



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE GUAYAQUIL
CARRERA DE INGENIERIA INDUSTRIAL**

TÍTULO: “IMPLEMENTACIÓN DE DOMO GEODÉSICO Y MEMBRANA FLOTANTE *FULL CONTACT* EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO PARA UNA EMPRESA DE DISTRIBUCIÓN Y ALMACENAMIENTO DE HIDROCARBUROS.”

TITLE: “IMPLEMENTATION OF A GEODESIC DOME AND FULL CONTACT FLOATING MEMBRANE IN STORAGE TANKS FOR A HYDROCARBONS DISTRIBUTION AND STORAGE COMPANY.”

Proyecto Técnico previo a la obtención
del título de Ingeniería industrial

AUTOR: JORDY JAVIER VALENCIA CASTILLO
TUTOR: ING. ARMANDO LÓPEZ Ph.D

Guayaquil-Ecuador

2022

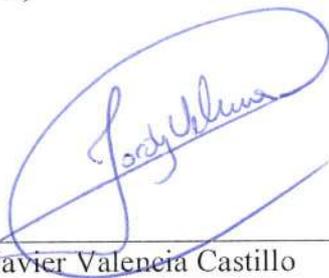
**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Yo, Jordy Javier Valencia Castillo con documento de identificación N°
0931338339 manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la
Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de
manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Guayaquil, 07 de septiembre del año 2022

Atentamente,



Jordy Javier Valencia Castillo

0931338339

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO
DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, Jordy Javier Valencia Castillo con documento de identificación No. 0931338339, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Proyecto técnico: “Implementación del domo geodésico y membrana flotante *full contact* en tanques de almacenamiento para un empresa de distribución y almacenamiento de hidrocarburos”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniería Industrial, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 04 de septiembre del año 2022

Atentamente,

Jordy Javier Valencia Castillo

0931338339

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Armando Fabrizzio López Vargas con documento de identificación N° 0912034790, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: "Implementación del domo geodésico y membrana flotante *full contact* en tanques de almacenamiento para un empresa de distribución y almacenamiento de hidrocarburos", realizado por Jordy Javier Valencia Castillo con documento de identificación N° 0931338339, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 04 de septiembre del año 2022

Atentamente,



Ing. Armando Fabrizzio López Vargas Ph.D

0912034790

DEDICATORIA

Esta tesis es dedicada a:

A Dios por darme vida, amor, sabiduría e inteligencia en cada momento de mi vida.

Gracias a mis padres, Elias Valencia y Gina Castillo quienes con sus oraciones, amor, trabajo duro y apoyo incondicional me han permitido alcanzar hoy otro sueño, gracias por infundirme fe, trabajo, determinación, valentía, esfuerzo, coraje y su ejemplo de confianza y fe en las promesas de Dios.

A mis hermanos Jafet y Eliana por su amor y apoyo incondicional, durante toda esta carrera, y ser un motivo de inspiración para ser mejor cada día. A toda mi familia por sus oraciones y palabras de aliento.

Finalmente dedicar esta tesis a todos mis verdaderos amigos, por apoyarme cuando más lo necesitaba, por extender su mano en los momentos difíciles y disfrutar junto a mí en los momentos felices.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por guiar mis pasos hasta el día de hoy, ser piedra angular en mi vida, por guardarme, brindarme amor y valentía a lo largo de mi vida

A mis padres Elias Valencia y Gina Castillo por ser los promotores de mis sueños, por creer en mí, por el ejemplo, los consejos y el amor.

A mis hermanos Jafet y Eliana por su amor y ayudarme a ser mejor cada día.

De igual manera mis agradecimientos a la Universidad Politécnica Salesiana Guayaquil, a todo el personal docente quienes con la enseñanza de sus valiosos conocimientos hicieron que pudiera ser mejor cada día como profesional, gracias por la dedicación, pacencia, apoyo incondicional y amistad.

Para concluir, quisiera expresar mi más profundo agradecimiento al Ing. Armando López principal colaborador en este proceso, quién con su liderazgo, conocimiento, y cooperación contribuye al desarrollo de este trabajo.

