \times V \quad W_{plancha} = 636.66Kg$$

❖ **N° de planchas para el casco o pared**

$$A = 2 \times \pi \times r \times H \quad A = 186.92m^2$$

$$N^{\circ}_{planchas} = \frac{A_{casco}}{A_{plancha}} \quad N^{\circ}_{planchas} = 20.77unidades$$

Perímetro del tanque $P = \pi \times D \quad P = \pi \times 7m \quad P = 22m$

- 22/9=3.667 unidades entonces por cada virola será 4 planchas y esto por 4 virolas de la parte superior sería 16 planchas estándar de 6x1500x6000.
- 3.667 unidades entonces por cada virola 4 planchas y esto por 2 virolas de la parte inferior del tanque era 8 planchas estándar de 9x1500x6000.
- N° de planchas total: 24 unidades de planchas estándar.

❖ **Peso del fondo del tanque**

Selección del espesor de las planchas del fondo estas garantizan la estanqueidad del tanque y considerando que no soportan las acciones de presiones hidrostáticas del fluido requieren un menor espesor que la pared del tanque o casco. Para prevenir la deformación de planchas al momento de soldar, API 650 establece un espesor mínimo de 6 mm.

Es por ello que seleccionamos planchas con un espesor de 8 mm.

- El fondo del tanque debe ser mayor que el diámetro de la pared exterior del casco como mínimo 51mm + el ancho de soldadura. (D=7.070 m)

$$A_{fondo.tank} = \pi \times r^2 \qquad A_{fondo.tank} = 39.258m^2$$

$$V_{planchas} = A \times H \qquad V_{planchas} = 0.314m^3$$

$$W_{planchas} = \rho \times V \qquad W_{planchas} = 2449.2Kg$$

❖ **N° de planchas para el fondo del tanque**

$$N^{\circ}_{planchas} = \frac{A_{fondo.tank}}{A_{plancha}} \qquad N^{\circ}_{planchas} = 4.36 \qquad N^{\circ} \text{ de planchas: } 5 \text{ unidades}$$

❖ **Plancha anular**

- No requiere plancha anular debido a que esta se utiliza para tanques con $\varnothing > 30$ metros y una T° de operación $> 93^{\circ}C$.

❖ **Estructura soporte del techo**

Tabla N° 3.5: Características de soporte del techo

Elementos	Unidades	
	(SI)	(SIG)
Carga muerta	37.40 Kg/m ²	7.66 Lb/pie ²
Carga viva	122.06 Kg/m ²	25 Lb/pie ²
W	160 Kg/m ²	32.66 b/pie ²
Luz de la vigueta	3.50 m	11.48 pies
Luz no arriostrada de la vigueta	3.50 m	11.48 pies
Perfil seleccionado		C5X6.7
Peso propio de la vigueta	9.97 Kg/m	6.7 lb/pie
Espesor mínimo de alma	4.32 mm	0.17 pulg
Espaciamiento max anillo exterior	1.91 m	6.28 pies
Espaciamiento max anillo interior	1.68 m	5.5 pies
Ø arriostres viguetas anillos	22.86 cm	0.75 pies
Distancia entre columnas C1 y casco	3.5 m	11.48 pies

Fuente: Elaboración propia

3.1.7. Diseño por carga de viento

Tabla N° 3.6: Diseño por carga de viento

Elementos	Unidades	
	(SI)	(SIG)
Presión (Pws)	87.88 Kg/m ²	18 lb/pie ²
Velocidad del viento	193.12 Km/h	120 m/h
Presión corregida	2.49 Kg-m	18 lb-pie
Fuerza del viento	56255.33 Kg/m ²	11522 lb/pie ²
Momento de volteo Mw	72856 Kg	160620 lb
Peso de cilindro s/m corrosión	9943.20 Kg	21921 lb
Peso muerto	2668.84 Kg	5884 lb
w	12612.14 Kg	27805 lb
Mdl=(W*D/2)	44131.26 Kg-m	319202 lb-pie
WL	193.55 Kg/m	1400 lbf/pie
1.25*HL*D*G específico		400
wL	449217 N	100988 lbf
Mf peso del liquido	160285.33 Kg-m	1159346 lb-pie
0.6Mw+Mpi<Mdl/1.5		Cumple
Mw+0.4Mpi<(Md+Mf)/2		Cumple
El tanque no requiere anclajes		No requiere anclajes
Presión sobre el techo	146.47 Kg/m ²	30 lb/pie ²
Presión corregida	146.47 Kg/m ²	30 lb/pie ²
U		No aplica
Espaciamiento max anclaje	3.05 m	10 pies
Cantidad min de anclajes		No aplica
Cantidad de diseño de pernos		0 (colocar a criterio) ingresar # mayor a 4
Espaciamiento real		No aplica
Tensión del perno		No aplica
Ø pernos de anclaje		0 (colocar a criterio)
Esfuerzo a la tensión	No aplica no hay anclajes	

Fuente: Elaboración propia

- Presión de viento en la pared Pws: $0.86x(v/190)^2$ KPa
- Presión de levantamiento techo Pwr: $1.44x(v/190)^2$ KPa

Para que unos tanques puedan ser diseñados sin anclajes debe ser capaz de soportar el levantamiento que se produce por la acción del viento.

3.1.8. Diseño por carga sísmica (diseño sísmico (estabilidad al volteo))

Tabla N° 3.7: Diseño de carga sísmica

Elementos	Unidades	
	(SI)	(SIG)
D/H	0.82	
Site class	B API E4.4	
Parámetros de aceleración, periodo de 1 seg	0.5	
Parámetros de aceleración cortos periodos de Ss	1	
Coefficiente de aceleración Fa	1 E-1	
Coefficiente de velocidad Fv	1 E-2	
Parámetro de aceleración según ASCE 7 S _{DS}	1 %G	
Coefficiente de importancia I	1.5 tabla E-5	
Factor de reducción para el modulo inductivo R _w	4 tabla E-4	
Coefficiente de aceleración impulsivo Ai	0.38 ¡cumple!	
Peso total del contenido del tanque Wp	326.72 Kg	720.296 lb
Peso de la porción impulsivo del líquido Wi	590982 API E6.1.1	
Altura de acción de la fuerza impulsiva Xi	11.78 API E6.1.2	
Peso total del techo Wr	2250.27 Kg	4961 lb
Altura del centro de gravedad del techo Xr	8.57 m	28.12 pies
Factor de escala del nivel de diseño Q	0.67 API E4.6.1	
Coefficiente para ajustar la aceleración especial K		1.5
Factor de reducción para el modo convectivo R _{wc}		2 tabla E-4
K _s	0.08 kg-m	0.58 lb-pie
Periodo natural convectivo Tc		2.77 s
Periodo de transmisión para periodos más largos T _L		4 s
Parámetros de aceleración convectivo S _{DI}		0.33%g
Coefficiente de aceleración convectivo Ac		0.09 ¡cumple!
Peso de la porción convectiva Wc	18857.4 kg-m	136396 lb/pie
Altura de acción de la fuerza convectiva Xc	6.64 m	21.77 pie
Momento de volteo Mrs	3793185.43 Nm	2797710 pie-lb
Peso del techo actuando en el cilindro Wrs	1.66 kg-m	12.8 lbf/pie
Peso del tengo y del techo especifico Wt	48.25 kg-m	349.09 lbf/pie
Coefficiente de aceleración vertical Av		0 %g
Fuerza resistente a la voladura en el anillo Wa	1483.97 no cumple Wa>1.28HDG	
1.28HDG		819.36
Fuerza resistente a la volcadura en el anillo wa		819.36
Carga de voladura por la presión interna Wint		0 lbf/pie
Ratio de anclaje J		4.54
Conclusión según API E6.2.1.1.1	J>1.54 el tanque es inestable al volteo y requiere anclajes	

Fuente: Elaboración propia

3.1.9. Verificación por compresión

Tabla N° 3.8: Datos de verificación por compresión

Calculo de la máxima fuerza d compresión longitudinal en la base del casco	API E 6.2.2 Para $J \leq 0.785$
Máximo esfuerzo de compresión longitudinal	Para $0.785 < J \leq 1.54$
Máximo esfuerzo de compresión longitudinal	Para $J > 1.54$
Máximo esfuerzo de compresión longitudinal	1894.68 lb/pie ²
Máximo esfuerzo de compresión admisible en el casco:	
GHD_2/t_2	150500
Máximo esfuerzo de compresión admisible F_c	8612.34 lb/pulg ² (605.50 kg/cm ²)
Correcto, s no excede a F_c	API E 6.2.2
Correcto F_c es menor que $0.5F_y$ (18000 lb/pulg ²)	API E 6.2.2

Fuente: Elaboración propia

3.1.10. Anclajes

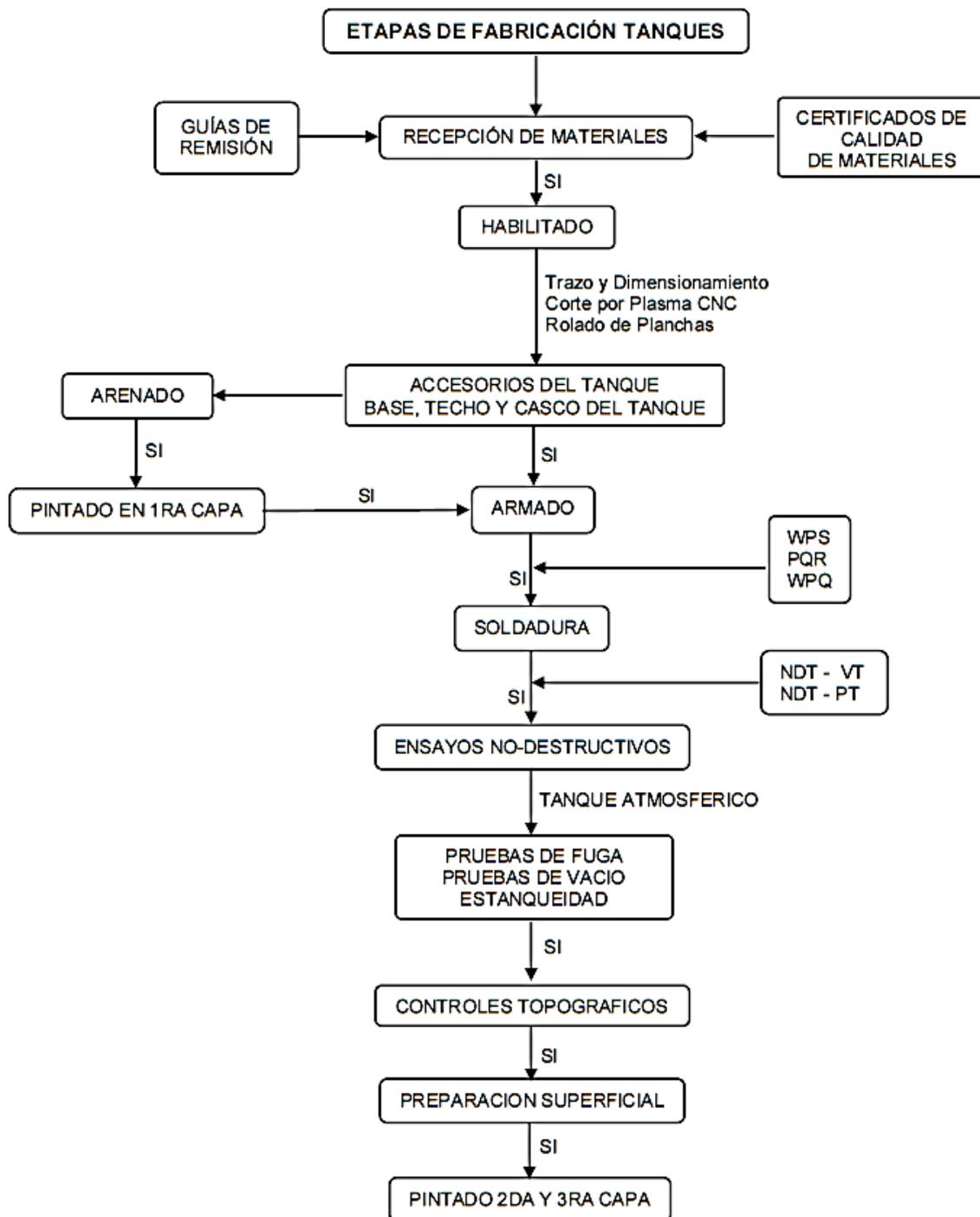
Tabla N° 3.9: Anclajes en el tanque

Elementos	Unidades	
	(SI)	(SIG)
Espaciamiento máximo entre pernos de anclaje	3.05 m	10 pies
Cantidad mínima de pernos de anclaje		8 pernos
Cantidad de diseño pernos de anclaje		16 colocar a criterios
Espaciamiento real	1.37 m	4.51 pies
Tensión del perno de anclaje ASTM A-36 P _{AB}	13101.11 Kg	28883 lb
Diámetro de los pernos de anclaje 1 3/4"	4.41 cm	1.735 pulg
Esfuerzo a la tensión (debe ser menor a $0.8 \cdot F_y$)		19451.2 correcto ≤ 46400 lb/pulg ²

Fuente: Elaboración propia

API 5.12 E 7.1.2 cumple # pernos > 6 ;correcto; $F_y = 58000$ lb/pulg² (colocar a criterio)

Diagrama N° 3.1: Fabricación de tanque de almacenamiento



Fuente: Control de calidad END Percy Ticona Ch

3.2. Inspección para control de calidad de las uniones soldadas para la construcción de tanques de almacenamiento

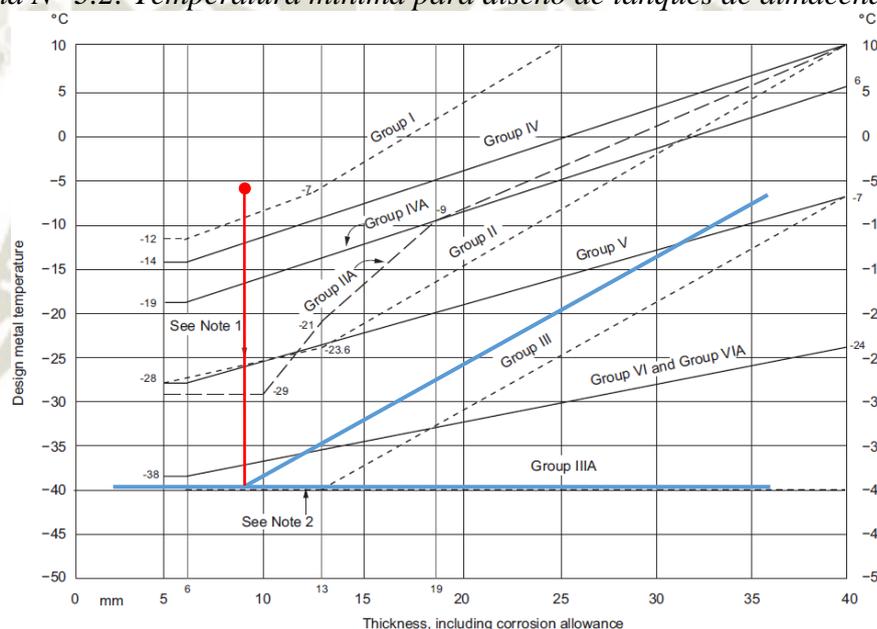
3.2.1. Antes de la soldadura

3.2.1.1. Características del material base

ASTM A36M / ASTM A36 planchas para un máximo espesor de 40 mm (1.5 pulg) son considerados aceptables para la construcción de tanques de almacenamiento de bajo esta norma.

Grupo 1 rolado semi-calmado A36

Diagrama N° 3.2: Temperatura mínima para diseño de tanques de almacenamiento



Fuente: Estándar API 650 -2013 -12ª Edición

❖ Composición química

Tabla N° 3.10: Composición química de acero ASTM A36

Calidad ASTM	% C Máx.	% Mn Max.	% P Max.	% S Max.	% Si Max.
A36	0.25	0.8 – 1.20 (e < 3/4'')	0.040	0.050	0.40

Fuente: Elaboración propia

❖ **Propiedades mecánicas**

Tabla N° 3.11: Características mecánicas del acero A36

Calidad	Norma ASTM	Límite de fluencia (Mpa) (PSI)	Resistencia a la tracción	Alargamiento (%) en 50 mm	Doblado
Estructural	A36	250 36269.5	(Mpa) 400.1 - 550.2 (PSI) 58031.2 - 79792.9	20 min.	a 180° (opcional) Diámetro Pin = 3e Sentido Laminación

Fuente: Elaboración propia

3.2.1.2. Características del material de aporte (AWS A5.20 E71T-1C)

El producto SOLDATUB E71T-1 es un alambre tubular para aplicarse en toda posición, diseñado para trabajar con CO₂ como gas protector. El SOLDATUB E71T-1 en comparación con alambres tubulares autoprotegidos genera un menor nivel de humos y brinda buenas propiedades frente a la resistencia al impacto a bajas temperaturas.

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

❖ **Composición química (AWS A5.20 E71T-1C)**

Tabla N° 3.12: Composición química de E71T-1C

C	Mn	Si	P	S	Mo	Ni	Cr	Cu	Gas de Protección
0,03	1,29	0,30	0,011	0,005	-	-	-	-	100% CO ₂

Fuente: Soldexa Peru

❖ **Características mecánicas (AWS A5.20 E71T-1C)**

Tabla N° 3.13: Características mecánicas de E71T-1C

Tratamiento Térmico [Gas Protección]	Resistencia a la Tracción [MPa (psi)]	Límite de Fluencia [MPa (psi)]	Elongación en 2" [%]	Energía Absorbida ISO-V [°C (°F)] [J (Ft-Lbf)]
Sin Tratamiento térmico [100%CO ₂]	593 (86 000)	558 (81 000)	29	[-20°C (0°F)] 126 (93)

Fuente: Soldexa Peru

3.2.1.3. Procedimientos de soldadura

❖ Compatibilidad del metal base y material de aporte

Tabla N° 3.14: Comparativo de E71T-1C – Acero A36

Calidad ASTM	% C Máx.	% Mn Max.	% P Max.	% S Max.	% Si Max.	Otros
A36	0.25	0.8 – 1.20 (e< 3/4'')	0.040	0.050	0.40	
AWS A5.20 E701T-1C	0.03	1.29	0.011	0.005	0.30	100% CO ₂

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 3.15: Características mecánicas del acero A36

Calidad	Norma ASTM	Límite de fluencia (Mpa) (PSI)	Resistencia a la tracción (Mpa) (PSI)	Alargamiento (%) en 50 mm	Doblado
Estructural	A36	250 36269.5	400.1 - 550.2 (PSI) 58031.2 - 79792.9	20 min.	a 180° (opcional) Diámetro Pin = 3e Sentido Laminación
Alambre tubular	AWS A5.20 E701T-1C	558 81000	593 86000	29 min	

Fuente: Elaboración propia

❖ Ensayo de calificación

- **WPQR:** Es un registro de los datos obtenidos de la soldadura de un cupón de prueba, en el PQR se encuentra los parámetros de soldadura empleados en la realización del cupón de prueba también se encontrará los resultados de los ensayos realizados al cupón de prueba.

Tabla N° 3.16 Formato PQR

QW-483 REGISTRO DE CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO (PQR) (QW-200.2, ASME IX código de calderas y recipientes a presión)	
Nombre de la compañía : xxxx Procedure Qualification Record N°: 001-01-18 Fecha: 24/01/2018 WPS No. ---001----- Procesos de soldadura (es): FCAW Tipos (Manual, Automático, Semi-Automático): Semi- Automático	
JOINTS (QW-402)	
<p style="text-align: right;">T1 = 9.0 mm R 2.5 - 3 mm</p> <p style="text-align: center;">Diseño de ranura del cupón</p> <p>(Para las calificaciones de combinación, el espesor del metal de soldadura depositado se debe registrar para cada metal de aporte o proceso utilizado).</p>	
METAL BASE (QW-403) Especificación de material. ASTM A36 Tipo o Grado: ----- P-No. 1 para P-No. 1 Espesor del cupón de ensayo: 9 mm Diámetro del cupón de ensayo: ----- Otros: -----	POSTWELD HEAT TREATMENT (QW-407) Temperatura: ----- Tiempo: ----- Otros: -----
METAL DE APORTE (WQ-404) SFA Especificación: SFA A5.20 AWS Clasificación: E71T-1C Relleno Metal No. F: 6 Análisis metal de soldadura No. A: 1 Tamaño de metal de deposición: 1.2 mm Otros: ----- Espesor de metal de soldadura: 9 mm	GAS (QW-408) Gas(es) (Mezcla) flujo o caudal Protector: CO₂ 100% CO₂ 20 litros/min Arrastre: ----- Respaldo: -----
POSICIONES (QW-405) Posición de ranura: 3G Vertical Progresión soldadura (Ascendente, Descendente): Ascendente Otros: -----	CARACTERISTICAS ELECTRICAS (QW-409) Corriente: DC Polaridad: EP Amperaje: Raíz 150 - 165 Voltios: Raíz 21 - 22 Relleno 160 - 198 Voltios: Relleno 23 - 24 Tamaño de electrodo de tungsteno: ----- Otros: -----
PRE-CALENTAMIENTO (QW-406) Temperatura Pre calentamiento: min 20°C Temperatura entre-pases: min 20°C - Max 100°C Otros: -----	TECNICA (QW-410) Velocidad desplazamiento: 12-14 cm/min Cordón o cordón de tejido : Cordón o cordón de tejido Oscilación: Con oscilación Pase múltiple o simpe (por lado): Multipases Electrodo simple o múltiples: Simple Otros: Boquilla 19 mm

ENSAYO DE TRACCIÓN (QW -150)						
Muestra No.	Ancho mm	Espesor mm	Área mm ²	Fuerza Máxima N	Resistencia a la tracción Mpa	Tipo de falla y ubicación
T1 JYM 2018	19.34	8.65	167.3	82016	490.0	Metal base
T2 JYM 2018	19.32	8.66	167.3	82303	492.0	Metal base
PRUEBA DE DOBLES GUIADO (QW-160)						
Tipo y Figura No.					Resultado	
DC 01(15-RE-KC-005)					Aceptado	
DC 02(15-RE-KC-005)					Aceptado	
DC 01(15-RE-KC-005)					Fisura de 1mm	
DC 02(15-RE-KC-005)					aceptado	
ENSAYO DE RESISTENCIA AL IMPACTO (QW-170)						
Muestra No.	Localización de corte	Tamaño de muestra	Temperatura de ensayo	Valores de impacto	Rotura de caída de peso (Y/N)	
				Libras pie		% corte
----	----	----	----	----	----	----
ENSAYO DE SOLDADURA DE FILETE (QW-180)						
Resultado – Satisfactorio: Si: ---- No: ---- Penetración de metal: Si: ---- No: ---- Macro - Resultado: ----						
Otros ensayo						
Tipo de ensayo: ---- Análisis de depósitos: ---- Otros: ----						
Nombre del soldador: Julio Machacca H Hora N°: 30min Estampa No: JMH Ensayo realizado por: xxxx Laboratorio de ensayo N°: ET-2018-22						
Certificamos que las declaraciones en este registro son correctas y que las soldaduras de prueba fueron preparadas, soldadas y probadas de acuerdo con los requisitos de la Sección IX código de calderas y recipientes a presión.						
Manufactura: xxxx						
Fecha: 24/01/18 certificado por: xxxx						

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 3.17: Formato: Informe de ensayo de tracción

		INFORME DE ENSAYO DE TRACCIÓN					Lab –F12		Edición 01	
Laboratorio de ensayo de materiales acreditado por el organismo peruano de acreditación indecopi - SNA con registro N° L.E 001										
Razón social (nombre del cliente): departamento técnico de Arequipa Dirección: av. Las américas 100 - shogur Teléfono: 076 976470 Contacto: xxxx Referencia: xxxx Descripción de la muestra: probetas planas Fecha de informe: 07/09/2018 Informe de ensayo N°: ET-2018-22										
Identificación de las probetas	Sección transversal				Cargas		Tensiones		% Elongación	
	Ancho mm	Espesor mm	Diámetro mm	Área mm ²	Fluencia N	Máxima N	Fluencia Mpa	Máxima Mpa		
ET1-JYM	19.34	8.65	No aplica	167.29	57848	82016	346	490	No aplica	
ET2-JYM	19.32	8.66	No aplica	167.31	57688	82303	345	492	No aplica	
Observaciones:										
Material base: ASTM A36										
Material de aporte: E71T-1C										
Proceso: FCAW										
Para la rotura ver grafica adjunta.										
Las dimensiones de las probetas Si (X) / No() cumplen con la norma					ASME IX-2013					
Método de ensayo:					ASTM A370-14					
Equipo usado:					Tinius Olsen Super L120					
Código interno del equipo:					CC-E-14					
Temperatura de ensayo (°C):					27.1°C					
Nombre del analista:					Carlos Benítez Q					
Fecha de recepción de la muestra:					2018-10-20					
Fecha de ejecución del ensayo:					2018-10-20					
Jefe de aseguramiento de calidad										
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Las probetas han sido suministradas por el cliente ➤ La incertidumbre expandida es de 5 Mpa (tracción y fluencia) y 1 % (elongación) para un nivel de confianza al 95% y un K=2. ➤ Prohibida la reproducción total o parcial del informe sin la autorización escrita del laboratorio de MELCH ➤ Los resultados de este informe solo son válidos para las probetas ensayadas. ➤ Los certificados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad como Norma del producto o certificado del sistema de calidad. 										

