

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad Ingeniería



**Sistematización del proceso de fabricación y montaje de un tanque cilíndrico cónico
en una empresa guatemalteca en el año 2017**

Trabajo de graduación en modalidad de trabajo profesional presentado por:

Guissela María Colom Ramírez

para optar al grado académico de Licenciada en Ingeniería Mecánica

Guatemala

2018

Sistematización del proceso de fabricación y montaje de un tanque cilíndrico cónico en una empresa guatemalteca en el año 2017

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad Ingeniería



**Sistematización del proceso de fabricación y montaje de un tanque cilíndrico cónico
en una empresa guatemalteca en el año 2017**

Trabajo de graduación en modalidad de trabajo profesional presentado por:

Guissela María Colom Ramírez

para optar al grado académico de Licenciada en Ingeniería Mecánica

Guatemala

2018

(f) 
Raúl Eduardo Loarca Velásquez

Tribunal Examinador:

(f) 
Raúl Eduardo Loarca Velásquez

(f) 
Víctor Hugo Ayerdi Bardales

(f) 
Rony Jose Herrarte Estevez

Fecha de aprobación: Guatemala, 10 de diciembre de 2018

ÍNDICE

LISTA DE CUADROS	iii
LISTA DE FIGURAS	v
RESUMEN	vii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	2
III. JUSTIFICACIÓN	3
IV. MARCO TEÓRICO	4
A. Sistematización:	4
B. Tipos de tanques cilíndricos cónicos	4
C. Equipo auxiliar del tanque cilíndrico cónico	5
D. Equipo auxiliar del proceso de fabricación	7
E. Equipo auxiliar al proceso de montaje	8
F. Aislamiento térmico:	9
G. Automatización y la industria	11
H. Manufactura y procesos involucrados en el material	12
V. ANTECEDENTES	17
VI. METODOLOGÍA	18
A. Recepción de los complementos del tanque	18
B. Organización del personal	22
C. Diagrama de personal involucrado en el proyecto y empresas subcontratadas	24
D. Análisis de técnica de revisión y evaluación del proceso (PERT)	26
E. Ruta crítica:	28
F. Organización del espacio disponible para el proyecto:	29
G. Análisis de ingeniería para el cilindro cónico:	29
H. Descripción del diseño del tanque cilíndrico cónico	42
I. Seguridad y reglamento del área	43

J. Preparación del área de montaje	46
K. Procesos de fabricación	48
L. Procesos de montaje	49
M. Pruebas	62
N. Sistematización de procesos del proyecto	65
O. Procesos de mantenimiento preventivo recomendado	69
P. Resultados	71
VI. DISCUSIÓN.....	77
VII. CONCLUSIONES.....	79
VIII. RECOMENDACIONES.....	81
IX. Bibliografía.....	82
X. Anexos	84
XI. Glosario.....	94

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Certificados que deben ser inspeccionadas antes que el material entre al almacén	19
Cuadro 2. Relación de propiedades e instrumentos de medición.....	19
Cuadro 3. Esquema de autoridades del proyecto	22
Cuadro 4. Funciones y especialidades ejercidos en el proyecto	23
Cuadro 5. Jerarquía de los encargados del proyecto	24
Cuadro 6. Personal y empresas participantes en el proyecto.....	24
Cuadro 7. Proceso para realizar análisis PERT	26
Cuadro 8. Actividades del proyecto para análisis PERT.....	27
Cuadro 9. Relación entre actividades con predecesora inmediatas	28
Cuadro 10. Áreas de trabajo según el proceso o actividad a realizar.....	29
Cuadro 11. Elementos principales que conforman el tanque.....	29
Cuadro 12. Volumen total del tanque de acero inoxidable.....	31
Cuadro 13. Número, espesor y altura de anillos que conforman el tanque	32
Cuadro 14. Propiedades del fluido y del tanque	32
Cuadro 15. Simulación del tanque en Autodesk Inventor 2019	32
Cuadro 16. Valores de ecuación de presión hidrostática.....	33
Cuadro 17. Alturas consideradas para el cálculo de presiones hidrostáticas del cono	33
Cuadro 18. Presiones que actúan sobre el cono y la tapa.....	34
Cuadro 19. Punto de referencia para cálculo de presiones	34
Cuadro 20. Diagrama de cuerpo libre mostrando los esfuerzos de un cilindro de pared delgada	36
Cuadro 21. Esfuerzos equivalentes de Von Mises y factores de seguridad de los anillos	40
Cuadro 22. Factores de seguridad tomando en cuenta la soldadura interna y externa	40
Cuadro 23. Simulación de coeficiente de seguridad	41
Cuadro 24. Planos ejes y origen del diseño	41
Cuadro 25. Masa y volumen de las soldaduras	42
Cuadro 26. Ventajas que el tanque sea cilíndrico cónico	42
Cuadro 28. Medidas de seguridad planteadas por el técnico especialista	43
Cuadro 29. Protección de ojos y cara según la tarea que se realice	44
Cuadro 30. Requisitos básicos para realizar proceso de soldadura	46
Cuadro 31. Diagrama de proceso de la preparación del proyecto.....	47
Cuadro 32. Actividades que se llevaron a cabo en el proceso de fabricación.....	48
Cuadro 33. Actividades y procesos que se llevan a cabo en proceso de montaje	49
Cuadro 34. Técnica para tanques simple pared simple imagen	63
Cuadro 35 Características a analizar mediante una radiografía	64
Cuadro 36. Esquema de inspección al tanque cilíndrico cónico.....	69

Cuadro 37. Listado de métodos de limpieza según ASTM	70
Cuadro 38. Manhole de un tanque de acero inoxidable.....	70
Cuadro 39. Criterios que deben presentarse en el formulario de inspección y verificación	72
Cuadro 40. Tiempos en los que se estima la culminación de las tareas en días	72
Cuadro 41. Actividades que son sensibles en el proyecto.....	73
Cuadro 42. Presiones hidrostáticas en cada uno de los anillos del tanque.....	73
Cuadro 43. Presión hidrostática del cono solamente	74
Cuadro 44. Presiones hidrostáticas de la columna de fluido total y del cono	74
Cuadro 45. Esfuerzos circunferenciales y longitudinales en la soldadura	74
Cuadro 46. Factor de seguridad en cada uno de los anillos y cono según Von Mises	74
Cuadro 47. Deformación en el eje X	75
Cuadro 48. Deformaciones en el eje Y.....	75
Cuadro 49. Deformaciones del tanque en el eje z	76
Cuadro 50. Mantenimiento preventivo según frecuencia	76

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Tanque cilíndrico cónico de la empresa.....	3
Figura 2. Tanques cilíndricos tipo soldados	4
Figura 3. Tanques cilíndricos pernados	5
Figura 4. Válvula de paleta con actuador neumático	6
Figura 5. Accesorios de acero inoxidable 304	7
Figura 6. Sistema de bombeo por medio de bomba de diafragma	7
Figura 7. Grúa autopropulsada de 80 toneladas.....	8
Figura 8. Ensamble de andamios para un cilindro	9
Figura 9. Aislamiento con espumas de una tubería	9
Figura 10. Aislamiento en tuberías con espumas de poliuretano	9
Figura 11. Esquema del aislamiento de un tanque en vista frontal y planta.....	10
Figura 12. Aislamiento de espuma de poliuretano	10
Figura 13. Caja para los sensores del tanque.....	11
Figura 14. Cajas para sensores colocados en tres anillos del tanque.....	12
Figura 15. Soldadura TIG en tuberías de acero inoxidable 304.....	13
Figura 16. Sistema de dispositivos utilizados para realizar soldadura MIG	13
Figura 17. Punteado de tubos de acero inoxidable del tanque cilíndrico cónico	14
Figura 18. Aplicación del líquido penetrante en las líneas de soldadura	15
Figura 19. Radiografía de soldadura con porosidad	16
Figura 20. Limpieza previa del micrómetro	20
Figura 21. Placa colocada en el yunque del micrómetro	20
Figura 22. Graduación del 0 con la brújula.....	21
Figura 23. Ajuste y bloqueo de tambor.....	21
Figura 24. Metodología para medir altura de placas	22
Figura 25. Techo y primeros anillos del tanque	30
Figura 26. Semicono ensamblado al cimiento del tanque por medio de pernos	30
Figura 27. Cono ensamblado al cimiento del proyecto	30
Figura 28. Cimiento con veinticuatro pernos para el tanque a montar	47
Figura 29. Dos de las cuatro columnas que soportan el peso de manera distribuida	48
Figura 30. Andamios simples listos para ensamblarse brindados por la empresa	50
Figura 31. Andamios simples ensamblados.....	50
Figura 32. Montaje de andamios industriales previo al proceso de instalación de aislamiento térmico.....	51
Figura 33. Brida para la movilización de conos.....	52
Figura 34. Traslado de cono por medio de la brida instalada por pernos.....	52
Figura 35. Ensamble del cono al semicono por medio de soldadura	53

Figura 36. Cono principal con tuberías ensambladas	53
Figura 37. Ensamble de ocho anillos de acero inoxidable	54
Figura 38. Ensamble de anillos de acero inoxidable	55
Figura 39. Ensamble del techo toriesférico con el primer anillo	55
Figura 40. Pasarelas montadas en la parte superior del tanque.....	56
Figura 41. Máquina de inyección de aislante térmico conformada por una válvula de diafragma	57
Figura 42. Espuma separadora en forma de lámina	57
Figura 43. Vigas de espuma separadora de 142 cm	58
Figura 44. Espumas separadoras almacenadas en bolsas	58
Figura 45. Vigas espaciadoras de acero inoxidable 304 roladas.....	59
Figura 46. Espumas separadoras pegadas al tanque por medio de adhesivo	59
Figura 47. Espumas y vigas separadoras ensambladas.....	60
Figura 48. Vigas de acero inoxidable alrededor del primer anillo del tanque	60
Figura 49. Laminas instaladas por medio de pernos	61
Figura 50. Compresor de la máquina de inyección de poliuretano	61
Figura 51. Espuma de poliuretano dentro del tanque	62
Figura 52. Aplicación de líquidos penetrantes en las soldaduras	62
Figura 53. Defecto típico indicado por el método del líquido penetrante	63
Figura 54. Negatoscopio para impresión de radiografías de soldadura	64

RESUMEN

Para lograr que un líquido logre conservar ciertas propiedades, tanto físicas como químicas y mantener la temperatura que se requiere, es de suma importancia contar con la presencia de un tanque. En este caso, tomando en cuenta que es una aplicación industrial, se trata de un tanque cilíndrico cónico, el cual tiene 15 grados de inclinación; en el momento que el mismo se esté fabricando y posteriormente se esté montando, es imprescindible que se cumplan las normas y especificaciones al pie de la letra. En dichos procesos, se debe tomar en cuenta la seguridad del personal que está involucrado, de lo contrario, si no es tomado en cuenta, dichos hombres pueden incurrir en lesiones o en el peor de los casos, morir.

El presente trabajo de investigación consiste en analizar el desarrollo de fabricación y montaje de un tanque cilíndrico cónico, en el cual se almacena un líquido y este sufre cambios químicos. Dicho tanque mide 21.8 metros de altura, un diámetro interno de 7.2 metros y su capacidad máxima es de 6600 HI. En el mismo se relatan los detalles y la función de cada equipo auxiliar utilizado, los procesos que se realizan, con el fin de llevar a cabo la fabricación y montaje, los cuales son ampliamente detallados. Así mismo, relata y analiza los procesos de instalación de algunos equipos y aislamientos, que son indispensables y trascendentes para que el tanque cumpla con su función principal. De igual manera, el trabajo presenta un análisis financiero, en el cual se presenta una estimación de la inversión requerida para el proyecto analizado.

Actualmente, el tanque que se describe en dicho trabajo, es parte de un grupo de cuatro tanques que están en procesos de construcción en una de las empresas más grandes de la ciudad, que con el transcurso del tiempo ha crecido físicamente, y así mismo, ha aumentado la producción diaria en planta. Este tanque, es indispensable para el proceso que se maneja en dicha empresa, por lo cual, el proceso de fabricación y montaje debe de realizarse a la brevedad posible.

I. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo llamado, Sistematización del proceso de la fabricación y montaje de un tanque cilíndrico cónico en una empresa guatemalteca, se refiere a una actividad que se realiza en diferentes empresas a nivel nacional e internacional. La característica principal de la sistematización de procesos, ya sea en una empresa grande o pequeña, tiene como fin aportar una metodología eficiente, eficaz y detallada de cada una de las actividades presentes en los procesos. En este caso, una empresa guatemalteca líder carece de una sistematización del proceso y desarrollo de la fabricación y montaje de un tanque cilíndrico cónico. En un sistema de fabricación y montaje de tanques de almacenamiento, existe una diversidad de equipos y procesos que contribuyen con el buen desempeño del sistema. Estos procesos pueden ser, por mencionar algunos: verificación de existencia de todo el material, inspección y verificación de piezas, fabricación, montaje, mantenimiento entre otros. El buen desempeño de cada uno de estos procesos mencionados, contribuyen a la optimización de los recursos en las empresas y aseguran la vida de los trabajadores que laboran en dicha empresa.

El interés de realizar el presente trabajo, surgió de la necesidad de que, a pesar de tener un proceso ya establecido, no se contaba con una sistematización del proceso como tal. Para poder realizar una sistematización de este proceso, se cuenta con la colaboración de uno de los técnicos especializados contratados por la empresa. Así mismo, se le brinda a la empresa, mediante un análisis, distintos datos trascendentales, tales como las presiones internas del tanque, los esfuerzos principales en cada una de las soldaduras y los factores de seguridad críticos. Se hace énfasis en los factores de seguridad, debido a que el tanque tiene 21.8 metros de altura y Guatemala es un país sísmico. Se obtiene que los factores críticos son de 4.26 y 3.58 ubicados entre el cono y el anillo 8. Otra de las inquietudes a conocer, se le brinda a la empresa una simulación de cómo el tanque se deforma en sus tres ejes, mediante el software Autodesk Inventor 2019.

En el presente trabajo se presenta: primero un marco teórico general donde se describen todos los conceptos que se deben conocer para llevar a cabo dicho proceso. Luego se expone lo observado en la empresa, la metodología, relatando de manera detallada los procesos que actualmente la empresa practica y los que se le recomienda a la empresa que se practiquen. Procediendo después, a realizar una discusión de resultados para luego dar conclusiones y recomendaciones a la empresa para llevar a cabo dicho proceso de la mejor manera.

II. OBJETIVOS

A. General

1. Sistematizar el proceso de fabricación y montaje de un tanque cilíndrico cónico de acero inoxidable AISI 304, de 6600HI de capacidad, de 7.2m de diámetro interno y 21.8 metros de altura en una empresa guatemalteca.

B. Específicos

1. Documentar el proceso de recepción de los componentes semiterminados del tanque cilíndrico cónico.
2. Documentar el proceso de fabricación de un tanque cilíndrico cónico.
3. Documentar el proceso de montaje de un tanque cilíndrico cónico.
4. Interpretar los resultados de las pruebas no destructivas, realizadas al tanque cilíndrico cónico.
5. Calcular los esfuerzos en las soldaduras aplicadas en los puntos críticos del cono.
6. Calcular las deformaciones inducidas por el peso del líquido.
7. Establecer un proceso de seguridad industrial en el proceso de fabricación y montaje de un tanque de estas dimensiones.

III. JUSTIFICACIÓN

A lo largo de la historia, la empresa guatemalteca, ha tenido prestigio por la calidad y cantidad del producto que se elabora en la misma. Dicha empresa, posee varios tanques cilíndrico cónico, los cuales hacen que el fluido cambie sus propiedades debido a un proceso químico. Con estos tanques, la empresa logra producir aproximadamente doscientos millones de botellas al año con el producto que elaboran. Sin embargo, la empresa elige aumentar esta producción en el año 2016, y para llegar a cumplir el objetivo propuesto, la empresa decide construir cuatro tanques adicionales.

Uno de los cambios a realizar, es aumentar el número de tanques cilíndricos cónicos, para tener un total de treinta y cuatro. Aumentar la cantidad de tanques de este tipo, es una acción indispensable para el crecimiento tanto de la empresa, como de la producción que actualmente se maneja, esto debido a la posibilidad de disponer de una mayor capacidad de almacenaje del fluido producido a corto plazo.

Figura 1. Tanque cilíndrico cónico de la empresa



IV. MARCO TEÓRICO

A. Sistematización:

Es la acción de organizar algo según un sistema. El objetivo de un proceso de sistematización es facilitar que los actores de los procesos de desarrollo se involucren en procesos de aprendizaje. La sistematización describe y da a entender qué sucedió durante una experiencia de desarrollo y por qué pasó lo que pasó (Mejía, 2000).

B. Tipos de tanques cilíndricos cónicos

1. Tanques soldados: Son los tanques construidos generalmente, para almacenar capacidades mayores. Para su construcción en el campo, es necesario contar con el personal especializado para los procesos de soldadura. Una de las ventajas con otros tipos de tanques, es que las juntas de unión de las planchas son permanentes, evitando así las fugas que regularmente se presentan después de un tiempo de servicio. En la empresa guatemalteca se utiliza esta técnica de ensamble, debido a que es la más confiable cuando se trata de almacenaje de líquidos.

Figura 2. Tanques cilíndricos tipo soldados



2. Tanques con pernos: Los tanques empernados son construidos para patios de tanques de pequeña capacidad, o plantas de producción cuya operación estimada es temporal, siendo su desmontaje un proceso sencillo y uso mínimo de personal especializado.

Figura 3. Tanques cilíndricos pernados



En el caso del proyecto que se relata en este trabajo de investigación, se utiliza un tanque soldado, ya que el fluido que se almacenará no será reemplazado una vez el proceso finalice, por esta razón, el tanque permanecerá por mucho tiempo en la empresa, a menos que el mismo sufra daños extremos que obliguen a cambiar el tanque por uno nuevo.

C. Equipo auxiliar del tanque cilíndrico cónico

1. Válvulas de mariposa: En estas válvulas se encuentra un disco relativamente delgado y suave que pivotea sobre un eje vertical. Cuando está abierta por completo, sólo la dimensión delgada del disco queda frente al flujo, lo que solo causa una obstrucción pequeña. El cierre de la válvula sólo requiere de un cuarto de vuelta de la llave, y es frecuente que esto se realice por medio de un mecanismo de motor o algún actuador (Mott, 2006).

Figura 4. Válvula de paleta con actuador neumático



2. Tuberías y accesorios:

a. Los conductos: El término tubería se aplica de manera amplia al tubo, accesorios, válvulas y otros componentes que conducen fluidos en cualquier fase. Estas estructuras, que trasladan fluidos, se dividen en conductos rígidos y flexibles; siendo estos tubos y mangueras respectivamente. Los tubos se fabrican de diversos materiales dependiendo de la aplicación que se requiera. Entre estos materiales están; hierro colado, acero, cobre, plomo, latón, níquel, cerámica, vidrio y materiales plásticos sintéticos (Luszczewski, 2004). En el caso del proyecto de investigación, se describe un proceso en donde se utiliza tubos de acero inoxidable. En la industria química y alimenticia se utiliza acero inoxidable para el movimiento de ácido nítrico, fluidos de alimentos, etc.

b. Las uniones: Hay dos tipos de uniones, las removibles y las permanentes. Los conductos que están unidos permanentemente son soldados. Para realizar la unión de las uniones soldadas, es necesario calcular la soldadura de la misma por resistencia mecánica (Luszczewski, 2004).

Figura 5. Accesorios de acero inoxidable 304



D. Equipo auxiliar del proceso de fabricación

Para llevar el proceso de manufactura es necesario disponer de cierto equipo y maquinaria auxiliar.

1. **Máquina de inyección de espuma:** Esta máquina contiene una bomba de diafragma, la cual se encarga de transportar la mezcla de las sustancias que conforman el poliuretano. Como se muestra en la Figura 6, la bomba se encuentra directamente en los tanques de las mismas y por medio de mangueras se conduce a donde se quiere aplicar la espuma. Las mangueras que se utilizan en esta máquina, son de gran longitud, pues la máquina no se puede mover de un lugar a otro, debido el proceso requiere un funcionamiento en un sitio fijo, debido a la falta de espacio que se tiene en el área de trabajo, y a la falta de ruedas para facilitar el movimiento de la máquina sin tener que recurrir a un transporte que la mueva.

Figura 6. Sistema de bombeo por medio de bomba de diafragma



E. Equipo auxiliar al proceso de montaje

1. **Grúas:** Las grúas equipo tipo industrial que posibilitan realizar movimientos de elevación y distribución de cargas en el espacio, suspendidas de un brazo o gancho de movimiento, dependiendo el tipo e grúa que sea. Gran variedad de grúas son adaptadas a un fin específico: puentes-grúa, polipasto o grúa suspendida, grúa pórtico, grúa giratoria, grúa autopropulsada etc. Las grúas autopropulsadas constituyen una variación de las grúas giratorias. La finalidad de este tipo de grúas, es el poder desempeñar labores de elevación y transporte, sin la necesidad de realizar operaciones previas de montaje e instalación (Comesaña, 2004).

Figura 7. Grúa autopropulsada de 80 toneladas



2. **Andamios:** Los andamios son estructuras de carácter provisional, de una altura máxima habitual de unos 30 metros, aunque en ocasiones es superada dicha dimensión. Los andamios son utilizados para sustentar las plataformas de trabajo situadas a distintas alturas. Deben soportar los esfuerzos a los que se someten durante la realización de los trabajos, cumpliendo una serie de condiciones de seguridad. Los andamios también deben ser estables, formado por elementos que aseguren un acceso y un tránsito fácil, cómodo y que garantice la seguridad en la ejecución de los trabajos y del personal que está en el área (Montaje Roldán, 2015).

Figura 8. Ensamble de andamios para un cilindro



F. Aislamiento térmico:

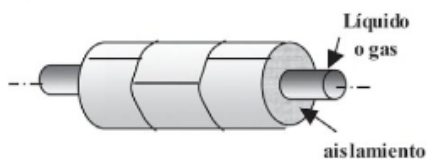
1. Tuberías: Existen distintas maneras en las que un recipiente o tubería se puede llegar a aislar. Hay recipientes que son aislados con mantas formadas de papel y aluminio y otros con aislamientos con espumas. Esta metodología es aplicada para las tuberías y canalizaciones de fluidos criogénicos (Pérez, 2013).