RESUMEN

Los tanques de almacenamiento sobre superficie han sido usados desde el inicio de la transformación industrial, pero asombrosamente los ingenieros no se han visto en la necesidad de modificarlos ya que piensan que con la adquisición de dichos tanques es suficiente para mantener un ritmo de producción. Es por tal motivo que el presente trabajo de investigación tuvo como propósito implementar un domo geodésico y membrana flotante en un tanque de almacenamiento para una empresa de distribución y almacenamiento de hidrocarburos a fin de reducir costos de mantenimiento y pérdidas producidas durante la recepción, almacenamiento y despacho de combustible por evaporación de este. El domo geodésico y membrana flotante es un recurso que ha tenido gran aceptación y demanda en la industria hidrocarburo a nivel internacional; dicho material es y ha sido utilizado en diferentes refinerías a nivel mundial durante los últimos años, reemplazando a techos cónicos convencionales de acero al carbono en varias aplicaciones. El proceso metodológico cubrió los siguientes pasos; desmontaje del techo flotante de acero, montaje del domo geodésico, instalación de la membrana flotante y desde luego pruebas hidrostáticas. Obteniendo resultados exitosos en los diferentes objetivos presentados y concluyendo que para la presente investigación fue necesario el uso de las normativas API 653,650; El montaje del domo geodésico se realizó de forma simple gracias a la codificación existente en cada uno de sus componentes, de igual forma la membrana flotante. Las pruebas hidrostáticas fueron efectuadas con base en las particularidades detalladas en el marco metodológico de la presente investigación, es necesario señalar que el tratamiento del tanque de almacenamiento fue efectuado con base en diferentes niveles de llenado (0%, 50%, 75% y 100%). Es necesario detallar que tras efectuar un proyecto de tal envergadura se puede aseverar que todo el procedimiento es efectivo al momento de eliminar pérdidas innecesarias al momento de manipulación de tanques de almacenamiento de combustible.

Palabras Clave

Domo geodésico, membrana flotante, pruebas hidrostáticas, tanques de almacenamiento.

ABSTRACT

Aboveground storage tanks have been used since the beginning of the industrial transformation, but surprisingly engineers have not seen the need to modify them because they think that the acquisition of such tanks is enough to maintain a production rate. For this reason, the purpose of this research work was to implement a geodesic dome and floating membrane in a storage tank for a hydrocarbon distribution and storage company to reduce maintenance costs and losses produced during the reception, storage and dispatch of fuel due to its evaporation. The geodesic dome and floating membrane are a resource that has had great acceptance and demand in the hydrocarbon industry at international level; this material is and has been used in different refineries worldwide during the last years, replacing conventional carbon steel conical roofs in several applications. The methodological process covered the following steps: disassembly of the floating steel roof, assembly of the geodesic dome, installation of the floating membrane and of course hydrostatic tests. Obtaining successful results in the different objectives presented and concluding that for the present investigation it was necessary to use the API 653,650 standards. The assembly of the geodesic dome was carried out in a simple way thanks to the existing codification in each one of its components, as well as the floating membrane. The hydrostatic tests were carried out based on the particularities detailed in the methodological framework of this research, it is necessary to point out that the treatment of the storage tank was carried out based on different filling levels (0%, 50%, 75% and 100%). It is necessary to detail that after carrying out a project of such magnitude it can be asserted that the whole procedure is effective at the moment of eliminating unnecessary losses at the moment of handling fuel storage tanks.

Key words

geodesic dome, floating membrane, hydrostatic testing, storage tanks

Índice General

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I EL PROBLEMA.....	4
1.1. Antecedentes	4
1.2. Justificación	5
1.3. Delimitación del problema	5
1.4. Descripción del problema.....	6
1.5. Objetivos	6
1.5.1 Objetivo general	6
1.5.2 Objetivos específicos.....	6
1.6. Beneficiarios	6
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO.....	7
2.1. Fundamentos	7
2.1.1. Conceptos básicos	7
2.1.2. Densidad y gravedad específica.....	8
2.1.3. Temperatura de almacenamiento	8
2.1.4. Temperatura de autoignición	8
2.1.5. Presión de vapor	9
2.1.6. Punto de ebullición	9
2.1.7. Punto del fuego.....	9
2.1.8. Punto de inflamación.....	9
2.1.9. Líquidos inflamables	10
2.1.10. Líquidos combustibles.....	10
2.1.11. Presión interna.....	10
2.1.12. Presión externa	11
2.1.13. Rangos de presión.....	11
2.2. DOMO GEODÉSICO	11
2.3. CLASIFICACIÓN DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO	13
2.3.1. Componentes Principales	15
2.3.2. Tanques con techo fijo.....	15
2.3.2.1. Tanques con techo cónico.....	16
2.3.2.2. Tanques con techo tipo paraguas	16
2.3.2.3. Tanques con techo con domo	16
2.3.2.4. Tanques con techo con domo geodésico de aluminio	17
2.3.2.5. Tanques con techo especiales	18
2.3.2.6. Tanques con techo flotante	20
2.3.2.7. Tanques flotantes tipo bandeja	21
2.3.2.8. Tanques flotantes de membrana simple	21