Fuente: Elaboración propia

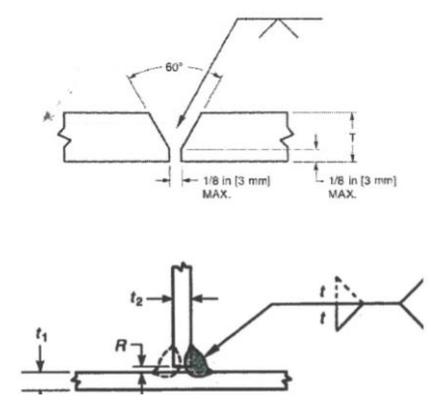
Tabla N° 3.18: Reporte y grafica del ensayo de tracción

XXXX	
Lab F-02 Ensayo tracción AQP-shogur	
Ensayista	B. Leonel MH
N° ensayo:	ET1-2018-22
Id. Probeta:	T1-JYM
Ancho mm:	19.34
Espesor mm:	8.65
Área mm ² :	167.29
Long. sección reducida mm:	30.95
Long. sección agarre mm:	95.00
Long. Total la probeta mm:	255.00
Radio mm:	25.00
Límite fluencia N:	57848
Límite de fluencia Mpa:	346
Fuerza máxima, N:	82016
R. tracción, Mpa:	490
Longitud inicial, mm:	0
Longitud final, mm:	0
Elongación, %:	0
Fecha de ensayo:	2018/10/20
Hora:	15:30
T° ensayo:	27.1
Rotura:	Material base
La probeta:	Si cumple
Norma calificación:	ASME IX-2013
Revisado por:	xxxx

XXXX	
Lab F-02 Ensayo tracción AQP-shogur	
N° ensayo:	ET2-2018-22
Id. Probeta:	T2-JYM
Ancho mm:	19.32
Espesor mm:	8.66
Área mm ² :	167.31
Long. sección reducida mm:	30.86
Long. sección agarre mm:	95.00
Long. Total la probeta mm:	255.00
Radio mm:	25.00
Límite fluencia N:	57688
Límite de fluencia Mpa:	345
Fuerza máxima, N:	82303
R. tracción, Mpa:	492
Longitud inicial, mm:	0
Longitud final, mm:	0
Elongación, %:	0
Fecha de ensayo:	2018/10/20
Hora:	15:45
T° ensayo:	27.1
Rotura:	Material base
La probeta:	Si cumple
Norma calificación:	ASME IX-2013
Revisado por:	xxxx

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 3.19: Formato WPS

QW-482 - ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)							
Nombre de la compañía: xxxx		Por: xxxx		WPS N°: WPS TM N° 001		Fecha: 24-01-2018	
REVISION: 0		Fecha: 24-01-2018		PQR de soporte No: PQR TM 001			
Proceso(s) de soldadura: FCAW				Tipo: Semi - Automática			
JUNTA (QW-402)				JUNTA (QW-402)			
Diseño de junta:		V – Butt Joint					
Separación en la raíz		3 mm					
Respaldo: (Si / No)		No					
Material de respaldo: (Tipo):		N.A.					
<input type="checkbox"/> Metal		<input type="checkbox"/> Refractario					
<input type="checkbox"/> No metálico		<input type="checkbox"/> Otro					
Bocetos, dibujos de producción, los símbolos de soldadura, o una descripción escrita debe mostrar la disposición general de las piezas a soldar. Donde sea aplicable, la apertura de raíz y los detalles de la soldadura debe ser especificada.							
METAL BASE (QW-403)							
P N°:	1	Grupo N°:	1	a P N°:	1	Grupo N°:	1
Ó							
Especificación de tipo y grado:				----			
A la especificación de tipo y grado:				---			
Ó							
Análisis químico y propiedades mecánicas:				----			
Hasta el análisis químico y propiedades mecánicas:				----			
Rango de espesores							
Metal base: ----				Ranura: Mín 4 mm - Max 18 mm		Filete:-----	
Espesor máximo de pase: ≤ 1/2pulg (13mm)				Si(X) No()			
Otro: Ver detalles en la tabla de deposición por pasada							

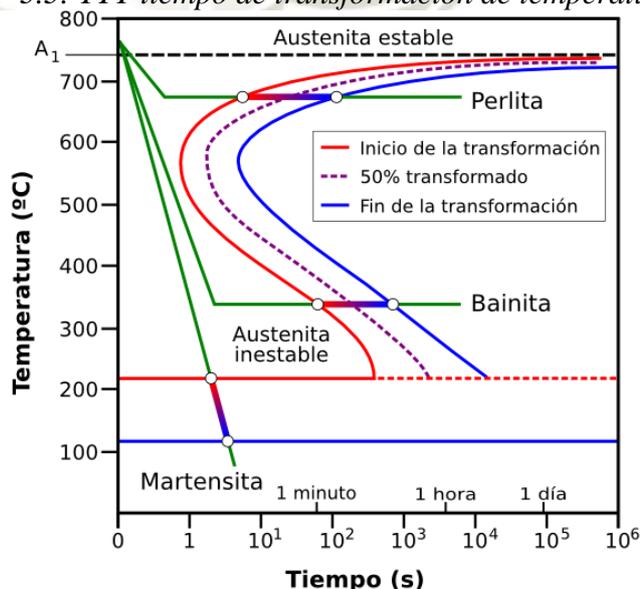
TECNICA (QW-410)		
Pases rectas u oscilantes:	Ambos, según se requiera	
Diámetro de la boquilla de salida de gas:	Tamaño de taza de gas 19mm	
Limpieza inicial y entre pasos:	Cinzel, cepillo y disco de desbaste	
Método de saneado de raíz:	Cinzel, cepillo y disco de desbaste	
Oscilación:	Según sea requerido	
Distancia entre boquilla y pieza de trabajo:	10mm – 15mm	
Pasadas simples o múltiples:	Múltiple	
Electrodo simple o múltiple:	Simple	
Espacio entre electrodos:	---	
Martilleo:	---	
Otros:	---	
Elaborado por:	Aprobado por:	Jefe de Proyecto:
Nombre: xxxx	Nombre: xxxx	Nombre: xxxx
Firma:	Firma:	Firma:
Fecha: 12/01/2018	Fecha: 12/01/2018	Fecha: 12/01/2018

Fuente: Elaboración propia

3.2.1.4. Requerimientos específicos

- ❖ **Pre-calentamiento:** Reducir la tasa de enfriamiento del metal disminuir la pendiente de la curva de enfriamiento de los TTT.

Diagrama N° 3.3: TTT tiempo de transformación de temperatura



Fuente: <https://www.datuopinion.com/diagrama-ttt>

- La temperatura de pre calentamiento puede variar desde 50°C a 540°C, siendo más comúnmente aplicada en el intervalo de 150°C a 200°C.
- Minimiza el riesgo de formación de estructuras duras y frágiles, especialmente en la zona afectada térmicamente. La soldadura solidifica con menos esfuerzo.
- Para aceros al carbono:
 - % C hasta 0.25%: no es necesario el precalentamiento.
 - % C hasta 0.3 y 0.4C%: es necesario pre calentar 100 y 150°C, para no alcanzar la velocidad critica de enfriamiento.
 - % C mayor al 0.45% y aceros de baja aleación: se deben precalentar según la cantidad de carbono equivalente.

La soldabilidad es opuesta a la templeabilidad y la templeabilidad es función del contenido del carbono equivalente. El precalentamiento aumenta con los siguientes factores:

Como el contenido de carbono del material base, contenido de elementos aleantes del material de base, tamaño de la pieza, temperatura inicial y velocidad de soldeo diámetro del electrodo.

3.2.1.5. Calificación de soldadores

Tabla N° 3.20: Formato de registro de calificación

JYMEXS.SAC		REGISTRO DE CALIFICACIÓN DEL RENDIMIENTO DEL SOLDADOR (WPQR)			AQP-F-01	
Procedimiento: FCAW		Soldador: JMH	Operador: -	Apuntador:-		
1. DATOS GENERALES:						
N° Registro/Record: 15-RC-KC-005			Fecha: 02/02/2018			
Lugar: AQP			xxxx			
2. DATOS DEL CLIENTE:						
Empresa: xxxx						
Contacto: Benjamín Leonel M C			TELEFONO: 987654321			
3. DATOS DE LA CALIFICACION:						
PROYECTO: YALSI		Fabricación:		API 650		
N° WPS: 001		N° PQR: por calificar		ASME IX 2010		
ESTAMPAS MEDIOS DE MEDICIÓN:						
Pinza Amperimetrica: AQP-MAQ-01						
Pirómetro: AQP-MAQ-02						
Bridge Cam: N° 1409						
Otros:						
Fuente de poder / A de alambre estampa N°: XMT 350 VS /AQP-MAQ -001-002-003						
Gas de protección / respaldo estampa N°: No aplica						
Material base / respaldo estampa N°: No aplica						
Especificación: ASTM A 36		Espesor: 9mm	Soldadura posterior: X			
Grado: -----		Diámetro: -----	soporte:	Posesión: 3G		
Material de aporte		Estampa: -----				
Especificación: SFA 5.20		Diámetro: 1.2mm	F-N°: 6	Progresión	Progresión	
clasificación: E71T-1C			A-N°: 1	↑ X	↓	
4. EVALUADOS: Más detalle hoja adjunta o en la parte posterior						
Ítem	Nombre y Apellidos	DNI	N° Estampa	Inspección visual	Observaciones	
1	Julio Machacca H	41198202	W-JMH	C	Ninguno	
2						
3						
Observaciones		Fisura: FI	Refuerzo excesivo:	Socavación: UC	Escoria: SI	
		Fusión incompleta: IF	Bajo llenado:	Porosidad: PO	Falta de penetración: IP	
Conforme : C (X)		No conforme: NC				
Ensayo de doblado: X		Ensayo UT o RT		N° de informe:		
Nombre del cliente: xxxx			Nombre: xxxx			

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 3.21: Registro de ensayo de dobles guiado

REGISTROS DE ENSAYO DE DOBLES GUIADO (QW-160) ASME IX código de calderas y recipientes a presión QW-301					AQP-F-08 EDICION 01		
N° informe: 15-RC-005							
Cliente: xxxx							
Lugar de prueba: xxxx							
Realizado por: xxxx							
Fecha de ensayo: 2018/02/02				N° de registros de calificación: 15RC-005			
N° de muestras: 001				DC-cara: 2		DL-lado: *	
				DR-raíz: 2		NB – Nick Break: *	
DIMENSIONES DE LAS PROBETAS					RESULTADOS DE LA PRUEBA		
N°	N° de estampa	Tipo	Ancho	Espesor	Longitud	Resultado	Discontinuidad
1	WJMH	DC	37 mm	9.5 mm	200 mm	C	Ninguno
2	WJMH	DR	37 mm	9.5 mm	200 mm	C	Ninguno
3	----	----	----	----	----	----	----
Medidas en milímetros		*Conforme: C		*No conforme= NC			
<u>OBSERVACIONES:</u>							
Normas Aplicadas en el ensayo: ASME IX -2013							
Especificación del Material base y N° o grupo : ASTM A 36							
Diámetro del Punzón Utilizado: 38mm							
Las muestras ensayadas fueron entregados por: xxxx							
De acuerdo al cliente, estas muestras pertenecen a los ensayos de dobles requeridos para la calificación del procedimiento y/o soldador.							

Fuente: Elaboración propia

3.2.1.6. Validez de la calificación

Tabla N° 3.22: Registró de calificación de soldador (WPQR)

REGISTRO DE CALIFICACIÓN DE DESEMPEÑO DE SOLDADOR (WPQR) ASME IX, QW-301		Hoja 1																																																																																																									
<p>Nombre de la compañía: xxxx Dirección de la compañía: Av. Las américas 100 Registro de Calificación de Desempeño de Soldador No: 15-RC-MM-034 Fecha de ensayo: 02/02/2018 Especificación del Procedimiento de Soldadura WPS No: JYMEXS-001.15 Revisión: 0 Nombre de Soldador: Julio Machacca H Identificación: 41198202 Estampa: W-JMH</p>																																																																																																											
<p>METAL (ES) BASE (QW-403) No P: 1 grupo No: 1 Especificación de material: SA 36 Tipo o grado: n.a. Soldado a No P: 1 grupo No: 1 Especificación de material: SA 36 Tipo o grado: n.a. Espesor mm (in): 9.5 mm Cupón de ensayo (X) Soldadura de producción Tubería () Plancha (X) Espesores calificados de metal (es) Bas Junta de ranura hasta 19 mm</p>																																																																																																											
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Variables de soldadura (QW-350)</th> <th colspan="2">Valores actuales</th> <th colspan="2">Rango calificado</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Plancha o tubería (Diámetro si es tubería mm)</td> <td colspan="2">plancha</td> <td colspan="2">Plancha y Tubería mayor a 610mm</td> </tr> <tr> <td>Respaldo</td> <td colspan="2">Con respaldo</td> <td colspan="2">Con respaldo</td> </tr> <tr> <td>Metales base P-No a P-No</td> <td colspan="2">P No 1 a P No 1</td> <td colspan="2">P-No 1 hasta P—No</td> </tr> <tr> <td></td> <td>1° proceso</td> <td>2° Proceso</td> <td>1° Proceso</td> <td>2° Proceso</td> </tr> <tr> <td>Proceso(s) de soldadura</td> <td colspan="2">FCAW-G</td> <td colspan="2">FCAW-G n.a</td> </tr> <tr> <td>Tipo de Proceso</td> <td>Semiautomático</td> <td>n.a</td> <td>Semiautónomo</td> <td>n.a</td> </tr> <tr> <td>Posición de ensayo</td> <td colspan="4"></td> </tr> <tr> <td>Ranura</td> <td>3G</td> <td>n.a</td> <td>P.V</td> <td>n.a</td> </tr> <tr> <td>Filete</td> <td>n.a</td> <td>n.a</td> <td>P.H.V</td> <td>n.a</td> </tr> <tr> <td>Progresión Vertical</td> <td>Ascendente</td> <td>n.a</td> <td>Ascendente</td> <td>n.a</td> </tr> <tr> <td>Especificación de Metal de Aporte (SFA)</td> <td>SFA 520</td> <td>n.a</td> <td></td> <td>n.a</td> </tr> <tr> <td>Clasificación del metal de Aporte</td> <td>E7IT-1C</td> <td>n.a</td> <td></td> <td>n.a</td> </tr> <tr> <td>Metal de aporte F-No</td> <td>F-No 6</td> <td>n.a</td> <td>F-No 6</td> <td>n.a</td> </tr> <tr> <td>Tipo de producto de metal de aporte (GTAW)</td> <td>Alambre tubular</td> <td>n.a</td> <td>Alambre Tubular</td> <td>n.a</td> </tr> <tr> <td>Espesor de metal depositado mm (in)</td> <td>9.5mm</td> <td>n.a</td> <td>Hasta 19mm</td> <td>n.a</td> </tr> <tr> <td>Inserto consumible (GTAW, PAW)</td> <td>n.a</td> <td>n.a</td> <td>n.a</td> <td>n.a</td> </tr> <tr> <td>Modo de Transferencia (GMAW,FCAW)</td> <td>Globular</td> <td>n.a</td> <td>Globular</td> <td>n.a</td> </tr> <tr> <td>Tipo de corriente y polaridad GTAW</td> <td>n.a</td> <td>n.a</td> <td>n.a</td> <td>n.a</td> </tr> <tr> <td>Gas inerte de respaldo (GTAW,PAW,GMAW)</td> <td>n.a</td> <td>n.a</td> <td>n.a</td> <td>n.a</td> </tr> <tr> <td>Tipo de gas combustible (OFW)</td> <td>n.a</td> <td>n.a</td> <td>n.a</td> <td>n.a</td> </tr> </tbody> </table>			Variables de soldadura (QW-350)	Valores actuales		Rango calificado		Plancha o tubería (Diámetro si es tubería mm)	plancha		Plancha y Tubería mayor a 610mm		Respaldo	Con respaldo		Con respaldo		Metales base P-No a P-No	P No 1 a P No 1		P-No 1 hasta P—No			1° proceso	2° Proceso	1° Proceso	2° Proceso	Proceso(s) de soldadura	FCAW-G		FCAW-G n.a		Tipo de Proceso	Semiautomático	n.a	Semiautónomo	n.a	Posición de ensayo					Ranura	3G	n.a	P.V	n.a	Filete	n.a	n.a	P.H.V	n.a	Progresión Vertical	Ascendente	n.a	Ascendente	n.a	Especificación de Metal de Aporte (SFA)	SFA 520	n.a		n.a	Clasificación del metal de Aporte	E7IT-1C	n.a		n.a	Metal de aporte F-No	F-No 6	n.a	F-No 6	n.a	Tipo de producto de metal de aporte (GTAW)	Alambre tubular	n.a	Alambre Tubular	n.a	Espesor de metal depositado mm (in)	9.5mm	n.a	Hasta 19mm	n.a	Inserto consumible (GTAW, PAW)	n.a	n.a	n.a	n.a	Modo de Transferencia (GMAW,FCAW)	Globular	n.a	Globular	n.a	Tipo de corriente y polaridad GTAW	n.a	n.a	n.a	n.a	Gas inerte de respaldo (GTAW,PAW,GMAW)	n.a	n.a	n.a	n.a	Tipo de gas combustible (OFW)	n.a	n.a	n.a	n.a
Variables de soldadura (QW-350)	Valores actuales		Rango calificado																																																																																																								
Plancha o tubería (Diámetro si es tubería mm)	plancha		Plancha y Tubería mayor a 610mm																																																																																																								
Respaldo	Con respaldo		Con respaldo																																																																																																								
Metales base P-No a P-No	P No 1 a P No 1		P-No 1 hasta P—No																																																																																																								
	1° proceso	2° Proceso	1° Proceso	2° Proceso																																																																																																							
Proceso(s) de soldadura	FCAW-G		FCAW-G n.a																																																																																																								
Tipo de Proceso	Semiautomático	n.a	Semiautónomo	n.a																																																																																																							
Posición de ensayo																																																																																																											
Ranura	3G	n.a	P.V	n.a																																																																																																							
Filete	n.a	n.a	P.H.V	n.a																																																																																																							
Progresión Vertical	Ascendente	n.a	Ascendente	n.a																																																																																																							
Especificación de Metal de Aporte (SFA)	SFA 520	n.a		n.a																																																																																																							
Clasificación del metal de Aporte	E7IT-1C	n.a		n.a																																																																																																							
Metal de aporte F-No	F-No 6	n.a	F-No 6	n.a																																																																																																							
Tipo de producto de metal de aporte (GTAW)	Alambre tubular	n.a	Alambre Tubular	n.a																																																																																																							
Espesor de metal depositado mm (in)	9.5mm	n.a	Hasta 19mm	n.a																																																																																																							
Inserto consumible (GTAW, PAW)	n.a	n.a	n.a	n.a																																																																																																							
Modo de Transferencia (GMAW,FCAW)	Globular	n.a	Globular	n.a																																																																																																							
Tipo de corriente y polaridad GTAW	n.a	n.a	n.a	n.a																																																																																																							
Gas inerte de respaldo (GTAW,PAW,GMAW)	n.a	n.a	n.a	n.a																																																																																																							
Tipo de gas combustible (OFW)	n.a	n.a	n.a	n.a																																																																																																							
<p>Resultado y tipos de ensayo de doblez guiado (QW-160) Resultado de examinación visual de la soldadura completada (QW-302,4) aceptables criterios dado por el ASME QW-194 Tipo de ensayo de dobles guiado (QW- 160) especímenes de ensayo de dobles trasversal de cara y raíz Resultado de examinación visual de la soldadura completada (QW-302,4) aceptables criterios dado por el ASME QW-194 Tipo de ensayo de dobles guiado (QW- 160) especímenes de ensayo de dobles trasversal de cara y raíz Resultados de examinación volumétrica alternativa (QW-191n.a. RT o UT: n.a. Resultado y comentarios: los ensayos de dobles trasversales de cara y raíz cumplen los requerimientos de QW-163 Ensayos de soldaduras de filete (QW-180): plancha [QW-462.4(b)]; tubería a plancha o tubería a tubería[QW462(c)] Ensayo de fractura (QW-182): n.a. Longitud de Porcentaje de Defecto: N.a. Macro – examinación (QW-184) n.a. Tamaño de Filete MRR n.a. Concavidad/convexidad Resultado y comentario: n.a. Otros ensayos y examinaciones n.a. Película o especímenes evaluados por: Luis Ramos Huacan Compañía: JYMEXS S.A. Ensayos mecánicos conducidos por: Moisés Mamani Q. Ensayo de laboratorio No: 15-RE-MM-19 Soldadura supervisada por: Luis Ramos Huacan</p>																																																																																																											
<p>Nosotros certificamos que los datos en estos registros son correctos y los cupones fueron preparados, soldados y ensayados de acuerdo con los requerimientos de la sección IX del código ASME de calderas y recipientes a presión.</p>																																																																																																											
Ingenieros del Fabricante o Contratista		Autorizado por																																																																																																									
Nombre: xxxx		Nombre: xxxx																																																																																																									
Firma:		Firma :																																																																																																									
Título: Jefe de proyecto		Gerente general: xxxx																																																																																																									
Fecha: 03/02/2018		Fecha: 24/01/2018																																																																																																									

Fuente: Elaboración propia

3.2.1.7. Medios

❖ Características de las maquinas

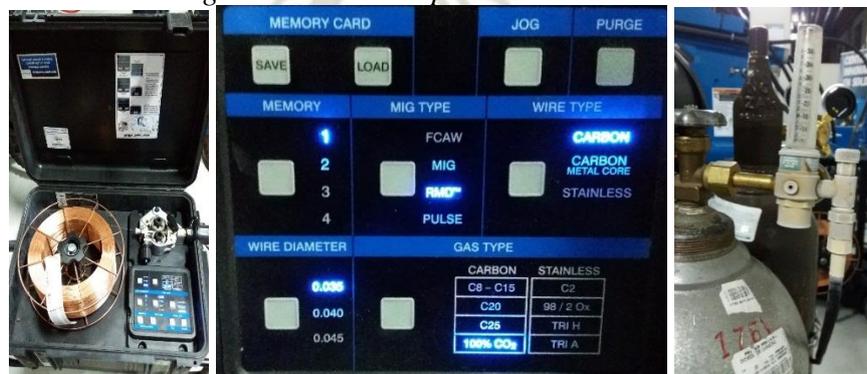
Figura N° 3.1: Características de las maquinas



Rango de voltaje en modo CV	Rango de amperaje en modo CC	Salida nominal	Clase de protección (IP)	Entrada en A con la salida nominal, 50/60 Hz					Máximo voltaje de circuito abierto	Dimensiones	Peso Neto	
				230 V	400 V	460 V	575 V	KVA	KW			
10-38 V	5-425 A	275 A a 21 VDC, ciclo de trabajo 100% 350 A a 34 VDC, ciclo de trabajo 60%	IP23	36,1	20,6	17,8	14,1	14,2	13,6	75 V	Alt: 432 mm (17 in.) An: 318 mm (12,5 in.) Prof: 610 mm (24 in.)	36,3 kg (80 lb.) sin potencia auxiliar 43 kg (94,8 lb.) con potencia auxiliar
Tensión de Entrada	Tipo de Máquina	Factor de Marcha	Diámetros de hilo admitidos		Diámetro máximo de bobina		Velocidad de hilo	Dimensiones	Peso Neto			
OCV 14-48 VDC	CC o CV/ DC	425 A @ 60%	Sólido: 0,6-2,0mm Tubular: 0,8-2,0mm		305mm (20,4 Kg.)		1,3- 19,8 m/ min	Lar: 533mm An: 229mm Alt: 394mm	15,9 Kg.			

Fuente: Miller maquinas

Figura N° 3.2: Máquina de soldar Miller



Fuente: Foto tomada en taller

❖ **Características de los medios auxiliares**

Figura N° 3.3: Moladora Bosh



Fuente: Bosh maquinas

❖ **Estado de conservación y mantenimiento**

Figura N° 3.4: Equipo de soldeo



Fuente: Foto tomada en taller

3.2.1.8. Preparación de la junta

❖ **Control de preparaciones de cordones**

Trazado cuadrado corte por plasma, biselado y rolado para la preparación para las uniones soldadas se realizan básicamente en el taller.

- El cuadrado y biselado puede efectuarse con carrito de corte o con equipos de corte con plasma.
- Rolado es el proceso más delicado e importante del proceso de construcción del tanque.
- En forma opcional una primera capa de pintado de las planchas con zinc epoxi poliuretano con air less.

Figura N° 3.5: Trabajos de cuadrado, biselado y rolado



Fuente: Fotos tomadas en taller de fabricación de tanques

❖ **Limpieza**

- Las juntas deben estar libre de óxidos, humedad, grasa, aceite, etc.
- Se usará cepillo de acero circular y manual.

❖ **Características del punteado, sujeción, alineación y separación entre bordes**

➤ **Fondo del tanque**

- Nivelado de la superficie de la base del tanque.
- Preparación de los bordes las cuales pueden ser en ranura o en V.
- Montaje y distribución de planchas se hará del centro hacia afuera.
- La abertura de la raíz no deberá ser menor que 6mm.
- La soldadura a tope se deberá ser hecho por soldadura a punto con una platina de respaldo.
- Se usará un metal especial para mantener la abertura de la raíz.

Figura N° 3.6: Proceso de soldadura de la base del tanque



Fuente: Fotografía tomada en campo

➤ **Casco del tanque**

- Colocación, nivelado y plomeado de rodajes sobre las planchas del fondo.
- Se instalará las planchas una a una haciéndolas recorrer sobre los rodajes y a su vez sujetadas y apuntalar provisionalmente todas las planchas hasta formar el primer anillo.
- Se sujetará con platinas soldadas a las planchas unas contra otras u octavos provisionalmente.
- Verificar la verticalidad y redondez se aplicará la soldadura correspondiente al WPS aprobado.
- Montaje de los anillos donde el primer anillo será el de la parte superior donde descansa el techo del tanque.
- Terminada el primer anillo y el techo se procederá a colocar las gatas electromecánicas en el interior de la circunferencia del tanque con el fin de elevar el anillo completo en conjunto con la estructura del techo, elevándola así sincronizada mente hasta llegar a la altura desea del segundo anillo y así sucesivamente todos los anillos deseados.

Figura N° 3.7: Gateo de los anillos del tanque



Fuente: Foto tomada en campo de trabajo

➤ **Techo del tanque**

- Se realiza el trazo y el armado de la estructura interna del techo el cual deberá ser elevada conjuntamente con el primer anillo previamente unida por soldadura.
- Las planchas del casco pueden ser alineadas mediante sujetadores metálicos fijados a las planchas del fondo.

Figura N° 3.8: Estructura de soporte del techo



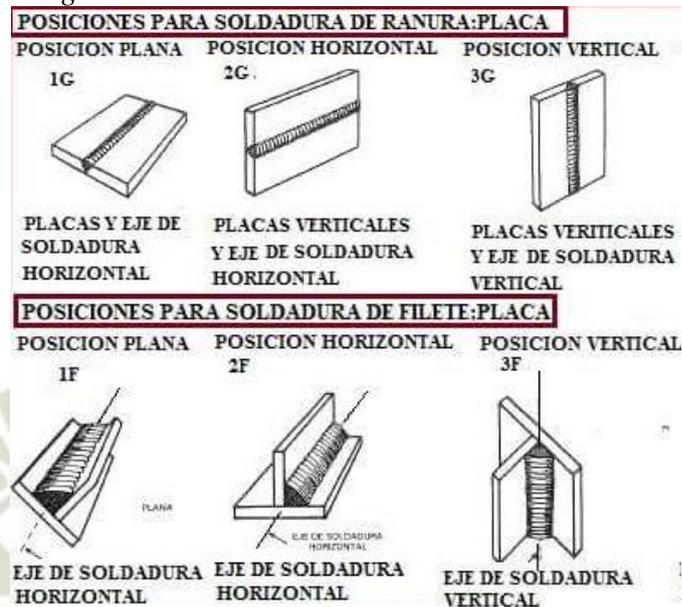
Fuente: Foto tomada en campo de trabajo

➤ **Pre-deformaciones**

- Deformaciones de la plancha rolada, al momento de izar o trasladarlo.
- La plancha rolada se inspecciona parada para realizar un correcto montaje en el anillo, evitando así las deformaciones en el anillo.
- Puede presentarse por mala operación del esmeril de mano.
- Deformaciones por efectos de excesivo precalentamiento de la pieza a soldar.
- Desviaciones locales de acuerdo API 650 - 7.5.4 en las uniones soldadas verticales no deberán exceder 13mm, y esta será determinada con una regla de barrido horizontal a lo largo de 900mm el barrido se hará al radio nominal del tanque.
- Desviaciones locales de acuerdo API 650-7.5.4 en las uniones soldadas horizontales no excederá 13mm el cerrado en las uniones horizontales.

3.2.1.9. Posición de soldadura.

Figura N° 3.9: Posesión de soldadura



Fuente: <https://guiametalurgica.wordpress.com/2013/05/30/soldadura/>

3.2.2. Durante la soldadura

3.2.2.1. Pre calentamiento

- Temperatura de pre calentamiento min 20°C para pase de raíz.
- Temperatura entre pases min 20°C – máx. 100°C para evitar la formación de fisuras.
- El área de pre calentamiento será 3 pulg o 8 centímetros a cada lado del cordón.
- El pre calentamiento será lo más uniforme posible.
- Disminuye la velocidad de enfriamiento.
- Evita la formación de fases duras.

$$CE = Cq + Ce$$

$$Cq = \%C + \frac{\%Mn}{6} + \frac{\%Cr + \%Mo + \%V}{5} + \frac{\%Ni + \%Cu}{15}$$

$$Cq = 0.417$$

$$Ce = 0.005 \times e \times Cq$$

$$Ce = 0.019$$

$$CE = 0.436$$

$$Tp = 350\sqrt{(CE - 0.25)}$$

$$Tp = 150.947^{\circ}C$$

Tabla N° 3.23: Temperatura de precalentamiento

Temperatura de precalentamiento recomendado según su CE	
< 0.30	Opcional
0.31 - 0.45	100°C – 200°C
0.45 - 0.60	200°C – 250°C
> 0.60	250°C – 300°C
Acero herramientas, resortes, para composición desconocida.	300°C

Fuente: Estándar API 650 -2013 -12ª Edición

Reducir la tasa de enfriamiento del metal y reducir TTT.

Minimiza el riesgo de formación de estructuras duras y frágiles, especialmente ZAC.

La soldadura se solidifica con menos esfuerzo.

3.2.2.2. Temperatura entre pases

Se debe verificar la temperatura de precalentamiento de la junta para los diferentes pases o cordones de soldadura.

Para la verificación se usará lápices de temperatura o pirómetros.

La temperatura entre pases no será mayor a 100°C para aceros con carbono al 0.25%.

3.2.2.3. Deposición y penetración del cordón de raíz

La deposición del material del material de aporte en la raíz la (1^{ra} pasada) sea uniforme y no presente grietas u otros defectos.

La penetración de soldadura en la raíz no debe ser excesiva ni tampoco debe faltar.