Figura 9. Aislamiento con espumas de una tubería



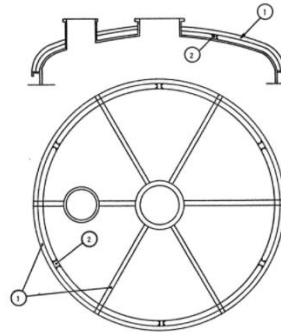
Este método se aplica en el caso de temperaturas con balances térmicos más pequeños en relación a la temperatura ambiente. El costo es mucho más económico y puede compensar su utilización analizando las pérdidas equivalentes con otra tubería aislada con vacío (Pérez, 2013).

Figura 10. Aislamiento en tuberías con espumas de poliuretano



2. **Tanques cilíndricos:** El aislamiento térmico en los tanques puede tener también como objetivo reducir la cantidad de energía necesaria para mantener el equilibrio del proceso y evitar el flujo de calor a través del material. Esto es gracias a las instalaciones de aislamiento reduciendo así pérdidas de calor (AFELMA (Asociación de Fabricantes Españoles de Lanas Minerales Aislantes), 2017).

Figura 11. Esquema del aislamiento de un tanque en vista frontal y planta



3. **Poliuretano:** El poliuretano rígido es el material aislante térmico más eficiente y duradero. Tiene baja conductividad térmica, conferida por su estructura celular cerrada y su innovadora tecnología de fabricación, lo han puesto a la cabeza de los productos que colaboran en el ahorro de energía a través del aislamiento térmico. Es uno de los polímeros más utilizados en las industrias (Asociación de la Industria del Poliuretano, 2006).

Figura 12. Aislamiento de espuma de poliuretano



G. Automatización y la industria

1. **Sensores:** Un sensor es un dispositivo capaz de detectar señales de determinadas magnitudes y transformarlas en otras magnitudes, que usualmente son señales de tensión o corriente, y que pueden ser entendidas por un controlador. Las variables de un proceso industrial son aquellas magnitudes que van a ser controladas y supervisadas, pues afectan directamente al comportamiento del sistema automático (Monzó, 2014).

a. **Sensores PT100:** Los sensores más habituales en la industria, para el caso concreto de medición de temperaturas son termopares, termistores, detectores de temperatura resistivos y sensores de temperatura de estado sólido. Entre estas categorías se encuentra el sensor Pt100, el cual es fabricado con platino (Pt) y tiene una resistencia de 100 a 0 °C. Estos sensores son muy utilizados en las industrias debido a que pueden trabajar en temperaturas que oscilan entre los -200°C y soportan temperaturas hasta 850°C (Vizcaíno, 2007). En los tanques, que se hablan en este trabajo de investigación se utilizan los sensores PT100, siendo estos guardados e instalados en el tanque por medio de las cajas que se muestran en la figura 13.

b. **Sensores de inductivos:** Los sensores inductivos están basados en la ley de inducción de Faraday. El sensor inductivo provoca una variación de flujo magnético para generar una corriente eléctrica en una bobina. Los sensores inductivos entran en la rama de sensores de posición y velocidad (Ros, 2017).

Figura 13. Caja para los sensores del tanque



Figura 14. Cajas para sensores colocados en tres anillos del tanque



c. **Automatización:** En los sectores industriales, comerciales, de servicios y hasta residenciales existen aplicaciones en donde se requiere de un control para activar, o, desactivar series de máquinas. Con el fin de suplir esas necesidades, existen hoy en día, controladores lógicos, los cuales tienen entradas y salidas digitales. Las entradas se conectan a elementos como pulsadores, switches, microswitch, sensores ópticos, magnéticos y capacitivos, como variables de detección de temperatura, presión, nivel, humedad, entre otros. Para las salidas, se conectan actuadores digitales para controlar potencia principalmente de motores, válvulas y entre otros (Álvarez Salazar & Mejia, 2017). Entre el equipo electrónico utilizado en la empresa, se utilizan los PLC. El PLC puede manejar la lógica y secuencia de los procesos haciendo arreglos de las combinaciones que se puedan dar entre entradas y salidas y el uso de herramientas como temporizadores y contadores (Mandado, Acevedo, Fernandez, & Armesto, 2009).

H. Manufactura y procesos involucrados en el material

1. **Soldadura TIG:** La soldadura GTAW (TIG) se considera una de las técnicas más versátiles de todos los procesos de soldadura. Mediante este tipo se lleva a cabo soldaduras de alta calidad en cualquier metal, posición y espesor de chapa, placa o tubo. Este proceso es más limpio comparado con los otros tipos de procesos de soldadura que existen, ya que no deja residuos de escoria, tal como ocurre en la mayoría de soldaduras. Para la soldadura TIG se pueden utilizar los dos tipos de corriente de soldadura, a menudo denominados polaridades.

En este tipo de soldadura se utilizan porta electrodos de soldadura de arco de tungsteno (Jeffus, 2008). El esfuerzo admisible está dado por la siguiente ecuación:

$$\sigma_{adm} = \frac{P}{h \cdot l}$$

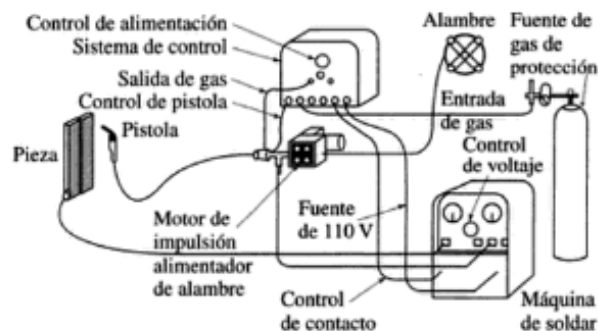
Siendo h la altura, P la carga y L la longitud del cordón.

Figura 15. Soldadura TIG en tuberías de acero inoxidable 304



2. Soldadura MIG: El sistema MIG protege el área de soldadura con una atmósfera inerte de argón, helio, dióxido de carbono o varias otras mezclas de gases. El alambre desnudo consumible, se alimenta al arco en forma automática a través de una boquilla. Además de usar gases inertes de proyección, en el metal del electrodo suele haber desoxidantes para evitar la oxidación del metal fundido (Kalpakjian, Serope, Schmid, & Steven R., 2002).

Figura 16. Sistema de dispositivos utilizados para realizar soldadura MIG

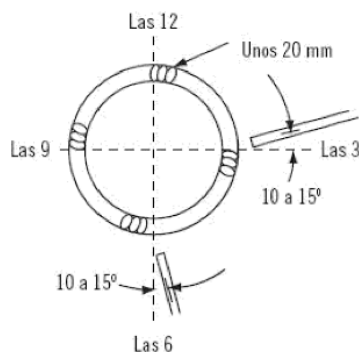


3. **Técnicas de soldadura en tuberías:** La soldadura de tuberías es el proceso más complejo de los tipos de uniones. Para ello, se alinean los tubos con ayuda de abrazaderas o instrumentos para posicionar y se puntean en la posición correcta. Una vez unidos, se colocan en viradores, que los van girando, y se va realizando toda la soldadura en posición horizontal. Este proceso de soldadura en tuberías se realiza por medio de MIG, ya que se evita escoria y se consigue mayor resistencia a la corrosión, soldaduras limpias de contaminación, más dúctiles y fuertes.

4. **Técnicas de punteado en tuberías:** Cuando se realiza un proceso de montaje y alineación de tuberías, lo que se realiza previamente es la verificación de que las posiciones estén de acuerdo al plano y alineación de las mismas para luego proceder al punteado de las secciones. Para que el punteado se realice de forma correcta, se debe seguir algunas indicaciones:

- a. Mínimo de 4 puntos de unos 20 mm de longitud debidamente espaciados
- b. La penetración de los puntos es hasta el fondo de la junta
- c. Dirigir el cordón hacia la raíz de la junta, sin ejercer tanta presión

Figura 17. Punteado de tubos de acero inoxidable del tanque cilíndrico cónico



5. **Soldadura SMAW:** Conocida también como soldadura eléctrica, es un proceso de unión de metales más antiguos que existe. Consiste en la utilización de un electrodo con un determinado recubrimiento, según las características específicas. A través del mismo se hace circular un determinado tipo de corriente eléctrica, ya sea esta de tipo alterna o directa. El material que se utiliza es un electrodo, el cual es una varilla metálica, generalmente de acero, recubierta de un revestimiento concéntrico de flux extruido y seco.

6. Equipo auxiliar y pruebas

a. **Ensayos no destructivos:** Se le llama así a los ensayos o pruebas que se realizan sobre los materiales en los que no se alteran de forma permanente sus propiedades químicas, físicas, mecánicas o dimensionales.

b. **Líquidos penetrantes:** Este ensayo permite detectar los defectos abiertos a la superficie, que, en ciertos casos, como en recipientes a presión o en piezas sometidas a esfuerzos, pueden ser los más peligrosos y llegar a ser causa de rotura. Este ensayo se basa en que un líquido aplicado sobre la superficie limpia de la pieza, penetre en las discontinuidades que afloran a la superficie, debido principalmente al efecto capilar, de forma que, al limpiar el exceso de líquido de la superficie, quede solamente el líquido introducido en las discontinuidades (AEND, 2002).

Figura 18. Aplicación del líquido penetrante en las líneas de soldadura



c. **Hidrostáticas:** Las pruebas hidrostáticas, pertenecen a la rama de los ensayos no destructivos, en donde se intenta simular las condiciones en las que el tanque se va a exponer cuando esté en funcionamiento.

d. **Radiografías:** Las técnicas radiográficas tienen varias ventajas; entre otras, permiten obtener imágenes en dos dimensiones de la discontinuidad del sólido, facilitan la inspección de formas complejas y difíciles de ensayar con otras técnicas, son aplicables a todo tipo de materiales, y permiten la grabación permanente de las imágenes obtenidas. Habitualmente se examinan mediante radiología industrial componentes procedentes de moldeo o forja, así como soldaduras (Nuñez, Roca, & Jorba, 2011).

Figura 19. Radiografía de soldadura con porosidad



El grado de densidad, según la norma API 650, se interpreta por medio de grados establecidos. El rango de grados es de 4 como máximo y 2 como mínimo. En caso que la línea de soldadura tenga un grado menor o mayor a dicho rango, la norma lo rechaza. Las discontinuidades, en este caso la porosidad, es formada por la emanación de gases en la parte posterior del baño de soldadura durante la solidificación. La porosidad puede aparecer de forma uniformemente distribuida, en grupos y alineada. Otros parámetros de soldadura inadecuados que indican que existe porosidad en dicha radiografía, son las sobre corrientes y el arco demasiado largo.

7. PERT: Las técnicas de revisión y evaluación son un método estadístico y modelo de administración y gestión de proyectos que tiene como función planificar proyectos en los que se debe coordinar un número de actividades. Básicamente, lo que pretende dicho método, es analizar cada una de las tareas involucradas para completar un proyecto en su totalidad (Sharma, 2006).

8. Mantenimiento en la industria: El propósito del mantenimiento es incrementar la confiabilidad de los sistemas de producción al realizar actividades, tales como planeación, organización, control y ejecución de métodos de conservación de los equipos, y sus funciones van más allá de las reparaciones. La prolongación o la recuperación de las funciones de la maquinaria está directamente relacionada con el mantenimiento. Sus objetivos son prevenir eventos indeseables y evitarlos, recobrar para el servicio de los mecanismos que han fallado y, en general, asegurar la disponibilidad apropiada para la producción (Gutiérrez, 2009). El mantenimiento que se le brinda a los tanques, mencionados en este trabajo de investigación, es el preventivo. El cual son actividades que se desarrollan previo a que el equipo entre en funcionamiento, evitando así posibles rupturas o daños que se puedan dar durante el transcurso del tiempo.

V. ANTECEDENTES

A finales de octubre del año dos mil dieciséis, se comenzó a realizar prácticas profesionales en una empresa de Guatemala. Dichas prácticas, se realizan en el área de ingeniería mecánica en el área de mantenimiento de la planta. El jefe de dicha área, compartió la necesidad de realizar el presente trabajo, con el fin de ayudar a la empresa.

La planta de dicha empresa, tiene la necesidad de tener un documento e historial del proceso de montaje y fabricación de un tanque cilíndrico cónico, por lo tanto, dicho documento se creará en el transcurso de la fabricación del tanque. Uno de los técnicos de una empresa extranjera experta en el proceso, la cual está encargada del montaje de equipo y dispositivos que se manejan en casi toda la planta, llega a la empresa guatemalteca para dirigir al personal contratado, comunicar a la empresa el proceso y organizar el área y tiempo para lograr terminar el proyecto en un tiempo determinado. Con el técnico antes mencionado, se ha logrado entablar conversaciones sobre el montaje y fabricación con el fin de aprender todo lo posible del proceso desde su perspectiva y poder entablarle dudas y recomendaciones.

VI. METODOLOGÍA

A. Recepción de los complementos del tanque

El control y recepción de los complementos y materia del proceso, básicamente constituye aquellos mecanismos mediante los cuales la unión de hombre y materia que permiten que los componentes a ingresar sean los adecuados para llevar a cabo el proceso de montaje y fabricación del tanque. Este control varía según la empresa, en este trabajo, se describe el proceso que se lleva a cabo en una empresa en la que se opta por una boleta de requisición en el almacén de la misma.

La empresa ve la necesidad de realizar algunas compras a proveedores ya establecidos y reconocidos por la empresa por lo que se llena una solicitud de compra. La empresa afina bien la descripción del código del material para que tanto la planta y el proveedor entiendan de la misma manera lo que se quiere. El proveedor recibe una orden de compra, en donde se especifica que es lo que debe de entregar y que requerimientos debe de cumplir. Dichas órdenes de compra deben de tener categorías de requerimientos que el proveedor debe de cumplir al momento de entregar y que el almacén, debe de verificar que se cumplan, al momento de recibir la materia.

1. **Inspección:** La inspección es un proceso indispensable e importante para cualquier tipo de empresa o industria. Actualmente, en la empresa en la que se está elaborando este trabajo, no existe un procedimiento adecuado al momento de recibir el material con el que se trabajará. Sin embargo, dicho proceso debe de llevarse a cabo de manera detallada con el fin de que el material que ingrese a la misma, cumpla con los requisitos solicitados en la orden de compra. Por eso, se le recomienda realizar a la misma un proceso de inspección que involucre un sistema de control y supervisión tanto de material de trabajo como de las piezas del tanque. Algunas propiedades que deben de ser consideradas para llevar a cabo dicho proceso, serán presentadas en esta sección. Al final del trabajo, se presenta el formulario de inspección que ha sido recomendado para la empresa.

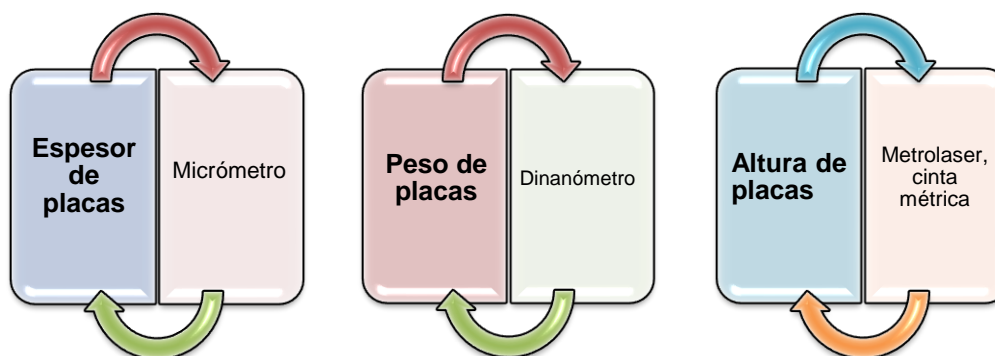
Se recomienda a la misma, que el proceso de inspección contenga una documentación en la que se incluyan las siguientes características citadas en normas específicas para dichos procesos. En este caso, el proceso de inspección se basará en la Norma ASTM, la cual está entre las mayores contribuyentes de la ISO. Los tanques de acero inoxidable se basan en la Norma ASTM A 240 Tp 304.

Cuadro 1. Certificados que deben ser inspeccionados antes que el material entre al almacén

Certificado de origen HN	Certificado de % de cromo y níquel
Los certificado de origen, certifican que las mercancías vienen de un país signatario al Tratado	Depende del % de ambos elementos, la placa de acero inoxidable puede variar en su dureza y resistencia mecánica.

2. **Verificación:** Algunas de las propiedades relevantes de los materiales que ingresan a la empresa deben de ser verificados tanto visualmente como superficialmente, mediante la instrumentación específica. Algunos de los instrumentos de medición que se le recomienda a la empresa se muestran en los siguientes cuadros, que se aclarará el porqué de la siguiente elección.

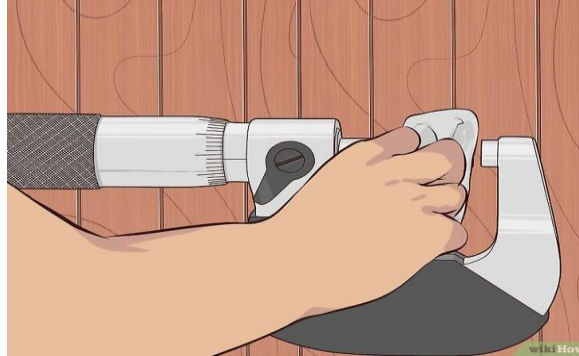
Cuadro 2. Relación de propiedades e instrumentos de medición



Para la medición del espesor de las placas roladas que conforman el tanque, se utiliza un micrómetro. A continuación, se presentan los pasos para utilizar un micrómetro.

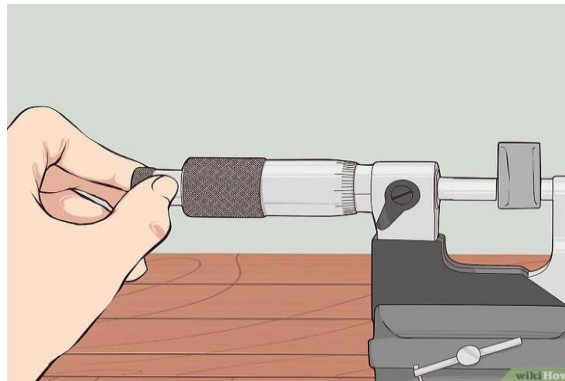
a. Primero, se debe limpiar el micrómetro, tal y como se muestra en la figura. Esto evitará que polvo o partículas obstruyan la superficie donde se lleva a cabo la medición real del objeto, en este caso, las placas roladas.

Figura 20. Limpieza previa del micrómetro



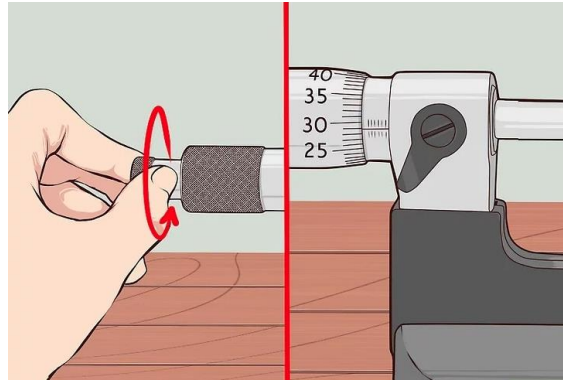
b. Segundo, se debe sostener el objeto a medir, en este caso se coloca el micrómetro en una de las orillas de la placa, y se coloca contra el yunque. Este es un elemento fijo del micrómetro y puede resistir mayor presión que la varilla de medición. Se debe tener precaución que la placa rolada no raye la superficie del yunque ya que puede llegar a dañar la precisión del instrumento.

Figura 21. Placa colocada en el yunque del micrómetro



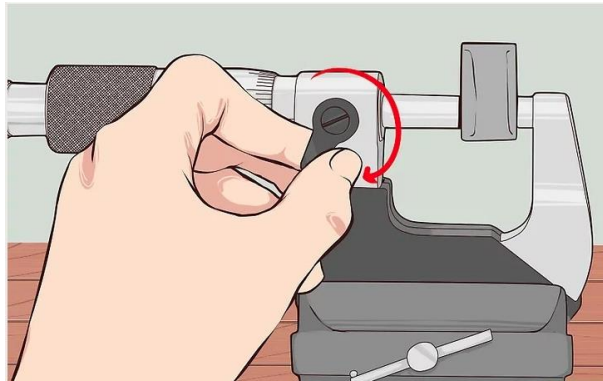
c. Tercero, se debe girar el limitador de fricción en el sentido de las agujas del reloj. Se debe asegurar de que el 0 en el tambor esté alineado con la escala graduada.

Figura 22. Graduación del 0 con la brújula



d. Para bloquear el tambor y evitar que este se mueva al momento de tomar la medición de la lámina, se debe colocar un seguro.

Figura 23. Ajuste y bloqueo de tambor



e. Según los planos adjuntos al final y los datos del tanque, seis de ocho anillos, tienen una altura de 2.0 metros y los restantes 1.5m. Así mismo se puede rectificar con una cinta métrica, teniendo así la ventaja de que las distancias no son tan elevadas.

f. Para verificar el peso de cada una de las placas, se recomienda que se utilice el dinamómetro. A continuación, se puede observar la figura, un dinamómetro de tamaño industrial, en la cual se ilustra de manera adecuada la metodología que se debe realizar al momento de querer verificar la altura de las placas.

Figura 24. Metodología para medir altura de placas

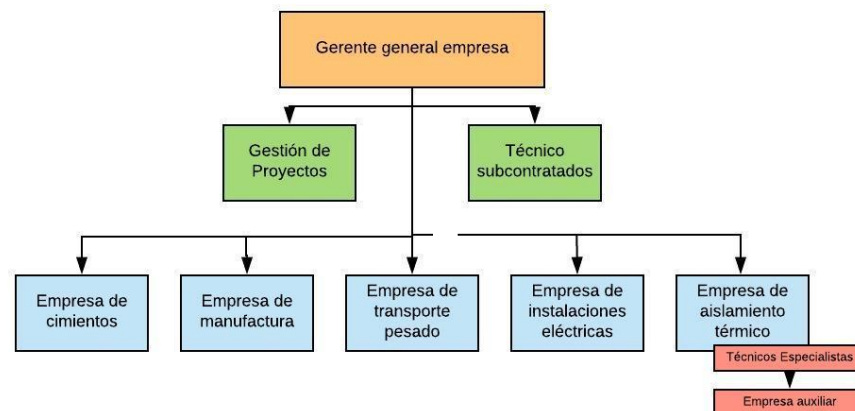


En la Figura 24, se puede observar un gancho, el cual pertenece a una grúa, la cual tiene como propósito levantar, en este caso, las varillas de acero para que el dinamómetro actúe. Así mismo, el operador de la grúa, debe de cargar las placas de acero inoxidable.