2.3.2.7.	Tanques flotantes de membrana doble.....	21
2.4	Consideraciones de ingeniería	23
2.4.1	Materiales utilizados.....	23
2.4.2	Criterios de selección de tanques.....	23
2.4.3	Consideraciones especiales.....	27
2.4.3.1	Tanques criogénicos	27
2.4.3.2	Tanques con sistemas de calentamiento.....	28
2.4.4	Tanques con sistemas de calentamiento.....	30
CAPÍTULO III METODOLOGÍA.....		32
3.1	Generalidades.....	32
3.2	Estándares	32
3.3	MÉTODOS	33
3.3.1	Desmontaje de techo flotante de Acero	33
3.3.2	Procedimiento de Desmontaje de techo flotante.....	34
3.3.3	Montaje de domo geodésico	36
3.3.4	Instrucciones del montaje	36
3.3.4.1	Instalación de las vigas de estructura y platos de nudos	36
3.3.4.2	Montaje de paneles de cubierta.....	43
3.3.4.3	Montaje de perfiles cubrejunta	44
3.3.4.4	Instrucciones antes del izado	45
3.3.5	Selección e instalación de membrana flotante full contact.....	46
3.3.6	Prueba de flotabilidad de membrana flotante full contact (pruebas hidrostáticas) 48	
CAPÍTULO IV RESULTADOS		51
4.1	Resultados de las pruebas hidrostáticas	52
Bibliografía		65

Índice de Figuras

Figura 1 Frecuencia del domo.....	12
Figura 2 Proceso de teselación.....	13
Figura 3 Tanques atmosféricos y de tanques a baja presión	14
Figura 4 Recipientes a presión	14
Figura 5 Tanques con techo cónico.....	16
Figura 6 Tanques con techo tipo paraguas	17
Figura 7 Tanques geodésicos de aluminio	18
Figura 8 Tanques con techo de domos anidados.....	19
Figura 9 Tanques con techo de domos anidados y cuerpo toroidal.....	19
Figura 10 Tanques de techo cónico con domo de vapor.....	19
Figura 11 Tanques con techo flotante externo.	20
Figura 12 Tanques con techo flotante externo	21
Figura 13 Tanques con techo flotante de doble membrana.....	22
Figura 14 Discernimientos de elección de tanques de almacenamiento	25
Figura 15 Esquema estructural de un tanque criogénico de doble pared para gas licuado de petróleo	28
Figura 16 Serpentin tubular para calentamiento de un tanque de almacenamiento ...	29
Figura 17 Serpentin tubular para calentamiento de un tanque de almacenamiento ..	29
Figura 18 Códigos de colores de los platos.....	37
Figura 19 Códigos de colores de las vigas	37
Figura 20 Replanteo inicial del montaje del domo.....	38
Figura 21 Unión de las vigas al plato central	39
Figura 22 Posición de los tornillos durante el montaje provisional	40
Figura 23 Posición de los tornillos durante el montaje provisiona	40
Figura 24 Montaje del primer anillo del domo.....	41
Figura 25 Montaje final del nudo central del domo	42
Figura 26 Montaje del segundo tramo del domo.....	43
Figura 27 Montaje del perfil cubrejuntas en un domo ESTANDAR (izquierda) o API (derecha).....	44
Figura 28 Instalación de paneles según los nudos de izado	45
Figura 29 Resultado del ensayo (Prueba hidrostática 0%).....	52
Figura 30 Resultado del ensayo descriptivo (Prueba hidrostática 0%; diámetro).....	53
Figura 31 Resultado del ensayo descriptivo (Prueba hidrostática 0%; altura).....	53
Figura 32 Resultado del ensayo descriptivo (Prueba hidrostática 50%; diámetro)....	55
Figura 33 Resultado del ensayo descriptivo (Prueba hidrostática 50%; diámetro)....	56
Figura 34 Resultado del ensayo descriptivo (Prueba hidrostática 50%; altura).....	56
Figura 35 Resultado del ensayo descriptivo (Prueba hidrostática 75%; diámetro)....	58
Figura 36 Resultado del ensayo descriptivo (Prueba hidrostática 75%; diámetro)....	58
Figura 37 Resultado del ensayo descriptivo (Prueba hidrostática 75%; altura).....	59
Figura 38 Resultado del ensayo descriptivo (Prueba hidrostática 100%; altura).....	60
Figura 39 Resultado del ensayo descriptivo (Prueba hidrostática 100%; diámetro). 60	
Figura 40 Resultado del ensayo descriptivo (Prueba hidrostática 100%; diámetro). 61	