3.2.2.4. Grietas en el cordón de raíz y resanado

- Las fisuras en caliente se desarrollan luego de la solidificación y su propagación es inter granular.
- Las fisuras en frío se desarrollan luego de la solidificación, hasta 78 y 48 horas después de haber realizado el cordón de soldadura en la ZAC, es muy crítico.

3.2.2.5. Limpieza entre cordones

- Las escamas y escoria deben ser removidas de cada pase.
- Las agrupaciones de porosidades superficiales, puntos altos e inicio de arco deben ser removidos por amolado antes de ejecutar el siguiente pase.

3.2.2.6. Forma de los cordones

- Alambre tubular auto protegido aplica a toda posesión de soldeo.
- Verificar la uniformidad de los cordones de soldadura.
- Si hubiera defectos en el Cordón, esta debe ser removido y reparado.

3.2.2.7. Características eléctricas

Tabla N° 3.24: Características eléctricas

soldadura pases	Proceso	Filler Metal		Corriente	Amperios (Rango)	Volts	Velocidad de avance (cm/min)
		Clasificación	Diámetro	Tipo and Polaridad			
1 (Root)	FCAW	E71T-1C	1.2 mm	DC EP	154 - 176	21 - 24.6	12 - 14
2-n	FCAW	E71T-1C	1.2mm	DC EP	160 - 200	21 - 24.6	12 - 16

Fuente: Elaboración propia

Stick out mm (15 - 25) FCAW-G Globular Heat input max J/mm 2376

$$H_{\max} = \frac{V \times I}{v}$$

$$H_{\max} = 2376J / mm$$

$$H_{net} = \frac{f \times V \times I}{v}$$

$$H_{net} = 1845 \text{ J / mm}$$

3.2.2.8. Atmosferas protectoras

Gas	Mezcla	flujo (L/min)
CO ₂	100% CO ₂	15-25

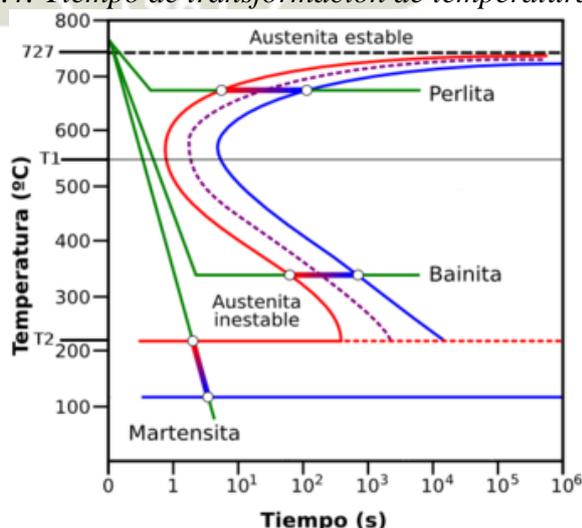
- Para aceros ala carbono de baja aleación.
- CO₂ alta profundidad de penetración.
- Produce transferencia globular.
- No debe usarse con mezclas de gas.

3.2.3. Después de la soldadura

3.2.3.1. Velocidad de enfriamiento

La velocidad de enfriamiento varía con la temperatura ya que este acero está en las proximidades de la nariz perlita del diagrama TTT está temperatura no es crítica, pero es lo suficiente para la mayoría de los aceros.

Diagrama N° 3.4: Tiempo de transformación de temperatura TTT



Fuente: <https://www.datuopinion.com/diagrama-ttt>

Dónde:

Hnet: calor de aporte 1845 j/mm

R: la velocidad de enfriamiento °C /seg

K: conductividad térmica del acero 0.028 J/mm x seg °C

Tc:= 550°C, la temperatura para la mayoría de los aceros, es la temperatura de velocidad de enfriamiento de interés

To= temperatura ambiente 21°C

$\rho.C$ = Calor específico volumétrico del acero $\rho.C = 0.0044$ J/mm³

$$R = 2 \times \pi \times k \times \rho C \left[\frac{t}{H_{net}} \right]^2 (T_c - T_o)^3$$

$$R = 2.88C / seg$$

3.2.3.2. Aspecto exterior

- Verificar el acabado de las juntas con el uso de galga.
- Comprobar la no presencia de defectos en la superficie, así como escorias, salpicaduras.
- Rechazar la soldadura si esta no conforme a las especificaciones.

Figura N° 3.10: Inspección de cordón exterior



Fuente: Consultoria-soldadura.blogspot.com

3.2.3.3. Dimensiones

Las socavaciones no excederán

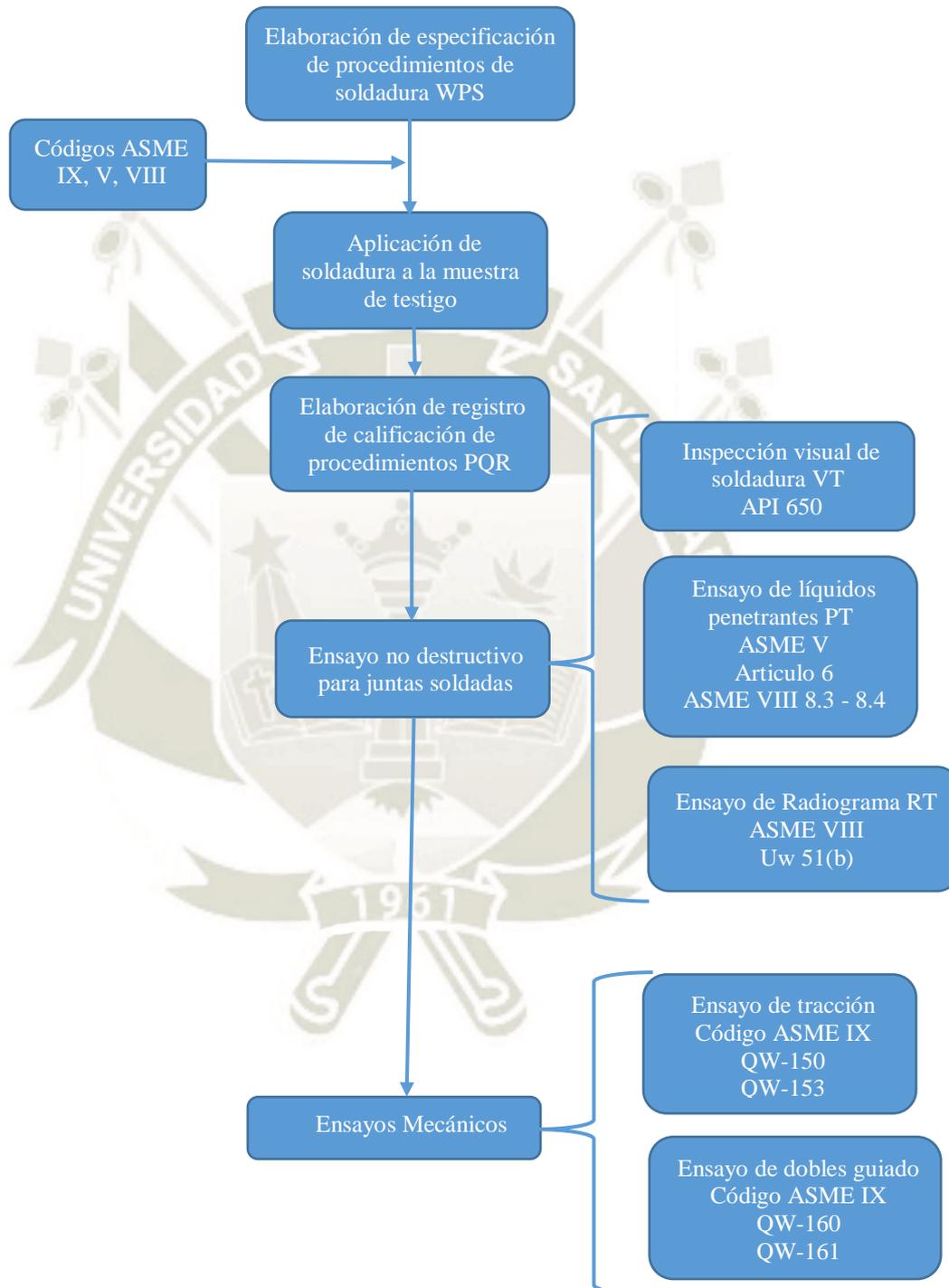
- Las uniones permanentes y socavaciones no excederán 0.4mm (1/64´´)
- Las uniones verticales a tope el máximo descalce aceptable es 0.4mm (1/64´´) de la base del metal.
- Para uniones horizontales a tope, el descalce no excederá 0.8mm (1/32´´) de profundidad aceptable.
- La frecuencia de superficies porosas en la soldadura no excederá uno o más poros en cualquiera de 4 pulg. De longitud, y el diámetro de cada grupo (de uno o más poros) no excederá 2.5mm (3/32pulg).
- Cualquier defecto será retirado por medios mecánicos u otros procesos.

3.2.3.4. Deformaciones

- Se produce como consecuencia de enfriamientos y calentamientos no uniformes.
- El tipo de preparación de la unión influye en la deformación durante la soldadura.

3.2.3.5. Ensayos no destructivos END

Diagrama N° 3.5: Ensayo no destructivo END



Fuente: Elaboración propia

3.2.3.6. Inspección visual

Diagrama N° 3.6: Proceso END



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 3.11: Kit de inspección visual de soldadura



Fuente: <http://www.proconsamexico.com/industria/calibradores-de-soldadura>

Tabla N° 3.25: Método de inspección API 650

MÉTODO DE INSPECCIÓN API 650																		
Método de inspección	Equipo requerido	Permite detectar	Ventajas	Limitaciones														
Visual	<ul style="list-style-type: none"> Lupa Calibrador, galgas 	<ul style="list-style-type: none"> Defectos Superficiales, grietas, poros, inclusiones de escoria. Cordones mal formados, desalineamiento, falta o exceso de aporte. 	<ul style="list-style-type: none"> Bajo costo Puede utilizarse en procesos. Da indicación acerca de procedimientos incorrectos. 	<ul style="list-style-type: none"> Solo para defectos superficiales. No deja testimonio permanente 														
CRITERIO DE ACEPTACIÓN DE INSPECCIÓN VISUAL API 650																		
Fisuras sección 8.5.1 (a)		No aceptable de ningún tipo																
Socavaciones sección 8.5.1 (b)		<ul style="list-style-type: none"> Uniones a tope horizontal $\leq 1/32$ (0.8mm) Uniones a tope vertical $\leq 1/64$ (0.4mm) Entradas hombre conexiones $\leq 1/64$ (0.4mm) 																
Porosidad superficial Sección 8.5.1 (c)		<p>La frecuencia de poros no debe de exceder de una agrupación (uno o más poros) en cuatro pulgada, de longitud y el diámetro de cada agrupación no debe exceder $3/32''$ (2.38mm)</p> <p>Los refuerzos no deben exceder por cada lado de la plancha los siguientes criterios.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Espesor de la placa mm (pulg)</th> <th colspan="2">Grosor máximo de refuerzo mm (pulg)</th> </tr> <tr> <th>Junta vertical</th> <th>Junta horizontal</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>≤ 13 ($1/2''$)</td> <td>2.5 ($3/32$)</td> <td>3 ($1/8$)</td> </tr> <tr> <td>>13 ($1/2''$) a 25 (1)</td> <td>3 ($1/8$)</td> <td>5 ($3/16$)</td> </tr> <tr> <td>>25 (1")</td> <td>5 ($3/16$)</td> <td>6 ($1/4$)</td> </tr> </tbody> </table>			Espesor de la placa mm (pulg)	Grosor máximo de refuerzo mm (pulg)		Junta vertical	Junta horizontal	≤ 13 ($1/2''$)	2.5 ($3/32$)	3 ($1/8$)	>13 ($1/2''$) a 25 (1)	3 ($1/8$)	5 ($3/16$)	>25 (1")	5 ($3/16$)	6 ($1/4$)
Espesor de la placa mm (pulg)	Grosor máximo de refuerzo mm (pulg)																	
	Junta vertical	Junta horizontal																
≤ 13 ($1/2''$)	2.5 ($3/32$)	3 ($1/8$)																
>13 ($1/2''$) a 25 (1)	3 ($1/8$)	5 ($3/16$)																
>25 (1")	5 ($3/16$)	6 ($1/4$)																
Desalineamiento (high low) sección 7.2.3.1 sección 7.2.3.2		<p>En uniones verticales: Para $T > 5/8''$ (16mm) no mayor $10\%T$ o $1/8''$ (3mm) cual sea mayor. Para $T \leq 5/8''$ (16mm) no debe exceder $1/16''$ (1.5mm)</p> <p>En uniones horizontales $T_s < 5/16''$ (8mm) no exceder $1/16$ (1.5mm) $T_s \geq 5/16''$ (8mm) no mayor $20\% T_s$ o $1/8''$ (3mm)</p>																

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 3.26: Registro de inspección visual de soldadura

REGISTRO DE INSPECCIÓN VISUAL DE SOLDADURA			QC-JYM-01		
PROYECTO:	Sistema de almacenamiento de agua industrial	O.T. O.S	50		
OBRA:	Tanque de almacenamiento de agua industrial TK-01	Presupuesto:	-		
CLIENTE:	JYMEXS SAC	Realizado por:	BLMC		
REGISTRO N°:	FECHA DE INSPECCIÓN: Indicada				
CÓDIGO/ NORMA: API 650	EDICIÓN: 2013				
INSPECCIONES: Juntas horizontales de la base					
JUNTA	CÓDIGO	FECHA	OBSERVACIONES	ACCIONES	RESULTADOS
JH-01	JCA47	26-01-2018	-	-	Ok
JH-02	JCA47	26-01-2018	-	-	Ok
JH-03	JCA47	26-01-2018	-	-	Ok
JH-04	JCA47	26-01-2018	-	-	Ok
OBSERVACIONES: -					
INSPECCIONES: Juntas transversales de la base					
JT-01	JCA47	26-01-2018	-	-	Ok
JT-02	JCA47	26-01-2018	-	-	Ok
JT-03	JCA47	26-01-2018	-	-	Ok
JT-04	JCA47	26-01-2018	Porosidad	Repetir	Ok
JT-05	JCA47	26-01-2018	-	-	Ok
OBSERVACIONES:					
INSPECCIONES: Juntas horizontales del techo					
JH-01	JCH01	05-02-2018	-	-	Ok
JH-02	JCH02	05-02-2018	-	-	Ok
JH-03	JCH03	05-02-2018	-	-	Ok
JH-04	JCH04	05-02-2018	Porosidad	Repetir	Ok
OBSERVACIONES: Porosidad, reparación el mismo día de la inspección					
INSPECCIONES: Juntas transversales del techo					
JT-01	JCH01	05-02-2018	-	-	Ok
JT-02	JCH02	05-02-2018	-	-	Ok
JT-03	JCH03	05-02-2018	Porosidad	Repetir	Ok
JT-04	JCH04	05-02-2018	-	-	Ok
JT-05	JCH05	05-02-2018	-	-	Ok
OBSERVACIONES: Porosidad, reparación el mismo día de la inspección					
APROBACIÓN:					
Inspección QC		Jefe del proyecto		Supervisión del cliente	
Nombre: Ing. Sheleste G Tejada M		Nombre: Saúl Medina C		Nombre: Benjamín Leonel M C	
Firma:		Firma:		Firma:	

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 3.27: Registro de inspección visual de soldadura

		REGISTRO DE INSPECCIÓN VISUAL DE SOLDADURA			QC-JYM-01
PROYECTO:	Sistema de almacenamiento de agua industrial	O.T.	O.S	50	
OBRA:	Tanque de almacenamiento de agua industrial TK-01	Presupuesto:	-		
CLIENTE:	JYMEXS SAC	Realizado por:	BLMC		
REGISTRO N°:	FECHA DE INSPECCIÓN: Indicada				
CÓDIGO/ NORMA: API 650	EDICIÓN: 2013				
INSPECCIONES: Juntas verticales del casco anillo 1					
JUNTA	CÓDIGO	FECHA	OBSERVACIONES	ACCIONES	RESULTADOS
J-A1V1	BLMC	30-01-2018	-	-	Ok
J-A1V2	BLMC	30-01-2018	-	-	Ok
J-A1V3	BLMC	30-01-2018	Sobremonta	Repetir	Ok
J-A1V4	BLMC	30-01-2018	-	-	Ok
OBSERVACIONES: Se corrige el defecto, exceso de refuerzo de soldadura en la junta soldada					
INSPECCIONES: Juntas verticales del casco anillo 2					
J-A2V1	BLMC	30-01-2018	-	-	Ok
J-A2V2	BLMC	30-01-2018	-	-	Ok
J-A2V3	BLMC	30-01-2018	-Socavaciones	corregido	Ok
J-A2V4	BLMC	30-01-2018	-	-	Ok
OBSERVACIONES: se realiza la reparación de la discontinuidad de la junta soldada.					
INSPECCIONES: Juntas verticales del casco anillo 3					
J-A3V1	BLMC	03-02-2018	-	-	Ok
J-A3V2	BLMC	03-02-2018	-	-	Ok
J-A3V3	BLMC	03-02-2018	-	-	Ok
J-A3V4	BLMC	03-02-2018	Desalineamiento	corregir	Ok
OBSERVACIONES: Se realiza la reparación del Desalineamiento de la junta soldada.					
INSPECCIONES: Juntas verticales del casco anillo 4					
J-A4V1	BLMC	04-02-2018	-	-	Ok
J-A4V2	BLMC	04-02-2018	Desalineamiento	Corregir	Ok
J-A4V3	BLMC	04-02-2018	-	-	Ok
J-A4V4	BLMC	04-02-2018	-	-	Ok
OBSERVACIONES: Se realiza la reparación del defecto de la junta soldada.					
INSPECCIONES: Juntas verticales del casco anillo 5					
J-A5V1	BLMC	28-02-2018	-	-	Ok
J-A5V2	BLMC	28-02-2018	Sobremonta	corregir	Ok
J-A5V3	BLMC	28-02-2018	-	-	Ok
J-A5V4	BLMC	28-02-2018	-	-	Ok
OBSERVACIONES: Se realiza la reparación de la sobremonta de la junta soldada.					
APROBACIÓN:					
Inspección QC		Jefe del proyecto		Supervisión del cliente	
Nombre: xxxx		Nombre: xxxx		Nombre: xxxx	
Firma:		Firma:		Firma:	

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 3.28: Registro de inspección visual de soldadura

REGISTRO DE INSPECCIÓN VISUAL DE SOLDADURA			QC-JYM-01		
PROYECTO:	Sistema de almacenamiento de agua industrial	O.T. O.S	50		
OBRA:	Tanque de almacenamiento de agua industrial TK-01	Presupuesto:	-		
CLIENTE:	xxxx	Realizado por:	BLMC		
REGISTRO N°:	FECHA DE INSPECCIÓN: Indicada				
CÓDIGO/ NORMA: API 650	EDICIÓN: 2013				
INSPECCIONES: Juntas horizontales de la base del casco anillo 1					
JUNTA	CÓDIGO	FECHA	OBSERVACIONES	ACCIONES	RESULTADOS
J-A1H1	BLMC	31-01-2018	-	-	Ok
J-A1H2	BLMC	31-01-2018	-	-	Ok
J-A1H3	BLMC	31-01-2018	-	-	Ok
J-A1H4	BLMC	31-01-2018	-	-	Ok
OBSERVACIONES: -					
INSPECCIONES: Juntas verticales del casco anillo 2					
J-A2H1	BLMC	05-02-2018	-	-	Ok
J-A2H2	BLMC	05-02-2018	-	-	Ok
J-A2H3	BLMC	05-02-2018	-	-	Ok
J-A2H4	BLMC	05-02-2018	-	-	Ok
OBSERVACIONES: -					
INSPECCIONES: Juntas verticales del casco anillo 3					
J-A3H1	BLMC	23-02-2018	-	-	Ok
J-A3H2	BLMC	23-02-2018	-	-	Ok
J-A3H3	BLMC	23-02-2018	-	-	Ok
J-A3H4	BLMC	23-02-2018	-	-	Ok
OBSERVACIONES: -					
INSPECCIONES: Juntas verticales del casco anillo 4					
J-A4H1	BLMC	27-02-2018	-	-	Ok
J-A4H2	BLMC	27-02-2018	-	-	Ok
J-A4H3	BLMC	27-02-2018	-	-	Ok
J-A4H4	BLMC	27-02-2018	-	-	Ok
OBSERVACIONES: -					
INSPECCIONES: Juntas verticales del casco anillo 5 y 6.					
J-A5 (6)H1	BLMC	29-02-2018	-	-	Ok
J-A5(6)H2	BLMC	29-02-2018	-	-	Ok
J-A5(6)H3	BLMC	29-02-2018	-	-	Ok
J-A5(6)H4	BLMC	29-02-2018	-	-	Ok
OBSERVACIONES: -					
APROBACIÓN:					
Inspección QC		Jefe del proyecto		Supervisión del cliente	
Nombre: Ing. xxxx		Nombre: xxxx		Nombre: xxxx	
Firma:		Firma:		Firma:	

Fuente: Elaboración propia

3.2.3.7. Ensayos líquidos penetrantes

Tabla N° 3.29: Inspección con líquidos penetrantes

ENSAYO LÍQUIDOS PENETRANTES END ASME V artículo 6 Criterio de aceptación ASME VIII apéndice 8.3-8.4				
Método de inspección	Equipo requerido	Permite detectar	Ventajas	Limitaciones
Líquidos penetrantes	<ul style="list-style-type: none"> • Limpiador • Penetrante • Revelador • Luz ultravioleta (método fluorescente) 	<ul style="list-style-type: none"> • Grietas superficiales no visibles a simple vista. • Excelente para detectar escapes. 	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicable a todo tipo de materiales. • Fácil de usar • Bajo costo 	<ul style="list-style-type: none"> • Solo detecta defectos superficiales • No efectivo en piezas calientes.

Fuente: Elaboración propia

- El método de examinación estará de acuerdo a ASME V artículo 6.
- El criterio de aceptación será de acuerdo ASME VIII apéndice 8 – 8.3, 8.4
- El tener una visión capaz de leer a una distancia mínima de 300mm o 12pulg.

Tabla N° 3.30: Registro de inspección por tintes penetrantes

REGISTRO DE INSPECCIÓN POR TINTES PENETRANTES			QC-JYM-01			
PROYECTO:	Sistema de almacenamiento de agua industrial	O.T. O.S	50			
OBRA:	Tanque de almacenamiento de agua industrial TK-01	Presupuesto	-			
CLIENTE:	xxxx	Realizado por:	BLMC			
REGISTRO N°:		FECHA DE INSPECCIÓN: 24-01-2018				
TIPO DE MATERIAL/ ESPESOR: Plancha 8mm		PLANO DE REFERENCIA:				
Tipo de líquido penetrante	Tiempo de revelador	Tipo de limpieza	Criterio de aceptación			
CANTESCO P101S-A-spray	Acuoso/ spray	Acuoso/spray	ASME V, artículo 6 ASME VIII			
Intervalo de tiempo	Tiempo de revelado	Tiempo de secado	Post limpiado			
10-15 minutos	1 – 5 minutos	1.3 minutos	inmediato			
INSPECCIONES: Juntas transversales y longitudinales del fondo del tanque						
Ítem	Identificación localización	Aceptar	Rechazar	Reparación		Comentarios
				Aceptar	Rechazar	
1	JT-01	-	Ok	Ok	Ok	Ok
2	JT-02	Ok	-	-	-	Ok
3	JT-03	Ok	-	-	-	Ok
4	JT-04	Ok	-	-	-	Ok
5	JT-05	Ok	-	-	-	Ok
6	JL-01	Ok	-	-	-	Ok
7	JL-02	Ok	-	-	-	Ok
8	JL-03	Ok	-	-	-	Ok
9	JL-04	Ok	-	-	-	Ok
OBSERVACIONES: Reparaciones por porosidad en el ítem 1, reparados el mismo día.						
INSPECCIONES: Junta del anillo 1 con la base del tanque.						
1	J01	Ok	-	-	-	OK
OBSERVACIONES: Se realiza tintes penetrantes al perímetro de la base del tanque con el primer anillo del tanque.						
APROBACIÓN:						
Inspección QC		Jefe del proyecto		Supervisión del cliente		
Nombre: Ing. xxxx		Nombre: xxxx		Nombre: xxxx		
Firma:		Firma:		Firma:		

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 3.31: Registro de inspección por tintes penetrantes

REGISTRO DE INSPECCIÓN POR TINTES PENETRANTES			QC-JYM-01			
PROYECTO:	Sistema de almacenamiento de agua industrial	O.T. O.S	50			
OBRA:	Tanque de almacenamiento de agua industrial TK-01	Presupuesto	-			
CLIENTE:	xxxx	Realizado por:	BLMC			
REGISTRO N°:		FECHA DE INSPECCIÓN: 25 a 27-01-2018				
TIPO DE MATERIAL/ ESPESOR: Plancha 8mm		PLANO DE REFERENCIA:				
Tipo de líquido penetrante	Tiempo de revelador	Tipo de limpieza	Criterio de aceptación			
CANTESCO P101S-A-spray	Acuoso/ spray	Acuoso/spray	ASME V, artículo 6 ASME VIII			
Intervalo de tiempo	Tiempo de revelado	Tiempo de secado	Post limpiado			
10-15 minutos	1 – 5 minutos	1.3 minutos	inmediato			
INSPECCIONES: Juntas verticales de los anillos del tanque 1						
Ítem	Identificación localización	Aceptar	Rechazar	Reparación		Comentarios
				Aceptar	Rechazar	
1	J-A1V1	OK	-	-	-	OK
3	J-A1V2	OK	-	-	-	OK
4	J-A1V3	OK	-	-	-	OK
5	J-A1V4	OK	-	-	-	OK
OBSERVACIONES: Inspección por líquidos penetrantes observados por supervisor del cliente.						
INSPECCIONES: Juntas verticales de los anillos del tanque 2						
1	J-A2V1	OK	-	-	-	OK
2	J-A2V2	-	OK	OK	-	OK
3	J-A2V3	OK	-	-	-	OK
4	J-A2V4	OK	-	-	-	OK
OBSERVACIONES: Reparaciones por porosidad y escoria en el ítem 2, reparados en el mismo día.						
INSPECCIONES: Juntas verticales de los anillos del tanque 3						
1	J-A3V1	OK	-	-	-	OK
2	J-A3V2	OK	-	-	-	OK
3	J-A3V3	OK	-	-	-	OK
4	J-A3V4	-	OK	OK	-	OK
OBSERVACIONES: Reparaciones por porosidad y escoria en el ítem 4, reparados en el mismo día.						
APROBACIÓN:						
Inspección QC		Jefe del proyecto		Supervisión del cliente		
Nombre: Ing. xxxx		Nombre: xxxx		Nombre: xxxx		
Firma:		Firma:		Firma:		

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 3.32: Registro de inspección por tintes penetrantes

REGISTRO DE INSPECCIÓN POR TINTES PENETRANTES			QC-JYM-01			
PROYECTO:	Sistema de almacenamiento de agua industrial	O.T. O.S	50			
OBRA:	Tanque de almacenamiento de agua industrial TK-01	Presupuesto	-			
CLIENTE:	xxxx	Realizado por:	BLMC			
REGISTRO N°:		FECHA DE INSPECCIÓN: 28 a 30-01-2018				
TIPO DE MATERIAL/ ESPESOR: Plancha 8mm		PLANO DE REFERENCIA:				
Tipo de líquido penetrante	Tiempo de revelador	Tipo de limpieza	Criterio de aceptación			
CANTESCO P101S-A -spray	Acuoso/ spray	Acuoso/spray	ASME V, artículo 6 ASME VIII			
Intervalo de tiempo	Tiempo de revelado	Tiempo de secado	Post limpiado			
10-15 minutos	1 – 5 minutos	1.3 minutos	inmediato			
INSPECCIONES: Juntas verticales de los anillos del tanque 4						
Ítem	Identificación localización	Aceptar	Rechazar	Reparación		Comentarios
				Aceptar	Rechazar	
1	J-A4V1	OK	-	-	-	OK
2	J-A4V2	OK	-	-	-	OK
3	J-A4V3	-	OK	-	-	OK
4	J-A4V4	-	OK	-	-	OK
OBSERVACIONES: Reparaciones por porosidad y escoria en el ítem 3 y 4, reparados en el mismo día.						
INSPECCIONES: Juntas verticales de los anillos del tanque 5						
1	J-A5V1	OK	-	-	-	OK
2	J-A5V2	OK	-	-	-	OK
3	J-A5V3	OK	-	-	-	OK
4	J-A5V4	OK	-	-	-	OK
OBSERVACIONES:						
INSPECCIONES: Juntas verticales de los anillos del tanque 6						
1	J-A6V1	OK	-	-	-	OK
2	J-A6V2	-	OK	OK	-	OK
3	J-A6V3	OK	-	-	-	OK
4	J-A6V4	-	OK	OK	-	OK
OBSERVACIONES: Reparaciones por porosidad en el ítem 2 y 4, reparados en el mismo día.						
APROBACIÓN:						
Inspección QC		Jefe del proyecto		Supervisión del cliente		
Nombre: xxxx		Nombre: xxxx		Nombre: xxxx		
Firma:		Firma:		Firma:		

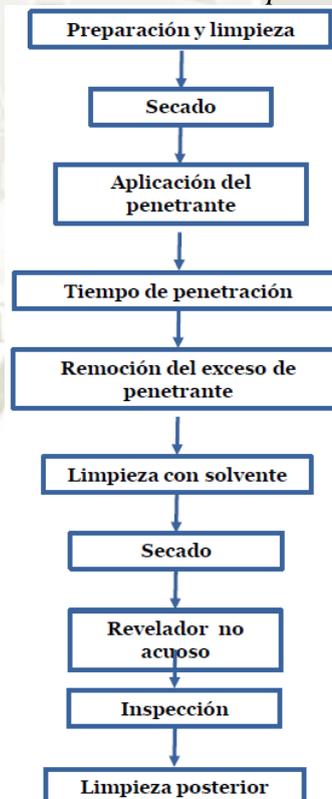
Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 3.33: Criterio de aceptación por tintes penetrantes

MÉTODO DE INSPECCIÓN LIQUIDOS PENETRANTES ASME V artículo 6 (criterio de aceptación ASME VIII apéndice 8.3-8.4)				
ASME V artículo 6	Inspección con penetrante fluorescente Lavable con agua Post-emulsificante Removible con solvente			
	inspección con penetrante visible Lavable con agua Post-emulsificante Removible con solvente			
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Indicaciones superiores a 1/16" o 1.5mm. ➤ Indicación lineal pertinente, (su longitud es mayor 3 veces que su ancho). ➤ Indicaciones redondeadas pertinentes superiores a 3/16" (5mm), (forma circular o elíptica con una longitud igual o menor a 3 veces el ancho). ➤ 4 o más indicaciones redondeadas relevantes en línea separada 1/16" (1.5mm) o menos (de borde a borde). 				
Material	Forma	Tipo de discontinuidad	Tiempo de penetración minutos	
			Penetrante minutos	Revelador minutos
Acero	Soldadura	Tipo de discontinuidad	10 a 15	1 a 7

Fuente: Elaboración propia

Diagrama N° 3.7: Proceso de tintes penetrantes



Fuente: Elaboración propia

3.2.3.8. Ensayo de radiografía

Evaluación de radiográfica (gammagrafia) en las uniones soldadas del tanque de almacenamiento.