B. Organización del personal

En el Cuadro 3, se muestra un esquema de la organización que se establece en la empresa, para que cada uno de los procesos tenga un encargado. Dichos encargados, se establecen según el puesto que se tenga en el proyecto. Por ejemplo, el gerente general se enfoca en gestionar los recursos económicos y humanos y en el cumplimiento de metas empresariales. En el Cuadro 3, se muestra el esquema de autoridades que están directamente e indirectamente presentes en el proyecto, la mostrando, así como principal el gerente de la empresa. El gerente de proyectos es el encargado de la supervisión y coordinación de cada una de las actividades presentes en el proyecto.

Cuadro 3. Esquema de autoridades del proyecto



La empresa, en la cual se enfoca dicho proyecto, contrató a personal especializado en el área de montaje de tanques industriales, con una empresa subcontratista, la cual cuenta con un equipo laboral de 10 a 20 personas. Algunas de las funciones ejercidas vistas en el proyecto, se muestran en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Funciones y especialidades ejercidos en el proyecto

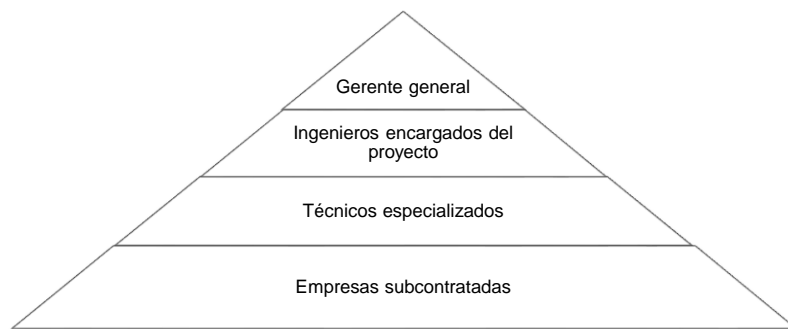
Soldadores
Tuberos
Ayudantes
Bodegueros
Electricistas
Ingenieros Civiles
Ingenieros Mecánicos
Técnicos Especializados

Los ingenieros civiles como los mecánicos, son los que coordinan internamente a los trabajadores y empresas subcontratadas apoyando así las necesidades de cada uno de ellos y así mismo, son los encargados, en caso exista algún cambio en el proceso, de informar a las autoridades del proyecto, es decir al gerente de proyectos. Los técnicos especialistas en el proceso de montaje y fabricación de tanques cilíndricos cónicos, tal y como se muestra en el Cuadro 3, están por debajo de las autoridades internas de la empresa, sin embargo, debido a que es una empresa especializada en dichos procesos, cumplen un gran papel en este proyecto. Ellos poseen información de cada una de las piezas que conforman al tanque y así mismo, experiencia de montajes previos. Dichos técnicos, coordinan a las empresas subcontratadas, dejando claro, desde el inicio del proyecto, el reglamento de seguridad industrial recalcando las consecuencias que traería el no cumplirse. Para este trabajo, los soldadores están categorizados en dos tipos: los que realizan el montaje previo a soldar, y los que rematan. Los que rematan son los encargados de trazar la soldadura final. Los tuberos, son el personal encargado específicamente del proceso de ensamble de tuberías. Los ayudantes, puede que se confundan con los soldadores o el personal que trabaja en el proceso de fabricación, pero realmente los ayudantes son los que colaboran en el proceso que manejan tanto los soldadores como los electricistas. Se encargan de preparar y facilitar la disponibilidad de la herramienta. Por ejemplo, los ayudantes de los soldadores se encargan de colocar el electrodo sobre la boquilla, encender la máquina y colocarla en tierra. También, se encargan del proceso de limpieza de cada una de las líneas soldadas.

C. Diagrama de personal involucrado en el proyecto y empresas subcontratadas

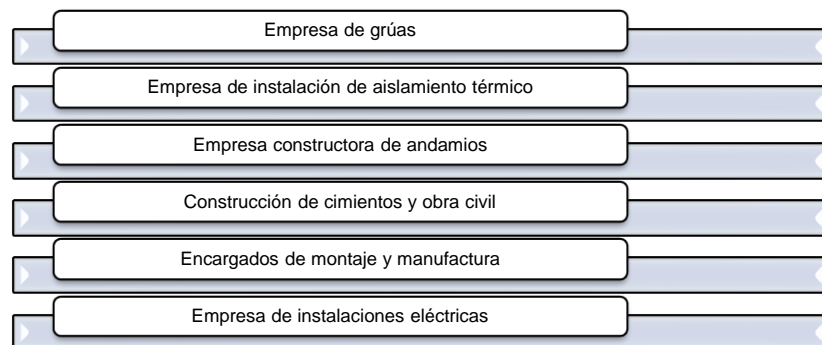
Para lograr llevar a cabo un proyecto de dicha magnitud, es necesario que se cuente con una preparación técnica apta en áreas específicas, claro está, que alguien, no puede desarrollarse en todas las áreas al mismo tiempo. Por lo tanto, en el siguiente esquema, 1 en Cuadro 5, se presenta una jerarquía de cada uno de ellos.

Cuadro 5. Jerarquía de los encargados del proyecto



En el Cuadro 6, se muestran las empresas que participan en el montaje. Estas empresas son dirigidas directamente por el técnico especialista e indirectamente por los ingenieros encargados del proyecto de parte de la empresa. Esto quiere decir, que los ingenieros de la empresa supervisan y autorizan las actividades, sin embargo, el especialista es el que guía y encamina el proyecto.

Cuadro 6. Personal y empresas participantes en el proyecto

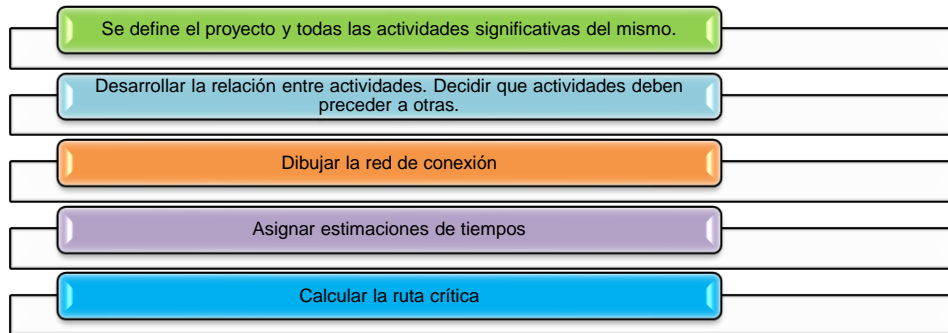


1. La empresa encargada en proporcionar el servicio de grúas trabaja en dos etapas. Al principio del proyecto, se necesitan dos grúas para movilizar y trasladar las piezas que llegan del exterior de un lugar a otro, por lo tanto, se debe disponer de dos grúas; una de treinta y cinco y la otra de ochenta toneladas. Al momento de montar el tanque con los anillos ensamblados, se debe utilizar una grúa de ciento treinta y cinco toneladas. Luego, se utiliza una grúa de doscientas cincuenta toneladas, la cual tiene como propósito trabajos pesados y de alturas específicas tal y como el traslado de pasarelas, así como el proceso de montaje de los tanques con los ocho anillos. Por último, se utiliza la grúa de doscientas cincuenta toneladas puesto que la misma soporta mayor cantidad de peso y así mismo tiene una pluma de mayor longitud, capaz de alcanzar mayores distancias. Cada una de las grúas antes mencionadas, es de distinta empresa contratada, debido a la variación de carga.
2. La empresa de aislamiento térmico, se presenta al proyecto cuando el tanque ya está en una posición fija y con todas sus piezas ensambladas. Esta empresa tiene como fin colocar el material aislante, que en este caso se utiliza espuma de poliuretano y las láminas en los elementos indicados.
3. La empresa de los andamios aparece en el proyecto, previo al proceso de instalación de aislamiento térmico del tanque. Los andamios son aptos para trabajar a alturas elevadas y son industrialmente seguros y aprobados por la normativa OSHA 18,000.
4. La empresa de cimientos, lleva a cabo la construcción previa al montaje y fabricación del tanque. Esta empresa se responsabiliza de analizar y construir el espacio donde el tanque va a ser instalado, por medio de planos proporcionados por una empresa subcontratada especializada en dicha labor.
5. La empresa encargada del montaje y fabricación debe de estar presente previo, durante y al finalizar el proyecto. El personal de trabajo está capacitado para realizar los procesos de soldadura que se llevan a cabo en la fabricación de cada pieza del tanque y así mismo los accesorios que lo conforman. Este personal es dirigido personalmente por tres ingenieros internos a la misma empresa, quienes se encargan de liderar y satisfacer las necesidades laborales del personal, con el fin de realizar cada tarea asignada de manera adecuada. Las empresas de especialistas coordinan y dirigen directamente al personal que está involucrado con los procesos de fabricación y montaje.
6. La empresa de los dispositivos eléctricos es la encargada de las instalaciones y orden de toda la instrumentación y equipo eléctrico, que está incluida en la instalación del tanque. Uno de los tres técnicos especialistas, asesora y coordina la instalación y programación de la automatización del proyecto.

D. Análisis de técnica de revisión y evaluación del proceso (PERT)

A continuación, se desarrollará un análisis involucrando el método PERT, el cual permite dirigir la programación de tareas de un proyecto a través de la representación gráfica de las actividades y procesos a modo de cadena. A continuación, se muestra el Cuadro 7, en el cual se despliega la metodología para la realización de una estimación de tiempos adecuada.

Cuadro 7. Proceso para realizar análisis PERT



1. **Proyecto y sus actividades:** Como antes se menciona, se deben de enlistar las actividades esenciales que conforman dicho proyecto de fabricación y montaje. En la siguiente tabla, Cuadro 8, se puede observar todas las actividades que conforman el proyecto, las actividades precedentes, los nodos con los que se conectan dichas actividades y el tiempo en semanas que dura cada actividad. En primer lugar, se muestra la actividad A, la cual no tiene ninguna actividad precedente ya que no es una actividad que da inicio al proyecto y se coloca su duración.

Cuadro 8. Actividades del proyecto para análisis PERT

ACTIVIDAD DEL PAQUETE DE PROYECTO	
ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN
A	Servicio de instalaciones eléctricas
B	Traslado de grúas
C	Fabricación de cono
D	Montaje de cono
E	Fabricación de anillo 1
F	Fabricación de anillo 2
G	Ensamblaje anillo 2
H	Fabricación de anillo 3
I	Ensamblaje anillo 3
J	Fabricación de anillo 4
K	Ensamblaje anillo 4
L	Fabricación de anillo 5
M	Ensamblaje anillo 5
N	Fabricación de anillo 6
O	Ensamblaje anillo 6
P	Fabricación de anillo 7
Q	Ensamblaje anillo 7
R	Fabricación de anillo 8
S	Ensayos no destructivos (Radiografía)
T	Montaje del conjunto de anillos
U	Fabricación de tuberías
V	Ensayos no destructivos (Radiografía)
W	Fabricación techo
X	Montaje de techo al anillo 8
Y	Ensayos no destructivos (Hidrostática)
Z	Andamios
AA	Aislamiento térmico

2. Relación entre actividades: Ahora se procede a encontrar la relación entre dichas actividades. El primer paso es hallar la primera actividad la cual, es independiente de las demás y esta logra emplearse sin apoyo de ninguna otra. A partir de hallar la primera actividad, se procede a encontrar relación entre las demás actividades. Este proceso se realiza mediante un Software llamado WinQSB, que brinda las gráficas y cálculos. En la tabla siguiente, se puede observar una columna de las actividades predecesoras inmediatas. Dichas actividades se codifican con letras mayúsculas, tal y como se muestra en la tabla anterior.

Cuadro 9. Relación entre actividades con predecesora inmediatas

ACTIVIDAD DEL PAQUETE DE PROYECTO		
ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN	PREDECESORA
A	Servicio de instalaciones eléctricas	0
B	Traslado de grúas	0
C	Fabricación de cono	A,B
D	Montaje de cono	C
E	Fabricación de anillo 1	D
F	Fabricación de anillo 2	E
G	Ensamblaje anillo 2	F
H	Fabricación de anillo 3	G
I	Ensamblaje anillo 3	H
J	Fabricación de anillo 4	I
K	Ensamblaje anillo 4	J
L	Fabricación de anillo 5	K
M	Ensamblaje anillo 5	L
N	Fabricación de anillo 6	M
O	Ensamblaje anillo 6	N
P	Fabricación de anillo 7	O
Q	Ensamblaje anillo 7	P
R	Fabricación de anillo 8	Q
S	Ensayos no destructivos (Radiografía)	R
T	Montaje del conjunto de anillos	S
U	Fabricación de tuberías	A,B
V	Ensayos no destructivos (Radiografía)	T
W	Fabricación techo	R
X	Montaje de techo al anillo 8	W
Y	Ensayos no destructivos (Hidrostática)	X
Z	Andamios	Y
AA	Aislamiento térmico	Z

3. Red de conexiones: La red de conexiones se realiza mediante el proceso de ordenar las actividades y sus dependencias y así mismo, de establecer tiempos estimados que se encuentran en el siguiente pasó. Dicha gráfica, se encuentra en el anexo 2 del trabajo.

4. Asignación de tiempos: A continuación, se asignan los tiempos estimados de cada una de las actividades mencionadas anteriormente. En la siguiente tabla, se muestran tres tipos distintos de tiempos; pesimista (b), optimista (a) y más probable (m). Los tiempos mencionados anteriormente, se medirán en días. Estos días representan una estimación de lo que tardaría una actividad en culminarse si fuera un tiempo optimista, pesimista o lo más apegado a la realidad.

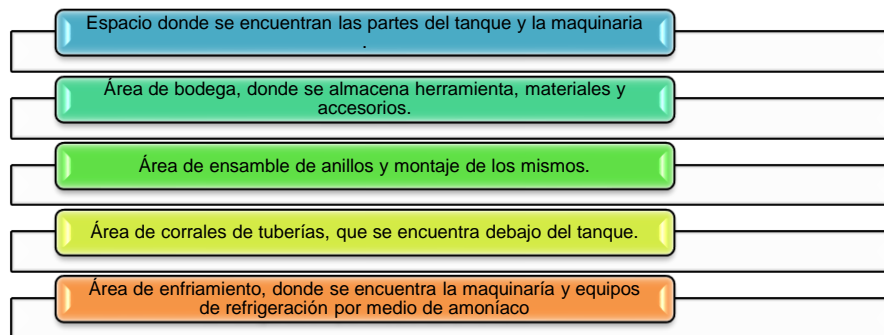
E. Ruta crítica:

La ruta crítica se compone de todas las actividades que son dependientes de otras, por lo cual, el proyecto no puede avanzar en caso una de ellas está incompleta. La ruta crítica está mostrada en el mismo anexo 2, diferenciándose así por una línea de color rojo.

F. Organización del espacio disponible para el proyecto:

El espacio que se tiene disponible en la empresa es bastante reducido, comparado con el tamaño y cantidad de piezas que se manejan en este proyecto. Por lo cual, es necesario que el espacio se logre distribuir de manera que tanto, el transporte pesado como el personal, sea capaz de movilizarse evitando obstáculos que puedan traer accidentes a los mismos o al proyecto.

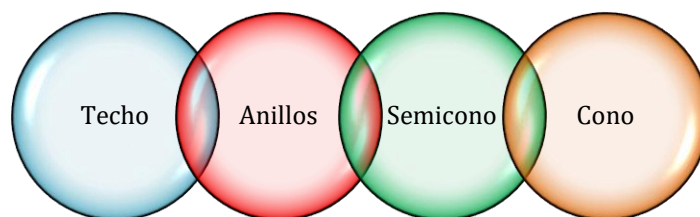
Cuadro 10. Áreas de trabajo según el proceso o actividad a realizar



G. Análisis de ingeniería para el cilindro cónico:

El tanque como tal, se puede clasificar en cuatro partes, de las cuales se habla en todo el trabajo de investigación. Estas partes se nombran de cierta manera, para que sea fácil de identificar para el lector. Claro está, el tanque está compuesto por más de cuatro partes, sin embargo, el proceso de fabricación y montaje se lleva a cabo, en su mayoría, en estos cuatro elementos mencionados en el Cuadro 11.

Cuadro 11. Elementos principales que conforman el tanque



Mostrando así, en la figura siguiente, los elementos principales del tanque, mostrados en el orden, según el Cuadro 11.

Figura 25. Techo y primeros anillos del tanque



Figura 26. Semicono ensamblado al cimiento del tanque por medio de pernos



Figura 27. Cono ensamblado al cimiento del proyecto



El volumen que almacena el tanque es de 6,600 HL y considerando que el fluido que se utiliza en dicha empresa, posee una densidad de 1048kg/m^3 ; se puede obtener la masa que el mismo representa, con la ecuación

$$\rho_{\text{fluido}} = m/v \quad (1)$$

Despejando la masa (m) de la ecuación, obtenemos que,

$$m_{\text{fluido}} = 1,048 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} (660\text{m}^3) = 691,680\text{kg del fluido del caso}$$

Por lo tanto, el volumen del tanque debe ser de 660m^3 . Luego para obtener el peso, se utiliza la gravedad de la tierra que es de 9.78m/s^2 , siendo esta la gravedad de países cercanos al Ecuador, y la masa antes calculada, obteniendo un resultado de:

$$W_{\text{fluido}} = 691,680 \text{ kg} * 9.78 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 6,785.38 \text{ kN de fluido}$$

Para conocer el volumen del tanque mediante ecuaciones, se dividirá la estructura en 3 partes: cilindro, cono y cabeza (techo).

$$V_{\text{cilindro}} = \pi R^2 H = \pi (3.594)^2 (15\text{m}) = 608.69\text{m}^3$$

$$V_{\text{cono}} = \frac{1}{3} \pi (3.576)^2 (3.2\text{m}) = 42.85\text{m}^3$$

$$V_{\text{techo}} = \pi (3.58)^2 (1\text{m}) \frac{1}{6} = 6.71\text{m}^3$$

Siendo la sumatoria de estas de:

Cuadro 12. Volumen total del tanque de acero inoxidable

Volumen del tanque [m ³]	Llenado
658.25	99%

El peso total del tanque, es de 36,400kg. Por lo tanto, el peso total, considerando que el tanque está lleno, se realiza una sumatoria de pesos, siendo estos el del fluido y el peso neto del tanque. Obteniendo un resultado de 728,080kg. El tanque cilindro cónico, está conformado por ocho anillos de acero inoxidable 304, cuyos espesores interiores varían según el número de anillo que sea. En el Cuadro 13, se muestran los espesores y alturas de cada uno de los anillos.

Cuadro 13. Número, espesor y altura de anillos que conforman el tanque

Número de anillo	Espesor t (mm)	Altura h (mm)
1	4.5	1,500
2	4.5	1,500
3	4.5	2,000
4	5	2,000
5	5.5	2,000
6	6	2,000
7	6.5	2,000
8	7	2,000

En el Cuadro 14, se muestra la simulación del tanque cilíndrico cónico, elaborado en Autodesk Inventor 2019, pudiéndose apreciar claramente el cambio de longitud de los últimos dos anillos.

Cuadro 14. Propiedades del fluido y del tanque

Densidad fluido [kg/m ³]	Gravedad [m/s ²]	Ángulo de cono[°]	Material
1,048	9.78	52.5	Acero inoxidable 304

Cuadro 15. Simulación del tanque en Autodesk Inventor 2019



De acuerdo con los cálculos anteriores, en la ecuación 1, el tanque al estar lleno, se somete a presiones internas. Estas presiones son el resultado del peso del fluido estático dentro del tanque. En esta sección se calculan las presiones hidrostáticas en cada una de las piezas del tanque.

Primero se calcula la presión hidrostática del cono. Para ello, se utiliza la ecuación 2,

$$P_H = \rho g h \quad (2)$$

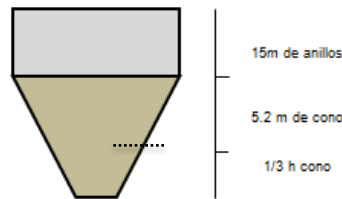
En el Cuadro 16 se muestran los datos del tanque cilíndrico cónico que representan cada uno de los términos de la ecuación 2.

Cuadro 16. Valores de ecuación de presión hidrostática

Pieza	Gravedad [m/s ²]	Densidad [kg/m ³]	Angulo	Espesor [m]	Largo [m]
Cono	9.78	1048	65.2	0.008	5.2

A continuación, se muestra una representación, mostrando las alturas que se deben considerar al momento de calcular la presión del cono.

Cuadro 17. Alturas consideradas para el cálculo de presiones hidrostáticas del cono



Conociendo ya la altura involucrada en el análisis del cono, se procede a ingresar los datos a la ecuación 2.

$$P_{H,cono} = \left(1,048 \frac{kg}{m^3}\right) \left(9.78 \frac{m}{s^2}\right) (15m + 5.2m - 1.73m)$$

Tal y como se muestra en el cuadro 17, $1/3h$ es 1.73m.

$$P_{H,cono} = 189,307.15Pa + 101,325Pa = 290,632.16Pa(42.14psi)$$

Se procede a calcular la presión hidrostática del cilindro, es decir, a partir del anillo 1 al 8. Para ello, se utiliza la ecuación anteriormente utilizada. Con una densidad de $1048kg/m^3$ (Ribas, 2011).

$$P_{yanillos} = 1048kg/m^3 \left(\frac{9.78m}{m^2}\right) (15m)$$

A dicho resultado se le agrega el valor de la presión atmosférica de 101,325Pa (14.7psi), dando así un valor de:

$$P_{H,anillos} = 153,741.6Pa + 101,325Pa = 255,066.6Pa(36.98psi)$$

Luego, se calcula la columna de fluido que recae directamente sobre la tapa selladora del cono mediante la ecuación (3), dando como resultado la siguiente presión hidrostática,

$$P_{tapa} = \left(\frac{1,048kg}{m^3}\right) \left(\frac{9.78m}{m^2}\right) (5.2m)$$

$$P_{H,tapa} = 53,297.08 + 101,325Pa = 154,622.08Pa(22.4psi)$$

Por último, con el fin de hallar la columna completa de fluido que recae sobre el cono completo, es decir anillos y tapa, se calcula por medio de la sumatoria de la $P_{H,anillos}, P_{H,tapa}$ y se obtiene una presión hidrostática de,

$$P_{y\ total} = 255,066.6Pa + 154,622.08Pa$$

$$P_{y\ total} = 409,688.68Pa(59.41psi)$$

Por lo tanto, las presiones hidrostáticas que actúan sobre el cono y la tapa del tanque se presentan en el siguiente Cuadro 18

Cuadro 18. Presiones que actúan sobre el cono y la tapa

Pieza	Presion Hidrostatica [Pa]	Presion Hidrostatica [psi]
Cono	290,597.99	42.15
Columna de fluido total	409,688.69	59.40

Con el fin de conocer los esfuerzos en cada una de las soldaduras, primeramente se debe calcular la presión hidrostática de cada uno de los anillos que conforman el tanque cilíndrico cónico de acero inoxidable 304. Para ello, se utiliza la ecuación (2) con los siguientes datos mostrados en el Cuadro 13, recordando que la altura y de cada uno de los anillos es variable. El siguiente cálculo se lleva a cabo a partir del anillo superior (anillo 1) hasta el inferior (anillo 8), definiendo así, el punto de referencia bajo el techo toriesférico, mostrado en el Cuadro 19.