Índice de Tablas

Tabla 1. Tipos de tanque recomendado para químicos en estado líquido a 25°C.....	26
Tabla 2. Ventajas y desventajas del techo flotante vs domo geodésico	30
Tabla 3 Parámetros de cobertura de los principales estándares de diseño de tanques	33

Glosario de términos

API. - (American Petroleum Institute): Instituto Americano del Petróleo. Las principales funciones de la asociación a nombre de la industria incluyen la defensa, negociación con las agencias gubernamentales, asuntos legales, y negociación con organismos reguladores; investigación de efectos económicos, toxicológicos, y ambientales; establecimiento y certificación de los estándares de la industria, y programas de acercamiento a la comunidad a través de la educación.

Calibración (aforo). - Proceso para determinar la capacidad total del tanque, o las correspondientes capacidades parciales a diferentes alturas.

Domo Geodésico. - es parte de una esfera geodésica, un poliedro generado a partir de un icosaedro o un dodecaedro, aunque puede generarse de cualquiera de los sólidos platónicos. Las caras de una cúpula geodésica pueden ser triángulos, hexágonos o cualquier otro polígono. Los vértices deben coincidir todos con la superficie de una esfera o un elipsoide (si los vértices no quedan en la superficie, la cúpula ya no es geodésica). El número de veces que las aristas del icosaedro o dodecaedro son subdivididas dando lugar a triángulos más pequeños se llama la frecuencia de la esfera o cúpula geodésica.

Ensamblaje. - Unir, acoplar dos o más piezas, de cualquier material, haciendo encajar las partes de una en la otra.

Membrana. - Cubierta de aluminio del techo flotante interno de un tanque.

Normas. - Conjunto de reglas para el dimensionamiento y cálculo de accesorios.

Prefabricada. - Sistema constructivo basado en el diseño y producción de componentes y subsistemas elaborados en serie en una fábrica fuera de su ubicación final y que, en su posición definitiva, tras una fase de montaje simple, precisa y no laboriosa, conforman el todo o una parte de una construcción.

Productos limpios. - Son derivados del petróleo resultado de un proceso de destilación, con características diferentes tales como: Gasolinas, Diesel 2, Diesel 1, Jet A 1, Naftas bases etc.

Tanque. - Depósito diseñado para almacenar o procesar fluidos, generalmente a presión atmosférica o presión internas relativamente bajas.

Vigas. - Elemento con modelo de material deformable

INTRODUCCIÓN

Los tanques de almacenamiento sobre superficie han sido usados desde el inicio de la transformación industrial, pero asombrosamente los ingenieros no se han visto en la necesidad de modificarlos ya que piensan que con su adquisición es suficiente para que sea eficiente. Especulativamente se puede pensar que un tanque es algo poco complejo y no se requiere invertir recursos en su desarrollo y operación. En las refinerías el tanque se cree que es apropiado delegar al fabricante del tanque, porque es un equipo confiable y porque fue diseñado por los mejores expertos en almacenamiento, pero no es un criterio adecuado ya que se debe prestar mejoras para un mejor control por parte de los ingenieros de la planta de almacenamiento (Cedeño, 2009).

De todos modos, quienes manejan estos tanques conocen que su implementación tiene problemas complejos, obstáculos y dificultades. Ya que los daños de este pueden resultar en altos costos, daño ambiental, corta vida útil del equipo, programas de mantenimiento ineficientes inspecciones, incluso accidentes y violaciones de la ley.