- Documentos de aplicación ASME V, ASME VIII-UW-51(b), API 650 y ASNT.
- El personal deberá ser acreditado, capacitado, calificado y certificado con nivel 1 o 2 de acuerdo a ASNT (American Society For Non destructive Testing).
- Films radiográficos se encuentra dentro de lo establecido por ASTM E94, y será de grano fino tipo I6II empleando un film por cassette. Con pantallas de plomo de 0.005” para anterior y 0.010” parte posterior.
- Fuente de radiación se emplea radiación Gamma (Ir 192) la técnica radiográfica será demostrada por la sensibilidad radiográfica.
- Penetrametros (indicadores de calidad de imagen) son del mismo material a inspeccionar y serán del tipo alambre.
- Los penetrametros son colocados del alado de la fuente en la sección del cordón donde se va a realizar la inspección, de tal forma que el penetrametro sea normal al haz de radiación y colocado en forma perpendicular al cordón de soldadura.
- Técnicas radiográficas será de simple pared / simple imagen, para controlar la retro dispersión durante cada exposición y se anexará una letra B de plomo por la parte posterior del cassette con dimensiones 6mm de altura y 1.5mm de espesor. Si la letra B aparece en la imagen significa que la protección contra el retro dispersión es insuficiente por lo tanto la radiografía es inaceptable. Penumbra geométrica (Ug) no podrá superar: Para planchas de acero menor a 2” se usará Ug máximo 0.020”

$$Ug = \frac{F \times D}{d}$$

Donde:

Ug=Penumbra geométrica

F=Tamaño de la fuente

D=Distancia fuente- objeto a radiografías.

d= Distancia lado del objeto a radiografías de la fuente.

- La densidad del film tiene un rango de 2 a 4.
- La ubicación y números de films y cantidad será acuerdo a API 650 sección 6.1.2.
- Identificación de los films deberá estar identificada en forma clara, como código de elemento a inspeccionar, código del film, fecha de inspección e indicador de calidad.
- Cálculo de tiempo de exposición se emplea una regla de cálculo de lo contrario una gráfica de tiempo de exposición.
- Almacenamiento de las películas radiográficas, están protegidas de la luz, presión o calor excesivos, humedad, vapores y radiaciones ionizantes que puedan dañar.
- La interpretación de las radiografías son examinadas con luz de intensidad variable, los densitómetros serán calibrados por lo menos cada 90 días cuando están en uso, con cinco escalones con densidad de 1 a 4.
- Aceptación de la radiografía.

Tabla N° 3.34: Registro de Gammagrafia de soldadura

NDT WELDING SAC		INFORME DE INSPECCIÓN POR GAMMAGRAFÍA INDUSTRIAL				JYMEXS.SAC				
Cliente: xxxx						Informe: 01-JYM-TK-01				
Proyecto: Tanque de almacenamiento de agua industrial						Fecha: 25-02-2018				
Lugar: AQP						Hora: 14:00				
Estructura:TK-01						OT:				
DATOS DE COMPONENTES INSPECCIONADOS										
Código: ---	Diámetro exterior: ---	Proceso de soldadura: FCAW		Tipo de junta: tope						
Elemento: ---	Distancia máxima objeto- film: 38mm	Espesor de sobremonta: 1.5mm		Estado superficial: ok						
Espeor: 9mm	Material base: ASTM A-36	Estado superficial: Aceptable		Tratamiento térmico: No						
DATOS DEL ENSAYO										
Fuente: IR-192	Tipo de película:05-(T200)	Pantallas: Frontal posterior		Técnica de ensayo						
Dimensión local: 4.07mm	Fabricante película: Kodak	Posesión de la fuente: Interior								
Actividad: 11.3 Ci	Pantallas: 0.005"-0.010"	Técnica: Pared simple/simple imagen								
Intensidad: Ma	Penetrametro: ASTM-1B	Tiempo de exposición: 8'.36"								
Tensión: Kv	Lado colocación: Lado fuente	Revelado: Manual								
Distancia foco alado del objeto:400mm		Rango de densidad:2-4HD								
Código de procedimiento WS-NDT-001				Código de calificación: API 650						
IDENTIFICACIÓN DE PLACAS RADIOGRAFICAS										
Zona	Código	Junta	Placa	Estampa	Espeor (mm)	Hilo especial IQI	Rango de densidad (HD)	Discontinuidad ubicación (mm)	Fecha	Resultado
TK-01	JA1V2	-	-	JMH	9	7	2.60-2.78	-	20/10/2018	OK
TK-01	JA1V4	-	-	ACR	9	7	2.89-2.96	-	20/10/2018	OK
TK-01	JA2V2	-	-	DJS	9	7	2.61-2.74	RI	20/10/2018	OK
TK-01	JA4V3	-	-	DRH	6	6	2.57-2.74	-	20/10/2018	OK
TK-01	JA3V4	-	-	MEG	6	6	3.04-3.12	-	20/10/2018	OK
TK-01	JA4I16	-	-	MAR	6	6	2.91-3.08	-	20/10/2018	OK
TK-01	JA4I8	-	-	HTSI	6	6	2.95-3.17	-	20/10/2018	OK
TK-01	JA4I1	-	-	JTD	6	6	3.05-3.11	-	20/10/2018	OK
TK-01	JA4H3	-	-	MEA	6	6	2.56-2.71	RI-EI	20/10/2018	OK
TK-01	JA4I4	-	-	MFSÑ	6	6	2.51-2.52	-	20/10/2018	OK
TK-01	JA4I3	-	-	HUDE	6	6	2.35-2.48	-	20/10/2018	OK
ESQUEMA DE INSPECCIÓN										
OBSERVACIONES:										
CÓDIGO DEFECTOLOGIA										
Indicación redondeada: (RI)				Indicaciones agrupadas: (CI)		Aceptada: OK				
Indicación arreglada: (EI)				Fusión incumpla: (IF)		Rechazada: X				
Indicaciones alargadas alineadas: (AEI)				Penetración inadecuada: (IP)		Total placas: 11				
Indicaciones redondeadas alineadas: (ARI)				Fisura: (C)						
INSPECTOR		OPERADOR		CLIENTE		SUPERVISIÓN				

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 3.35: Registro de Gammagrafia de soldadura

NDT WELDING SAC		INFORME DE INSPECCIÓN POR GAMMAGRAFÍA INDUSTRIAL				JYMEXS.SAC				
Cliente: xxxx						Informe: 01-JYM-TK-01				
Proyecto: Tanque de almacenamiento de agua industrial						Fecha: 25-02-2018				
Lugar: AQP						Hora: 14:00				
Estructura:TK-01						OT:				
DATOS DE COMPONENTES INSPECCIONADOS										
Código: ---	Diámetro exterior: ---	Proceso de soldadura: FCAW		Tipo de junta: tope						
Elemento: ---	Distancia máxima objeto- film: 38mm	Espesor de sobremonta: 1.5mm		Estado superficial: ok						
Espesor: 9mm	Material base: ASTM A-36	Estado superficial: Aceptable		Tratamiento térmico: No						
DATOS DEL ENSAYO										
Fuente: IR-192	Tipo de película:05-(T200)	Pantallas: Frontal posterior		Técnica de ensayo						
Dimensión local: 4.07mm	Fabricante película: Kodak	Posesión de la fuente: Interior								
Actividad: 11.3 Ci	Pantallas: 0.005"-0.010"	Técnica: Pared simple/simple imagen								
Intensidad: Ma	Penetrametro: ASTM-1B	Tiempo de exposición: 0'.55"								
Tensión: Kv	Lado colocación: Lado fuente	Revelado: Manual								
Distancia foco alado del objeto:400mm		Rango de densidad:2-4HD								
Código de procedimiento WS-NDT-001				Código de calificación: API 650						
IDENTIFICACIÓN DE PLACAS RADIOGRAFICAS										
Zona	Código	Junta	Placa	Estampa	Espesor (mm)	Hilo especial IQI	Rango de densidad (HD)	Discontinuidad ubicación (mm)	Fecha	Resultado
TK-01	JA115	-	-	JMH	9	6	2.61-2.62	-	20/10/2018	OK
TK-01	JA113	-	-	ACR	9	6	2.74-2.82	-	20/10/2018	OK
TK-01	JA216	-	-	DRH	6	5	2.25-2.32	-	20/10/2018	OK
TK-01	JA214	-	-	MEG	6	5	2.30-2.34	-	20/10/2018	OK
TK-01	JA4315	-	-	MAR	6	5	2.25-2.32	-	20/10/2018	OK
TK-01	JA312	-	-	HTSI	6	5	2.58-2.66	-	20/10/2018	OK
ESQUEMA DE INSPECCIÓN										
<p>Fuente radioactiva</p>										
OBSERVACIONES:										
CÓDIGO DEFECTOLOGIA										
Indicación redondeada: (RI) Indicación arreglada: (EI) Indicaciones alargadas alineadas: (AEI) Indicaciones redondeadas alineadas: (ARI)				Indicaciones agrupadas: (CI) Fusión incumpla: (IF) Penetración inadecuada: (IP) Fisura: (C)		Aceptada: OK Rechazada: X Total placas: 11				
INSPECTOR		OPERADOR		CLIENTE		SUPERVISIÓN				

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 3.36: Registro de Gammagrafía de soldadura

NDT WELDING SAC		INFORME DE INSPECCIÓN POR GAMMAGRAFÍA INDUSTRIAL				JYMEXS.SAC				
Cliente: xxxx				Informe: 01-JYM-TK-01						
Proyecto: Tanque de almacenamiento de agua industrial				Fecha: 24-02-2018						
Lugar: AQP				Hora: 14:00						
Estructura:TK-01				OT:						
DATOS DE COMPONENTES INSPECCIONADOS										
Código: ---	Diámetro exterior: ---	Proceso de soldadura: FCAW		Tipo de junta: tope						
Elemento: ---	Distancia máxima objeto- film: 38mm	Espesor de sobremonta: 1.5mm		Estado superficial: ok						
Espesor: 9mm	Material base: ASTM A-36	Estado superficial: Aceptable		Tratamiento térmico: No						
DATOS DEL ENSAYO										
Fuente: IR-192	Tipo de película:05-(T200)	Pantallas: Frontal posterior		Técnica de ensayo						
Dimensión local: 4.07mm	Fabricante película: Kodak	Posesión de la fuente: Interior								
Actividad: 11.3 Ci	Pantallas: 0.005"-0.010"	Técnica: Pared simple/simple imagen								
Intensidad: Ma	Penetrametro: ASTM-1B	Tiempo de exposición: 4'.57"								
Tensión: Kv	Lado colocación: Lado fuente	Revelado: Manual								
Distancia foco alado del objeto:400mm		Rango de densidad:2-4HD								
Código de procedimiento WS-NDT-001				Código de calificación: API 650						
IDENTIFICACIÓN DE PLACAS RADIOGRAFICAS										
Zona	Código	Junta	Placa	Estampa	Espesor (mm)	Hilo especial IQI	Rango de densidad (HD)	Discontinuidad ubicación (mm)	Fecha	Resultado
TK-01	JA2HI	-	-	JTD	6	5	2.95-3.17	-	20/10/2018	OK
TK-01	JA3H4	-	-	MEA	6	5	2.32-2.34	-	20/10/2018	OK
TK-01	JA3H3	-	-	MFSÑ	6	5	2.38-2.52	-	20/10/2018	OK
TK-01	JA3V4	-	-	HUDE	6	5	2.2.6-2.31	-	20/10/2018	OK
TK-01	JA3H3	-	-	JMH	6	5	2.34-2.37	-	20/10/2018	OK
TK-01	JA4V1	-	-	ACR	6	5	2.25-2.27	-	20/10/2018	OK
TK-01	JA1H3	-	-	MAR	9	6	2.32-2.45	-	20/10/2018	OK
TK-01	JA1H3	-	-	HTSI	9	6	2.49-2.50	-	20/10/2018	OK
ESQUEMA DE INSPECCIÓN										
OBSERVACIONES:										
CÓDIGO DEFECTOLOGIA										
Indicación redondeada: (RI)				Indicaciones agrupadas: (CI)				Aceptada: OK		
Indicación arreglada: (EI)				Fusión incumpla: (IF)				Rechazada: X		
Indicaciones alargadas alineadas: (AEI)				Penetración inadecuada: (IP)				Total placas: 11		
Indicaciones redondeadas alineadas: (ARI)				Fisura: (C)						
INSPECTOR			OPERADOR			CLIENTE			SUPERVISIÓN	

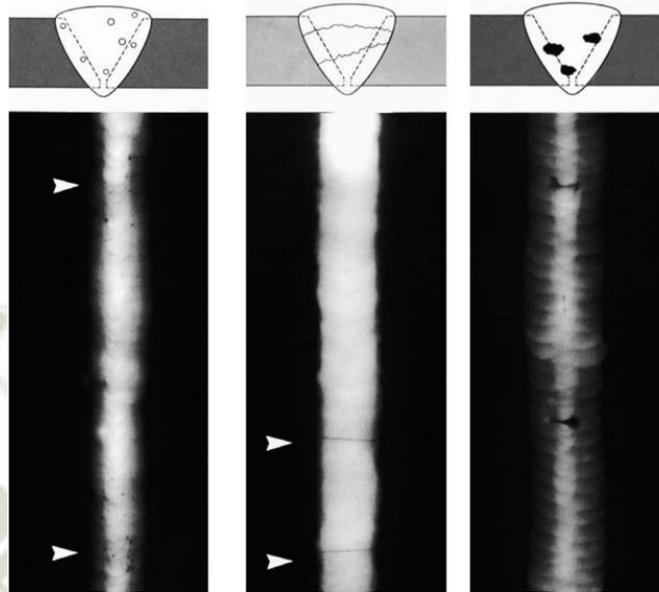
Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 3.37: Inspección radiografía

MÉTODO DE INSPECCIÓN POR RADIOGRAFÍA EN UNIONES SALDADAS												
Método de inspección	Equipo requerido	Permite detectar	Ventajas	Limitaciones								
Radiografía	<ul style="list-style-type: none"> • Unidad de rayos X o rayos Gamma. • Película y equipo de procedimiento 	<ul style="list-style-type: none"> • Defectos macroscópicos interiores: grietas poros, inclusiones no metálicas, penetración incompleta, socavación, falta de fusión. 	<ul style="list-style-type: none"> • Deja testimonio permanente 	<ul style="list-style-type: none"> • Requiere habilidad para escoger ángulos de exposición, equipos e interpretación adecuada. • Requiere estrictas medidas de seguridad. • No apto para filetes. 								
<p>Número y localización de radiografías Excepto cuando sea omitido bajo las prevenciones de A las radiografías serán tomadas tal como se especifica en 8.12 a 8.18 del API 650 -2013</p>												
CRITERIO DE ACEPTACIÓN ASME VIII UW-51(b)												
<p>a) Densidad de la imagen: No es criterio de aceptación o rechazo la variación de densidad dentro de la imagen de la indicación.</p> <p>b) Sólo las indicaciones redondeadas que exceden las siguientes dimensiones son consideradas relevantes.</p> <table style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td style="text-align: center;">$t/10$ para</td> <td style="text-align: center;">$t \leq 1/8"$ (3.2 mm)</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">0.4 mm para</td> <td style="text-align: center;">$1/8"$ (3.2 mm) $< t \leq 1/4"$ (6 mm)</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">0.8 mm para</td> <td style="text-align: center;">$1/4"$ (6 mm) $< t \leq 2"$ (51 mm)</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">1.6 mm para</td> <td style="text-align: center;">$t > 2"$ (51 mm)</td> </tr> </table> <p>c) Tamaño máximo permitido de indicaciones redondeadas: (1/4t, 5/32"(4.0mm)), tomándose el menor valor.</p> <p>Excepciones: Indicaciones aisladas (separadas por lo menos 1" (25mm) de cualquier otra indicación adyacente):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tamaño máximo permitido: mín. (1/3 t, 1/4" (6 mm)), tomando el menor valor si $t \leq 2"$ (51 mm). • Tamaño máximo permitido: 3/8" (10mm) si $t > 2"$ (51 mm). 					$t/10$ para	$t \leq 1/8"$ (3.2 mm)	0.4 mm para	$1/8"$ (3.2 mm) $< t \leq 1/4"$ (6 mm)	0.8 mm para	$1/4"$ (6 mm) $< t \leq 2"$ (51 mm)	1.6 mm para	$t > 2"$ (51 mm)
$t/10$ para	$t \leq 1/8"$ (3.2 mm)											
0.4 mm para	$1/8"$ (3.2 mm) $< t \leq 1/4"$ (6 mm)											
0.8 mm para	$1/4"$ (6 mm) $< t \leq 2"$ (51 mm)											
1.6 mm para	$t > 2"$ (51 mm)											

Fuente: Elaboración propia

Figura N° 3.12: Defectos en uniones soldadas



/Porosidad grietas inclusión de escoria

Fuente: http://www.endicsa.com.ar/site/index.php/servicios/?option=com_content&view=article&id=79

Figura N° 3.13: Toma de radiografía a cordón de soldadura



Fuente: https://es.123rf.com/photo_44373700_la-radiograf%C3%ADa-rayos-x-de-soldadura-zona-de-inspecci%C3%B3n-de-la-asamblea-hoja-de-dep%C3%B3sito.html

3.2.3.9. Prueba hidrostática (estanqueidad)

ASME VIII UG-99B Durante el llenado se debe verificar la estanqueidad del tanque, tanto de las juntas soldadas, como de los elementos y partes que componen el tanque, El tanque se llenará hasta el nivel máximo de diseño del líquido con cisternas de 15m³ de capacidad se tomarán lecturas de hermeticidad:

- Antes de comenzar la prueba.
- Al llegar al nivel de 1/4 de llenado.
- Al llegar a la mitad del nivel de llenado.
- Al llegar al nivel de 3/4 de llenado.
- Al llegar al nivel máximo de llenado.
- A las 24 horas de llenado.
- Después del vaciado de agua de la prueba hidrostática.
- Durante el llenado se verifica fugas de agua (goteos), en las uniones soldadas, así como todas las boquillas que conforman el tanque.
- El tanque lleno debe ser mantenido 24 horas antes de desocuparlo. Durante este tiempo debe ser revisado para verificar su estanqueidad.
- Terminada la inspección se llena el registro de prueba hidrostática.
- El agua es drenada según a las indicaciones den ingeniero de calidad.

Si las medidas de sentamiento fueron especificadas por el comprador, cualquier asentamiento diferencial superior a 13mm por cada 10 metros de circunferencia o un asentamiento uniforme sobre 500mm se notificará al cliente para su evaluación.

Figura N° 3.14: Ensayo de prueba hidrostática



Fuente: Fotografía tomada en campo de trabajo

Tabla N° 3.38: Registro de control hidrostático

JEMEXS.SAC		REGISTRO DE LLENADO DEL TANQUE								
Proyecto: Sistema de almacenamiento de agua industrial Yalsi								O.T: TK-01		
Obra: Tanque de almacenamiento de agua industrial					Presupuesto:					
Cliente: xxxx					Realizado por: xxxx					
Registro: 01					Fecha de inspección: Indicada					
Tipo de tanque: Vertical		Diámetro: 7m		Altura: 8.5m		Capacidad: 310m³				
Elemento: Tanque de agua industrial				Periodo de reporte: 28/02/2018			A:02/03/2018			
Llenado de agua										
N°	Incremento	Tiempo		Altura	Radio	Intervalo de tiempo		Fecha		
1	A 0% de altura	12:00 h a 12:05 h		0.00 m	3.5 m	5 min		28/02/2018		
2	A 25% de altura	17:08 h a 17:30 h		2.13 m	3.5 m	22 min		28/02/2018		
3	A 50% de altura	23:15 h a 23:30 h		3.5 m	3.5m	15 min		28/02/2018		
4	A 75% de altura	9.20 h 0 9:30 h		6.37 m	3.5 m	10 min		01/03/2018		
5	A 100% de altura después de 24 h de llenado.	13:10 h		8.31 m	3.5 m	24 h		01/03/2018		
6	A 0% de altura después de 24 h de llenado.	14:15 h		0.00 m	03.5m	-----		01/03/2018		
Observaciones:										
Se realiza el llenado del tanque con agua industrial el día 28/02/2018 con cisternas de 15m ³ de capacidad.										
Se realiza la verificación de tiempos de llenado de acuerdo a la norma API 650 -2013 capítulo 7.3.6.5										
Registro de inspección del tanque										
N°	Etapa de llenado	Secciones a ser inspeccionadas (grados)								
		0° - 45°	45°-90°	90°-135°	135°-180°	180°-225°	225°-270°	270°-315°	315°-360°	Marcas
1	0%	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	No reg.
2	25%	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	No reg.
3	50%	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	No reg.
4	75%	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	No reg.
5	100%.	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	No reg.
6	vaciado	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	No reg.
Observaciones:										
Aprobación:										
No se observa fugas en las bridas del tanque parte inferior y superior (manhole, nozzles)										
Se inspecciono la soldadura en los cordones del perímetro de casco del tanque de donde no se observa fugas de agua.										
No se observa alteraciones o deformaciones en el perímetro de casco.										
Se inspecciono la soldadura en los cordones del perímetro de fondo del tanque, no se observan fugas de agua.										
Se inspecciono la soldadura en los cordones del perímetro de nozzles del tanque, no se observan fugas de agua.										
Inspección QC				Jefe de proyecto				Supervisión del cliente		
Nombre: xxxx				Nombre: xxxx				Nombre: xxxx		
Firma:				Firma:				Firma:		
Fecha: 03/03/2018				Fecha: 03/03/2018				Fecha: 03/03/2018		

Fuente: Elaboración propia

Figura N° 3.15: Llenado de agua en tanque



Fuente: Fotografía tomada en campo de trabajo

3.2.3.10. Pruebas neumáticas en los refuerzos

Las fugas en hendiduras que se presentan como grietas, fisuras, orificios, etc., de donde se puede escaparse un fluido. La fuga de un fluido puede perjudicar la seguridad o el ejercicio de distintos componentes del tanque reduciendo así la confiabilidad.

La inspección de los cordones de soldadura en las placas de refuerzo, será ejecutada antes del llenado de agua en el tanque, y deberán realizarse ensayos utilizando una presión neumática de 100 KPa o 15 PSI, entre las planchas de refuerzo y casco del tanque realizando así esta prueba en todas las tomas de boquillas existentes por lo general agujero de 6mm o 1/4 de pulgada con un racor para el manómetro.

En paralelo a la prueba se deberá aplicar una solución jabonosa en cada unión de soldadura con un tiempo de 10 minutos, para ver si existe la posible detección de fugas (burbujas). Capítulo II - Punto (2.8.10.3)

Figura N° 3.16: Pruebas de Fuga – Manhole del tanque



Fuente: Fotografía tomada en campo de trabajo

Tabla N° 3.39: Control de registro de pruebas de fugas

JEMEXS.SAC		REGISTRO DE CONTROL DE PRUEBA DE FUGAS DEL TANQUE	
Proyecto: Sistema de almacenamiento de agua industrial Yalsi			O.T: TK-02
Obra: Tanque de almacenamiento de agua industrial		Presupuesto	
Cliente: xxxx		Realizado por: xxxx	
Registro: 01		Fecha de inspección: Indicada	
Inspecciones: Base del tanque			
Tipo de tanque: Vertical		Diámetro: 7m	Altura: 8.5m
Tipo de prueba: P. de vacío: (X)		Prueba de aceite: ()	P. Neumática aire ()
N°	Área de prueba	Fecha de prueba	Resultado
01	N2	23-02-2018	Conforme
02	N3	27-02-2018	Conforme
03	N4	27-02-2018	Conforme
04	N5	20-02-2018	Conforme
05	N8	02-03-2018	Conforme
06	N9	02-03-2018	Conforme
07	N10	02-03-2018	Conforme
08	N11	02-03-2018	Conforme
09	N1	02-03-2018	Conforme
Observaciones:			
Aprobación:			
Inspección QC		Jefe de proyecto	Supervisión del cliente
Nombre: xxxx		Nombre: xxxx	Nombre: xxxx
Firma:		Firma:	Firma:
Fecha: 25/02/2018		Fecha: 25/02/2018	Fecha: 25/02/2018

Fuente: Elaboración propia

3.2.3.11. Prueba de vacío fondo del tanque

La prueba de vacío se realiza mediante una caja de pruebas aproximadamente de 150 mm (6 pulgadas) de ancho por 750 mm (30 pulgadas) de largo con una ventana transparente en la parte superior, que proporciona una visibilidad adecuada para ver el área bajo inspección.

Durante las pruebas, la iluminación deberá ser adecuada para una correcta evaluación e interpretación de la prueba.

El fondo abierto deberá ser sellado contra la superficie del tanque por una junta apropiada.