Cuadro 19. Punto de referencia para cálculo de presiones



Anillo 1

$$h = 1,500mm$$

$$P_H = \rho gh = 1,048 \frac{kg}{m^3} * 9.78 \frac{m}{s^2} * 1.5m$$

$$P_H = 15,374.16 Pa + 101,325 Pa$$

$$P_{H\ anillo1} = 116,699.16 Pa(16.93 psi)$$

Anillo 2:

$$h = 3,000mm$$

$$P_H = \rho gh = 1,048 \frac{kg}{m^3} * 9.78 \frac{m}{s^2} * 3m$$

$$P_H = 30,748.32 Pa + 101,325 Pa$$

$$P_{H\ anillo2} = 132,073.32 Pa(19.16 psi)$$

Anillo 3:

$$h = 5,000mm$$

$$P_H = \rho gh = 1,048 \frac{kg}{m^3} * 9.78 \frac{m}{s^2} * 5m$$

$$P_H = 51,247.2 Pa + 101,325 Pa$$

$$P_{Hanillo3} = 152,572.2 Pa(22.13 psi)$$

Anillo 4:

$$h = 7,000mm$$

$$P_H = \rho gh = 1,048 \frac{kg}{m^3} * 9.78 \frac{m}{s^2} * 7m$$

$$P_H = 71,746.08 Pa + 101,325 Pa$$

$$P_{Hanillo4} = 17,3071.08 Pa(25.10 psi)$$

Anillo 5:

$$h = 9,000mm$$

$$P_H = \rho gh = 1,048 \frac{kg}{m^3} * 9.78 \frac{m}{s^2} * 9m$$

$$P_H = 92,244.96 Pa + 101,325 Pa$$

$$P_{Hanillo5} = 193,569.96 Pa(28.07 psi)$$

Anillo 6:

$$h = 11,000mm$$

$$P_H = \rho gh = 1,048 \frac{kg}{m^3} * 9.78 \frac{m}{s^2} * 11m$$

$$P_H = 112,743.84 Pa + 101,325 Pa$$

$$P_{Hanillo6} = 214,068.84 Pa(31.05 psi)$$

Anillo7:

$$h = 13,000mm$$

$$P_H = \rho gh = 1,048 \frac{kg}{m^3} * 9.78 \frac{m}{s^2} * 13m$$

$$P_H = 133,242.72 Pa + 101,325 Pa$$

$$P_{Hanillo7} = 234,567.72 Pa(34.02 psi)$$

Anillo 8:

$$h = 15,000mm$$

$$P_H = \rho gh = 1,048 \frac{kg}{m^3} * 9.78 \frac{m}{s^2} * 15m$$

$$P_H = 153,741.6 Pa + 101,325 Pa$$

$$P_{Hanillo8} = 255,066.6 Pa(36.99 psi)$$

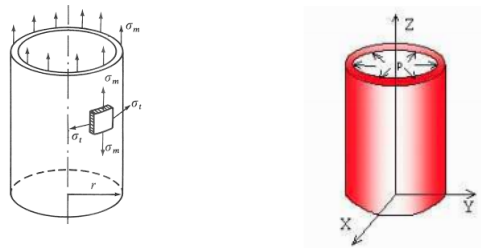
Con el fin de conocer los esfuerzos que ejercen dichas presiones hidrostáticas en la soldadura de cada uno de los anillos del tanque, se debe conocer los esfuerzos longitudinales y circunferenciales. Dichos esfuerzos se representan con la siguiente simbología $\sigma_t = \text{circunferencial}$ y $\sigma_m = \text{longitudinal}$.

Posterior a esto, se calcula el esfuerzo equivalente de Von Mises, para luego compararlo con el esfuerzo de fluencia del material, obteniendo así un factor de seguridad. El esfuerzo equivalente de Von Mises se obtiene por la siguiente ecuación:

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_t^2 + \sigma_m^2 - \sigma_t \sigma_m} \quad (3)$$

A continuación, en el Cuadro 20, se presenta una representación, de cómo se analizan dichos esfuerzos.

Cuadro 20. Diagrama de cuerpo libre mostrando los esfuerzos de un cilindro de pared delgada



Seguidamente, se muestran las ecuaciones 4 y 5 que se utilizan para obtener los esfuerzos mencionados anteriormente.

$$\sigma_{Cir} = \frac{Pr}{t} \quad (4)$$

$$\sigma_{lon} = \frac{Pr}{2t}, \quad (5)$$

Siendo cada uno de sus valores lo siguiente, P la presión hidrostática del anillo, r, el radio interno del anillo t el espesor de cada anillo del tanque. Al igual que el análisis de las presiones hidrostáticas en cada uno de los anillos, se analiza los esfuerzos de los mismos, partiendo desde el mismo punto de referencia mostrado en el Cuadro 19. Se calcula así mismo, los esfuerzos del cono.

Anillo 1:

$$P_H = 116,699.16 \text{ Pa} = 16.93 \text{ psi}$$

$$t = 4.5 \text{ mm} = 0.0045 \text{ m} = 0.177 \text{ pulg}$$

$$r = 3,595.5 \text{ mm} = 3.59 \text{ m} = 141.55 \text{ pulg}$$

$$\sigma_{Cir} = \frac{Pr}{t} = \frac{116,699.16 \text{ Pa} * 3.5955 \text{ m}}{0.0045 \text{ m}} = 93,242,628.84 \text{ Pa} (13,520.18 \text{ psi})$$

$$\sigma_{lon} = \frac{Pr}{2t} = \frac{116,699.16 \text{ Pa} * 3.5955 \text{ m}}{0.0045 \text{ m} * 2} = 46,621,314.42 \text{ Pa} (6,760.09 \text{ psi})$$

Esfuerzo equivalente de Von Mises

$$\sigma' = \sqrt{(93,242,628.84)^2 + (46,621,314.42)^2 - 93,242,628.84 * 46,621,314.42}$$

$$\sigma' = 80,750,485.29 Pa (11,708.82 psi)$$

$$n = \frac{35,000 psi}{11,708.82 psi} = 2.98$$

Anillo 2:

$$P_H = 132,073.32 Pa = 19.16 psi$$

$$t = 4.5 mm = 0.0045m = 0.177 pulg$$

$$r = 3,595.5 mm = 3.59 m = 141.55 pulg$$

$$\sigma_{cir} = \frac{Pr}{t} = \frac{132,073.32 Pa * 3.5955m}{0.0045m} = 105,526,582.7 Pa (15,301.35 psi)$$

$$\sigma_{lon} = \frac{Pr}{2t} = \frac{132,073.32 Pa * 3.5955m}{0.0045m * 2} = 52,763,291.34 Pa (7,652.67 psi)$$

Esfuerzo equivalente de Von Mises

$$\sigma' = \sqrt{(105,526,582.7)^2 + (52,763,291.34)^2 - 105,526,582.7 * 52,763,291.34}$$

$$\sigma' = 91388701.39 Pa (13,251.36 psi)$$

$$n = \frac{35,000 psi}{13,251.36 psi} = 2.64$$

Anillo 3:

$$P_H = 152,572.2 Pa = 22.13 psi$$

$$t = 4.5 mm = 0.0045m = 0.177 pulg$$

$$r = 3,595.5 mm = 3.59 m = 141.55 pulg$$

$$\sigma_{cir} = \frac{Pr}{t} = \frac{152,572.2 Pa * 3.5955m}{0.0045m} = 121,905,187.8 Pa (17,680.85 psi)$$

$$\sigma_{lon} = \frac{Pr}{2t} = \frac{152,572.2 Pa * 3.5955m}{0.0045m * 2} = 60,952,593.90 Pa (8,840.42 psi)$$

Esfuerzo equivalente de Von Mises

$$\sigma' = \sqrt{(121,905,187.8)^2 + (60,952,593.90)^2 - 121,905,187.8 * 60,952,593.90}$$

$$\sigma' = 105,572,989.5 Pa (5,308.08 psi)$$

$$n = \frac{35,000 psi}{15,308.08 psi} = 2.28$$

Anillo 4:

$$P_H = 173,071.08 Pa = 25.10 psi$$

$$t = 5.0 mm = 0.0050m = 0.197 pulg$$

$$r = 3,595.0 mm = 3.5950 m = 141.54 pulg$$

$$\sigma_{cir} = \frac{Pr}{t} = \frac{173,071.08Pa * 3.5950m}{0.0050m} = 124,438,106.50 Pa(18,048.22psi)$$

$$\sigma_{lon} = \frac{Pr}{2t} = \frac{173,071.08Pa * 3.5950m}{0.0050m * 2} = 62,219,053.26Pa(9,024.11psi)$$

Esfuerzo equivalente de Von Mises

$$\sigma' = \sqrt{(124,438,106.50)^2 + (62,219,053.26)^2 - 124,438,106.50 * 62,219,053.26}$$

$$\sigma' = 107,766.561.4Pa(15,626.15psi)$$

$$n = \frac{35,000psi}{15,626.15psi} = 2.24$$

Anillo 5:

$$P_H = 193,569.96 Pa = 28.07 psi$$

$$t = 5.5 mm = 0.0055m = 0.217pulg$$

$$r = 3,594.5 mm = 3.5945 m = 141.52 pulg$$

$$\sigma_{cir} = \frac{Pr}{t} = \frac{193,569.96 * 3.5945m}{0.0055m} = 126,506,767.5Pa(18,048.22psi)$$

$$\sigma_{lon} = \frac{Pr}{2t} = \frac{193,569.96Pa * 3.5945m}{0.0055m * 2} = 63,253,383.75Pa(9,174.13psi)$$

Esfuerzo equivalente de Von Mises

$$\sigma' = \sqrt{(126,506,767.5)^2 + (63,253,383.75)^2 - 126,506,767.5 * 63,253,383.75}$$

$$\sigma' = 109,558,074.4Pa(15,885.92psi)$$

$$n = \frac{35,000psi}{15,885.92psi} = 2.20$$

Anillo 6:

$$P_H = 214,068.84 Pa = 31.05 psi$$

$$t = 6.0 mm = 0.0060m = 0.236pulg$$

$$r = 3,594.0 mm = 3.5940 m = 141.50 pulg$$

$$\sigma_{cir} = \frac{Pr}{t} = \frac{214,068.84Pa * 3.5940m}{0.0060m} = 128,227,235.2Pa(18,597.78psi)$$

$$\sigma_{lon} = \frac{Pr}{2t} = \frac{214,068.84Pa * 3.5940m}{0.0060m * 2} = 64,113,617.58Pa(9,298.89psi)$$

Esfuerzo equivalente de Von Mises

$$\sigma' = \sqrt{(128,227,235.2)^2 + (64,113,617.58)^2 - 128,227,235.2 * 64,113,617.58}$$

$$\sigma' = 111,048,043.1Pa(16,101.97psi)$$

$$n = \frac{35,000psi}{16,101.97psi} = 2.17$$

Anillo 7:

$$P_H = 234,567.72 \text{ Pa} = 34.02 \text{ psi}$$

$$t = 6.5 \text{ mm} = 0.0065\text{m} = 0.256\text{pulg}$$

$$r = 3,593.5 \text{ mm} = 3.5935\text{m} = 141.48 \text{ pulg}$$

$$\sigma_{Cir} = \frac{Pr}{t} = \frac{234,567.72\text{Pa} * 3.5935\text{m}}{0.0065\text{m}} = 129,679,861.8\text{Pa}(18,808.47\text{psi})$$

$$\sigma_{lon} = \frac{Pr}{2t} = \frac{234,567.72\text{Pa} * 3.5935\text{m}}{0.0065\text{m} * 2} = 64,839,930.91\text{Pa}(9,404.23\text{psi})$$

Esfuerzo equivalente de Von Mises

$$\sigma' = \sqrt{(129,679,861.8)^2 + (64,839,930.91)^2 - 129,679,861.8 * 64,839,930.91}$$

$$\sigma' = 112,306,054.7\text{Pa}(16,284.38\text{psi})$$

$$n = \frac{35,000\text{psi}}{16,284.38} = 2.15$$

Anillo 8:

$$P_H = 255,066.6 \text{ Pa} = 36.99 \text{ psi}$$

$$t = 7.0 \text{ mm} = 0.007\text{m} = 0.276\text{pulg}$$

$$r = 3,593.0 \text{ mm} = 3.5930\text{m} = 141.46 \text{ pulg}$$

$$\sigma_{Cir} = \frac{Pr}{t} = \frac{255,066.6\text{Pa} * 3.5930\text{m}}{0.0070\text{m}} = 130,922,041.97\text{Pa}(18,988.63\text{psi})$$

$$\sigma_{lon} = \frac{Pr}{2t} = \frac{255,066.6\text{Pa} * 3.5930\text{m}}{0.0070\text{m} * 2} = 65,461,020.99\text{Pa}(9,494.32\text{psi})$$

Esfuerzo equivalente de Von Mises

$$\sigma' = \sqrt{(130,922,041.97)^2 + (65,461,020.99)^2 - 130,922,041.97 * 65,461,020.99}$$

$$\sigma' = 113,035,271.4\text{Pa}(16,390.11\text{psi})$$

$$n = \frac{35,000\text{psi}}{16,390.11\text{psi}} = 2.13$$

Cono:

$$P_H = 409,655.17 \text{ Pa} = 59.40\text{psi}$$

$$t = 8.0 \text{ mm} = 0.008\text{m} = 0.3149\text{ulg}$$

$$r = 3,044 \text{ mm} = 3.044\text{m} = 119.84\text{pulg}$$

$$\sigma_{Cir} = \frac{Pr}{t} = \frac{409,655.17\text{Pa} * 3.044\text{m}}{0.0080\text{m}} = 155,900,482.8\text{Pa}(22,605.57\text{psi})$$

$$\sigma_{lon} = \frac{Pr}{2t} = \frac{409,655.17\text{Pa} * 3.044\text{m}}{0.0080\text{m} * 2} = 77,950,262.07\text{Pa}(11,302.788\text{psi})$$

Esfuerzo equivalente de Von Mises

$$\sigma' = \sqrt{(155,900,482.8)^2 + (77,950,262.07)^2 - 155,900,482.8 * 77,950,262.07}$$

$$\sigma' = 135,013,200.00Pa(19,576.91psi)$$

$$n = \frac{35,000psi}{19,576.9psi} = 1.79$$

Con el fin de conocer los puntos críticos, en los cuales las soldaduras de los anillos y cono estén en riesgo de fallar, dichos esfuerzos encontrados se deben de comparar con el esfuerzo de fluencia del acero inoxidable 304 y así, encontrar los factores o coeficientes de seguridad en cada uno de los puntos. En los cálculos anteriores, se compara el esfuerzo de fluencia del acero inoxidable 304, llamado también, límite de fluencia siendo este de 260MPa (35,000psi) (Newell, 2016).

A continuación, en el Cuadro 21, se presentan los esfuerzos equivalentes de Von Mises y así mismo, los factores de seguridad que se presentan en cada uno de los anillos y cono, comparándolos con el factor de fluencia del acero inoxidable 304 antes mencionado.

Cuadro 21. Esfuerzos equivalentes de Von Mises y factores de seguridad de los anillos

No. Anillo	Von Mises [Pa]	Von Mises [psi]	Factor de Seguridad
1	80750485.29	11708.82	2.99
2	91388701.38	13251.36	2.64
3	105572989.5	15308.08	2.29
4	107766561.4	15626.15	2.24
5	109558074.4	15885.92	2.20
6	111048043.1	16101.97	2.17
7	112306054.7	16284.38	2.15
8	113381814.3	16440.36	2.13

Pieza	Von Mises [Pa]	Von Mises [psi]	Factor de seguridad
Cono	135,013,200.00	19,576.91	1.79

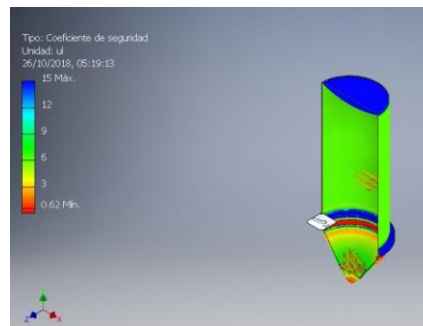
Debido a que los esfuerzos se calculan para un cordón superficial, el factor de seguridad cambia a ser el doble del valor presentado en el Cuadro 21, puesto que el tanque también está soldado internamente. Por lo tanto, los factores de seguridad, se presentan en el Cuadro 22.

Cuadro 22. Factores de seguridad tomando en cuenta la soldadura interna y externa

No. Anillo	Factor de seguridad
1	5.98
2	5.28
3	4.58
4	4.48
5	4.40
6	4.34
7	4.30
8	4.26
Cono	3.58

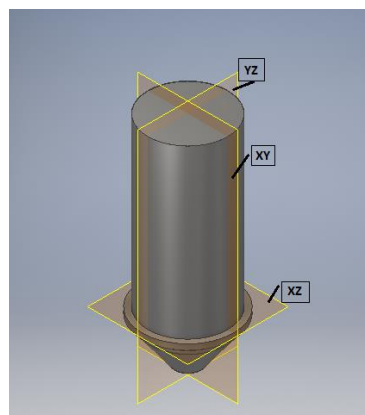
Mediante el software Autodesk Inventor 2019, se realizó una simulación ideal, la cual fue modificada del diseño original, de tal manera que al momento de realizar el análisis por medio de una simulación, esta brindara datos coherentes al estudio. Al momento de realizar dicho análisis con el diseño real, el programa advertía al usuario que los elementos del tanque eran de espesores muy delgados, lo cual provocaba, en dicho software, errores en el análisis. Por esta razón, se eliminaron todas las restricciones posibles, entre estas: se consideró un espesor uniforme en todo el tanque, con un valor de 0.7in (17.78mm) y las líneas de soldadura fueron eliminadas. Los resultados del análisis se pueden observar en el Cuadro 23.

Cuadro 23. Simulación de coeficiente de seguridad



Mediante dicho software, también se calculan las deformaciones máximas y mínimas que sufre el tanque cilíndrico cónico, al someterse a dichas presiones. Primero es importante conocer cuáles son los ejes en los que se trabajó dicho análisis, mostrado en la sección de resultados. Para esto, en el Cuadro 24, se muestra la ubicación de los tres ejes y planos de trabajo.

Cuadro 24. Planos ejes y origen del diseño



Adicionalmente, se calculó por medio del software Autodesk Inventor 2019, cuanta más masa le agrega cada una de las líneas de soldadura, a la masa del tanque y así mismo al volumen. Las soldaduras realizadas fueron de dos tipos, empalme y ranuras. Entonces, simulando la soldadura en el software se obtiene el resultado mostrado en el Cuadro 25.

Cuadro 25. Masa y volumen de las soldaduras

Descripción	Datos	
	Masa [kg]	Volumen [mm ³]
Soldadura de empalme	16.794	2.10E+06
Soldadura para ranuras	7.981	9.97E+05
Total general	24.775	3.10E+06

H. Descripción del diseño del tanque cilíndrico cónico

El tanque, que se está describiendo en este trabajo de investigación, consta de 15 grados, 7.5 grados en ambos lados del mismo. Este grado tiene tres principales propósitos, de los cuales la empresa se beneficia ya que aportan a la misma, y facilitan ciertos procesos que se llevan a cabo en dicho tanque. El líquido que ingresa a dicho tanque, es sometido a un proceso químico que, si no existieran los 15 grados, el proceso tanto químico como los que se mencionarán a continuación, no se llevarían a cabo de manera eficiente. Las tres razones por las cuales el tanque tiene dicho ángulo, es para facilitar la recolección de CO₂, realizar el proceso químico y facilitar el proceso de limpieza.

Existen otras ventajas que brinda un tanque cilíndrico cónico en una empresa, siendo estas presentadas en el siguiente Cuadro 26.

Cuadro 26. Ventajas que el tanque sea cilíndrico cónico



La primera ventaja, en color rojo, representa un beneficio a la empresa ya que este tanque cumple los dos propósitos en uno, es decir, en lugar de tener un tanque para almacenar el producto y otro para el proceso químico, este tanque realiza ambas tareas. La segunda ventaja, en color morado, representa un beneficio al proceso químico en sí, ya que dicha geometría logra que el CO₂ no se acumule en toda el área del cilindro.

I. Seguridad y reglamento del área

1. **Seguridad Industrial:** La empresa, en la cual se está trabajando el proyecto, debe de tener un reglamento claro y fundamentado por una normativa, de tal manera que la empresa cumpla y su fundamento sea rígido. Las reglas de seguridad, que abarca tanto e equipo de seguridad como la conducta dentro del área del proyecto, deben ser claros y expuestos al personal involucrado. El primer día del proyecto, el técnico especializado (líder), tal y como se ve en el Cuadro 5, reúne al personal de trabajo, colaboradores y jefes, con el fin de plantear el reglamento según su criterio y el criterio de la industria. A continuación, en el Cuadro 27, se presentan las reglas principales que presenta dicho técnico, previo a comenzar con el proyecto.

Cuadro 27. Medidas de seguridad planteadas por el técnico especialista

○	El área de trabajo debe de estar totalmente libre y ordenada
○	Los objetos personales de los trabajadores deben de estar fuera de alcance del proyecto
○	El casco protector de la cabeza, debe de ser utilizado a todo momento
○	El uso de protectores auditivos, gafas y guantes es obligatorio para todas las actividades semejantes a pulir y cortar
○	El uso de arnés, es indispensable para trabajos que se lleven a cabo en alturas a partir de 1.8m.