El primer domo geodésico de aluminio se instaló para un tanque de almacenamiento de agua en 1968, para un tanque de aguas residuales en 1969 y para un tanque de petróleo en 1977, todo ello por la misma empresa. No fue hasta 1989, que el API produjo el API 650 Anexo G: “Techos de Domo de Aluminio Estructuralmente Soportados”.

La razón subyacente de los tanques con techo de domo de aluminio (ADRT) para el petróleo en los EE. UU. era actuar como cubiertas de las condiciones climáticas para mantener la nieve fuera de los techos flotantes externos (EFR). Diferentes razones fueron la proporción de solidaridad con el espacio y su peso ligero, lo que hizo que su utilización fuera excepcionalmente atractiva, y el reequipamiento de los depósitos existentes.

Un ejemplo de ello es que a mediados de los años sesenta un propietario de ranchos de tanques en los EE.UU., sólo tenía EFR de acero en sus ranchos de tanques. En 1978 habían evaluado algunas opciones de sustitución de los techos y se decidieron por él, además, se decidieron por el ADRT con una capa interior de aluminio (IFR) a la deriva (IFR). Este plan se adoptó como norma de la organización para las sustituciones de techos y los nuevos tanques.

Hacia 1980, algunos propietarios de tanques comenzaron a cubrir sus tanques, suplantando los EFRs con techos de deriva interior de perfil más bajo (IFRs). Este límite de almacenamiento ampliado redujo la pérdida de vapor del producto debido a la evaporación y detuvo los COV inducidos por el viento asociados a un EFR debido al diseño. Los exámenes mostraron que el ADRT fue reconocido para desarrollar aún más el bienestar del fuego, y más del 70% de los ADRT fueron distinguidos para desarrollar aún más la seguridad contra incendios, y más del 70% de los incendios de la medida AST ocurren con EFRs. Mientras se redactaba este documento, el 22 de mayo de 2020 un incendio dañó un tanque de petróleo sin refinar con un EFR en la Organización de Refinación Hengyuan en Hengyuan, China. Organización de Refinación Hengyuan en Berhad, Puerto Dickson, Malasia.

El domo geodésico y membrana flotante es un recurso que ha tenido gran aceptación y demanda en la industria hidrocarburo a nivel internacional; dicho material es y ha sido utilizado en diferentes refinerías a nivel mundial durante los últimos años, reemplazando a techos cónicos convencionales de acero al carbono en varias aplicaciones, que no solo evitan que entre agua de lluvia y reducen las emisiones de COV, sino que también reducen en gran medida los costos de mantenimiento del sistema.

Un domo geodésico es un techo de tanque de almacenamiento, diseñado estructuralmente para un lugar específico. Se fabrica con una estructura de aluminio de paneles entrelazados, puntales extruidos, placas de refuerzo, barras de anclaje y nodos que no requieren soldadura, cumple con la normativa API 650, apéndice G. Este tipo de techo ofrece una estructura liviana, auto soportada y libre de corrosión. El montaje de este es rápido y sencillo lo cual provee total seguridad y acelera los tiempos de implementación del proyecto.

Su construcción es rápida, el ensamble puede llevarse en el sitio y ser colocada con maquinaria, evitando riesgo y aprovechando tiempos de construcción, cuentan con paneles de una sola pieza, menor costo de mantenimiento, no afectados por la corrosión, no requiere trabajos en caliente, menor tiempo de montaje, aumenta la capacidad del tanque, no requiere columnas internas, entre otras.

Las membranas flotantes internas (o techos flotantes internos) encontraron primero su lugar en la industria petrolera, se desarrollaron hace más de 90 años para reducir las pérdidas por evaporación y limitar las atmósferas explosivas. Hay dos tipos de techos flotantes internos (a veces llamados membranas flotantes internas): sobre flotadores (o

pontones) o en contacto total (contacto directo o total).