Las pruebas de vacío se llevarán a cabo conforme a un procedimiento escrito preparado por el fabricante del tanque. Capítulo II - Punto (2.8.10.2)

El procedimiento deberá requerir:

- Realización de un examen visual de la parte inferior y soldaduras antes de realizar la prueba de vacío.
- Verificación de la condición de la caja de vacío y sus sellos de juntas.
- Verificar que no hayan burbujas o fugas grandes.
- La aplicación de la solución deberá ser sobre un área seca, de tal manera que el área sea totalmente mojada y que se produzca una mínima formación de burbujas.
- para el ensayo de la prueba de vacío, se usará una presión entre 8 PSI (16 in Hg) en un lapso de tiempo de 1 minuto por tramo de junta inspeccionada.
- Es inaceptable la presencia de fuga a través del espesor que es indicado por la formación continua o el crecimiento de una burbuja (s) de espuma, producido por el aire que pasa por el espesor.

Tabla N° 3.40: Prueba de fugas de tanque

JYMEXS. SAC		REGISTRO DE CONTROL DE PRUEBAS DE FUGAS DEL TANQUE	
Proyecto: Sistema de almacenamiento de agua industrial Yalsi			O.T: TK-03
Obra: Tanque de almacenamiento de agua industrial		Presupuesto:	
Cliente: xxxx		Realizado por: xxxx	
Registro:01		Fecha de inspección: 23/02/2018	
Inspecciones: Base del tanque			
Tipo de tanque: Vertical	Diámetro: 7m	Altura: 8.5m	Capacidad: 310m³
Tipo de prueba: Presión de vacío: (X)		Prueba de aceite: ()	P. Neumática aire: ()
Área de prueba	Fecha de prueba	Presión de prueba vacío	Resultado
Junta JT-1	26/02/2018	-16 in Hg/1 min	Ok
Junta JT-2	26/02/2018	-16 in Hg/1 min	Ok
Junta JT-3	26/02/2018	-16 in Hg/1 min	Ok
Junta JT-4	26/02/2018	-16 in Hg/1 min	Ok
Junta JT-5	26/02/2018	-16 in Hg/1 min	Ok
Junta JL-1	26/02/2018	-16 in Hg/1 min	Ok
Junta JL-2	26/02/2018	-16 in Hg/1 min	Ok
Junta JL-3	26/02/2018	-16 in Hg/1 min	Ok
Junta JL-4	26/02/2018	-16 in Hg/1 min	Ok
Observaciones: se realiza la prueba de vacío a todos los cordones de fondo del tanque vertical y según lo indicado en la API 650.			
Aprobación			
Inspección QC		Jefe de proyecto	Supervisión del cliente
Nombre: xxxx		Nombre: xxxx	Nombre: xxxx
Firma:		Firma:	Firma:
Fecha: 26/02/2018		Fecha:26/02/2018	Fecha:26/02/2018

Fuente: Elaboración propia

Figura N° 3.17: Ensayo con caja de Vacío en el Fondo del Tanque



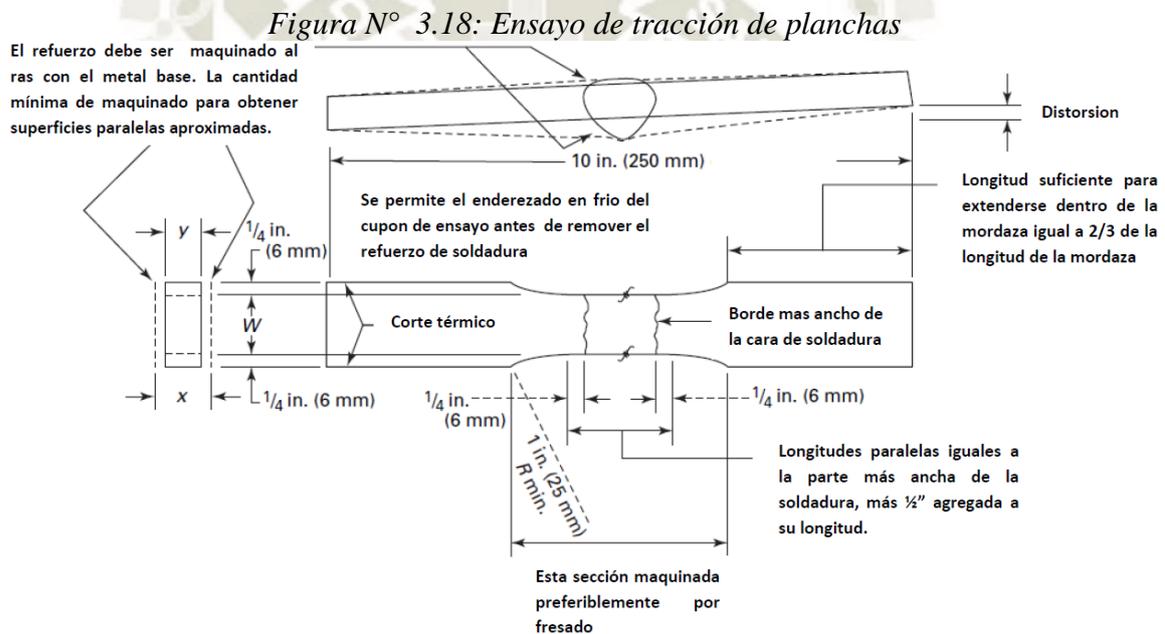
Fuente: Fotografía tomada en campo de trabajo

3.2.4. Ensayos destructivos

3.2.4.1. Ensayo de tracción sección reducida – plancha (QW-150)

Es un ensayo mecánico normalizado que se realiza fundamentalmente para obtener la resistencia mecánica como el alargamiento, hasta el momento en que se rompe.

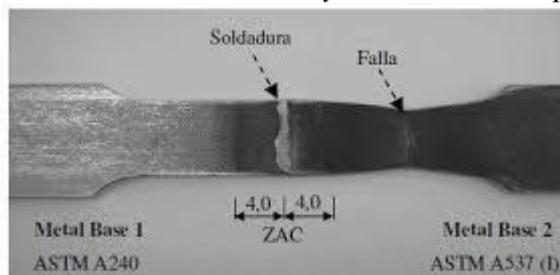
Las muestras de ensayos de tracción conformarán con uno de los tipos ilustrados en QW-462.1 y reunirán los criterios de aceptación de QW-153, del ASME IX. Las cuales se puede usar para pruebas de tracción en todos los espesores de plancha.



$$\sigma_{\max} = \frac{F_{\max}}{A_0}$$

Fuente: ASME IX 2010

Figura N° 3.19: Fractura del ensayo de tracción de planchas



Fuente: ASME IX-2010

Figura N° 3.20: Equipo de ensayo de tracción



Fuente: Fotografía tomada en laboratorio Tecsup

❖ **Criterios de aceptación de pruebas de tracción (QW-153)**

La muestra tendrá una resistencia a la tracción no menor que:

- La mínima resistencia a la tracción especificada del metal base.
- La mínima resistencia de tracción especificada del más débil de los dos, si se usan metales base de resistencias de tracción mínima diferentes.
- La mínima resistencia a la tracción especificada del metal de soldadura cuando la sección aplicable suministre disposiciones para el uso de metal de soldadura que tenga la resistencia a temperatura ambiente inferior a la del metal base.
- Si la muestra se rompe en el metal base fuera de la soldadura o interfase de la soldadura la prueba será aceptada como satisface los requerimientos, siempre y cuando la resistencia no sea más del 5% por debajo de la mínima resistencia a la tracción especificada del metal base.

(ASME IX, 2010, págs. 4,5)

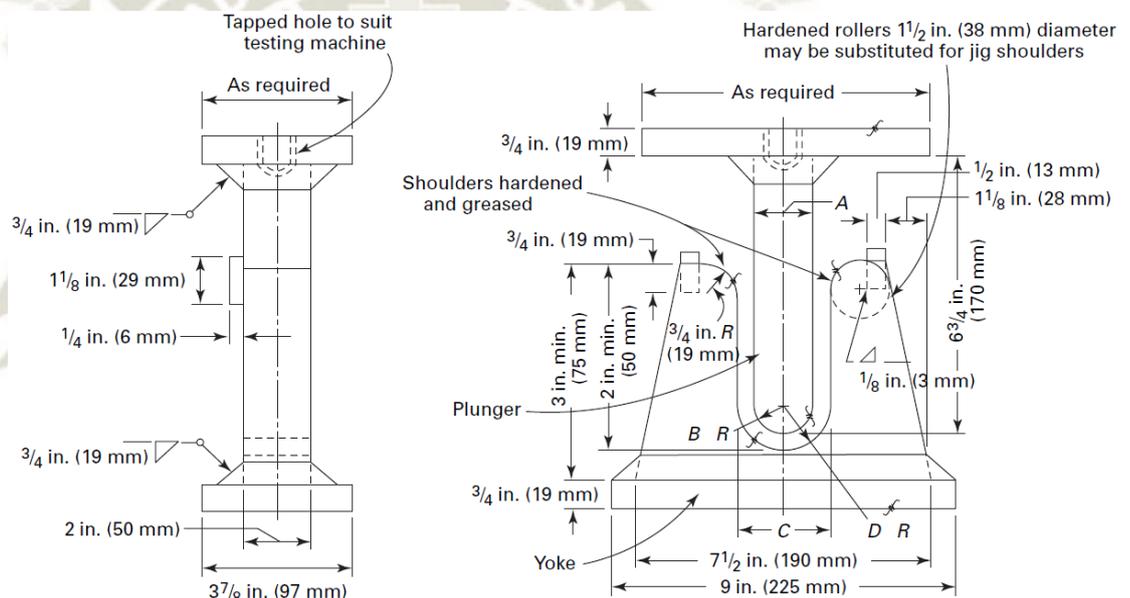
3.2.4.2. Ensayos dobles guiados QW-160

Se prepararán las muestras para el ensayo de doblez guiado mediante el corte de la plancha o tubo de ensayo para formar muestras de sección recta aproximadamente rectangular.

Dos superficies serán llamadas las superficies de cara y de raíz, la superficie de cara teniendo el mayor ancho de soldadura. El espesor de la muestra y el radio de doblez se muestran en QW-466.1, QW-466.2 y QW-466.3.

(ASME IX, 2010, pág. 5)

Figura N° 3.21: Dimensiones de la matriz del ensayo de doblez guiado



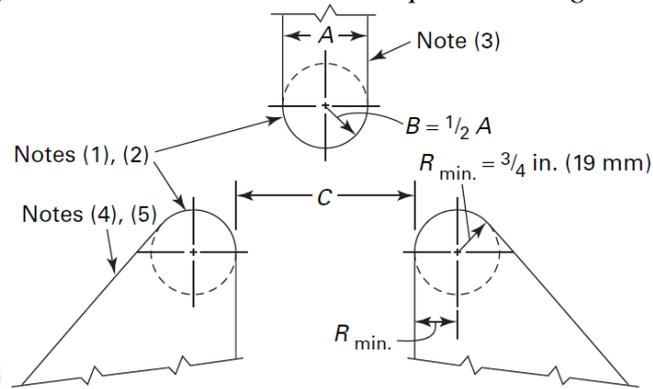
Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 3.41: Espesores de probeta para dobles guiado

Espesor de la probeta	A Pulg (mm)	B Pulg (mm)	C Pulg (mm)	D Pulg (mm)
3/8 (10)	1 1/2 (38)	3/4 (19)	2 3/8 (60)	1 3/16 (30)
t	4t	2t	6t + 3.2	3t + 1.6

Fuente: ASME IX 2010

Figura N° 3.22: Matriz de rodillo para doblado guiado



Fuente: ASME IX 2010

Tabla N° 3.42: Espesor de probeta para ensayo de doblado guiado

Espesor de la probeta	A Pulg (mm)	B Pulg (mm)	C Pulg (mm)
3/8 (10)	1 1/2 (38)	3/4 (19)	2 3/8 (60)
t	4t	2t	6t + 1/8 (3)

Fuente: ASME IX 2010

- ❖ **Doblez transversal de cara (QW-161.2)** La soldadura es transversal al eje longitudinal del espécimen el cual es doblado de modo que la superficie de cara vuelve la superficie convexa de la muestra doblada. Las muestras para el ensayo de doblado transversal de cara serán de acuerdo con dimensiones mostradas en QW-462.3(a). Para dobleces transversales de cara de su tamaño, vea QW-161.4. (ASME IX, 2010, pág. 5)

Figura N° 3.23: Doblez de cara



Fuente: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-11292013000200008

- ❖ **Dobleces transversales de raíz (QW-161.3)** La soldadura es transversal al eje longitudinal del espécimen, el cual es doblado de modo que la superficie de raíz se vuelve la superficie convexa del espécimen doblado. Las muestras para el ensayo de doblado transversal de raíz conformarán con las dimensiones mostradas en QW- 462.3(a). Para dobleces transversales de raíz de sub tamaño, vea QW-161.4. (ASME IX, 2010, pág. 5)

Figura N° 3.24: Doble de raíz



Fuente: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-11292013000200008

❖ **Criterios de aceptación – Ensayos de doblez guiado (QW-163)**

- El cordón de soldadura y ZAC deben estar completamente dentro de la porción doblada de la muestra después del ensayo.
- Las muestras de doblez guiado no deben tener discontinuidades abiertas en la soldadura o zona afectada por el calor (ZAC) que exceda 1/8" (3mm), medido en cualquier dirección sobre la superficie convexa de la muestra después del doblez.
- Las discontinuidades abiertas que ocurren en las esquinas de la muestra durante el ensayo no deben ser consideradas a menos que exista evidencia clara que ellas resultan de una falta de fusión, inclusiones de escorias, u otras discontinuidades internas.
- Para soldaduras de recubrimiento resistentes a la corrosión, no se debe permitir ninguna discontinuidad abierta que exceda 1/16" (1.5mm).
- El recubrimiento medido en cualquier dirección y ninguna discontinuidad abierta que exceda 1/8" (3mm) en la interface de la soldadura. (ASME IX, 2010, pág. 6)

Figura N° 3.25: Ensayo de dobles de probeta de ensayo



Fuente: http://nde-predictivo.com/imagenes/serv_ensayo_doblez.jpg

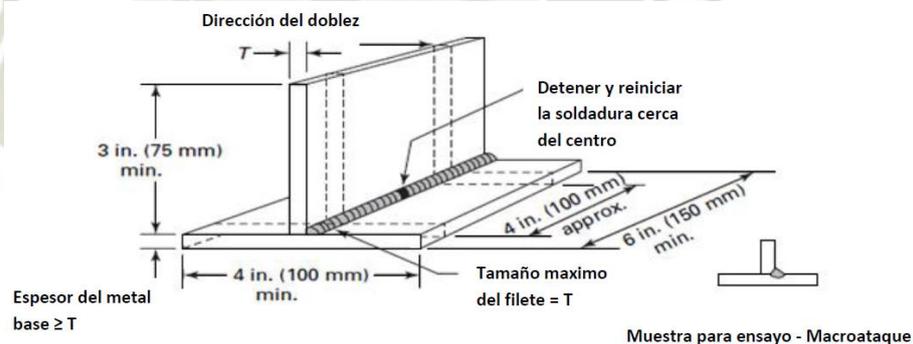
3.2.4.3. Ensayo de soldadura de filete

El cupón de ensayo para la plancha con plancha será cortado transversalmente para proveer cinco secciones de muestras de ensayo, cada uno de 2" (50mm) de largo aproximadamente iguales. (ASME IX, 2010, pág. 6)

Para aprobar la prueba del ensayo de soldadura de filete son.

- El examen visual de la sección transversal del metal de soldadura y de la zona afectada por el calor (HAZ) debe mostrar fusión completa y libre de grieta, deben ser aceptadas excepto las indicaciones alineadas en la raíz que no excedan de 1/32" (0.8mm).;
- y La soldadura no deberá tener una concavidad o convexidad mayor que 1/16" (1,5mm);
- y no debe existir más de 1/8" (3,2mm). De diferencia en las longitudes de los catetos del filete.

Figura N° 3.26: Probeta para ensayo de filete



Fuente: ASME IX -2010

Tabla N° 3.43: Ensayo de soldadura de filete

Tipo de Junta	Espesor del Cupón de Ensayo, como es Soldado, pulg. (mm)	Rango Calificado
Te	3/16" (5) o mayor	Para todos los espesores del material base, tamaños de filetes.
[Nota (1)]	Menor de 3/16" (5)	Espesor del material base T a 2T, tamaño máximo del filete en T.

Fuente: Elaboración propia

CAPITULO IV

4. PREPARACIÓN SUPERFICIAL Y APLICACIÓN DE PINTURA

4.1. Superficie preparada con chorro abrasivo

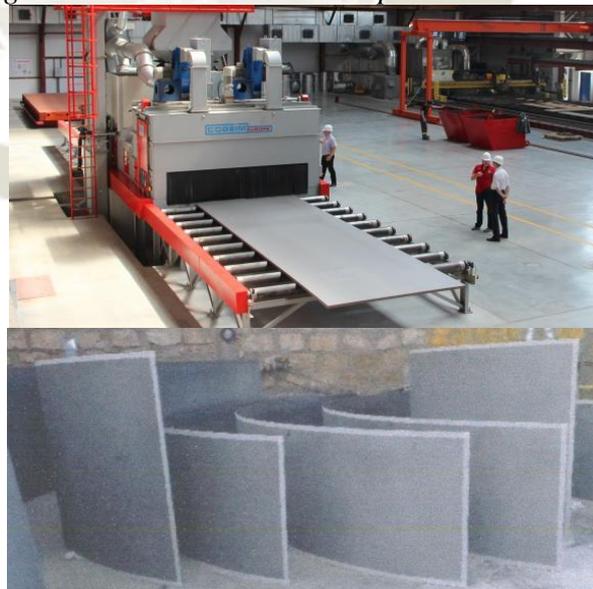
Es un proceso de tratamiento superficial con una técnica por impacto donde se obtiene una superficie con un grado de limpieza.

Este proceso está normalizado por la norma SSPC (Steel Structures Painting Council, Pittsburgh USA) dando en cada método los distintos procedimientos requeridos para realizar una adecuada y correcta limpieza de la superficie previamente a la aplicación de un revestimiento o pintura.

Grado SSPC SP10 granallado - limpieza con chorro abrasivo o arenado semi-blanco: este tipo de limpieza usa un abrasivo a presión para obtener una superficie libre de aceite, grasa, polvo, óxido, capa de laminación, restos de pintura y otros materiales extraños.

Se admite hasta un 5% de restos que pueden aparecer sólo como distinta coloración en cada pulgada cuadrada de la superficie. Se lo utiliza para condiciones regulares a severas. (SSPC-SP10, 2006)

Figura N° 4.1: Granallado de planchas



Fuente: Fotografía tomada en taller de trabajo

4.1.1 Método C: (Cinta X-Grueso)

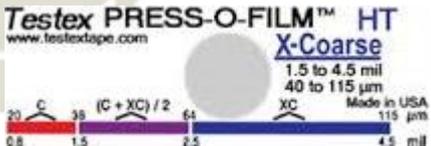
- Seleccionar el rango de cinta correcto para el perfil a medir: gruesa, 0 a 50 μm (0 a 2 milésimas de pulgada) y extra gruesa, 40-115 μm (1.5 a 4.5 mils).
- Retire el papel encerado y colocar la cinta en la superficie preparada con el lado de la espuma hacia abajo, es decir, poner el lado mate hacia abajo.
- Mantenga la cinta firmemente en la superficie y frotar la parte recortada circular (aproximadamente 6,5 mm (3/8 de pulgada) de diámetro) con la herramienta de bruñido hasta que aparezca un color gris uniforme.
- Retire la cinta y colóquela entre el yunque de un micrómetro de resorte. Medir el espesor de la cinta (espuma comprimida y película de plástico no compresible combinado). Reste el espesor de la película de plástico no comprimible para obtener el perfil de la superficie.
- Medir el perfil a un número suficiente de posiciones para caracterizar la superficie, tal como se especifica o se acuerde entre las partes interesadas. En cada lugar de hacer tres lecturas y determinar la media. A continuación, determinar la media para todos los lugares y reportar como el perfil de la superficie. (SSPC-SP10, 2006)

Figura N° 4.2: Medición de granallado



Fuente: www.testextape.com

Tabla N° 4.1: Registro de pintado

REPORTE DE RUGOSIDAD EN SUPERFICIE PREPARADA CON CHORRO ABRASIVO		TK-01 Fecha:03-02-2018	
Obra: Pintado de exterior del tanque		Usuario final: xxxx	
Cliente: xxxx		Representante: xxxx	
Contratista: xxx		Representante: xxxx	
Fecha: 20-01-2018		Lugar: Taller de pintura	
DATOS GENERALES			
Lote de muestra: Planchas			
Procedencia de la muestra: Evaluado en campo			
Tipo de abrasivo: Granalla			
Grado de preparación de superficie: Grado cercano al metal blanco			
Norma: SSPC-SP10			
EVALUACIÓN DE RUGOSIDAD			
Método utilizado: Método C			
Norma de referencia: ASTM D-4417-93			
Marca y modelo del equipo utilizado: Mitutoyo – Testex			
N° mediciones: 2			
Valor obtenido: 3 mils			
REGISTRO FOTOGRÁFICO			
 <p>Perfil de rugosidad</p>			
Conclusiones y/o observaciones	La rugosidad encontrada fue de 3 mils		
	Se adjunta cinta de replica		
Recomendaciones	-----		
Asesor técnico	QA/QC cliente	Contratista	Usuario

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 4.2: Registro de pintado

ANÁLISIS DE ABRASIVO		TK-01	
MEDICIÓN DE CONDUCTIVIDAD EN ABRASIVOS METÁLICOS		Fecha:03-02-2018	
Obra: Pintado de exterior	Usuario final: xxxx		
Cliente: xxxx	Representante: xxxx		
Contratista: xxxx	Representante: xxxx		
Fecha: 20-01-2018	Lugar: Taller de pintura		
DATOS GENERALES			
Lote de muestra: Muestra M-1			
Cantidades de la muestra: 0.5 Kg			
Procedencia de la muestra: Entregada por el cliente			
Tipo de abrasivo: Granalla			
Lugar de almacenamiento (campo): Tolvas de almacenamiento			
ANÁLISIS DE CONDUCTIVIDAD			
Método utilizado: detección de conductividad en abrasivos reciclados metálicos			
Norma de referencia: ASTM D-4940/SSPC-AB2			
Marca y modelo del equipo utilizado: Medidor de conductividad DIST WP			
Temperatura de ambiente (calibración): 23.8estable (1384 μ Siemens /cm)			
Numero de medición de muestra: 03			
Norma de referencia (valor máximo permisible): SSPC – AB2 (100 μ Siemens /cm)			
Valor máximo obtenido: 296 μ Siemens /cm			
Valor mínimo obtenido: 280 μ Siemens /cm			
Conclusiones y/o observaciones	Los valores de conductividad obtenidos demuestran que el abrasivo es apto para la preparación de superficie.		
Recomendaciones	-----		
Asesor técnico	QA/QC cliente	Contratista	Usuario

Fuente: Elaboración propia

4.2. Procedimiento de pintado de exterior del tanque

4.2.1. Recomendaciones

- Requiere una ventilación adecuada en el lugar de pintado para evacuar los vapores orgánicos y lograr el secado y curado de la pintura en la superficie del tanque.

4.2.2. El personal encargado de la ejecución de los trabajos

- Todo el personal encargado de la ejecución de los trabajos deberá presentar la experiencia suficiente para realizar los trabajos.
- El contratista debe contar con los siguientes equipos: medidor de espesor húmedo, medidor de espesor seco, psicrómetro y termómetro de superficie.

4.2.3. Las condiciones ambientales

- Si las condiciones ambientales son aceptables cuando la temperatura la superficie a pintar está a una temperatura de por lo menos 3°C sobre la temperatura del punto de rocío y la humedad relativa es menos al 85%.

Tabla N° 4.3: Condiciones ambientales para pintado

PRODUCTO	TEMPERATURA SUPERFICIAL		% HUMEDAD RELATIVA
	Mínima	Máxima	
Jet Zinc IR 600	-18°C	54°C	50 a 90 %(*)
Jet Mastic 800	4°C	50°C	< 85 %(**)
Jethane 650 HS	-5°C	49°C	<85 %(*)

Fuente: Elaboración propia

4.2.4. Preparación de la pintura

- Se disponer, verificar y homogenizar cada componente.
- Vierte la resina en un envase limpio y enseguida el catalizador.
- Agregar disolvente JETPOXY 100 en un porcentaje para facilitar la aplicación.
- Filtrar la mezcla usando una malla 30.
- Aplicar la pintura antes de sobrepasar su tiempo de vida útil.

Tabla N° 4.4: Tiempo de vida útil de mezclas de pintura

PRODUCTO	TIEMPO DE VIDA ÚTIL DESPUÉS DE LA MEZCLA
Jet Zinc IR 600	24 horas a 21°C
Jet Mastic 800	2.5 horas a 25°C
Jethane 650 HS	2 horas a 21°C

Fuente: Elaboración propia

4.2.5. Plan de pintado

Tabla N° 4.5: Plan de pintado del tanque

capa	Producto y color	Rendimiento m ² galón	Espesor (mils)		Repintado a 21°C		Diámetro boquilla	% Diluyente	Tiempo vida útil
			Húmedo	Seco	Mínimo	máximo			
1ra	Jet Zinc I-860	18.5	-	3	24 hrs(*)	-	0.021'' 0.023''	12.5% Unzinc	20 horas a 21°C
Thin coat	Jet Mastic 800	-	-	-	16 hrs	3 meses **30 días	0.019'' 0.023''	25-30% Jeoxy 100	2.5horas a 21°C
2da	Jet Mastic 800	9.3	11	8	16 hrs	3 meses	0.019'' 0.023''	12.5% Jeoxy 100	2.5horas a 25°C
3ra	Jethane 650 HS Rojo Ral 3020	19	6	3	6 hrs	7 días	0.017'' 0.019''	12.5% Jetpol	2 horas a 21°C

Fuente: Elaboración propia

- * El repintado mínimo dependerá del curado del jet zinc I-860 en campo.
- * El tiempo de repintado máximo del jet Mastic 800 con epóxido es de 3 meses y 30 días con poliuretanos.

4.2.6. Ejecución

1ra etapa –aplicación de la 1ra capa JET ZINC I-860

- Sobre la superficie preparada (limpieza con chorro de abrasivos grado cercano al metal blanco según SSPC-SP10 y si las condiciones ambientales son favorables, (T° de superficie encima de 3°C sobre el punto de rocío y la humedad relativa menor a 90%) aplique con equipo air less una capa uniforme del imprimante epóxido de taller Jet Zinc I 860 a 3 mils seco.
- A los 20 minutos mida los espesores de película seca según la norma SSPC-PA2, el espesor seco debe de ser 2.4 mils mínimo a 3.6 mils máximo y 3.0 mils promedio. Si no se pudiera alcanzar el espesor de la capa de pintura deseada se podrá pintar dentro de las 24 horas con JET ZINC I-860.
- Si la humedad relativa es menor a 50% y será seco, a los 20 minutos. Terminado la aplicación rociar agua atomizada a baja presión aproximadamente 50 psi, sobre la superficie para retirar el polvillo de zinc y cubrir con agua humectándola la superficie.
- Retirar el polvillo de zinc seco de la superficie con esponja o lijar #200 y aire.
- Si existiera zonas craqueadas resanar totalmente. (SSPC-SP10, 2006)

2da etapa –aplicación de la 2ra capa JET MASTIC 800

- Después del curado de la primera capa JET I-860 y con condiciones ambientales favorables como (temperatura mínima 3°C sobre el punto de rocío y humedad relativa menor a 85%) aplicar con equipo la capa thin coat general del jet mastic 800 con 25 – 30% de disolución con jetpoxy 100 para evitar la presencia de burbujas durante aplicación de la capa acabada.

3da etapa –aplicación de la capa general JETHANE 650 HS rojo Ral 320

- Aplicar sobre la superficie preparada con las condiciones ambientales favorables una capa uniforme de poliuretano JETHANE 650 HS a 3 mils seco (6 mils humedo).
- Evitar que no exista áreas sin cubrir ni defectos como des colgamiento o superficie de naranja y poros.
- transcurrido 6 horas medir la superficie pintada de acuerdo a la norma SSPC-PA2 el espesor seco debe variar entre 11.2 mils mínimo y 16.8 mils con promedio 14 mils, de no alcanzar el espesor mínimo aplicar una capa adicional de jethane 650HS.
- El tiempo máximo de repintado de la pintura que es de 7 días.