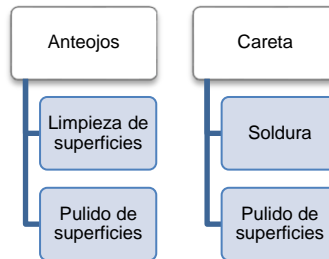
En esta sección se describe la seguridad industrial tanto del personal como del equipo con el que se trabaja. La normativa en que la empresa se rige, es la Norma OSHA 18,000. Actualmente, la empresa está certificada por dicha Norma. A continuación, se mencionarán algunas reglas que se desarrollan en dicho proyecto y al mismo tiempo se recomendarán otras que no se desarrollan.

a. Seguridad del personal

“El equipo de protección personal se debe proporcionar, usar y mantener, incluyendo el equipo para ojos, la cara, la cabeza y las extremidades, ropa de protección, dispositivos respiratorios, protección auditiva, escudos y barreras, protectores en condiciones sanitarias y fiables, siempre que exista peligro a raíz de los procesos o del medio ambiente, peligros químicos, peligros radiológicos o irritantes que pueden causar lesiones o enfermedades a los empleados mediante absorción, inhalación o contacto físico.” (Departamento de trabajo de los EE.UU, 2015) A continuación, se presentarán las reglas que la Norma OSHA 18,000 brinda:

1) Para la protección de los ojos y la cara: Los trabajadores y colaboradores deben asegurarse de utilizar dicha protección cuando los ojos se expongan a partículas en el aire, metal fundido, productos químicos líquidos o gaseosos. Para esto, se presenta en el Cuadro 28 las reglas que se implementaron en el proyecto en procesos específicos.

Cuadro 28. Protección de ojos y cara según la tarea que se realice



2) Para la protección de los pies: “Se debe utilizar este equipo donde exista un riesgo de lesiones debido a objetos que puedan caer o se rueden u objetos que perforen la suela o la parte superior del zapato, y cuando los pies de los empleados estén expuestos a peligros eléctricos ” En este caso, la empresa, es una industria en la cual se tiene como reglamento interno, portar siempre zapato tipo botas con protección de acero a excepción de los electricistas, ya que el acero es un material conductor. Así mismo, el proyecto que se está trabajando, involucra muchos procesos que conllevan alturas elevadas, maquinaria, herramienta y material pesado. El calzado utilizado en dicho proyecto es de botas de tala reforzadas que son aprueba de agua o repelentes de agua que tapen y apoyen el tobillo.

3) Para la protección de la cabeza: “Se debe utilizar como cascos, cuando haya un posible peligro de lesiones en la cabeza por impacto, objetos voladores o que caen, o choque eléctrico y quemaduras.” En el proyecto, como antes se menciona, se llevan a cabo muchos procesos que conllevan alturas elevadas, materiales y piezas pesadas, por consecuencia el trabajador debe de portar el casco desde el momento en que ingresa al área de montaje y fabricación.

4) Para la protección respiratoria: “Se debe proporcionar máscaras apropiadas seleccionadas según los peligros a los que esté expuesto el trabajador cuando sea necesario, para proteger la salud de los trabajadores”

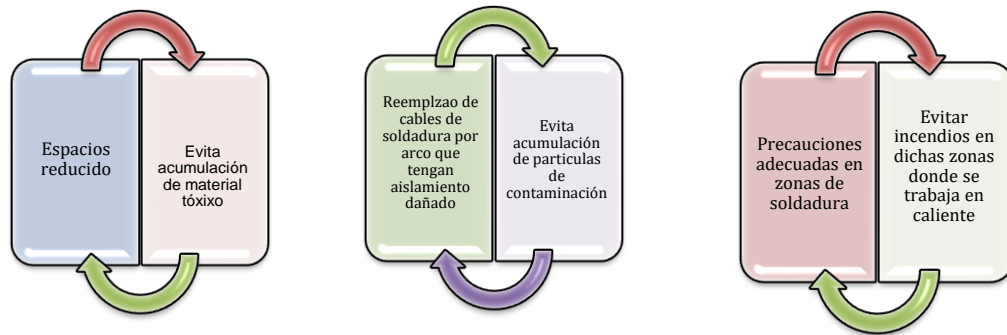
5) En este caso, el trabajador y colaborador portan una máscara en el momento en que se trabaja con líquidos penetrantes, cuando se trabaja con la espuma de poliuretano y también al momento que se está trabajando en procesos de soldadura. Se recomienda al personal encargado de entregar la vestimenta de protección personal, que según la Norma OSHA 18,000, se debe desinfectar las máscaras respiratorias cada cierto tiempo. Así mismo, se deben de guardar, empacar y o almacenar para evitar alguna deformación o partículas de suciedad en la misma provocando que esto dañe al trabajador.

6) Para la protección contra caídas: La Norma OSHA 18,000, brinda cierta cantidad de normativas para todo aquel que en su labor involucra plataformas.

7) “Deben estar protegidos por un sistema personal de detención de caídas. Todas las cuerdas y correas usadas en cuerdas de seguridad, cuerdas salvavidas y componentes de resistencia de arneses corporales sean de fibras sintéticas o cuerda de alambre.” Actualmente, en la empresa, los trabajadores sí utilizan equipo de seguridad para alturas específicas; siendo estos como: el arnés, casco protector, guantes protectores, calzado industrial y lentes protectores. En este caso, evalúe implementar el formulario de registro de seguridad industrial, el cual se encuentra al final del trabajo en el anexo 4.

b. **Normas y requisitos:** A continuación, se presentan los requisitos generales que la Norma OSHA 18,000 brinda para una de las actividades que se ve con más frecuencia en este proyecto, la soldadura. En el Cuadro 29, se presentan algunas normas y requisitos que dicha Norma expresa, y que se considera como una recomendación para el proyecto.

Cuadro 29. Requisitos básicos para realizar proceso de soldadura



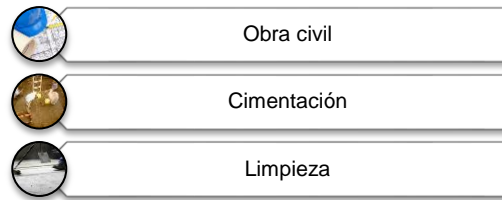
Al momento de realizar el proceso de soldadura en áreas cerradas tal y como lo es el corral, los interiores del techo y cono, se debe tener estas precauciones para evitar que el soldador y el colaborador sufran de consecuencias tales como la pérdida de oxígeno o ya sea la inhalación de gases tóxicos.

c. **Seguridad y protección de máquinas:** Para la protección de las máquinas, la Norma OSHA 18,000, establece también que, mediante mejor es el cuidado para con la maquinaria que se utiliza, así mismo, es el cuidado que se le da al personal que lo utiliza. “Se debe proporcionar protección de las máquinas para resguardar al operador y a otros empleados que estén en la zona de la máquina contra peligros tales como los creados por el punto de operación, los puntos de pellizco entrante, las piezas giratorias, las astillas voladoras y las chispas” (OSHA 18,000). La Norma OSHA 18,000, menciona algunas máquinas que requieren protección, entre esas están las sierras eléctricas, ensambladoras y herramientas eléctricas portátiles. También menciona que la maquinaria fija, debe estar firmemente ancladas para evitar que avancen o se muevan mientras están en funcionamiento. En este caso, por ser un proyecto de montaje, se requieren grúas las cuales deben de estar firmemente ancladas al suelo mediante sus mecanismos neumáticos. La Norma OSHA 18,000 dice que las grúas deben de inspeccionarse visualmente todos los días y dependiendo el uso que se le dé, se debe inspeccionar completa en intervalos de 1 mes a 12 meses.

J. Preparación del área de montaje

En el siguiente proceso, se lleva a cabo la siguiente logística. Lo primero que se analiza es el suelo y el terreno. Luego se realizan planos de la cimentación y se procede a elaborar las bases donde se colocará el tanque. Así mismo, de elaborar las bases, se coloca el sistema de sujeción que en este caso son veintiocho pernos en el cimiento. Luego de eso, se limpia el área, de cualquier instrumento, material o residuos de suelo que puedan interrumpir el proceso siguiente.

Cuadro 30. Diagrama de proceso de la preparación del proyecto



Previo al inicio de los procesos de fabricación y montaje, se lleva a cabo un proceso civil, el cual, se basa en el diseño y construcción de los cimientos del proyecto.

Figura 28. Cimiento con veinticuatro pernos para el tanque a montar



En la Figura 28, se puede observar que el cimiento tiene veinticuatro pernos que con pegamento fueron unidos, y se encuentran cubiertos por unas botellas para evitar que partículas entren al pegamento y contamine el área de contacto provocando así que el perno no quede sujeto al cimiento de la mejor manera. El peso del tanque cilíndrico cónico, recae mayormente en toda el área blanca que se muestra en la Figura 28. Así mismo, el peso recae en las cuatro columnas de soporte de los cimientos, pero como se mostró antes, los mayores esfuerzos están en el área blanca. El peso que soporta cada una de las columnas de soporte, se determina por medio de la ecuación:

El peso del tanque, es de 696,400 kg, entonces,

$$\begin{aligned} \text{Peso vigas de soporte} &= \text{Peso total del tanque} / 4 \\ W_{\text{vigas de soporte}} &= \frac{728,080 \text{ kg}}{4} = 182,020 \text{ kg} \end{aligned}$$

Multiplicando dicha masa, mostrada en la ecuación anterior, por la gravedad de $9.78^{m^2}/kg$, obteniendo un resultado de 1780155.6N. Lo que quiere decir, que cada una de las columnas, vistas en la Figura 29, soportan 1,780.16kN.




Figura 29. Dos de las cuatro columnas que soportan el peso de manera distribuida



K. Procesos de fabricación

A continuación, en el Cuadro 31 los procesos que requieren someterse a un proceso de fabricación antes de ser instalados

Cuadro 31. Actividades que se llevaron a cabo en el proceso de fabricación

	Andamios
	Cono
	Pasarelas

1. Preparación de la instalación de andamios: Para la instalación de los andamios es necesario que cada una de las piezas que los conforman, ingresen a la empresa de manera anticipada. Es recomendable que dichas piezas ingresen al proceso de inspección, mencionado en el Cuadro 2 del presente trabajo. Este proyecto, maneja dos tipos de andamios, debido a que hay dos tipos de trabajos con alturas específicas. La primera actividad que conlleva la utilización de andamios, es todo el proceso antes mencionado. Las fabricaciones de cada uno de los componentes del tanque, requieren de andamios para soldar, cortar y pulir.

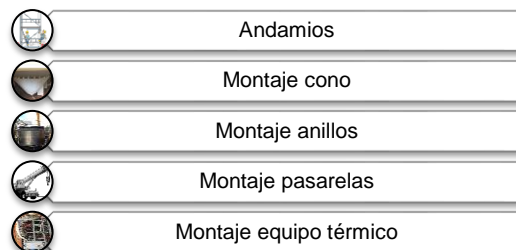
La segunda actividad que conlleva la utilización de andamios, es el proceso de la instalación del aislamiento térmico del tanque. A pesar que ambas actividades son a distintas alturas, es relevante mencionar que, a mayor altura, mejor debe de ser la calidad de andamios a utilizar.

2. Fabricación cono y semicono El cono y semicono son las únicas dos piezas del proyecto que no conllevan procesos de soldadura para construir y lograr obtener dicha estructura. La empresa recibe el cono de modo que este ya contenía una estructura rolada y soldada. Los procesos que se realizaron en el cono, se fueron básicamente el de limpieza. El proceso de limpieza involucra remover la calcomanía de protección y eliminar todas las partículas de pegamento restantes de las superficies del mismo. Otro de los procesos que involucra la fabricación del mismo, es la inspección y revisión de dicha estructura.

L. Procesos de montaje

A continuación, se muestra un diagrama de proceso, de lo que se tratará en esta sección de montaje.

Cuadro 32. Actividades y procesos que se llevan a cabo en proceso de montaje



1. Instalación de andamios: Una vez mencionadas las dos actividades que requieren de la utilización de los andamios, se especificará la metodología que se lleva a cabo para la instalación y proceso de ensamble de cada uno de ellos. Se nombrará “Andamios simples” a los andamios que se utilizaron en la fabricación del tanque y “andamios industriales” a los que se utilizaron en la fabricación e instalación del aislamiento térmico.

a) Montaje de andamios simples: Los andamios simples, son ensamblados de forma sencilla y rápida. En la Figura 30, se puede observar que los andamios no vienen ensamblados entre sí, sin embargo, los tubos que conforman estas piezas, están unidos mediante soldadura.

De la misma manera, en la Figura 30, se puede observar que el suelo del andamio, es decir, donde el trabajador se posiciona, está formado por tablas de madera que atraviesan ambas partes del andamio.

Figura 30. Andamios simples listos para ensamblarse brindados por la empresa



En la Figura 31, se puede observar los andamios de manera ensamblada entre sí. Los andamios poseen elementos tirantes que dan estabilidad y unen los extremos de las bases de los mismos.

Figura 31. Andamios simples ensamblados



Cada uno de los andamios simples fueron utilizados para actividades como, soldar en el interior del tanque, pulir tanto el interior como el exterior de los anillos, instalar las tuberías en el área subterránea del tanque e incluso para subir a lugares que se encontraban a niveles accesibles.

b) Montaje de andamios industriales: Estos andamios requieren de más recursos para lograr ser instalados. Uno de los recursos más importantes que este tipo de andamios necesita, es tiempo y personal. Estos andamios se diferencian de los simples, debido a que sus estructuras son más duraderas, de mejor material y más resistentes para actividades de alturas mayores. El proceso de montaje de dichos andamios, empieza al momento en el que el tanque ya está listo para ser cerrado por el techo toriesférico para luego proceder al proceso de instalación y fabricación del aislamiento térmico en el tanque.

Figura 32. Montaje de andamios industriales previo al proceso de instalación de aislamiento térmico



2. Montaje del cono: El primer proceso de montaje que se lleva a cabo en este proyecto, es el ensamblaje del cono principal con el semicono. Este proceso se lleva a cabo con la ayuda indispensable de una grúa de 80 toneladas y su respectivo personal, el cual es el que ayuda y guía al conductor de la misma.

i. Primero se debe instalar una brida como se muestra en la Figura 33, la cual, mediante pernos, puede ser ensamblada al cono.

ii. Posterior a que la brida está sujeta al cono, se procede a sujetar el cono con el gancho de la grúa, mediante una correa de cuero.

Figura 33. Brida para la movilización de conos



iii. Con la grúa de ochenta toneladas, se ancla el gancho a la brida pernada al cono y se carga siendo un movimiento lento y cuidadoso, para evitar que el mismo se balancee bruscamente pudiendo causar daños a otras piezas, las grúas o al personal que se encuentra debajo.

Figura 34. Traslado de cono por medio de la brida instalada por pernos



Tal y como se muestra en la Figura 34, el cono se debe alinear por encima del semicono para que este se puntee y luego se complete la soldadura de ambas piezas. Posteriormente, se realiza la soldadura completa mediante otro soldador. Los soldadores se posicionan de la manera, tal y como se muestra en la Figura 35, para dichos proceder a la soldadura completa y sus procesos posteriores.

Figura 35. Ensamble del cono al semicono por medio de soldadura



Una vez se haya ensamblado el cono al semicono con soldadura completa y se haya realizado la respectiva limpieza y el ensayo no destructivo en la misma, se procede a instalar en el cono las tuberías de: Cip, drenaje y cable. En la Figura 36, se muestra el cono con las tuberías antes mencionadas ya instaladas, para luego proceder al proceso de montaje del cono, al cemento. Después de tener instalada la tubería instalada, se debe ensamblar los separadores de esponja, mediante adhesivos.

Figura 36. Cono principal con tuberías ensambladas



3. Montaje anillos: Dentro de esta fase, se explicará la fabricación de los ocho anillos que conforman el cuerpo del tanque y el método de montaje que se utilizó para los mismos. Los anillos son de acero inoxidable, que lo único que los diferencian es que los espesores del mismo varían según el número de anillo que sea. Esto se debe a que esfuerzos mayores se encuentran en el área del cono, semicono y en los primeros anillos, debido a que todo el peso recae sobre estos.

Figura 37. Ensamble de ocho anillos de acero inoxidable

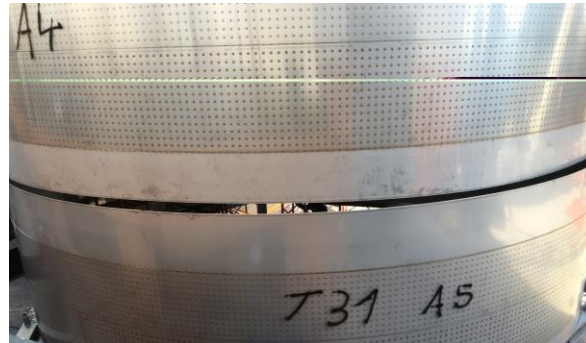


En la Figura 37, se presenta una simulación del tanque cilíndrico cónico, el cual, cada anillo poseen distintos espesores, dependiendo de la altura en que se encuentren. En la Figura 37, no se puede apreciar dicho cambio de espesores, debido que el diámetro exterior es el mismo para todos los anillos; siendo el diámetro interno el que varía.

Esto se debe a que la mayor concentración de esfuerzos se encuentra en el soporte fijo del tanque, es decir en el semicono; por lo tanto, los anillos cercanos al soporte, también deben ser capaces de soportar dichos esfuerzos. Los anillos ingresan a la empresa, ya rolados y separados por la mitad; lo que quiere decir, que en el área de fabricación se encuentran 16 mitades de anillos. La fabricación de anillos se divide en estos pasos:

- i. Ingresan mitades de anillos con una calcomanía protectora
- ii. Se retira la calcomanía protectora y se realiza limpieza en las superficies, para remover el pegamento restante.
- iii. Se ensamblan ambas partes de los anillos, por medio de soldadura TIG. Punteando primero, y al asegurar que se está alineado con la otra mitad, se procede a terminar la soldadura.
- iv. Posterior a la soldadura, se procede a realizar el ensayo no destructivo mediante líquidos penetrantes.

Figura 38. Ensamble de anillos de acero inoxidable



4. **Montaje de techo toriesférico:** La fabricación del techo toriesférico, llamado también sombrero, se basa en el ensamble de ambas piezas que lo conforman, uniéndolos por medio de soldadura TIG. Estas láminas de acero inoxidable, se diferencian de la de los anillos, que están roladas con un ángulo, el cual hace que el techo tenga esa forma y no la de un anillo. El techo debe de unirse al resto del tanque por medio de unas vigas de acero que se puntean en el último anillo, como se muestra en la Figura 39.

La función del techo no solo es sellar el tanque, sino que también, tiene como objetivo establecer una referencia para luego colocar el aislamiento térmico del mismo.

Figura 39. Ensamble del techo toriesférico con el primer anillo



5. **Montaje de pasarelas y escaleras:** Para el montaje de las pasarelas es necesario que cada una de las piezas que las conforman estén completas, por lo que primero se recomienda que se realice una revisión del material; debido a que estas ya no requieren de un proceso de ensamble o de fabricación, sino que solamente de montaje.

Las pasarelas están colocadas hasta arriba del tanque, de tal manera que el personal de la empresa guatemalteca pueda movilizarse y realizar tanto, limpieza como mantenimiento al tanque. Las pasarelas se ensamblan al tanque mediante pernos, previo a la instalación del aislamiento térmico. En cambio, las escaleras se ensamblan posteriores a dicho proceso.

Figura 40. Pasarelas montadas en la parte superior del tanque



6. Montaje de equipo térmico: El proceso de fabricación e instalación del aislamiento térmico del tanque se lleva a cabo mediante una empresa especializada que se dedica completamente realizar dicho proceso. El proceso de fabricación del aislamiento comienza por realizar una limpieza y verificación previa a la máquina que se muestra en la Figura 41, la cual se utiliza para la inyección de espuma de poliuretano en el tanque. Esta máquina está compuesta por una bomba de diafragma, mangueras y tanques en los cuales se encuentra el fluido de trabajo.

Figura 41. Máquina de inyección de aislante térmico conformada por una válvula de diafragma



Previo a inyectar la espuma de poliuretano en el tanque, se debe realizar ciertos procesos que son indispensables para el proceso de aislamiento. Dichos procesos, dependen de materiales auxiliares al aislamiento como lo son, la espuma separadora, vigas delgadas de acero, láminas y el fluido de trabajo, tal y como se muestra en la siguiente Figura 42.

Figura 42. Espuma separadora en forma de lámina



Para que el tanque quede totalmente cubierto por la lámina aisladora, se debe idear la manera en que éstas se sostengan al tanque. Para esto, se cortan unos trozos de espuma separadora que son pegados al tanque en distancias restringidas, con el único propósito de que exista un espacio determinado en donde se inyecte la espuma. Las espumas separadoras las cuales son utilizadas se cortan por el personal, como se muestra en la Figura 43. Éstas deben de medir 105 cm de longitud y 142cm de espesor.

Figura 43. Vigas de espuma separadora de 142 cm



Después de realizar un corte a las planchas antes vistas en la Figura 43, por medio de una cortadora de disco, las espumas separadoras se almacenan de nuevo en bolsas grandes, como se muestra en la Figura 44, para luego proceder al proceso de instalación de aislamientos térmicos.

Figura 44. Espumas separadoras almacenadas en bolsas



El proceso de instalación del aislamiento térmico, lleva consigo pequeños procesos de suma importancia, como lo es el siguiente. Previo a la instalación de las láminas separadoras en cada uno de los anillos del tanque, se debe instalar un mecanismo que sea capaz de sostener la espuma y las láminas separadoras.

Para que esto se logre, es necesario contar con unas vigas roladas de acero inoxidable 304, las cuales se muestran en la Figura 45.

Figura 45. Vigas espaciadoras de acero inoxidable 304 roladas



Figura 46. Espumas separadoras pegadas al tanque por medio de adhesivo



Se puede observar que las espumas separadoras están pegadas al tanque, espaciadas entre sí por distancias definidas. Para pegar las espumas separadoras se utiliza un adhesivo. En la Figura 47, se puede observar los restos de pegamento de color marrón señalado.