Todos los techos flotantes internos (IFR), cuando se diseñan e instalan correctamente para adaptarse a las condiciones del tanque y a las especificaciones del producto almacenado, mitigan la emisión de vapores de hidrocarburos con niveles de eficacia similares. Todos pueden estar equipados con sellos de estanqueidad adecuados, estar equipados con patas de soporte ajustables o fijas, casi todos pueden estar suspendidos del techo del tanque, todos pueden estar equipados con una gama de accesorios y todos son de diseño modular, prefabricados para el montaje final en el sitio. La selección del tipo de membrana interna flotante es generalmente una preferencia del operador y, siempre que el IFR se compre a un proveedor de confianza con un buen historial, todos los tipos de techo interno flotante deberían ser adecuados para su propósito

Frente a este panorama se ha visto la necesidad de implementar un domo geodésico con membrana flotante. Esta estructura a implementar en los pros de mejorar los procesos industriales de almacenamiento de hidrocarburos dentro de las plantas petroleras a nivel nacional; a esto se suma, el hecho de generar un cambio en la matriz productiva y simultáneamente, un extra en la economía de las empresas, con el fin de un buen proceso de almacenamiento con criterios de sostenibilidad (Morena, 2019).

El presente trabajo de titulación consta de cuatro capítulos que analizan los temas acordes al domo geodésico con membrana flotante, con el objetivo de implementar estas estructuras en los tanques de almacenamiento de hidrocarburos. El primer capítulo expone los antecedentes de este trabajo, el porqué de este, cuáles son los objetivos a alcanzar y quiénes se beneficiarían del mismo. El segundo capítulo presenta una recolección y estudio de los términos y fundamentos teóricos y legales que son la base de este trabajo. En el tercer capítulo se detalla los diferentes métodos e instrumentos que serán utilizados para el diseño e implementación de la estructura. Al final, en el capítulo cuatro se exponen los resultados y el respectivo análisis económico y financiero del proyecto de titulación (Naranjo, 2017).

La implementación de esta nueva tecnología para el almacenamiento de hidrocarburos permitirá la creación de otros tipos de sistemas de selección para las industrias locales y nacionales; además contribuirá al mejoramiento del nivel de aprendizaje de las futuras generaciones.

CAPÍTULO 1

EL PROBLEMA

1.1. Antecedentes

En el sector industrial, muchas empresas buscan invertir en el sector productivo del país específicamente en el sector de los hidrocarburos o petroleros. Las inversiones se las hacen generalmente para el mantenimiento y para la adquisición de maquinaria tanto usada como nueva, que les permita incrementar sus niveles de producción volviéndose más eficiente.

Los ciclos modernos utilizados para cambiar un material en otro por método físico o sintético requieren el cuidado o la capacidad potencial de enormes cantidades de fluidos en compartimentos de diferentes. La selección del tipo de contenedor tanque que cumpla su cometido de la manera más satisfactoria depende del material a almacenar y sus propiedades fisicoquímicas, de sus requerimientos operativos y volumétricos, del nivel tecnológico disponible para su construcción y de las condiciones regulatorias locales relativas a seguridad, ecología y calidad, garantizando la mayor economía posible en relación con su servicio y vida útil, además de requerir buena apariencia estética (Naranjo, 2017).

Los tanques se han utilizado durante muchos años, guardando una amplia gama de artículos que la sociedad ha esperado para salir adelante. Al principio se utilizaban tanques de madera para contener agua, licores, aceites y comestibles. Hoy en día, los tanques de acero son presumiblemente las partes más flexibles del engranaje moderno, utilizadas para almacenar una amplia gama de artículos adaptables del engranaje moderno, utilizadas para almacenar aceite, gas, energías aeronáuticas, aceites calientes o consumibles, grasas, aceite para lámparas, materiales petroquímicos y manufacturados, agua, etc.; siendo utilizados en docenas de formas, desde el simple almacenamiento hasta tanques con sistemas de calentamiento y decantación, útiles para procesos de separación (NTP 527).

Las regiones petroleras relacionadas con las terminales de refinado, almacenamiento y reparto, el transporte, las oficinas y la creación en nuestra nación requieren el desarrollo de muchos tanques de capacidad sobre el suelo de límite fluctuante, debido a su interés en desarrollo. Además, teniendo en cuenta que más de la mitad de la población utiliza el agua subterránea como fuente de agua potable, hay una necesidad ampliada de mantenerse alejado de los peligros de los agujeros y el daño esperado a esta causa de suministro, mientras que estos tanques están pasando por el curso de suministro, ya que estos tanques se enfrentan a su interacción de envejecimiento. Esto hace imprescindible el uso de tecnologías con cierto grado de ingeniería que garanticen diseños confiables, hechos a medida y con la flexibilidad necesaria para cumplir requerimientos predefinidos actuales y demandas futuras (Cedeño, 2009)

1.2. Justificación

Luego del análisis y el informe realizado por parte del departamento de integridad y confiabilidad se observan pérdidas volumétricas significativas por evaporación en la recepción, almacenamiento y despacho de combustible, por lo cual recomiendan la conversión de tanque de techo flotante a Membrana flotante full contact y Domo Geodésico.