Figura N° 4.3: Medición de la capa de pintura



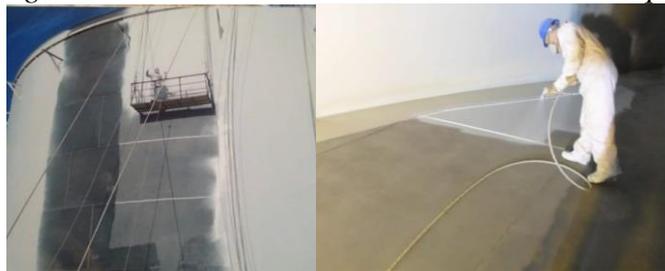
Fuente: Foto tomada en campo de trabajo

Tabla N° 4.6: Registro de pintado

REPORTE DE ESPEORES DE PELÍCULA SECA								
Obra: Tanque de almacenamiento de gua industrial				Usuario final: xxxx				
Cliente: xxxx				Representante: xxxx				
Contratista: xxxx				Representante: xxxx				
Fecha: 17/03/2018				Lugar: Taller de pintura				
SISTEMA RECOMENDADO								
Capa	Producto – color	Espesores (mils)			MEDIDOR - CALIBRACION			
		Mínimo	máximo		Modelo del medidor:	Positector 6000		
1	Jet zinc I-860	3	-		Tipo de ajuste:	Rugoso		
2	Jet MASTIC 800	8	-		Shims usados	2 – 5 mils		
3	JETHANE 650 HS ROJO RAL 3020	3	-		Fecha de verificación de shims:	21-01-2018		
Espesor total		14	-					
Estructura tipo: Planchas								
Código / norma de preparación superficial: SSPC-SP10								
Código / norma de pintado: PA2								
Espesor de total de pintura:		1ra capa: X		2da capa: -		3capa: -		
Espesor de pintura:		Mínimo: 2.97 mils			Máximo: 3.05 mils			
Control de parámetros:		Temperatura: 22°C			Humedad: 19%			
CONTROL DE ESPEORES DE PINTURA: Base, casco y techo del tanque.								
Código	Fecha	Capa N°	Espesores (mils)			Inspección		
			E1	E2	E3	Promedio	Acciones	resultado
BCT-01	25-01-2018	1	2.97	3.05	3	3	-	Ok
Observaciones: -								
Espesor de total de pintura:		1ra capa: -		2da capa: X		3capa: -		
Espesor de pintura:		Mínimo: 7.99 mils			Máximo: 8.03 mils			
Control de parámetros:		Temperatura: 19°C			Humedad: 18%			
CONTROL DE ESPEORES DE PINTURA: Base, casco y techo del tanque.								
Código	Fecha	Capa N°	Espesores (mils)			Inspección		
			E1	E2	E3	Promedio	Acciones	resultado
BCT-01	12-03-2018	2	7.99	7.98	8.03	8	-	Ok
Observaciones: -								
Espesor de total de pintura:		1ra capa: -		2da capa: -		3capa: X		
Espesor de pintura:		Mínimo: 13.96			Máximo: 14.05			
Control de parámetros:		Temperatura: 20°C			Humedad: 19%			
CONTROL DE ESPEORES DE PINTURA: Base, casco y techo del tanque.								
Código	Fecha	Capa N°	Espesores (mils)			Inspección		
			E1	E2	E3	Promedio	Acciones	resultado
BCT-01	17-03-2018	3	13.96	13.99	14.05	14	-	Ok
Observaciones: -								
Aprobación:								
Inspector QC			Jefe del proyecto			Supervisión del cliente		

Fuente: Elaboración propia

Figura N° 4.4: Pintado exterior e interior del tanque



Fuente: Fotografía tronada en campo de trabajo

4.2.7. Resumen parámetros de diseño y control de diseño

- Plan de Calidad.
- Informe del Plan de Calidad.
- Programa y Procedimientos de fabricación.
- Especificación y Alcances del proyecto
- Especificaciones y Certificados de control del Metal Base.
- Informe de control antes, durante y después de la Inspección de la soldadura
- Calificación de Procedimientos de Soldadura.
- Calificación de Soldadores.
- Procedimientos de reparaciones con soldadura.
- Desarrollo de los criterios de aceptación
- Procedimiento de calificación del personal de las pruebas no destructivas.
- Desarrollo de las técnicas de ensayos no destructivos
- Procedimiento y Pruebas hidrostáticas de tuberías
- Procedimiento de inspección final.
- Certificados de Cumplimiento

CONCLUSIONES

- I. Se realizó un sistema de aseguramiento de calidad de las uniones soldadas del proceso FCAW para la fabricación de tanques de almacenamiento de aceros soldados para agua industrial.
- II. Se desarrolló la especificación del procedimiento de soldadura y el registro de calificación del procedimiento de soldadura para el proceso FCAW.
- III. Se desarrolló la calificación de un procedimiento de soldadura de acuerdo al estándar API 650 y la calificación del soldador según ASME sección IX.
- IV. Se llevó a cabo la inspección de las uniones soldadas con inspección visual, líquidos penetrantes y radiografía, para el aseguramiento de la calidad de las uniones soldadas.

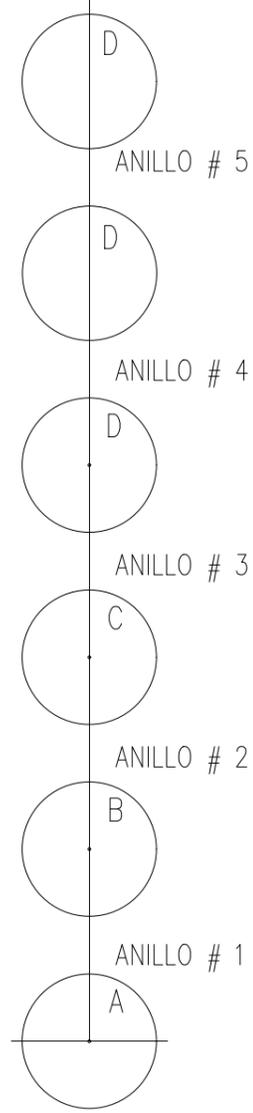
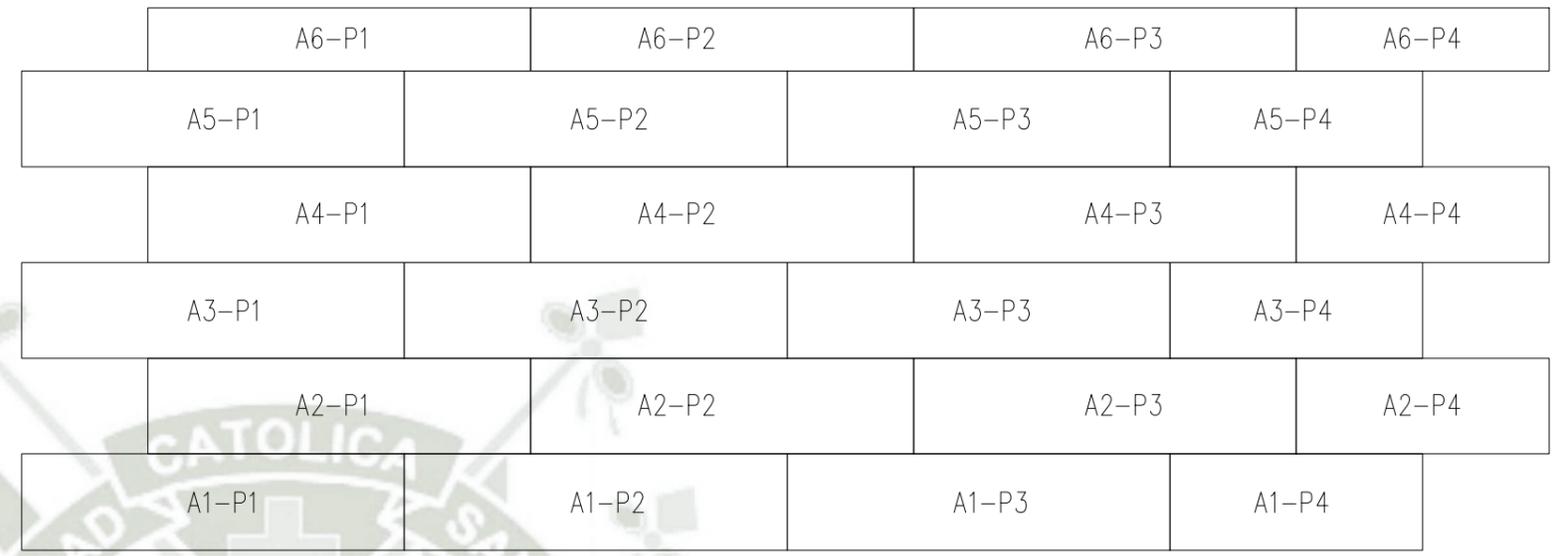
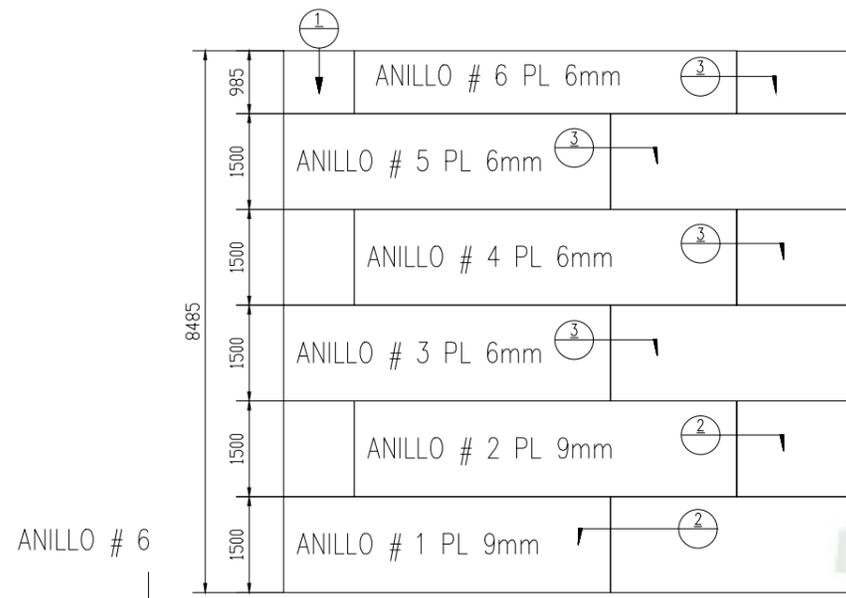
RECOMENDACIONES

- Existe un vacío en la relación a los costos de producción, costos de diseño y costos de control de diseño y costos de calidad, por tanto, se debe profundizar este tema el cual permitirá al área de operaciones definir precios de venta que garanticen márgenes de rentabilidad razonable.
- Desacuerdo a los códigos y estándares de soldadura solo podrá calificar a los soldadores es el inspector de soldadura que es la persona que tiene la experiencia, capacidad y competencia en conocimientos sólidos en ingeniería de soldadura con certificación y aceptado por una agencia reconocida,
- Para realizar los ensayos mecánicos y ensayos destructivos solo podrá realizar la inspección de estos el personal que tenga como mínimo un nivel II en estos ensayos mecánicos.
- Elaborar y mantener registros permanentes de la producción operación de diseño y calidad en la fabricación de tanques de almacenamiento.
- Se recomienda tener las medidas mínimas de seguridad del DS 024-2016-EM para trabajos de alto riesgo.

BIBLIOGRAFÍA

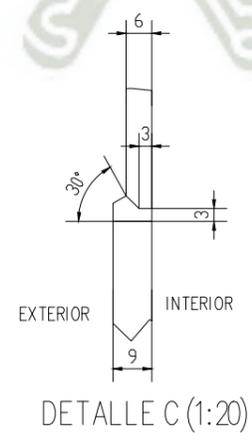
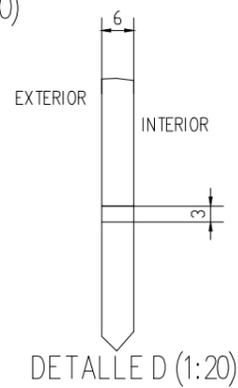
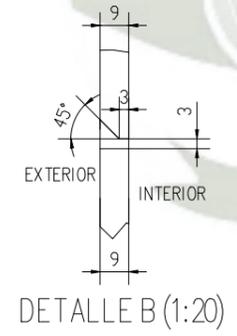
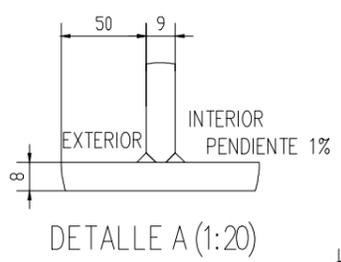
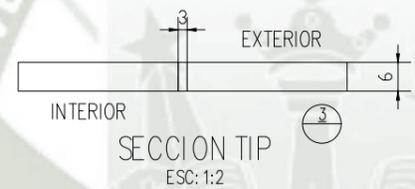
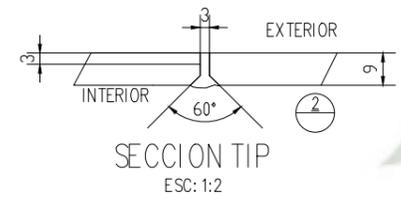
- API STANDARD 650 marzo 2013 - 12 Edición CSSINFO Tanques de acero soldado para almacenamiento de petróleo.
- PEMEX-2007 Diseño de tanques de almacenamiento atmosféricos (Comité de normalización de petróleos mexicanos y organismos subsidiarios).
- Código ASME IX-2010 Welding and Brazing Qualifications.
- Código ASME VIII - 2013 Reglas para la Construcción de Recipientes a Presión.
- Código ASME V – 2010 Nondestructive Examination.
- STANDARDS 2006 SYSTEMS AND SPECIFICATIONS SSPC (Steel Structures Painting Council, Pittsburgh USA) volume 2.
- AWS A3.0 2001 Norma y términos y definiciones de soldadura.
- INTRODUCCIÓN A LA METALURGIA DE LA SOLDADURA 2007 – PUCP
Dr. Carlos Fosca séptima edición





VISTA ELEVACION TANQUE G (1:100)

DESARROLLO DE CASCO G (1:100)

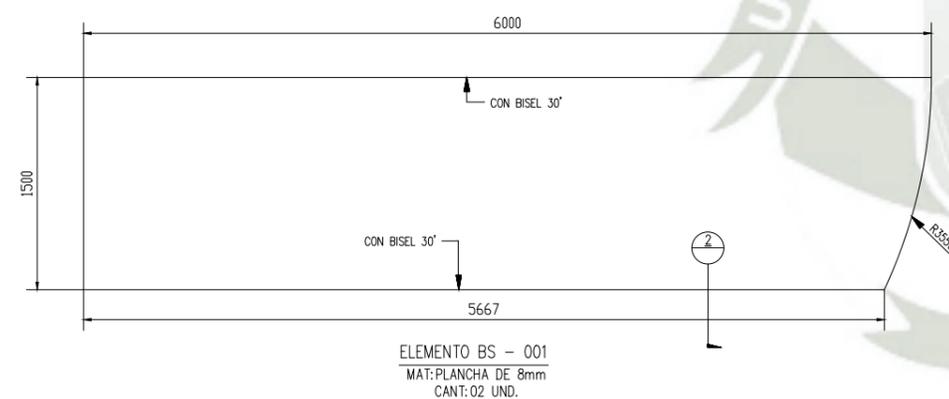
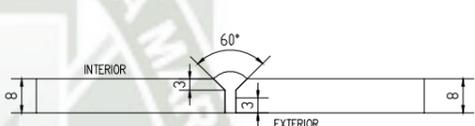
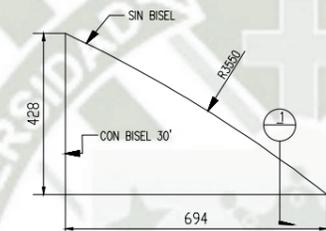
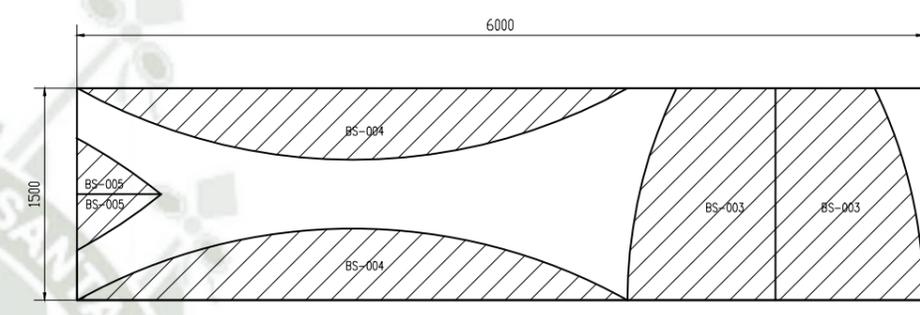
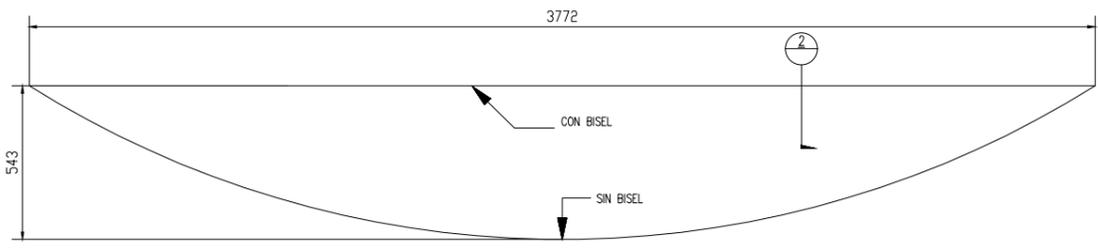
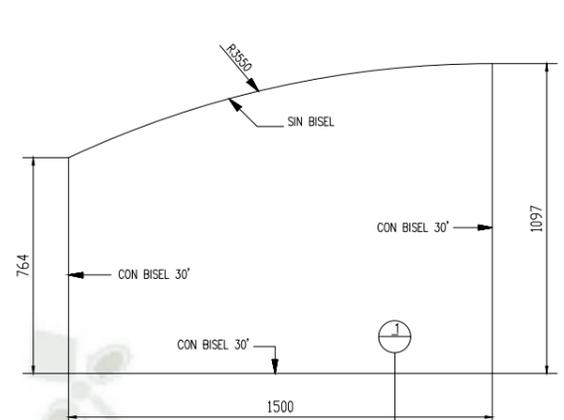
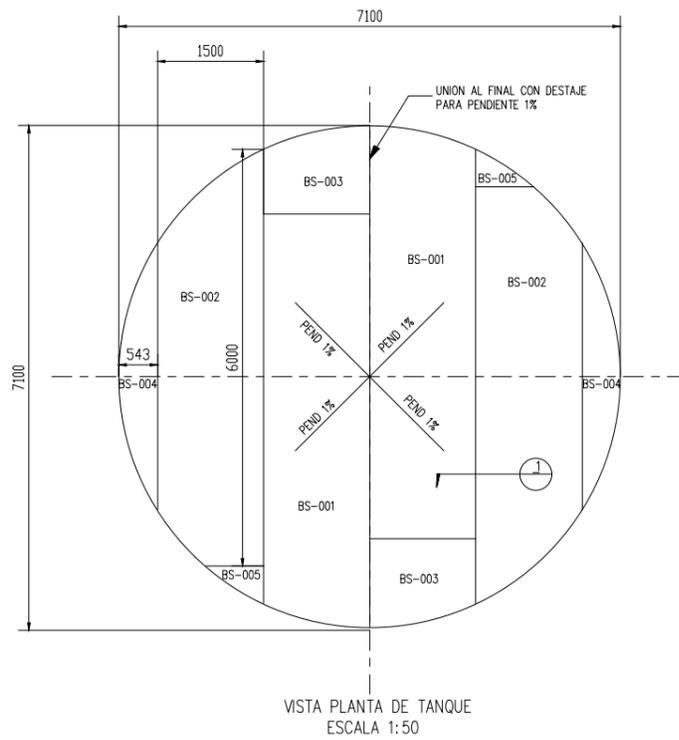


PARTS LIST											
ITEM	UBICACION	POSICION	CANT.	MATERIAL	ESPESOR	LONGITUDES	PESO U.	PESO T.	AREA U.	AREA T.	OBSERVACIONES
1	CASCO	A1-P1	1	PLANCHA ASTM A 36	9	1500 x 6000	671.18	671.18	18.00	18.00	
2	CASCO	A1-P2	1	PLANCHA ASTM A 36	9	1500 x 6000	671.18	671.18	18.00	18.00	
3	CASCO	A1-P3	1	PLANCHA ASTM A 36	9	1500 x 6000	671.18	671.18	18.00	18.00	
4	CASCO	A1-P4	1	PLANCHA ASTM A 36	9	1500 x 3961	441.09	441.09	11.85	11.85	
5	CASCO	A2-P1	1	PLANCHA ASTM A 36	9	1500 x 6000	671.18	671.18	18.00	18.00	
6	CASCO	A2-P2	1	PLANCHA ASTM A 36	9	1500 x 6000	671.18	671.18	18.00	18.00	
7	CASCO	A2-P3	1	PLANCHA ASTM A 36	9	1500 x 6000	671.18	671.18	18.00	18.00	
8	CASCO	A2-P4	1	PLANCHA ASTM A 36	9	1500 x 3961	441.09	441.09	11.85	11.85	
9	CASCO	A3-P1	1	PLANCHA ASTM A 36	6	1500 x 6000	448.63	448.63	18.00	18.00	
10	CASCO	A3-P2	1	PLANCHA ASTM A 36	6	1500 x 6000	448.63	448.63	18.00	18.00	
11	CASCO	A3-P3	1	PLANCHA ASTM A 36	6	1500 x 6000	448.63	448.63	18.00	18.00	
12	CASCO	A3-P4	1	PLANCHA ASTM A 36	6	1500 x 3961	295.57	295.57	11.85	11.85	
13	CASCO	A4-P1	1	PLANCHA ASTM A 36	6	1500 x 6000	448.63	448.63	18.00	18.00	
14	CASCO	A4-P2	1	PLANCHA ASTM A 36	6	1500 x 6000	448.63	448.63	18.00	18.00	
15	CASCO	A4-P3	1	PLANCHA ASTM A 36	6	1500 x 6000	448.63	448.63	18.00	18.00	
16	CASCO	A4-P4	1	PLANCHA ASTM A 36	6	1500 x 3961	295.57	295.57	11.85	11.85	
17	CASCO	A5-P1	1	PLANCHA ASTM A 36	6	1500 x 6000	448.63	448.63	18.00	18.00	
18	CASCO	A5-P2	1	PLANCHA ASTM A 36	6	1500 x 6000	448.63	448.63	18.00	18.00	
19	CASCO	A5-P3	1	PLANCHA ASTM A 36	6	1500 x 6000	448.63	448.63	18.00	18.00	
20	CASCO	A5-P4	1	PLANCHA ASTM A 36	6	1500 x 3961	295.57	295.57	11.85	11.85	
21	CASCO	A6-P1	1	PLANCHA ASTM A 36	6	985 x 6000	294.50	294.50	11.82	11.82	
22	CASCO	A6-P2	1	PLANCHA ASTM A 36	6	985 x 6000	294.50	294.50	11.82	11.82	
23	CASCO	A6-P3	1	PLANCHA ASTM A 36	6	985 x 6000	294.50	294.50	11.82	11.82	
24	CASCO	A6-P4	1	PLANCHA ASTM A 36	6	985 x 3961	194.20	194.20	7.80	7.80	
								PESO TOTAL		AREA TOTAL	
								10916.57		372.63	

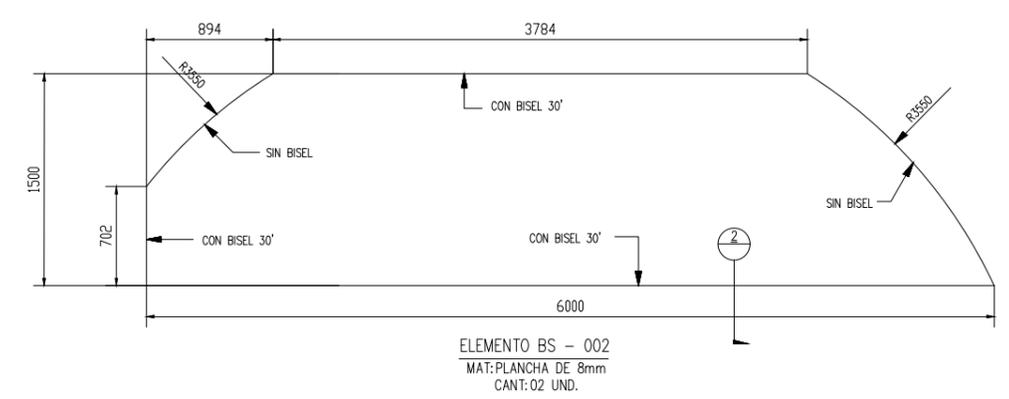


UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
 FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIAS FISICAS Y FORMALES
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA, MECANICA ELECTRICA Y MECATRONICA

Elaborado:	Plano:	PROCEDIMIENTOS DE CONTROL DE CALIDAD DE UNIONES SOLDADAS POR FCAW PARA LA FABRICACION DE UN TANQUE DE ALMACENAJE PARA AGUA INDUSTRIAL			
Bach. JULIO MACHACCA HUACARPUMA	DISTRIBUCION DE PLANCHAS DEL CASCO	Fecha:	Escala:	Plano:	Hoja:
		10/12/2018	INDICADA	1	1/14

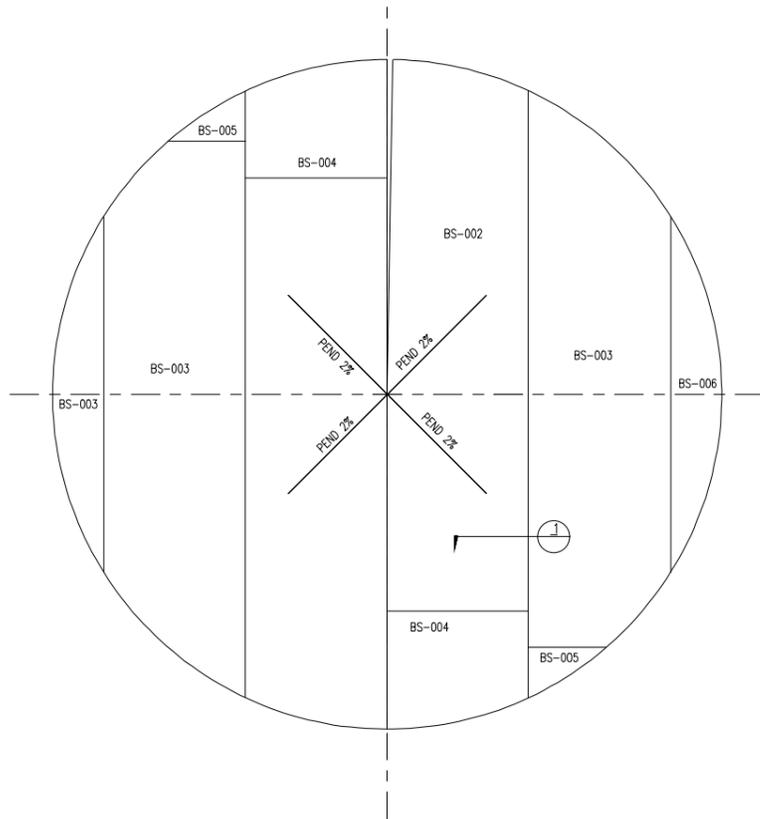


PARTS LIST											
ITEM	UBICACION	POSICION	CANT.	MATERIAL	ESPESOR	LONGITUDES	PESO U.	PESO T.	AREA U.	AREA T.	OBSERVACIONES
1	BASE	BS-001	1	PLANCHA ASTM A 36	8	1500 x 6000	565.20	565.20	18.00	18.00	
2	BASE	BS-002	1	PLANCHA ASTM A 36	8	1500 x 6000	565.20	565.20	18.00	18.00	
3	BASE	BS-003	2	PLANCHA ASTM A 36	8	1500 x 6000	565.20	1130.40	18.00	18.00	
4	BASE	BS-004	2	PLANCHA ASTM A 36	8	1500 x 1075	100.39	201.78	3.21	6.42	
5	BASE	BS-005	2	PLANCHA ASTM A 36	8	3772 x 543	125.31	250.62	1.29	2.58	
6	BASE	BS-006	2	PLANCHA ASTM A 36	8	428 x 694	32.77	32.77	0.52	1.04	

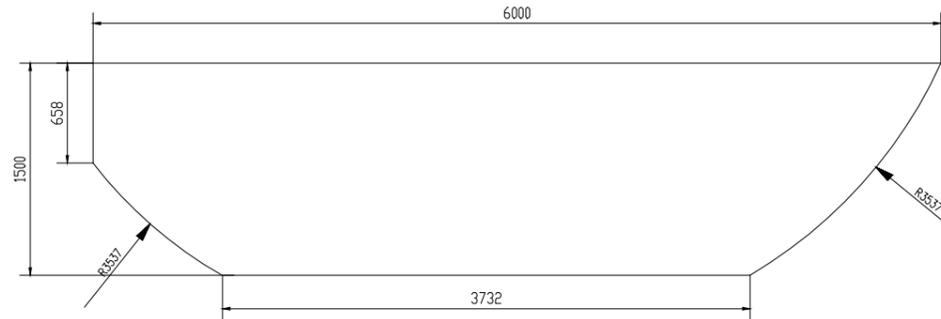


UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIAS FISICAS Y FORMALES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA, MECANICA ELECTRICA Y MECATRONICA

Elaborado:	Plano:	PROCEDIMIENTOS DE CONTROL DE CALIDAD DE UNIONES SOLDADAS POR FCAW PARA LA FABRICACION DE UN TANQUE DE ALMACENAJE PARA AGUA INDUSTRIAL		
Bach. JULIO MACHACCA HUACARPUMA	DISTRIBUCION DE PLANCHAS DEL CASCO	Fecha:	Escala:	Plano:
		10/12/2018	INDICADA	2
				Hoja: 2/14



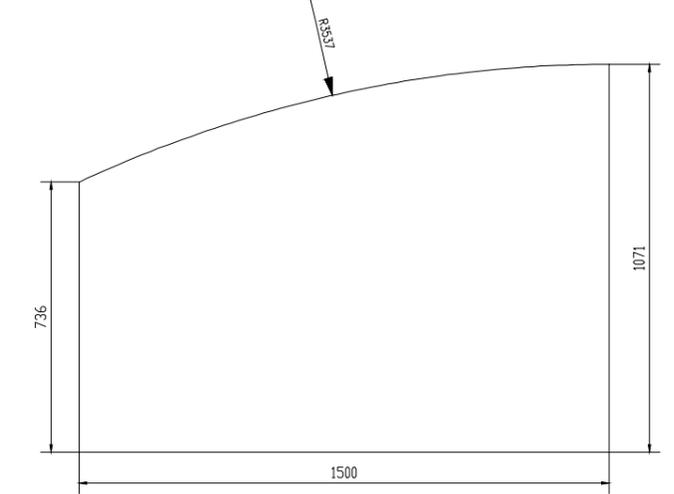
VISTA PLANTA TECHO DE TANQUE
ESCALA 1:50



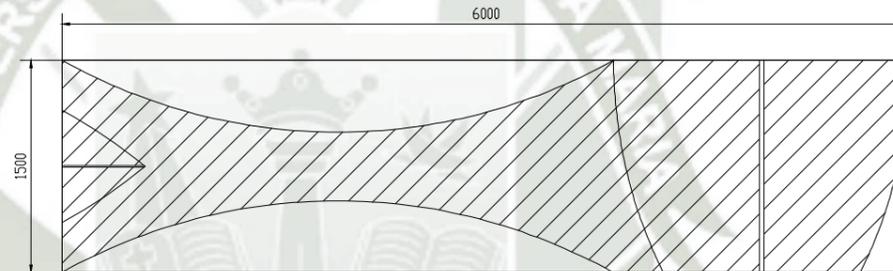
ELEMENTO TP-003
MAT: PLANCHA DE 6mm
CANT: 02 UND.