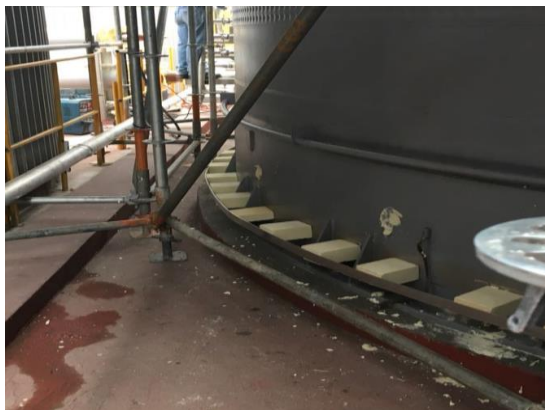
Así mismo, se muestra la viga delgada de acero inoxidable teniendo contacto con las espumas separadoras.

Figura 47. Espumas y vigas separadoras ensambladas



En la Figura 48, se puede observar la función de las vigas roladas al momento de ensamblarse con las espumas separadoras.

Figura 48. Vigas de acero inoxidable alrededor del primer anillo del tanque



Seguido de colocar espumas separadoras alrededor del tanque en las distancias restringidas, se procede a colocar las láminas y penarlas en las vigas antes instaladas. En la Figura 49, se puede observar dicho proceso de instalación.

Figura 49. Laminas instaladas por medio de pernos



Por último, paso de éste proceso, se procede a la inyección de la espuma, por medio de las mangueras de la máquina de inyección. Previa a la inyección, se debe crear la mezcla, es decir la espuma, que se forma por medio de químicos y un compresor, lo cual se muestra en la Figura 50.

Figura 50. Compresor de la máquina de inyección de poliuretano



Luego se procede a inyectar la espuma de poliuretano en cada uno de los agujeros que tiene el tanque, los cuales están diseñados para dicha inyección de espuma de poliuretano y para que la tubería tenga una salida a tierra o al exterior. Al inyectar la espuma de poliuretano al tanque, esta se seca y sus propiedades físicas cambian en cuestión de pocos minutos tal y como se muestra en la Figura 51.

Figura 51. Espuma de poliuretano dentro del tanque



M. Pruebas

Algunas de las pruebas, mencionadas en el marco teórico, se realizan durante y otras después del proceso de fabricación y montaje del tanque en general. A continuación, se mencionarán los ensayos que son indispensables al proceso de fabricación de los anillos del tanque.

1. **Líquidos penetrantes:** Los líquidos penetrantes es un ensayo no destructivo que se realiza en el momento en el que se finaliza el proceso de soldadura en cada una de las áreas previamente soldadas. Es trascendental que las superficies estén totalmente frías previo a realizar dicho ensayo. Es de suma importancia que los líquidos se apliquen a la superficie de la soldadura, con el equipo de seguridad adecuado. Debido a que este es uno de los ensayos más sencillos de aplicar, cada uno de los trabajadores puede ser capaz de realizarlo, sin requerir ningún tipo de maquinaria en especial.

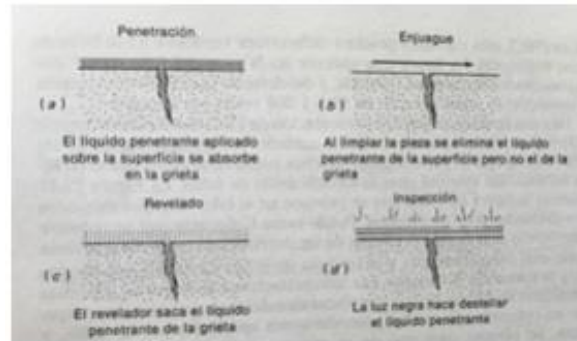
Figura 52. Aplicación de líquidos penetrantes en las soldaduras



La inspección con líquidos penetrantes, es utilizada con frecuencia en conjuntos soldados de gran tamaño, con el fin de localizar grietas y porosidades.

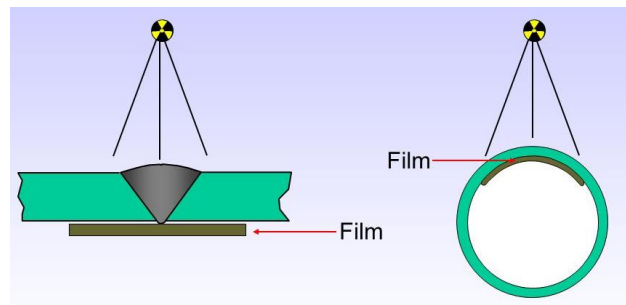
Este tipo de ensayos es utilizado en procesos con materiales ferrosos como no ferrosos. En la Figura 53 muestra una indicación típica por el método de penetrantes.

Figura 53. Defecto típico indicado por el método del líquido penetrante



2. Radiografías: La radiografía pertenece a la rama de ensayos no destructivos de tipo volumétrico, que tienen como fin ver el interior del material que se está evaluando. En este caso, se evalúa la línea de soldadura. Al momento de realizar las pruebas de radiografías, la empresa subcontratada encargada de esto, llegaba a realizar su trabajo a final de la jornada de trabajo; ya que es preferible que no haya personal trabajando alrededor o cerca del área, ya que puede obstruir de una mínima forma los rayos que van dirigidos al objeto. La técnica que se debe utilizar, según la norma API 650 (Federal Register Washington, 2007), se debe utilizar para la fabricación de tanques de almacenamiento de cualquier tipo de fluidos, se le llama simple pared simple imagen. A continuación, se presenta el Cuadro 33, cómo esta técnica se representa visualmente.

Cuadro 33. Técnica para tanques simple pared simple imagen

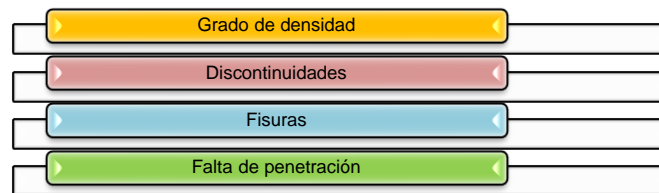


Lo que se debe imprimir en una radiografía es lo siguiente:

- a) Orientación
- b) Empresa quien contrató el servicio
- c) Proyecto
- d) Empresa que brinda servicio
- e) Fecha de radiografía

Dichos datos, antes mencionados, dependen del tipo de empresa que realice dicho procedimiento. La empresa subcontratada que llevó a cabo este proceso, si cuenta con estos detalles en cada una de sus impresiones. Al analizar la radiografía, esta debe de mostrar los siguientes datos mostrados en el Cuadro 34.

Cuadro 34 Características a analizar mediante una radiografía



Para realizar dichas radiografías, se debe utilizar un aparato llamado negatoscopio. El cual se muestra en la Figura 54. El cual funciona de tal manera como lo hace un negatoscopio para procesos médicos.


















Figura 54. Negatoscopio para impresión de radiografías de soldadura




3. Hidrostáticas: Al momento de realizar la prueba hidrostática del tanque, la empresa subcontratada especialista en dicho proceso, llega a la empresa al momento en que el proceso de fabricación del tanque haya culminado. Es indispensable que las soldaduras del tanque estén completas para que dicha prueba pueda ser llevada a cabo. Para evitar desperdiciar el fluido con el que se trabaja en la empresa, se procede a realizar dicha prueba con agua y así certificar su hermeticidad. Esta prueba, detecta tanto posibles fugas en las soldaduras en las piezas del tanque. En caso de que esta prueba falle, se debe vaciar el tanque e inspeccionar la soldadura o que las piezas no tengan agujeros los cuales provoquen fugas.

N. Sistematización de procesos del proyecto


A continuación, se presenta de manera detallada y sistematizada, los procesos que conlleva el proyecto para lograr ser llevado a cabo.

1. Ingreso de piezas al país 
2. Traslado de piezas a planta 
3. Proceso de inspección de piezas y material en planta 
 - a) Piezas que no cumplen con la Norma, rechazo
 - b) Piezas que sí cumplen con la Norma, aceptada
4. Preparación del área de trabajo
 - a) Grúas y maquinaria en empresa 
 - b) Reclutar al personal y adiestrarlo 
5. Fabricación del cono 
6. Ensayos no destructivos
 - a) Radiografías 
 - i. Sí cumplen con la Norma, aceptarlas
 - ii. No cumplen con la Norma, rechazar y repetir.
7. La obra civil debe de estar terminada 
8. Fabricación de anillos y tuberías 
 - a) Ensayos no destructivos 
 - i. Sí cumple con la Norma, aceptarlas
 - ii. No cumple con la Norma, rechazar y repetir
9. Proceso de montaje de tuberías 
10. Fabricación de techo toriesferico 
 - a) Ensayos no destructivos 
 - i. Sí cumple con la Norma, aceptar
 - ii. No cumple con la Norma, rechazar y repetir
11. Proceso de montaje de techo toriesférico 
 - a) Ensayos no destructivos 
12. Realización de prueba hidrostática 
 - a) Sí cumple, aceptar
 - b) No cumple, rechazar y repetir soldaduras
13. Instalación de pasarelas y escaleras al tanque 

14. Instalación de aislamiento térmico  

- a) Inspección 
- i. Sí cumple, aceptar
 - ii. No cumple, rechazar y corregir

15. Instalación de láminas protectoras  

- a) Inspección 
- i. Sí cumple, aceptar
 - ii. No cumple, rechazar y repetir proceso de instalación


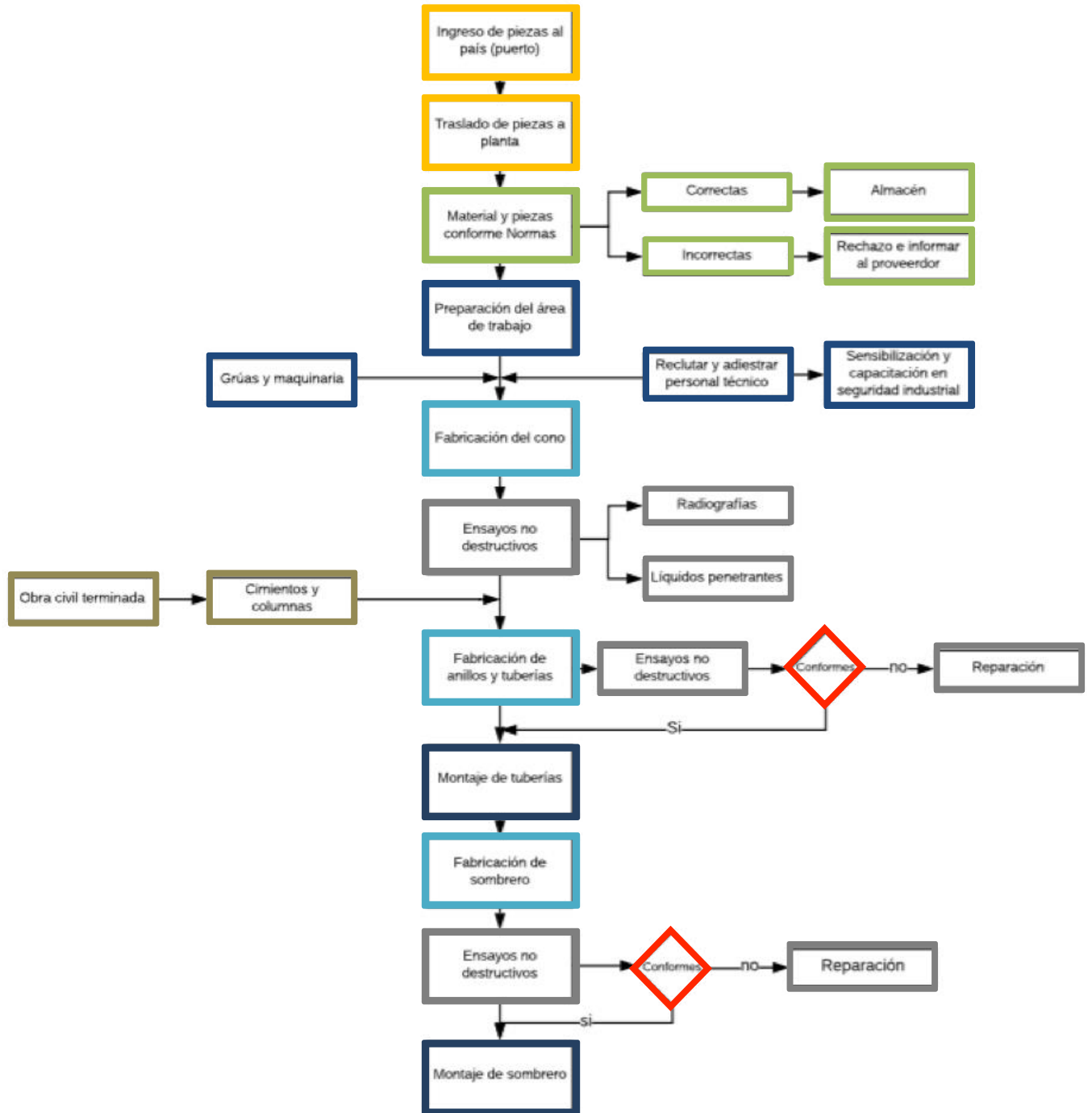
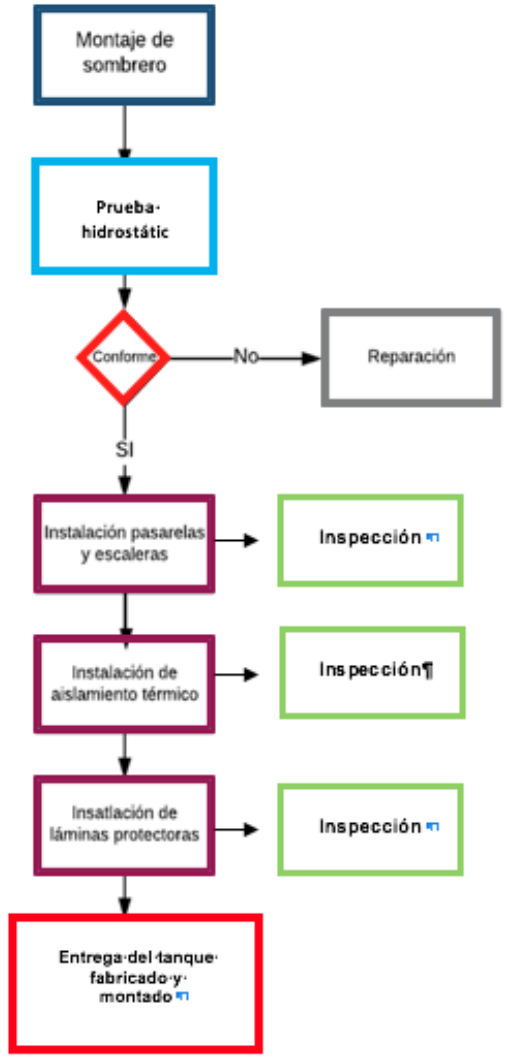
16. Entrega de tanque fabricado y ensamblado al cimiento 

Ilustración 1. Diagrama de procesos: Sistematización de procesos del proyecto



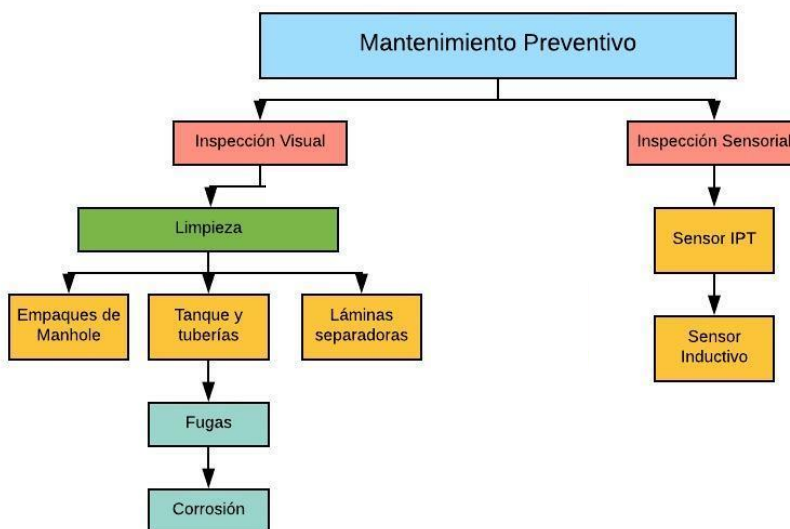


O. Procesos de mantenimiento preventivo recomendado

A continuación, se le recomienda a la empresa, evaluar la implementación de un proceso de mantenimiento preventivo en el área de tanques industriales. Según la Norma OSHA 18,000, se establece que el mantenimiento preventivo deberá incluir inspecciones periódicas por lo menos del equipo mecánico y del equipo de control de seguridad. De la misma manera, la Norma API, establece que la empresa que manufactura dicho tanque, debe de proveer un mantenimiento e inspección manual a ciertas partes del tanque que lo requieran. Debido al tipo de equipo y estructura que éste maneja para su funcionamiento, el mantenimiento que se empleará al mismo, es el preventivo. Se elige este tipo de mantenimiento, ya que gran parte de los componentes del tanque son estáticos, dando el beneficio a la empresa de evitar las correcciones o reparaciones del equipo.

En esta sección, es importante tomar consideración que, dependiendo del tipo de equipo con el que se quiera trabajar, así será el tipo de mantenimiento que se debe brindar, es decir, que en función al fluido a contener y de las condiciones en las que éste se pretende mantener así serán los deberes a realizar. En la actualidad, existe una gran cantidad de tanques de almacenamiento en la industria, los cuales deben ser inspeccionados con cierta frecuencia para garantizar su buen estado. Se separan las tareas que conlleva el mantenimiento de un tanque que almacena fluido, en un 1 campo en específico. Se presenta un esquema en el Cuadro 35, el cual muestra las tareas específicas que se afilian al mantenimiento preventivo que se recomienda a la empresa.

Cuadro 35. Esquema de inspección al tanque cilíndrico cónico



En este esquema del mantenimiento preventivo, se basará principalmente en la inspección visual de los elementos que componen el tanque. Un aspecto importante sobre la inspección visual es llevar un control de limpieza. En la Norma ASTM, se recomiendan ciertos métodos de limpieza industrial a equipos de acero inoxidable, los cuales se mencionan en el siguiente listado.

Cuadro 36. Listado de métodos de limpieza según ASTM

Método de limpieza	Aplicación del método
Detergente	Suciedad, manchas, grasas, aceites
Solvente	Pinturas, grasas, aceites
Vapor	Grasa y aceites
Limpieza mecánica	Lijado, esmerilado, cepillado
Limpieza ultrasónica	Eliminar óxido

A continuación, se presenta el proceso de mantenimiento que se recomienda a la empresa. Se enlistarán las actividades a realizar y así mismo, los dispositivos a los que se le debe dar mantenimiento.

1. En el área de inspección visual, se muestra en el Cuadro 35, que es necesario realizar una inspección a los empaques del Manhole. Dicho accesorio es importante en el tanque, ya que es el encargado de sellar el sistema evitando que alguna impureza ingrese al mismo. Por eso, es importante realizar una inspección mensual, en la que se examine detalladamente el empaque del mismo y en caso que se encuentre alguna partícula o impureza, se deberá cambiarlo. En este caso, el Manhole está ubicado en el techo toriesférico del tanque.

Cuadro 37. Manhole de un tanque de acero inoxidable



2. En el segundo recuadro de la inspección visual, se presenta la inspección tanto del cuerpo como de las tuberías del tanque. Ambas partes del tanque, deben de ser inspeccionadas visualmente debido a que pueden exponerse tanto fugas como corrosión. Se recomienda que dicha inspección se realice de manera mensual.

3. En el tercer recuadro de la inspección visual, se presenta la inspección de las láminas aisladoras. La inspección del estado de cada lámina que rodea el tanque puede realizarse una vez al mes. Debe de verificar que todas estén perneadas o que no exista ninguna en un mal estado, ya sea falta de limpieza o que exista alguna ruptura. A continuación, se presenta en el siguiente cuadro, una de las láminas aisladoras que se utilizan en el tanque se trabajan en dicho proceso.

4. El último recuadro de la sección de inspección visual, se debe llevar a cabo una inspección posterior a un sismo. A pesar que dichos tanques están diseñados para evitar consecuencias posteriores a los sismos, es siempre conveniente de realizar una revisión del mismo y asegurarse que la nivelación sea la misma.

En seguida, se hablará del mismo esquema presentado en el Cuadro 38, y se abarcarán las actividades que se deben de inspeccionar de manera sensorial. Los sensores que se utilizan en este tanque, son equipos simples que no suelen requerir de un mantenimiento en específico, sin embargo, requieren de una buena instalación. La instalación de este tipo de equipos, se basa según lo que el proveedor establezca. Dos de las posibles causas por las cuales los sensores pueden fallar, son el cableado o la posición, en la que el mismo está instalado. La inspección de dichos sensores, a pesar que no se requiera de un mantenimiento continuo o correctivo, es necesaria e importante que el control visual. Este procedimiento es trascendental para el proceso que se realiza en la empresa, ya que se está midiendo distintas características que son primordiales de controlar en dicho proceso.

P. Resultados

1. Proceso de inspección y verificación: La empresa recibirá un formulario, adjunto en el anexo 3, en el que se presentarán estos requisitos a cumplir, al momento que se inspeccione visualmente y con instrumentación una pieza. A continuación, se presenta el Cuadro 38, el cual describe los requisitos que se deben de tomar en cuenta para realizar un proceso detallado de inspección y verificación.

Cuadro 38. Criterios que deben presentarse en el formulario de inspección y verificación

>	Espesores	<
>	Peso	<
>	Longitud y altura	<
>	Cantidad	<
>	Precio Unitario	<
>	Fecha de entrega	<

2. Análisis de tiempos según la herramienta PERT: A continuación, se presenta el Cuadro 39, en el cual se muestran los tiempos que se estimaron para completar el diagrama de conexión y hallar el tiempo ideal de duración del proyecto.

Cuadro 39. Tiempos en los que se estima la culminación de las tareas en días

TIEMPO PESIMISTA (días) (b)	TIEMPO OPTIMISTA (días) (a)	TIEMPO MÁS PROBABLE (días) (m)	DURACIÓN ESTIMADA (PERT) (días)
4	3	2	3
5	4	2	3
4	3	2	3
3	2	1	2
4	3	2	3
4	3	2	3
4	3	1	2
4	3	2	3
4	3	1	2
4	3	2	3
4	3	1	2
4	3	2	3
4	3	1	2
4	3	2	3
4	3	1	2
4	3	2	3
4	3	1	2
4	3	2	3
4	3	1	2
4	3	2	3
10	9	7	8
7	6	5	6
10	7	5	6
8	5	3	4
5	4	3	4
5	4	2	3
4	3	1	2
5	4	3	4
10	8	6	7

La gráfica de conexión de red se presenta en el anexo 2, en la cual se resalta en color rojo la ruta crítica del proceso. En el Cuadro 40, se muestra los códigos de cada una de las actividades del proyecto y una columna, la cual tiene como título "En R.C", lo que significa en ruta crítica.