Mediante el cambio del sistema del tanque de techo flotante a Domo geodésico con membrana flotante *full contact*, se reduce en su totalidad el espacio entre el nivel del producto almacenado y el techo de este, esto impidiendo que se almacene gran cantidad de vapores producidos por el movimiento del producto al entrar y salir del tanque.

De la misma forma se reducen considerablemente los costos de mantenimiento ya que la mayor parte de este radica en el mantenimiento del techo flotante.

1.3. Delimitación del problema

- Campo: Ingeniería Industrial
- Área: Producción
- Aspecto: Mejora de procesos
- Tema: Implementación de domo geodésico y membrana flotante *full contact* en tanques de almacenamiento para una empresa de distribución y almacenamiento de hidrocarburos.

Para la realización de este proyecto técnico fueron necesarios los conocimientos adquiridos en las siguientes materias de la malla de ingeniería industrial de la Universidad Politécnica Salesiana, Sede Guayaquil

- Estrategias de Manufactura

- Energía y Medio Ambiente
- Técnica de investigación
- Mantenimiento y Seguridad Industrial

1.4. Descripción del problema

En la actualidad las empresas petroleras precisan de diferentes tipos de tanques para almacenar el petróleo, así como los derivados de hidrocarburos, entre ellos se encuentran gasolinas, diésel y gas licuado de petróleo (GLP), sistemas que requieren el uso de la tecnología que puedan aportar con soluciones a los requerimientos de procesos industriales.

En el proceso de recepción, almacenamiento y despacho de combustibles en los diferentes terminales de la empresa existen diferentes factores los cuales general pérdidas volumétricas, altos costos de mantenimiento los mismos que deben ser controlados para que estos no se incrementen progresivamente.

1.5. Objetivos

1.5.1 Objetivo general

Implementar un Domo Geodésico y Membrana Flotante en tanques de almacenamiento, a través de la aplicación de las normativas API 653 y 650, para disminuir costos de mantenimiento en una empresa de distribución y almacenamiento de hidrocarburos.

1.5.2 Objetivos específicos

- Desmontar techo flotante de acero del tanque de almacenamiento.
- Instalar el Domo geodésico de aluminio en reemplazo de techo flotante.
- Seleccionar e instalar membrana flotante full contact en tanque de almacenamiento.
- Realizar prueba Hidrostática al sistema.

1.6. Beneficiarios

El principal beneficiario de la implementación de Domos Geodésicos y membranas flotantes en los tanques de almacenamiento de hidrocarburos es la empresa de Distribución y almacenamiento de hidrocarburos.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Fundamentos

Diseños volumétricos que se utilizan de infinitas maneras, ya sea por capacidad o para tratar fluidos, humos o sólidos. Por ejemplo, se utilizan en unidades de proceso para permitir la sedimentación, la mezcla, la cristalización, la división de etapas, el intercambio de calor y como reactores. El presente estudio enfocará el almacenamiento de líquidos con planteamientos ocasionales a otras aplicaciones especializadas; pero las normas tendrán una aplicación general a los tanques para otros servicios (NTP 527, 1993).

La diferencia fundamental entre los distintos tipos de tanques radica en su superficie: sobre el suelo y subterránea. Los primeros quedan totalmente situados en sus establecimientos, son más sencillos de montar y son más asequibles; pueden almacenar enormes volúmenes de fluidos. Un caso específico de los tanques sobre el suelo son los supuestos tanques elevados, que requieren una construcción para mantenerse y se utilizan en general para la disposición de agua potable (Morena, 2019).

Los tanques subterráneos almacenan volúmenes limitados a 60.000 galones, debido al impacto compresivo de la suciedad sobre sus formas y al empuje de la capa freática que los impulsa a la deriva mientras no estén debidamente asegurados.