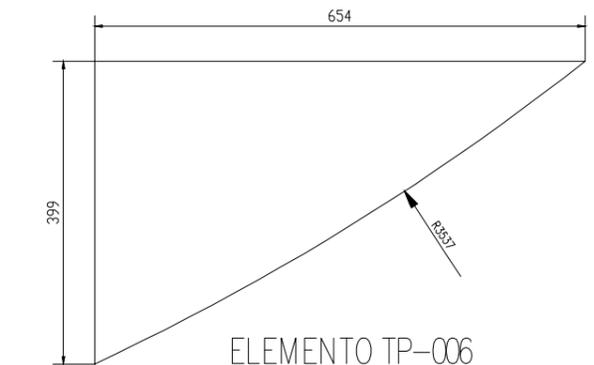
ELEMENTO TP-005
MAT: PLANCHA DE 6mm
CANT: 02 UND.



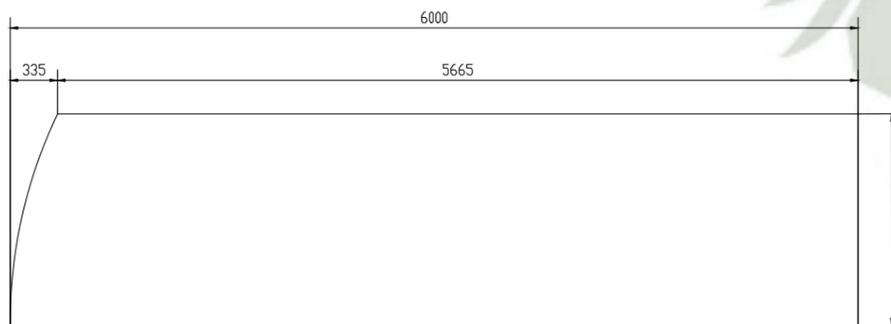
ELEMENTO TP-004
MAT: PLANCHA DE 6mm
CANT: 02 UND.



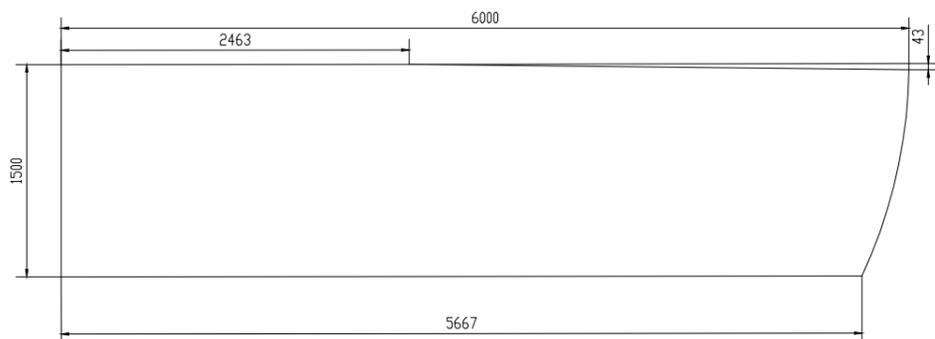
DETALLE CORTE DE PLANCHAS
ESCALA 1:20



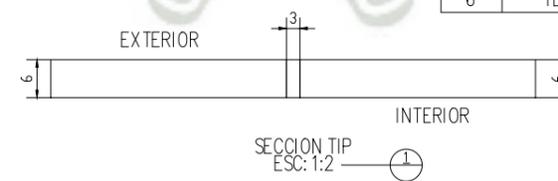
ELEMENTO TP-006
MAT: PLANCHA DE 6mm
CANT: 02 UND.



ELEMENTO TP-001
MAT: PLANCHA DE 6mm
CANT: 01 UND.



ELEMENTO TP-002
MAT: PLANCHA DE 6mm
CANT: 01 UND.



SECCION TIP
ESC: 1:2

PARTS LIST											
ITEM	UBICACION	POSICION	CANT.	MATERIAL	ESPEJOR	LONGITUDES	PESO U.	PESO T.	AREA U.	AREA T.	OBSERVACIONES
1	TECHO	TP-001	1	PLANCHA ASTM A36	6	1500 x 6000	565.20	565.20	18.00	18.00	
2	TECHO	TP-002	1	PLANCHA ASTM A36	6	1500 x 6000	565.20	565.20	18.00	18.00	
3	TECHO	TP-003	2	PLANCHA ASTM A36	6	1500 x 6000	565.20	1130.40	18.00	18.00	
4	TECHO	TP-004	2	PLANCHA ASTM A36	6	1500 x 1072	100.39	201.78	3.21	6.42	
5	TECHO	TP-005	2	PLANCHA ASTM A36	6	3772 x 543	125.31	250.62	1.29	2.58	
6	TECHO	TP-006	2	PLANCHA ASTM A36	6	428 x 694	32.77	32.77	0.52	1.04	



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIAS FISICAS Y FORMALES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA, MECANICA ELECTRICA Y MECATRONICA

Elaborado:

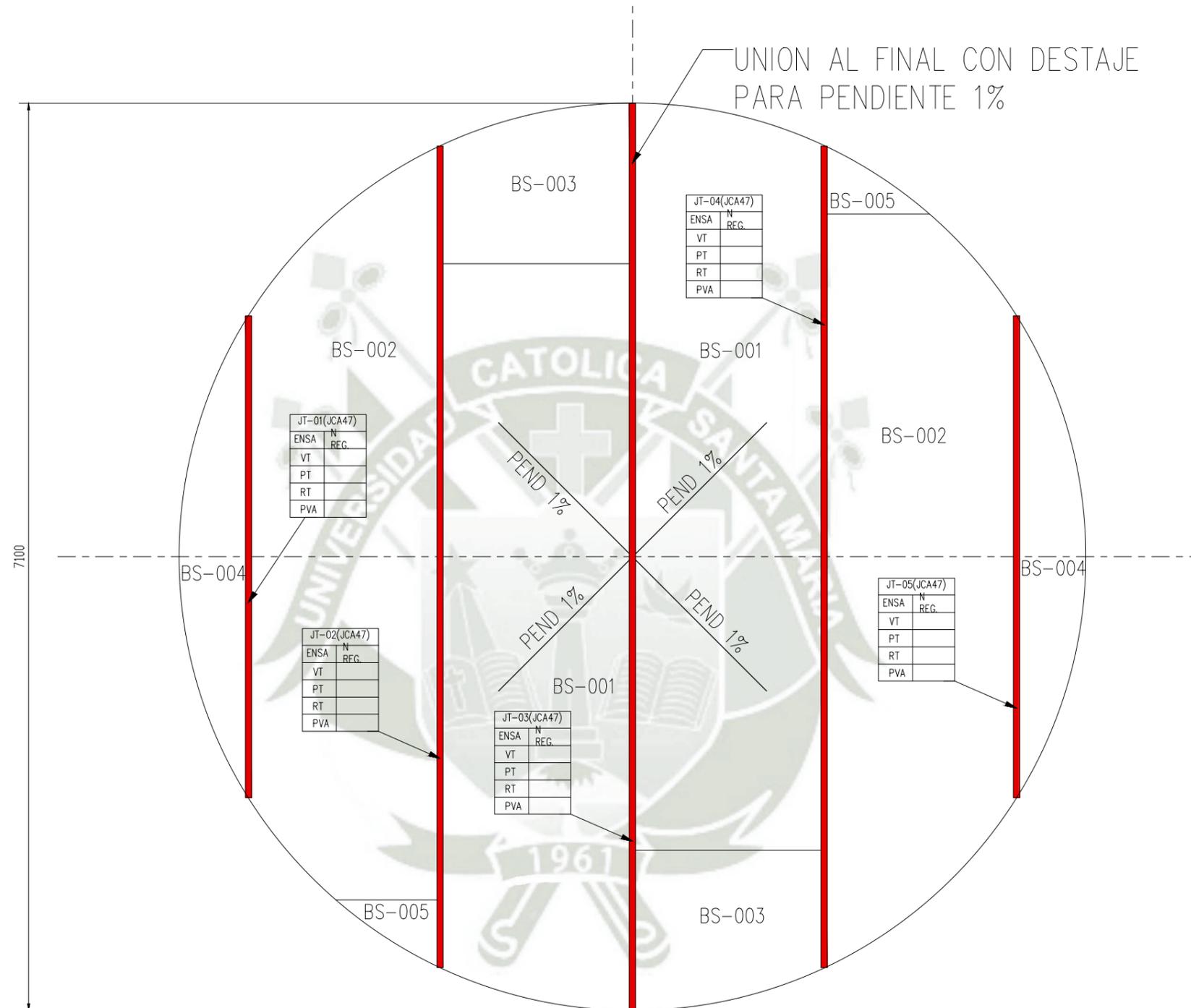
Bach. JULIO MACHACCA
HUACARPUMA

Plano:

DISTRIBUCION
DE PLANCHAS
DEL CASCO

PROCEDIMIENTOS DE CONTROL DE CALIDAD DE UNIONES
SOLDADAS POR FCAW PARA LA FABRICACION DE UN TANQUE
DE ALMACENAJE PARA AGUA INDUSTRIAL

Fecha:	Escala:	Plano:	Hoja:
10/12/2018	INDICADA	3	3/14



VISTA PLANTA BASE DE TANQUE
ESCALA 1:20



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIAS FISICAS Y FORMALES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA, MECANICA ELECTRICA Y MECATRONICA

Elaborado:

Bach. JULIO MACHACCA
HUACARPUMA

Plano:

DISTRIBUCION
DE PLANCHAS
DEL CASCO

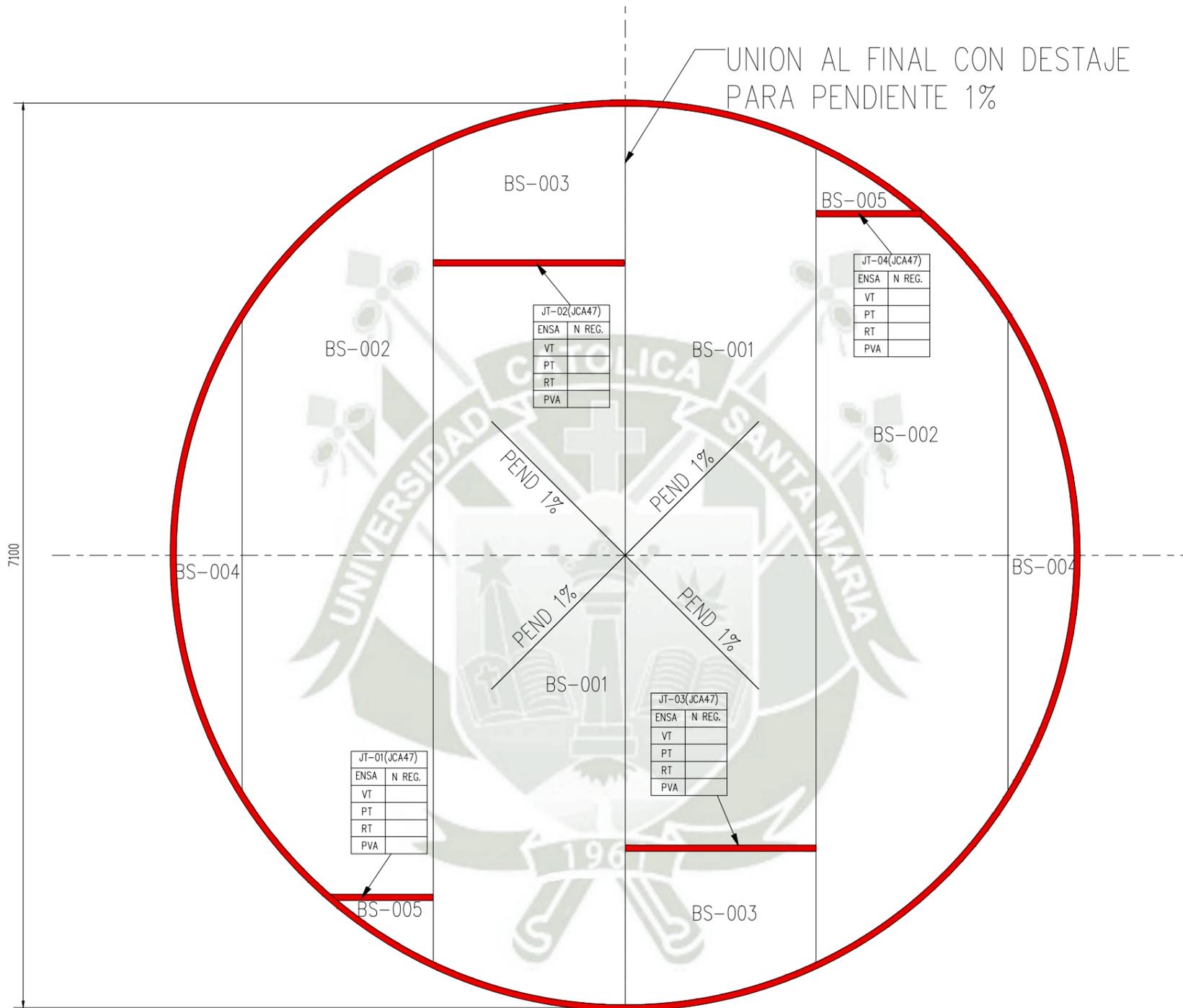
PROCEDIMIENTOS DE CONTROL DE CALIDAD DE UNIONES
SOLDADAS POR FCAW PARA LA FABRICACION DE UN TANQUE
DE ALMACENAJE PARA AGUA INDUSTRIAL

Fecha:
10/12/2018

Escala:
INDICADA

Plano:
4

Hoja:
4/14



VISTA PLANTA BASE DE TANQUE
ESCALA 1:20



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIAS FISICAS Y FORMALES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA, MECANICA ELECTRICA Y MECATRONICA

Elaborado:

Bach. JULIO MACHACCA
HUACARPUMA

Plano:

DISTRIBUCION
DE PLANCHAS
DEL CASCO

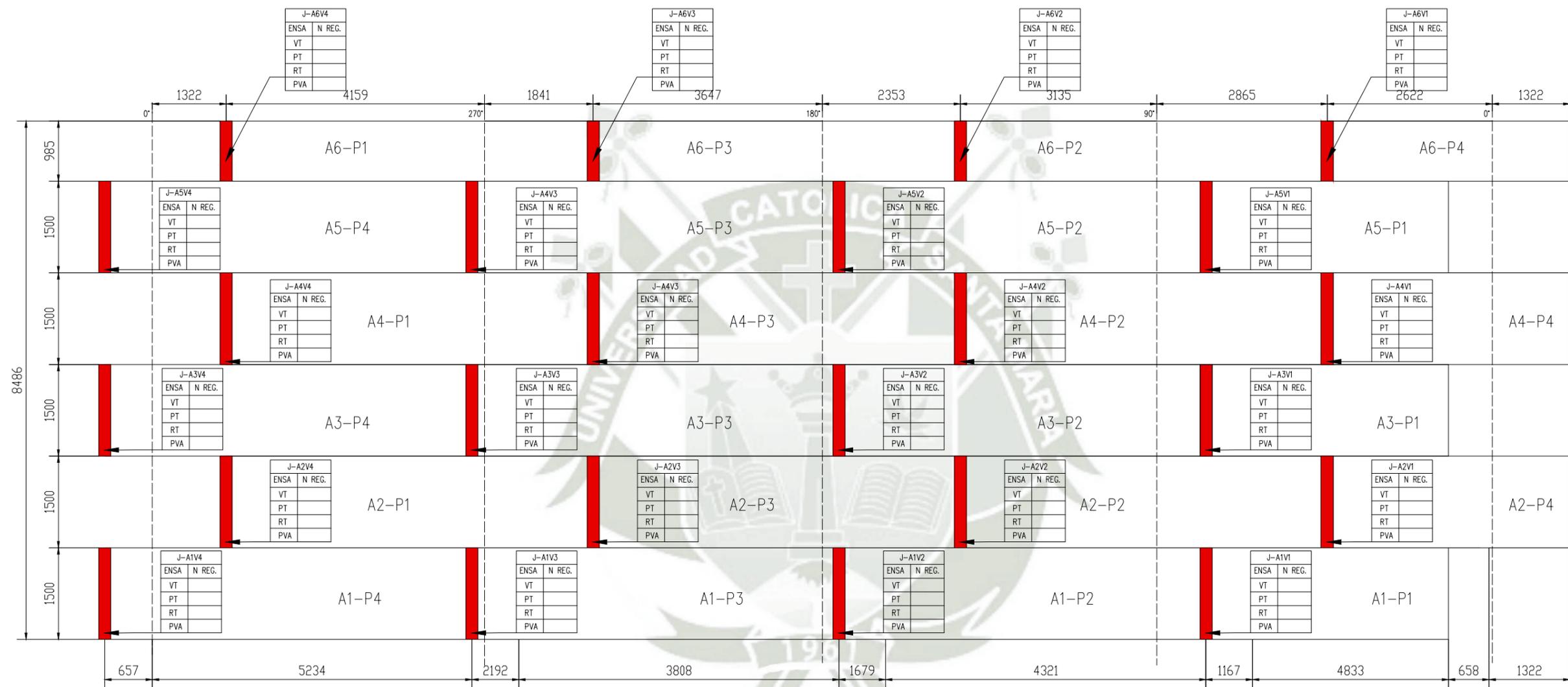
PROCEDIMIENTOS DE CONTROL DE CALIDAD DE UNIONES
SOLDADAS POR FCAW PARA LA FABRICACION DE UN TANQUE
DE ALMACENAJE PARA AGUA INDUSTRIAL

Fecha:
10/12/2018

Escala:
INDICADA

Plano:
5

Hoja:
5/14



DESARROLLO EXTERIOR
ESCALA 1:50



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIAS FISICAS Y FORMALES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA, MECANICA ELECTRICA Y MECATRONICA

Elaborado:

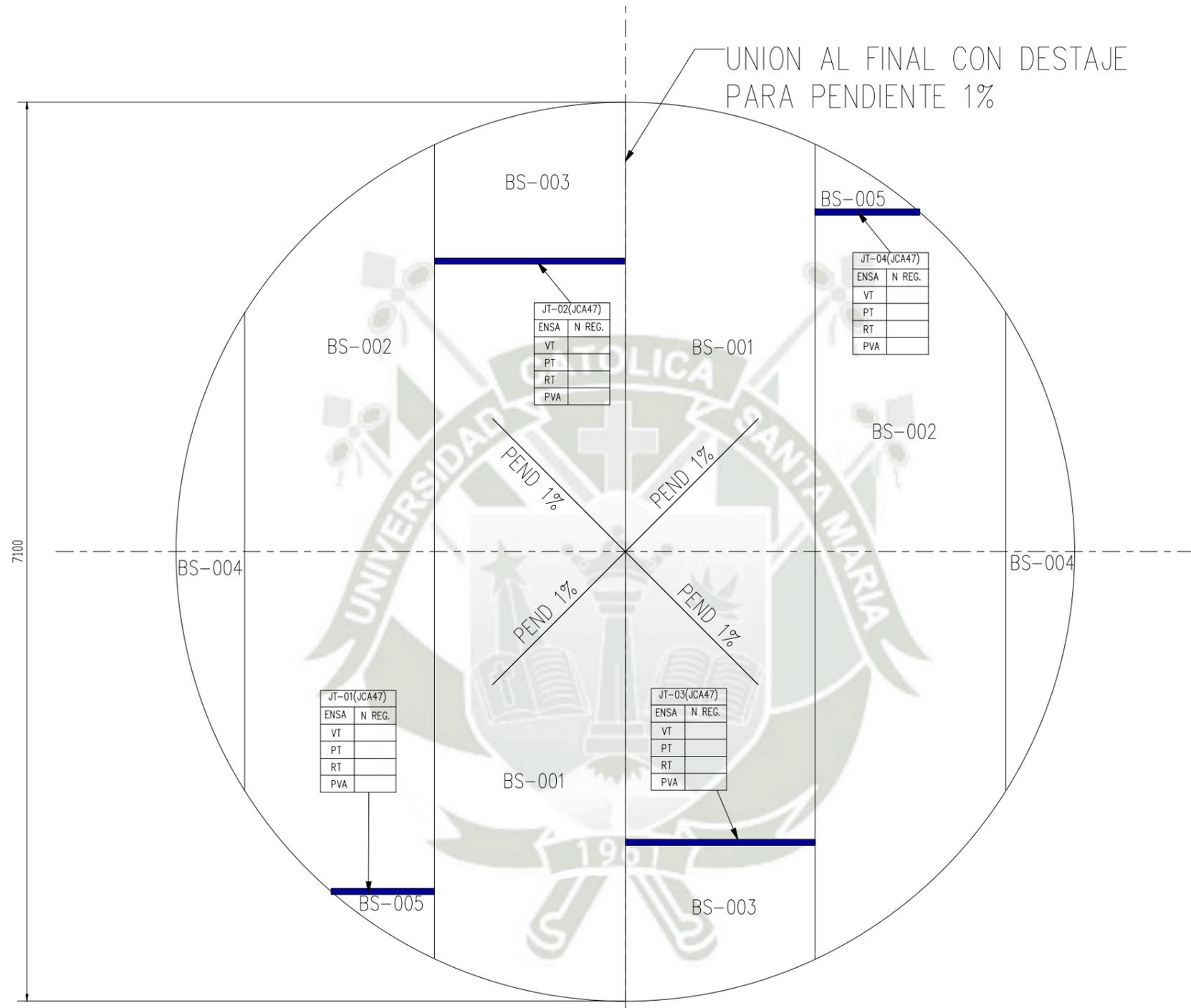
Bach. JULIO MACHACCA
HUACARPUMA

Plano:

DISTRIBUCION
DE PLANCHAS
DEL CASCO

PROCEDIMIENTOS DE CONTROL DE CALIDAD DE UNIONES
SOLDADAS POR FCAW PARA LA FABRICACION DE UN TANQUE
DE ALMACENAJE PARA AGUA INDUSTRIAL

Fecha: 10/12/2018	Escala: INDICADA	Plano: 6	Hoja: 6/14
----------------------	---------------------	-------------	---------------



VISTA PLANTA BASE DE TANQUE
ESCALA 1:20



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIAS FISICAS Y FORMALES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA, MECANICA ELECTRICA Y MECATRONICA

Elaborado:

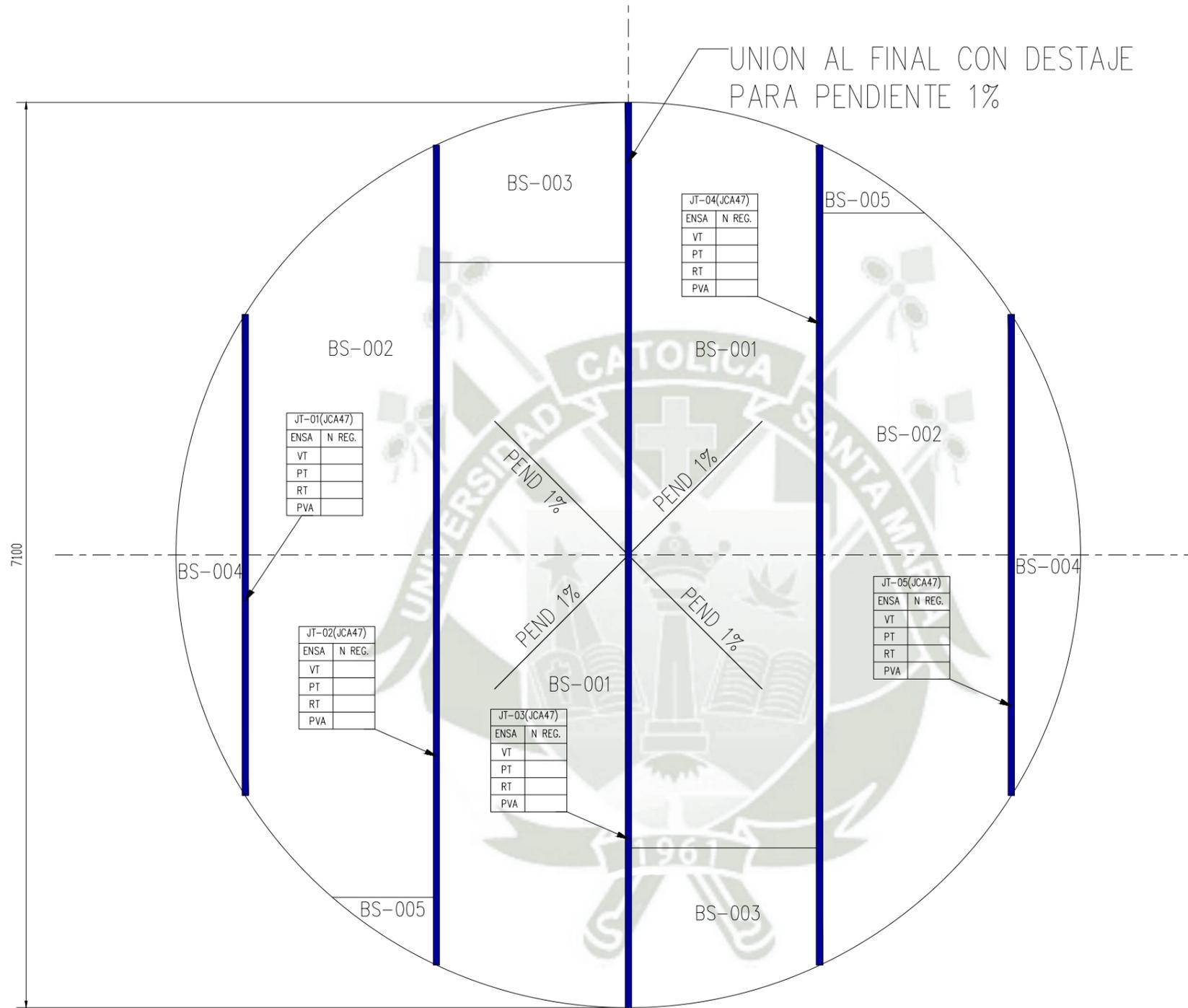
Bach. JULIO MACHACCA
HUACARPUMA

Plano:

DISTRIBUCION
DE PLANCHAS
DEL CASCO

PROCEDIMIENTOS DE CONTROL DE CALIDAD DE UNIONES
SOLDADAS POR FCAW PARA LA FABRICACION DE UN TANQUE
DE ALMACENAJE PARA AGUA INDUSTRIAL

Fecha:	Escala:	Plano:	Hoja:
10/12/2018	INDICADA	7	7/14



JT-04(JCA47)	
ENSA	N REG.
VT	
PT	
RT	
PVA	

JT-01(JCA47)	
ENSA	N REG.
VT	
PT	
RT	
PVA	

JT-05(JCA47)	
ENSA	N REG.
VT	
PT	
RT	
PVA	

JT-02(JCA47)	
ENSA	N REG.
VT	
PT	
RT	
PVA	

JT-03(JCA47)	
ENSA	N REG.
VT	
PT	
RT	
PVA	

VISTA PLANTA BASE DE TANQUE
ESCALA 1:20



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIAS FISICAS Y FORMALES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA, MECANICA ELECTRICA Y MECATRONICA

Elaborado:

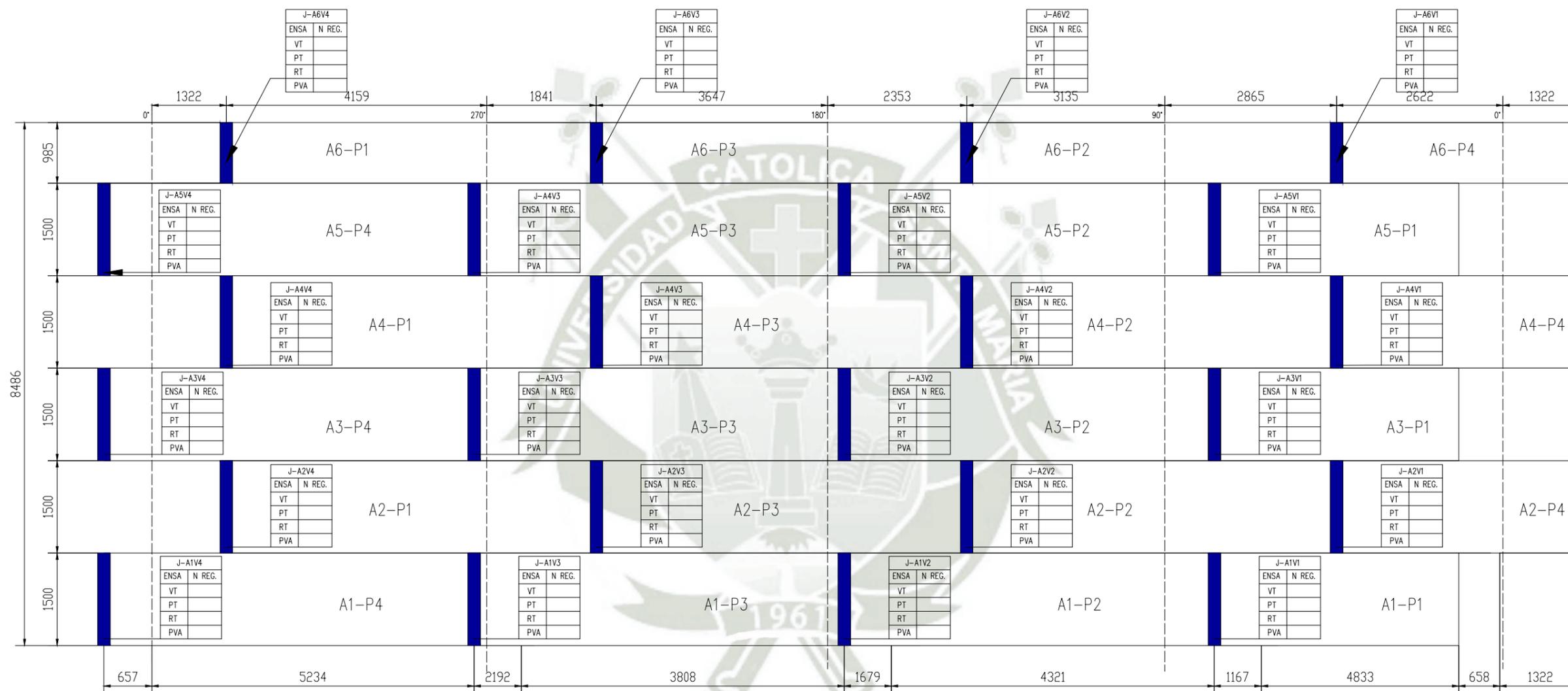
Bach. JULIO MACHACCA
HUACARPUMA

Plano:

DISTRIBUCION
DE PLANCHAS
DEL CASCO

PROCEDIMIENTOS DE CONTROL DE CALIDAD DE UNIONES
SOLDADAS POR FCAW PARA LA FABRICACION DE UN TANQUE
DE ALMACENAJE PARA AGUA INDUSTRIAL

Fecha:	Escala:	Plano:	Hoja:
10/12/2018	INDICADA	8	8/14



DESARROLLO EXTERIOR
ESCALA 1:50



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIAS FISICAS Y FORMALES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA, MECANICA ELECTRICA Y MECATRONICA

Elaborado:

Bach. JULIO MACHACCA
HUACARPUMA

Plano:

DISTRIBUCION
DE PLANCHAS
DEL CASCO

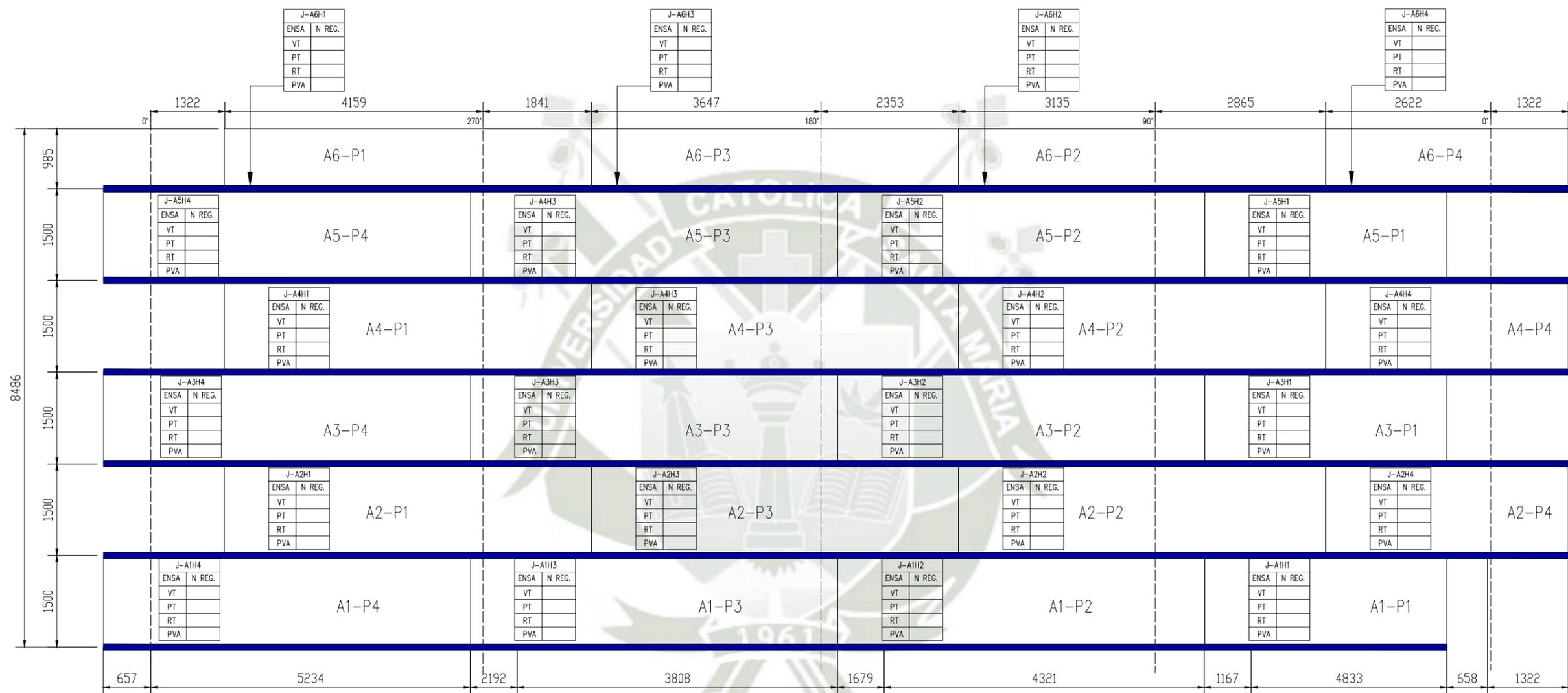
PROCEDIMIENTOS DE CONTROL DE CALIDAD DE UNIONES
SOLDADAS POR FCAW PARA LA FABRICACION DE UN TANQUE
DE ALMACENAJE PARA AGUA INDUSTRIAL

Fecha:
10/12/2018

Escala:
INDICADA

Plano:
9

Hoja:
9/14



DESARROLLO EXTERIOR
ESCALA 1:50



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIAS FISICAS Y FORMALES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA, MECANICA ELECTRICA Y MECATRONICA

Elaborado:

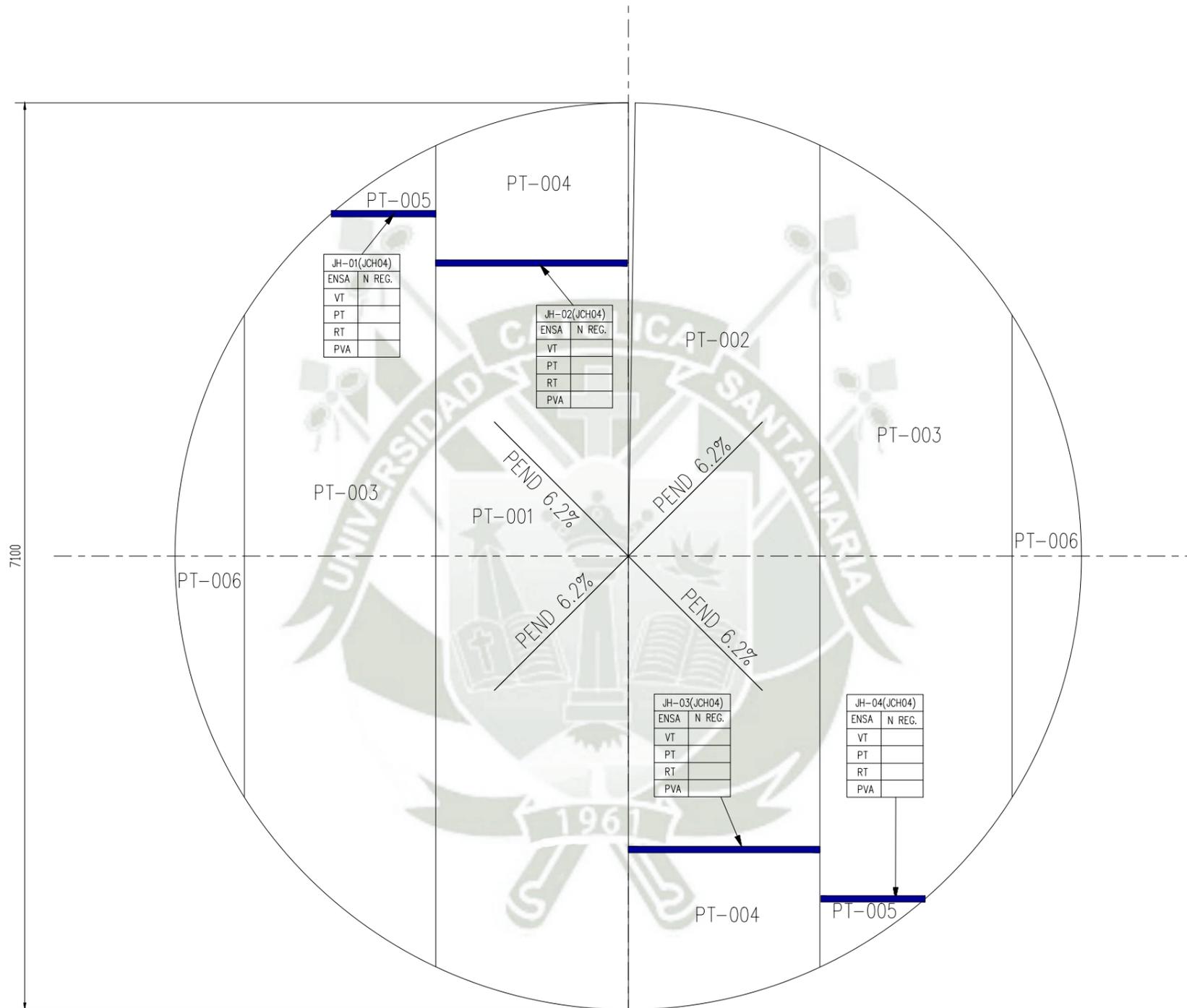
Bach. JULIO MACHACCA
HUACARPUMA

Plano:

DISTRIBUCION
DE PLANCHAS
DEL CASCO

PROCEDIMIENTOS DE CONTROL DE CALIDAD DE UNIONES
SOLDADAS POR FCAW PARA LA FABRICACION DE UN TANQUE
DE ALMACENAJE PARA AGUA INDUSTRIAL

Fecha:	Escala:	Plano:	Hoja:
10/12/2018	INDICADA	10	10/14



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
 FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIAS FISICAS Y FORMALES
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA, MECANICA ELECTRICA Y MECATRONICA

Elaborado:

Bach. JULIO MACHACCA
 HUACARPUMA

Plano:

DISTRIBUCION
 DE PLANCHAS
 DEL CASCO

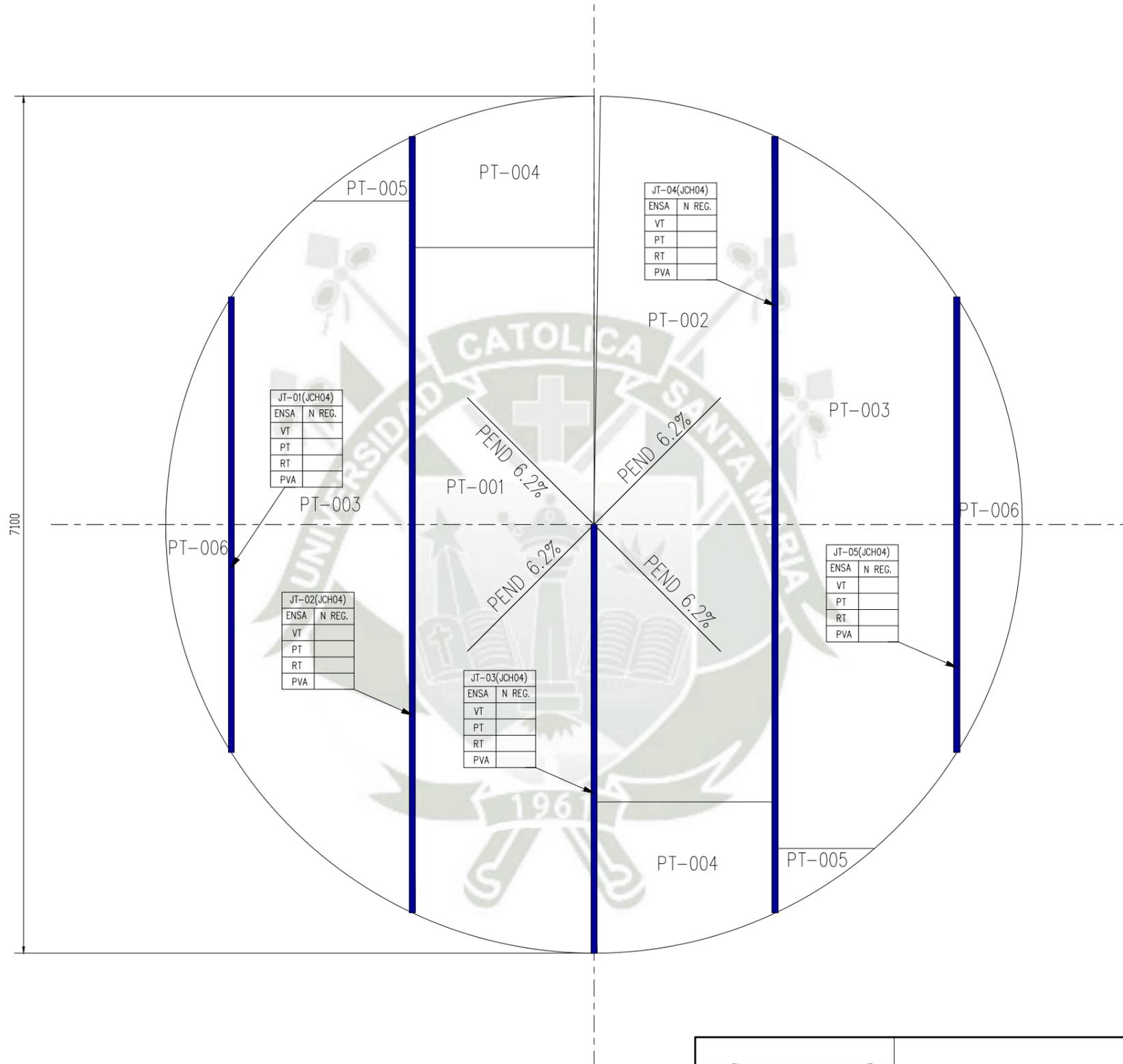
PROCEDIMIENTOS DE CONTROL DE CALIDAD DE UNIONES
 SOLDADAS POR FCAW PARA LA FABRICACION DE UN TANQUE
 DE ALMACENAJE PARA AGUA INDUSTRIAL

Fecha:
 10/12/2018

Escala:
 INDICADA

Plano:
 11

Hoja:
 11/14



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
 FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIAS FISICAS Y FORMALES
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA, MECANICA ELECTRICA Y MECATRONICA

Elaborado:

Bach. JULIO MACHACCA
 HUACARPUMA

Plano:

DISTRIBUCION
 DE PLANCHAS
 DEL CASCO

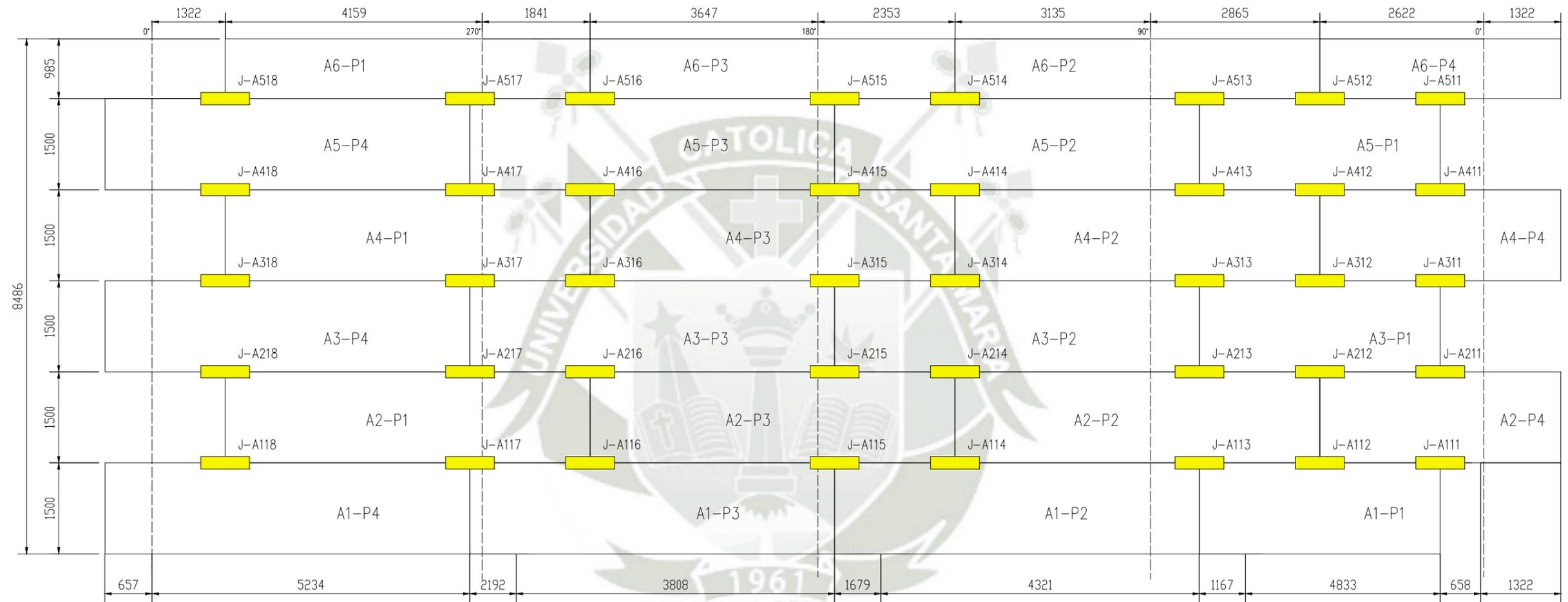
PROCEDIMIENTOS DE CONTROL DE CALIDAD DE UNIONES
 SOLDADAS POR FCAW PARA LA FABRICACION DE UN TANQUE
 DE ALMACENAJE PARA AGUA INDUSTRIAL

Fecha:
 10/12/2018

Escala:
 INDICADA

Plano:
 12

Hoja:
 12/14



DESARROLLO EXTERIOR
ESCALA 1:50



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIAS FISICAS Y FORMALES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA, MECANICA ELECTRICA Y MECATRONICA

Elaborado:

Bach. JULIO MACHACCA
HUACARPUMA

Plano:

DISTRIBUCION
DE PLANCHAS
DEL CASCO

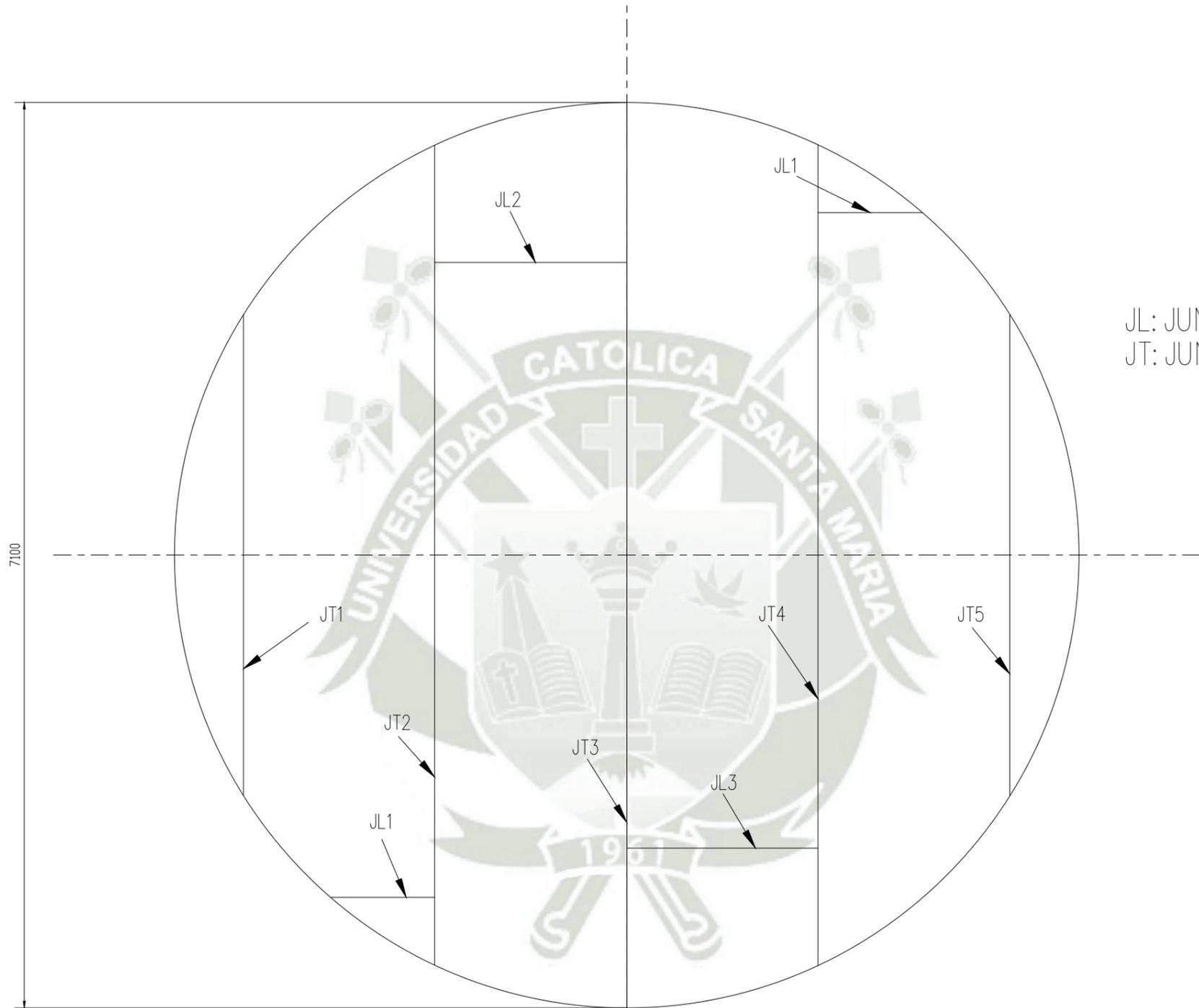
PROCEDIMIENTOS DE CONTROL DE CALIDAD DE UNIONES
SOLDADAS POR FCAW PARA LA FABRICACION DE UN TANQUE
DE ALMACENAJE PARA AGUA INDUSTRIAL

Fecha:
10/12/2018

Escala:
INDICADA

Plano:
13

Hoja:
13/14



JL: JUNTA LONGITUDINAL
 JT: JUNTA TRANSVERSAESL

WELDING MAP
 ESCALA 1:20



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
 FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIAS FISICAS Y FORMALES
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA, MECANICA ELECTRICA Y MECATRONICA

Elaborado:	Plano:	PROCEDIMIENTOS DE CONTROL DE CALIDAD DE UNIONES SOLDADAS POR FCAW PARA LA FABRICACION DE UN TANQUE DE ALMACENAJE PARA AGUA INDUSTRIAL			
Bach. JULIO MACHACCA HUACARPUMA	DISTRIBUCION DE PLANCHAS DEL CASCO	Fecha:	Escala:	Plano:	Hoja:
		10/12/2018	INDICADA	14	14/14