Cuadro 40. Actividades que son sensibles en el proyecto

Actividad	En. R.C
A	NO
B	SI
C	SI
D	SI
E	SI
F	SI
G	SI
H	SI
I	SI
J	SI
K	SI
L	SI
M	SI
N	SI
O	SI
P	SI
Q	SI
R	SI
S	NO
T	NO
U	NO
V	NO
W	SI
X	SI
Y	SI
Z	SI
AA	SI

Ruta(s) Crítica(s)

B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, M, N, O, P, Q, R, W, X, Y, Z, AA

Tiempo del Proyecto: 56.50

3. Cálculo de las presiones hidrostáticas: A continuación, se muestran las presiones hidrostáticas en cada uno de los anillos del tanque cilíndrico cónico, teniendo en cuenta que el punto de referencia y el eje de referencias.



Cuadro 41. Presiones hidrostáticas en cada uno de los anillos del tanque

No. Anillo	Presion Hidrostatica [Pa]	Presion hidrostatica [psi]
1	116699.16	16.93
2	132073.32	19.16
3	152572.20	22.13
4	173071.08	25.10
5	193569.96	28.07
6	214068.84	31.05
7	234567.72	34.02
8	255066.60	36.99

En el Cuadro 42 se presenta la presión hidrostática del cono.

Cuadro 42. Presión hidrostática del cono solamente

Pieza	Presion Hidrostatica [Pa]	Presion Hidrostatica [psi]
Cono	290597.99	42.15

A continuación, en el Cuadro 43, se presentan las presiones hidrostáticas de la columna de fluido total de los anillos y tapa, y la presión hidrostática del cono.

Cuadro 43. Presiones hidrostáticas de la columna de fluido total y del cono

Pieza	Presion Hidrostatica [Pa]	Presion Hidrostatica [psi]
Cono	290,597.99	42.15
Columna de fluido total	409,688.69	59.40

4. Análisis de esfuerzos sobre la soldadura del tanque cilíndrico cónico

Cuadro 44. Esfuerzos circunferenciales y longitudinales en la soldadura

No. Anillo	Esfuerzo Tangencial [Pa]	Esfuerzo Tangencial [psi]	Esfuerzo Longitudinal [Pa]	Esfuerzo Longitudinal [psi]
1	93242628.84	13523.70	46621314.42	6761.85
2	105526582.7	15305.33	52763291.34	7652.67
3	121905187.8	17680.85	60952593.9	8840.42
4	124438106.5	18048.22	62219053.26	9024.11
5	126506767.5	18348.25	63253383.75	9174.13
6	128227235.2	18597.78	64113617.58	9298.89
7	129679861.8	18808.47	64839930.91	9404.23
8	130922042	18988.63	65461020.99	9494.32

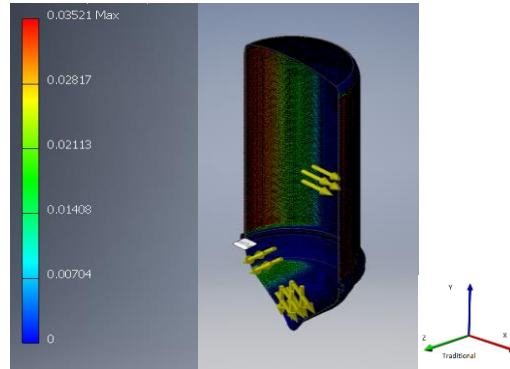
A continuación, en el Cuadro 45, se presentan los factores de seguridad de cada una de las soldaduras en cada anillo.

Cuadro 45. Factor de seguridad en cada uno de los anillos y cono según Von Mises

Pieza	Von Mises[Pa]	Von Mises [psi]	Factor de seguridad	Factor de seguridad total	
ANILLOS	1	80750485.29	11708.82	2.99	5.98
	2	91388701.38	13251.36	2.64	5.28
	3	105572989.5	15308.08	2.29	4.58
	4	107766561.4	15626.15	2.24	4.48
	5	109558074.4	15885.92	2.20	4.4
	6	111048043.1	16101.97	2.17	4.34
	7	112306054.7	16284.38	2.15	4.3
	8	113381814.3	16440.36	2.13	4.26
Cono	135013200	19576.91	1.79	3.58	

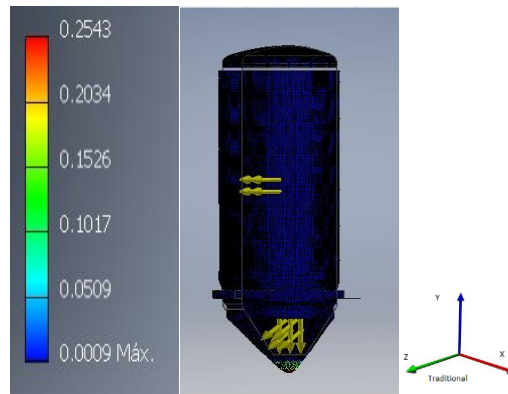
5. Simulación de deformaciones del tanque: En el Cuadro 46, se puede observar la deformación del tanque en el eje X, siendo la deformación máxima de 0.03521 pulgadas.

Cuadro 46. Deformación en el eje X



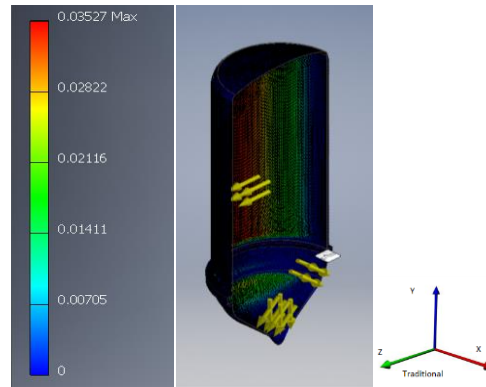
En el Cuadro 47, se muestra la deformación del tanque en el eje Y, siendo la deformación máxima de 0.2543 pulgadas en el área de la tapa y la mínima de 0.0009 pulgadas en la superficie de la tapa.

Cuadro 47. Deformaciones en el eje Y



En el Cuadro 48, se muestra la deformación del tanque en el eje Z, siendo la deformación máxima de 0.03527 pulgadas.

Cuadro 48. Deformaciones del tanque en el eje z



6. Interpretación de las pruebas no destructivas (radiografía): En el anexo 3, se presentan los resultados de las radiografías que se realizaron en el anillo 3 del tanque de acero inoxidable. Las características que menciona dicha prueba son: Material, espesor, tipo de técnica, norma de interpretación y distancia de película. El resultado que aparece en dicha ficha, dice que existe porosidad aislada en 4 de 5 lugares analizados, sin embargo, se acepta dicha soldadura.

7. Mantenimiento preventivo: En el mantenimiento preventivo del tanque y sus equipos, se obtienen los siguientes resultados, tras analizar los equipos críticos del mismo. Estos equipos son los que conforman gran responsabilidad en el proceso que se lleva a cabo en dicho tanque, por lo cual se recomienda un mantenimiento preventivo a estos.

Cuadro 49. Mantenimiento preventivo según frecuencia

Equipo	Posibles daños	Tarea a realizar	Frecuencia
Empaque del Manhole en techo	Suciedad o ruptura del empaque	Cambio, revisión de instalación o limpieza	Anual
Tuberías de acero inoxidable	Fugas o porosidades en soldaduras	Inspección visual, utilizar líquidos penetrantes	Trimestral
Laminas de aislamiento térmico	Suciedad u holgura de los pernos de sujeción	Cambio o limpieza de laminas	Semestral
Equipo y estructura del tanque	Fugas o desalineamiento	Inspección visual de la alineación	Posterior al sismo
Escaleras y pasarelas	Falta de apriete de pernos	Inspección visual de pernos y si es necesario, cambiarlos	Semestral

En el anexo 18, se encuentra un formulario que se le recomienda a la empresa, a evaluar e implementar al momento de realizar tanto inspecciones como mantenimiento.

VI. DISCUSIÓN

El objetivo del proyecto es sistematizar los procesos de fabricación y montaje de un tanque cilíndrico cónico de acero inoxidable 304 en una empresa guatemalteca, conforme a las Normas ya existentes, que rigen una metodología específica para dichos procesos.

El Cuadro 38, brinda información de los criterios que se deben tomar en cuenta al momento de realizar una inspección visual de las piezas que están por ingresar a la empresa. Debido a que actualmente la empresa no realiza este proceso de manera detallada, se le recomienda a la misma, evaluar el formulario presentado en el anexo 5 que le será de utilidad para llevar un registro y control de las propiedades de la pieza, según la orden de compra; evitando que existan atrasos en el proceso de fabricación.

En el Cuadro 39, se puede observar tres tiempos, (optimista, pesimista y más probable), los cuales se determinan mediante la experiencia vivida en el proyecto. Se puede observar que el tiempo máximo es de 10 días; esto se debe a que el número de trabajadores por pieza es suficiente para trabajar de manera eficiente. El cuadro 40, muestra las rutas que son críticas al proceso, es decir, que son dependientes de otras actividades. Se puede observar que solamente 5 de 27 actividades, son independientes de las demás. Concluyendo así, que, en casos ideales, en los cuales no existan atrasos ni percances, el tiempo ideal de duración del proyecto sería de 56 días y medio.

Debido a que el llenado del tanque cilíndrico cónico, de acero inoxidable 304, representa el 99%, quiere decir que hay un 1% del tanque que no contiene fluido. A consecuencia de esto, las presiones hidrostáticas en cada una de las piezas del tanque, agregan a su valor, la presión atmosférica. En el Cuadro 41, se muestran las presiones hidrostáticas en cada uno de los anillos que conforman el cuerpo del tanque. Se puede observar que la presión más alta es la del anillo 8 y la más baja es la del anillo 1. Esto es debido a que, este es un fluido en reposo y la única presión a la que este se somete es a la hidrostática, la cual varía según la altura que tenga la columna del fluido. Concluyendo que la presión hidrostática en el anillo 1 es de 16.93 psi y en el anillo 8 es de 36.99psi. En el Cuadro 42, se puede observar la presión hidrostática del cono, la cual es analizada mediante el mismo punto de referencia anterior. A pesar que la columna de fluido recae directamente en la tapa del cono, las paredes del mismo también se ven afectadas por dicha presión. La presión hidrostática del cono es de 42.15psi, la cual es una presión medida a un tercio de la altura del mismo. Para finalizar el análisis de presiones, en el Cuadro 43, se observan las presiones finales calculadas por medio de la sumatoria de las presiones hidrostáticas en el tanque.

Mediante una suma de la columna de fluido de anillos, con la presión hidrostática de la tapa se obtiene un resultado total de 59.40psi.

En el Cuadro 44, se puede observar cada uno de los esfuerzos circunferenciales y longitudinales, que actúan en la soldadura de cada uno de los anillos. Se puede observar que los esfuerzos longitudinales son menores que los circunferenciales, esto se debe a que el anillo, no se somete a fuerzas que lo tensen, sino que, al contrario, la presión hidrostática de cada uno de los anillos provoca que el anillo quiera expandirse de manera circunferencial.

Con el fin de determinar el punto crítico del tanque, en el Cuadro 45, se observan los coeficientes, también llamados factores de seguridad, en cada uno de los anillos. Concluyendo así, que el punto crítico del tanque, se encuentra entre el cono y el anillo 8, en vista de que el factor de seguridad en dicho punto, es el menor de los calculados anteriormente. El factor de seguridad más alto se encuentra en el anillo 1, siendo este de 2.99 y el más bajo en el cono siendo este de 1.787. A pesar de que el factor de seguridad es menor, este representa una soldadura segura, debido a que $n > 1$.

Usando la referencia mencionada en resultados, en el Cuadro 46, se puede observar las deformaciones del eje X, siendo la máxima de 0.03521 pulgadas y la mínima de 0.0074 pulgadas. Se puede observar que la mayor deformación se presenta en los anillos del tanque, debido a que las presiones hidrostáticas se someten en dicha dirección. En el Cuadro 47, se puede observar las deformaciones en el eje Y siendo la máxima de 0.254 pulgadas en la tapa y la mínima de 0.0009 pulgadas en la superficie de tapa y anillos. En el Cuadro 48, se puede observar las deformaciones en el eje Z, siendo estas de 0.03527 pulgadas la máxima ubicada en los anillos y 0.0075 pulgadas la mínima ubicada por debajo del soporte.

En el anexo 4 se puede observar la boleta de la prueba de radiografía, concluyendo así que las soldaduras presentadas en dicho anexo, presentan porosidades aisladas. Sin embargo, dicha soldadura, es aceptada por la Norma API 650, la cual rige los procesos de soldadura y contiene rangos en los que se aceptan ciertas propiedades presentadas por la elaboración de una mala soldadura.

En el Cuadro 49, se muestra un plan de mantenimiento, en el cual no se muestra ningún tipo de criticidad o presupuesto, debido a que la empresa actualmente no implementa ningún proceso para dicha actividad. De igual manera, la empresa carece de un registro de inspecciones visuales del sistema, provocando así que las posibles fallas sean causa de esto.

VII. CONCLUSIONES

1. Se sistematizó el proceso de fabricación y montaje de un tanque cilíndrico cónico de acero inoxidable AISI 304.
2. Se desarrolló, documentó y recomendó a la empresa la implementación de un proceso de recepción e inspección de los componentes semiterminados del tanque cilíndrico cónico, mediante el diseño de un formato de inspección que incluye los métodos y tipos de instrumentación a utilizar.
3. Se documentó el proceso de fabricación de un tanque cilíndrico cónico de acero inoxidable 304, detallando la metodología de dichos procesos, tomando como referencia la Norma API 650.
4. Se documentó el proceso de montaje de un tanque cilíndrico cónico de acero inoxidable 304 y recomendar procesos que son indispensables, basados en las Normas ya existentes.
5. Mediante la empresa SIE, especializada en los procesos de ensayos no destructivos, se interpretó la radiografía brindada en el anexo 3, llegando a la conclusión que la soldadura contiene un grado de porosidad en cuatro de los cinco lugares analizados, sin embargo, bajo la Norma API 650, esta es aceptable.
6. Por medio de simulaciones realizadas en el software Autodesk Inventor 2019, se simuló las deformaciones máximas y mínimas en los tres ejes del mismo, siendo estas de [0.03521-0.0074]pulgadas en el eje X, [0.254 -0.0009] pulgadas en el eje Y, [0.03527-0.00705]pulgadas en el eje Z.
7. Mediante el software Autodesk Inventor 2019, se calculó la cantidad de masa que contiene la soldadura en el tanque, concluyendo así que 24.77kg de soldadura son agregados a 36,400kg, la masa neta del tanque.
8. Según la Norma OSHA 18,000 se estableció un proceso de seguridad industrial basados en la importancia de utilizar el equipo de seguridad y respetar las áreas de trabajo en los procesos de fabricación y montaje de un tanque cilíndrico cónico de acero inoxidable y así mismo recomendar la implementación de formularios y algunas prácticas a la empresa.

9. Se localizaron los puntos críticos del tanque, mediante la utilización de los esfuerzos longitudinales y circunferenciales de la soldadura. El punto crítico se encuentra entre el anillo 8 y el cono, teniendo un factor de seguridad de 2.13.

VIII. RECOMENDACIONES

- Para evitar problemas como cuellos de botella en el proceso de fabricación del proyecto, evaluar la implementación de un sistema de inspección previo a que las piezas inicien los distintos procesos de fabricación. Evaluar e implementar el formato que el presente trabajo ofrece a la empresa, para tener un control de registro de piezas como de inspección y verificación de las mismas.
- Debido a que existen distintas normativas que rigen el proceso de fabricación y montaje de un tanque, se recomienda a la empresa, investigar y analizar las distintas normas involucradas en dichos procesos, para garantizar la salud y seguridad de los trabajadores.
- Para extender o preservar la vida de los equipos que conforman al tanque, en futuras instalaciones evaluar y diseñar un plan de mantenimiento en el cual conlleve un análisis de criticidad de fallas con el fin, de evitar el mantenimiento correctivo de los mismos. Evitar el mantenimiento correctivo, brinda a la empresa menor posibilidad de que la producción de la misma, se detenga.
- Para futuros análisis, se recomienda a la empresa la implementación de un software, el cual tenga mayor capacidad de trabajar con espesores pequeños y sea más eficiente al momento de realizar simulaciones.

IX. Bibliografía

AEND. (2002). *Líquidos Penetrantes* (Vol. 2). Madrid: Fundación Confemetal.

AFELMA (Asociación de Fabricantes Españoles de Lanas Minerales Aislantes). (2017). *Guía de Buenas Prácticas en el Aislamiento Industrial*. Madrid: Comunidad de Madrid. Obtenido de https://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/Guia de Buenas Practicas en el Aislamiento Industrial_fenercom_2017.pdf

Asociación de la Industria del Poliuretano. (15 de Mayo de 2006). Claves de ahorro energético. *Arte y Cemento*.

Álvarez Salazar, J., & Mejía, J. G. (2017). *TIA PORTAL Aplicaciones de PLC*. Medellín: Fondo Editorial.

Cámara Chile de Refrigeración y Climatización A.G. (2 de Noviembre de 2016). *Cámara Chile de Refrigeración y Climatización A.G.* Obtenido de <http://www.cchryc.cl/biblioteca-camara/biblioteca-camara-2016-12-001.pdf>

Danfoss. (s.f.). Obtenido de De los HFC/HCFC al amoníaco en la refrigeración industrial: <https://www.danfoss.com/en/>

Departamento de trabajo de los EE.UU. (2015). Administración de seguridad y salud ocupacional. *Boletín para la Industria en General*, 120.

ECOGAS. (Noviembre de 2004). *Pruebas neumáticas de resistencia y hermeticidad en Líneas de Transmisión y Distribución*. Obtenido de Ecogas: https://www.ecogas.com.ar/appweb/leo/pub/notas/51/ESP_TEC_05-03-prueba-neum.pdf

Federal Register Washington. (2007). Tank Inspection, Repair, Alteration and Reconstruction. *American Petroleum Institute*, 114.

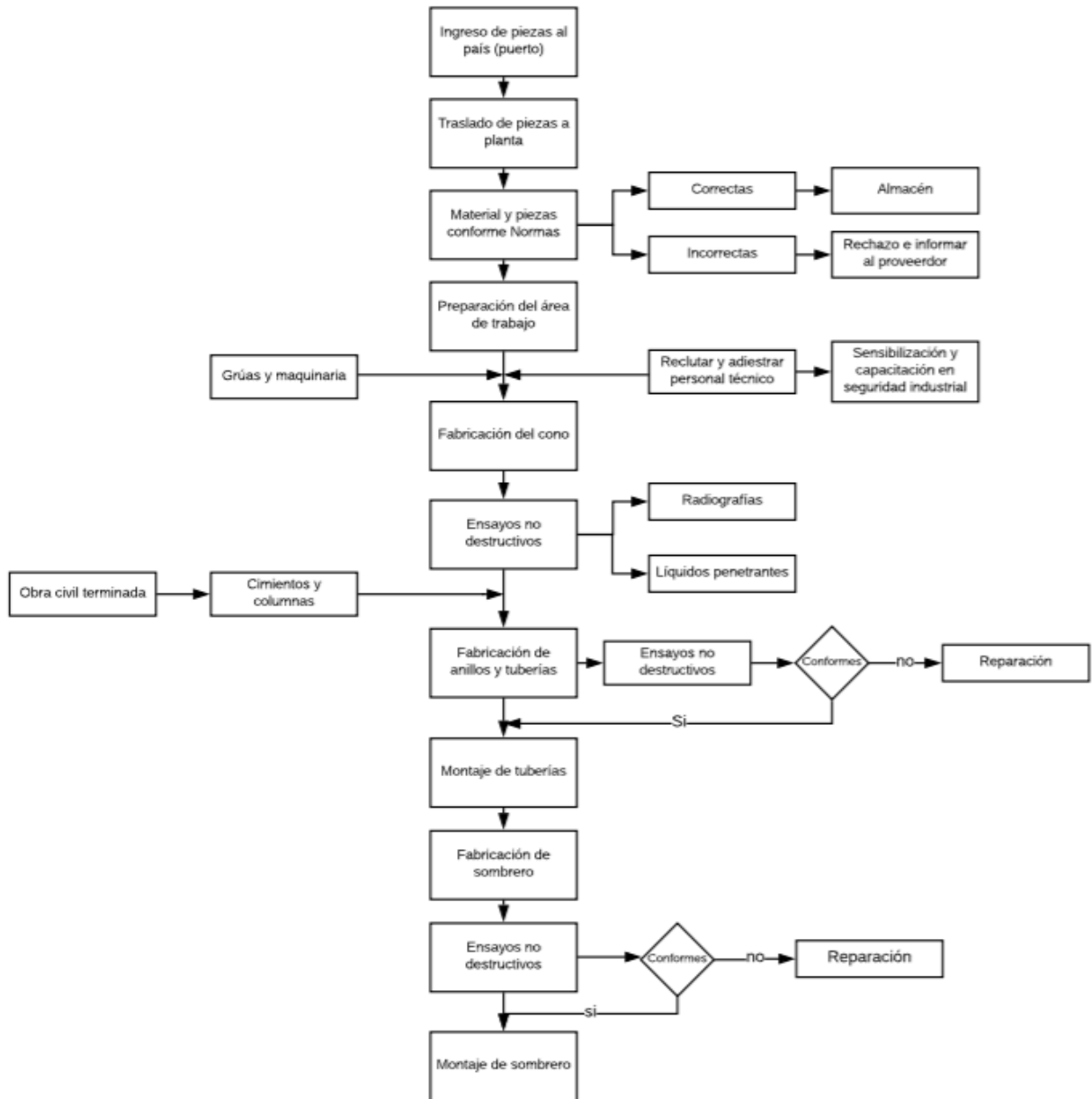
Gutiérrez, A. M. (2009). *Mantenimiento Planeación, ejecución y control* (1ª edición ed.). México D.F: Alfaomega.

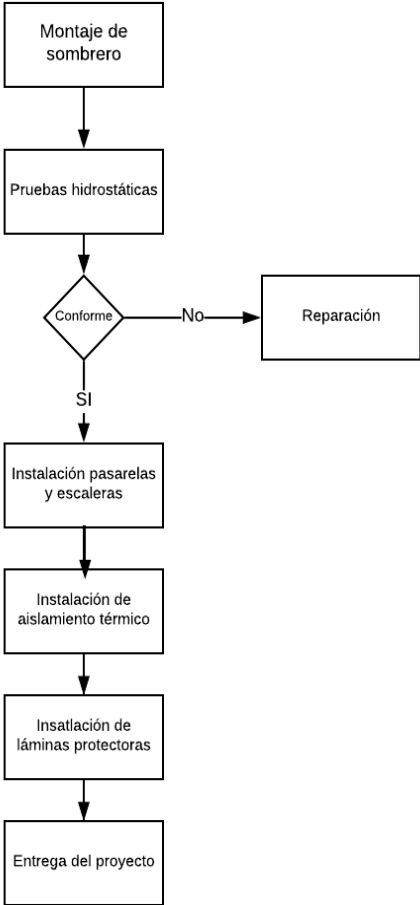
Kalpakjian, Serope, Schmid, & Steven R. (2002). *Manufactura, Ingeniería y tecnología* (Cuarta Edición ed.). México: Pearson Educación.

- Luszczewski, A. (2004). *Redes Industriales de Tubería*. Barcelona: Reverté Ediciones, S.A.
- Mandado, E., Acevedo, J. M., Fernandez, C., & Armesto, J. (2009). *Autómatas Programables y Sistemas de Automatización* (2ª edición ed.). Barcelona: Marcombo.
- Mejía, M. A. (2000). *Guía metodológica para la sistematización participativa de experiencias en agricultura sostenible*. El Salvador: PASOLAC.
- Monzó, R. S. (2014). *Automatismos industriales*. Valencia: Nau Llibres.
- Moran, M. J., & Shapiro, H. (2004). *Fundamentos de Termodinámica Técnica* (2 edición ed.). Barcelona: Reverté, S.A.
- Mott, R. L. (2006). *Mecánica de fluidos* (Sexta edición ed.). (J. E. Brito, Trad.) México: Pearson Educación.
- Newell, J. (2016). *Ciencia de los materiales. Aplicaciones para la ingeniería* (Primera ed.). Ciudad de Mexico: Alfa omega Grupo Editor, S.A.
- Núñez, C., Roca, A., & Jorba, J. (2011). *Comportamiento Mecánico de los Materiales* (Vol. 2). Barcelona: Universitat de Barcelona.
- Pérez, R. G. (2013). *Fluidos y equipos de gasificación criogénicos*. Madrid: Ediciones Díaz de Santos.
- Ribas, A. I. (2011). *Operaciones unitarias en la ingeniería de alimentos*. Madrid.
- Ros, J. A. (2017). *Vehículos Eléctricos e Híbridos*. Madrid.
- Sánchez, J. A. (2002). *Avances en Robótica y visión por computador*. España: Ediciones de la Universidad de Castilla La Mancha.
- Sharma, S. (2006). *Operation Research*. India: Discovery Publishing House.
- Vizcaíno, J. R. (2007). *LabVIEW Entorno gráfico de programación*. Barcelona: Marcombo .

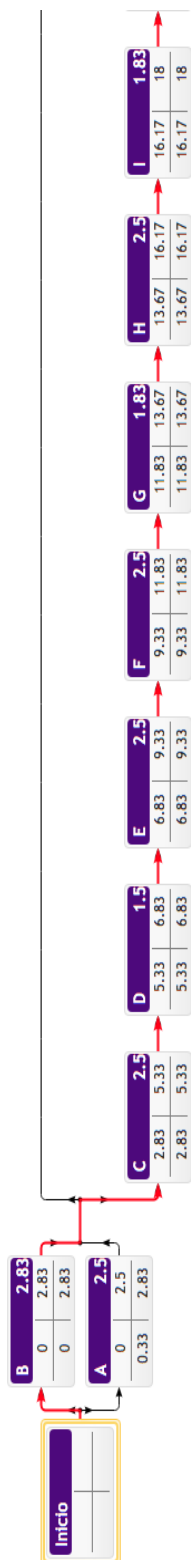
X. Anexos

Anexo 1: Diagrama de proceso de la sistematización de procesos de fabricación y soldadura de un tanque cilíndrico cónico de acero inoxidable 304

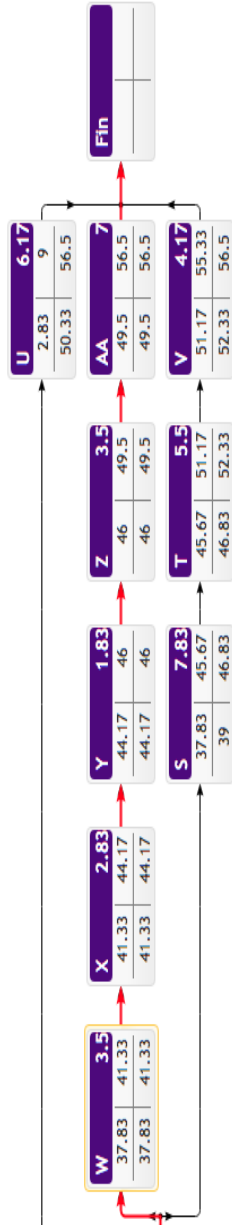




Anexo 2: Diagrama de red de conexiones y su ruta crítica según el análisis PERT



J	2.5	18	20.5	18	20.5
K	1.83	20.5	22.33	20.5	22.33
L	2.5	22.33	24.83	22.33	24.83
M	1.83	24.83	26.67	24.83	26.67
N	2.5	26.67	29.17	26.67	29.17
O	1.83	29.17	31	29.17	31
P	2.5	31	33.5	31	33.5
Q	1.83	33.5	35.33	33.5	35.33
R	2.5	35.33	37.83	35.33	37.83



Anexo 3: Formulario de radiografías en tuberías


<p>CLAVE INTERPRETACIÓN DE DISCONTINUIDADES</p> <p>FF -FALTA DE FUSIÓN FP -FALTA DE PENETRACIÓN FP(HL) -FALTA DE PENETRACIÓN POR H-L PE -PENETRACIÓN EXCESIVA FPB -FALTA DE FUSIÓN EN EL BORDE GT -GRIETA TRANSVERSAL GL -GRIETA LONGITUDINAL GMB -GRIETA METAL BASE Q -QUEMADA A TRAVÉS DE LA RAÍZ CR -CONCAVIDAD DE LA RAÍZ PT -PORO TUNEL PG -POROS EN GRUPO P -POROSIDAD AISLADA PR -POROSIDAD ALINEADA EN LA RAÍZ IE -INCLUSIONES DE ESCORIA LE -LÍNEA DE ESCORIA DLE -DOBLE LÍNEA DE ESCORIA IT -INCLUSIONES DE TUNGSTENO SI -SOCAVADO INTERNO SE -SOCAVADO EXTERNO SC -SOCAVADO ENTRE CORDONES RI -REFUERZO INSUFICIENTE (CORONA BAJA) ER -EXCESO DE REFUERZO OS -DESALINEAMIENTO DE LA SOLDADURA DP -DESALINEAMIENTO DE LAS PLACAS OT -DESALINEAMIENTO DE LOS TUBOS CI -CORDÓN IRREGULAR</p>	<h1 style="margin:0;">ENCONTROL S.A.</h1> <p style="margin:0;">Ensayos no destructivos y más... X-RAY</p> <p style="margin:0;">Tel.: (502) 2435-4300 Telefax: (502) 2435-3708 E-mail: info@encontrol.com.gt</p> <h2 style="margin:0;">REPORTE DE INSPECCIÓN RADIOGRÁFICA</h2>	<ul style="list-style-type: none"> - RADIOGRAFÍA INDUSTRIAL - INSPECCIÓN DE SOLDADURA AWS - CALIFICACIÓN DE SOLDADORES - ULTRASONIDO - PARTÍCULAS MAGNÉTICAS - LÍQUIDOS PENETRANTES - INSPECCIÓN DE TANQUES - INSPECCIÓN DE TUBERÍAS - MEDICIÓN DE DUREZA 																																																																																																																																																																																																																											
<p>Eq. INSPECCIÓN: <u>Platina</u></p> <p>ESPECIFICACIÓN MATERIAL: <u>Acer 20x</u></p> <p>ESPEZOR DEL MATERIAL: <u>5.5mm</u></p> <p>PENUMBRA GEOMÉTRICA: <u>5.5mm</u></p> <p>TÉCNICA: <input checked="" type="checkbox"/> DOBLE PARED SIMPLE IMAGEN <input type="checkbox"/> SIMPLE PARED SIMPLE IMAGEN</p> <p>PROCEDIMIENTO ENCONTROL S.A. No. _____</p>		<p>NORMA DE INTERPRETACIÓN: <u>API 650</u></p> <p>TIPO Y MARCA DE PELÍCULA: <u>AGFA D7</u></p> <p>PANTALLAS REFORZADORAS DE PLOMO: <input type="checkbox"/> ANTERIOR 0.015" <input type="checkbox"/> POSTERIOR 0.015"</p> <p>OTRO: _____</p>																																																																																																																																																																																																																											
<p>No. DE PELÍCULAS: <u>05</u></p>		<p>No. DE REPORTE: <u>06</u></p> <p>Hoja: <u>1</u> DE <u>2</u></p> <p>FECHA DE EJECUCIÓN: <u>16-02-2017</u></p> <p>NIL. DE CONTRATO / OFERTA: _____</p>																																																																																																																																																																																																																											
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">No.</th> <th rowspan="2">Identificación de Radiografía</th> <th rowspan="2">% TOMADO</th> <th colspan="2">RESULTADO</th> <th rowspan="2">Discontinuidades Observadas (ver clave de interpretación)</th> <th rowspan="2">LONGITUD DE ZONAS DEFECTUOSAS</th> </tr> <tr> <th>Acepta</th> <th>Rechaza</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>Spot 1 0-1</td> <td>100</td> <td>✓</td> <td></td> <td>P.</td> <td></td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Spot 2 0-1</td> <td>100</td> <td>✓</td> <td></td> <td>P.</td> <td></td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>Spot 3 0-1</td> <td>100</td> <td>✓</td> <td></td> <td>P.</td> <td></td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>Spot 4 0-1</td> <td>100</td> <td>✓</td> <td></td> <td>P.</td> <td></td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>Spot 5 0-1</td> <td>100</td> <td>✓</td> <td></td> <td>P.</td> <td></td> </tr> <tr><td>6</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>7</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>8</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>9</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>10</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>11</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>12</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>13</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>14</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>15</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>16</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>17</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>18</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>19</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>20</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>21</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>22</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>23</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>24</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>25</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>26</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>27</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>28</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>29</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>30</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>			No.	Identificación de Radiografía	% TOMADO	RESULTADO		Discontinuidades Observadas (ver clave de interpretación)	LONGITUD DE ZONAS DEFECTUOSAS	Acepta	Rechaza	1	Spot 1 0-1	100	✓		P.		2	Spot 2 0-1	100	✓		P.		3	Spot 3 0-1	100	✓		P.		4	Spot 4 0-1	100	✓		P.		5	Spot 5 0-1	100	✓		P.		6							7							8							9							10							11							12							13							14							15							16							17							18							19							20							21							22							23							24							25							26							27							28							29							30						
No.	Identificación de Radiografía	% TOMADO				RESULTADO				Discontinuidades Observadas (ver clave de interpretación)	LONGITUD DE ZONAS DEFECTUOSAS																																																																																																																																																																																																																		
			Acepta	Rechaza																																																																																																																																																																																																																									
1	Spot 1 0-1	100	✓		P.																																																																																																																																																																																																																								
2	Spot 2 0-1	100	✓		P.																																																																																																																																																																																																																								
3	Spot 3 0-1	100	✓		P.																																																																																																																																																																																																																								
4	Spot 4 0-1	100	✓		P.																																																																																																																																																																																																																								
5	Spot 5 0-1	100	✓		P.																																																																																																																																																																																																																								
6																																																																																																																																																																																																																													
7																																																																																																																																																																																																																													
8																																																																																																																																																																																																																													
9																																																																																																																																																																																																																													
10																																																																																																																																																																																																																													
11																																																																																																																																																																																																																													
12																																																																																																																																																																																																																													
13																																																																																																																																																																																																																													
14																																																																																																																																																																																																																													
15																																																																																																																																																																																																																													
16																																																																																																																																																																																																																													
17																																																																																																																																																																																																																													
18																																																																																																																																																																																																																													
19																																																																																																																																																																																																																													
20																																																																																																																																																																																																																													
21																																																																																																																																																																																																																													
22																																																																																																																																																																																																																													
23																																																																																																																																																																																																																													
24																																																																																																																																																																																																																													
25																																																																																																																																																																																																																													
26																																																																																																																																																																																																																													
27																																																																																																																																																																																																																													
28																																																																																																																																																																																																																													
29																																																																																																																																																																																																																													
30																																																																																																																																																																																																																													
<p style="font-size: 2em; font-weight: bold;">16 02 2017</p> <p>TÉCNICO DE ENCONTROL, S.A. _____</p>		<p>NOMBRE Y FIRMA POR EL CLIENTE _____</p>																																																																																																																																																																																																																											
<p><small>(NORMA APLICADA) API - 1104. - Oleoductos e instalaciones relacionadas; API - 650 - Tanques soldados de acero para almacenamiento de hidrocarburos; API - 653 - Inspección, Reparación y cambio de servicio de Tanques de Almacenamiento; ANSI/ASME B31.1 - Código para sistemas de tuberías de potencia y de servicios auxiliares en plantas de vapor; ANSI/ASME B31.2. Código para sistemas de tuberías de gas combustible; ANSI/ASME B31.3. Código para sistemas de tuberías de plantas químicas y refinerías de petróleo; ASME 1. Código para calderas de potencia; ASME VIII. Código para recipientes a presión; ASME IX. -Calificación de soldadores y procedimiento de soldadura; AWS D1.1 Estructuras y Edificios de Acero soldado; AWS D1.4. Puentes Soldados; AWWA D100. Tanques para almacenamiento de Agua, sobre suelo y elevados.</small></p>																																																																																																																																																																																																																													

Nº 002809

Anexo 4: Plantilla de permiso de trabajo para el registro de seguridad industrial

PERMISO DE TRABAJO											
<input type="radio"/> CALIENTE						<input type="radio"/> FRIO					
VALIDO PARA EL PERIODO, LUGAR, EQUIPO Y TRABAJO INDICADO											
Fecha : Hora Inicial: Hora Final:											
Sector/ Area/ Equipo:											
Descripción de la Tarea:											
Se requiere el siguiente equipo de lucha contra incendio: (marcar el casillero que corresponda)											
Manguera de Agua			Extintor de PQS			Extintor CO ₂			Otros		
PRUEBA DE GASES						OPERACIONES					
Ensayo Realizado	Resultado 1ª Muestra	Hora	Firma	Resultado 2ª Muestra	Hora	Firma	Operación Realizada	SI	NO	N/A	
Oxígeno							Purgado y Drenado				
% LEL							Inertizado				
Otros							Ventilado				
							Lavado				
							Vaporizado				
							Enfriado				
LISTA DE VERIFICACIÓN PREVIA DE RESPONSABLE DEL AREA								SI	NO	N/A	
Se ha aislado adecuadamente el área de trabajo mediante barreras, señalización y letreros?											
Está aislado el tanque o equipo, con sus respectivos avisos de cierre de las líneas y conexiones?											
Se encuentran los alrededores del área de trabajo libre de peligros?											
Se encuentra el lugar de trabajo libre de atmósferas peligrosas?											
Se ha cortado el suministro eléctrico, y se ha colocado los respectivos avisos de corte?											
Se han tomado las precauciones para prevenir la acumulación y descarga de electricidad estática?											
Hay orden y limpieza en el lugar de trabajo?											
LISTA DE VERIFICACIÓN PREVIA DE RESPONSABLE DEL TRABAJO								SI	NO	N/A	
Ha sido instruido el personal en relación con los riesgos que puedan presentarse durante este trabajo?											
Ha sido instruido el personal sobre las rutas de evacuación en caso de emergencias?											
El personal conoce el Plan de Contingencias?											
Se ha realizado la inspección del buen estado de los equipos y herramientas a utilizar?											
Se ha realizado la inspección de los implementos de protección personal?											
Permiten los factores externos (viento, condiciones atmosféricas etc.) que el trabajo se realice con seguridad?											
Se han dispuesto las medidas necesarias para la manipulación, transporte, eliminación y disposición de residuos?											
Se requiere el siguiente equipo de protección Personal? (marcar el casillero que corresponda)											
Cabeza	Manos	Pies	Ojos	Oídos	Cara	Respiración	Cuerpo	Arnés de Seguridad	Equipo de Aire Asistido	Otros	
VERIFICACIONES DE SEGURIDAD											
Observación				Apellido y Nombre				Firma		Hora	
AUTORIZACIÓN DE TRABAJO											
Responsables				Apellido y Nombre				Firma		Hora	
Sup. Resp. del Área											
Sup. Resp. del Trabajo											
OBSERVACIONES											
.....											
CIERRE DE PERMISO											
Entrega Resp. del Trabajo Sr:						Recibe Resp. del Área Sr:					
Firma :						Firma :					
Fecha :/...../.....						Hora :					
ESTE PERMISO QUEDA CANCELADO AL ESCUCHARSE LA ALARMA DE EMERGENCIAS DE LA INSTALACIÓN											

Anexo 5: Plantilla de formulario para los procesos de inspección y verificación de piezas

EMPRESA				DEPARTAMENTO DE INSPECCIÓN Y VERIFICACIÓN	
				Código de inspección:	
Nombre y número de pieza:				Fecha de ingreso:	
Material de pieza:				Proveedor:	
Descripción					
DIMENSIONES SEGÚN PROVEEDOR:			DIMENSIONES SEGÚN LA VERIFICACIÓN		
Espesor		(mm)	Espesor		(mm)
Peso		(kg)	Peso		(kg)
Altura		(mm)	Altura		(mm)
Longitud		(mm)	Longitud		(mm)
Nombre del inspector:				FIRMA:	
APROBADO POR:				FIRMA:	
FECHA DE APROBACIÓN				En caso de que no esté aprobado, notificarlo al gerente.	
OBSERVACIONES:					

Anexo 6: Formulario de inspección y mantenimiento preventivo

NOMBRE DE LA EMPRESA		Departamento de Mantenimiento Preventivo		
Equipo a inspeccionar		Fecha de inspección		
Causa de inspección		Nombre de inspector		
		No. Inspección		
REPORTE DE DAÑOS		SOLUCIÓN A DAÑO		SELECCIÓN
	APROBACIÓN			
FUGAS	<input type="checkbox"/>	REVISIÓN SOLDADURA	<input type="checkbox"/>	Si / No
CORROSIÓN	<input type="checkbox"/>	LIMPIEZA Y CORRECCIÓN SOLDADURA	<input type="checkbox"/>	Si / No
FUGAS Y CORROSIÓN	<input type="checkbox"/>	LIMPIEZA Y CORRECCIÓN SOLDADURA	<input type="checkbox"/>	Si / No
POROSIDAD	<input type="checkbox"/>	LIQUIDOS PENETRANTES	<input type="checkbox"/>	Si / No
PARTÍCULAS Y POLVOS	<input type="checkbox"/>	LIMPIEZA	<input type="checkbox"/>	Si / No
RUPTURA	<input type="checkbox"/>	CAMBIO DE EMPAQUE	<input type="checkbox"/>	Si / No
MANTENIMIENTO APROBADO POR			FECHA	
MANTENIMIENTO REALIZADO POR			FECHA	
FIRMA APROBADA		FIRMA DE MANTENIMIENTO		

Anexo 7: Juego de planos

XI. Glosario

Acero inoxidable: es un material que tiene gran resistencia a la corrosión. Es una aleación de acero que contiene cromo, níquel y otros metales que contienen grandes cantidades de oxígeno.

Aislamiento térmico: es un conjunto de materiales y técnicas de instalación que se aplican a equipos que requieren mantener sus temperaturas a cierto rango, disminuyendo la transmisión de calor hacia los mismos.

Anillo: pieza de acero inoxidable rolada que conforma mayor parte del cuerpo del tanque

Bridas: es un elemento mecánico que, por medio de pernos, puede ser montado o desmontado sin operaciones destructivas. Son elementos que permiten la unión de dos objetos,

CIP: cleaning in place, es el método de limpieza que se realiza en el interior del tanque, el cual contiene líquidos químicos.

Cono: cuerpo geométrico que está formado por una superficie lateral curvada que termina en un vértice y empieza con un plano. Esta es la pieza del tanque cilindro cónico en donde se introduce y extrae el fluido que se almacena en el mismo.

Corral: es área de tuberías que se encuentran en el área subterránea del tanque. El conjunto de tuberías ensambladas, forman un tipo de "corral".

Empaque: es un dispositivo mecánico formado de materiales blandos que tiene como fin dar un buen ajuste a dos piezas, tales como las tuberías o válvulas.

Montaje: proceso mediante el cual se ensamblan piezas en sus posiciones respectivas para definir una estructura o un cuerpo.

Norma API: es el conjunto de reglas y especificaciones, que establecen estándares para facilitar una amplia aplicación de buenas prácticas comprobadas de ingeniería y operación.

Norma OSHA 18,000: es una normativa de Gestión de la Seguridad y Salud laboral, la cual establece requisitos mínimos de las mejores prácticas en gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo, destinados a permitir que una organización sepa controlar sus riesgos

Porosidades: en la soldadura, se le conoce como porosidad a las discontinuidades que son cavidades o poros. Es causada por distintas razones dependiendo el tipo de soldadura que se esté ejerciendo.

Rolado: es un proceso de manufactura en que una lámina se somete a esfuerzos, de rodillos de materiales dúctiles, con el fin de obtener una forma en específico. Dicha forma conlleva un radio.

Semicono: pieza instalada previo al cono, que tiene como función unir los anillos y el cono.

Tanque cilíndrico cónico: tanque de acero inoxidable mayormente utilizado en empresas alimenticias con el fin de beneficiar a la empresa y sus procesos con dicho diseño.

Techo toriesférico: también conocido como el sombrero o cabeza toriesférica, es la pieza que sella el tanque en la parte superior del cilindro. Su estructura tiene un radio fijo.