La apertura a los medios destructivos restringe su vida útil en caso de que no estén provistos de revestimientos satisfactorios. Además, requieren un marco de control productivo para simplificar el control de derrames. Generalmente se utilizan para contener combustibles y compuestos sintéticos en estado fluido (Cedeño, 2009) Marco referencial

2.1.1. Conceptos básicos

El tipo de tanque necesario para una aplicación particular se basa principalmente en las propiedades reales del fluido que se va a guardar, por ejemplo: gravedad y gravedad densidad, puntos de ebullición e inflamación, presión de vapor, viscosidad, temperaturas de congelamiento o solidificación, velocidad de expansión térmica, corrosividad, presión interna de soluciones multicomponentes, tendencia a formar depósitos, etc. (Naranjo, 2017).

Los elementos correlativos involucrados con la elección del tipo de tanque son: trabajo, área topográfica, tensión y temperatura de almacenamiento, volumen neto de trabajo, innovación accesible para el plan y producción, accesibilidad de la sustancia natural (Cedeño, 2009).

2.1.2. Densidad y gravedad específica

La densidad del líquido afecta directamente el diseño, cuanto mayor sea la densidad, mayor será el espesor de la pared del tanque. Entonces, cuando sea necesario reponer el líquido a almacenar, debido al aumento efectivo de la presión hidrostática que actúa sobre la pared del tanque, es necesario evaluar el efecto de aumentar la densidad del nuevo líquido, si el nivel del líquido es proporcional a no decrece.

La medida de la gravedad específica en la industria del petróleo es la gravedad API (grado API), que caracteriza los diferentes tipos de petróleo en el mercado (INGLESA, 2020):

$$\text{Grados API} = \frac{141.5}{\text{gravedad específica}} - 131.5$$

2.1.3. Temperatura de almacenamiento

La temperatura de almacenamiento del líquido precisa el tipo de material manejado en la fabricación del tanque, ya que se requiere suficiente resistencia a la fractura frágil a bajas temperaturas y la corrosión acelerada y la dilatación térmica a altas temperaturas son los factores más colaterales.

Los tanques se utilizan para almacenar fluidos en un amplio rango de temperaturas, fluidos criogénicos, por ejemplo, gases de hidrocarburos derretidos a - 330oF (- 201,11oC) y fluidos calientes, por ejemplo, black-top pueden ser tratados hasta 500oF (260oC). Sin embargo, la mayoría de los líquidos se almacenan a temperatura ambiente o por debajo de ella, con límites cortos iguales o superiores (Morena, 2019).

2.1.4. Temperatura de autoignición

La temperatura mínima a la que debe calentarse un combustible expuesto al aire para iniciar una combustión autónoma sin una fuente de ignición separada. Esto simboliza que, si una línea de productos derivados del petróleo tiene una fuga por encima de su temperatura de autoignición, la ignición puede ocurrir independientemente del inicio de ignición (NTP 527, 1993)

2.1.5. Presión de vapor

La presión de vapor de un líquido no adulterado es equivalente a la presión de vapor del espacio, enfluido en un recipiente cerrado; su valor difiere con la temperatura y aumenta constantemente a medida que crece. entonces la presión de vapor afecta el diseño y la elección del tanquede líquido y su techo, causando daños evaporación y la contaminación resultante, y define para líquidos inflamables

Un aumento en la presión de vapor conduce a un aumento en las emisiones ambiente, por lo que la EPA establece valores máximos de presiones de vapor para el tipo de tanques utilizados. Apéndice B resume los cambios en la presión de vapor con la temperatura del fluido (Naranjo, 2017).

2.1.6. Punto de ebullición

Si la temperatura de un líquido mantenido en un recipiente abierto aumenta al valor de su presión de vapor, se produce la ebullición. Se debe conocer el punto de ebullición para garantizar el almacenamiento a temperaturas inferiores a este; Además, los códigos contra incendios prohíben el almacenamiento de líquidos inflamables o combustibles a temperaturas superiores a este punto y definen qué tan peligrosos son (Morena, 2019).

2.1.7. Punto del fuego

Temperatura (generalmente unos pocos grados por encima del punto de inflamación) que produce suficiente vapor para sostener una combustión líquida (Naranjo, 2017).

2.1.8. Punto de inflamación

Es la temperatura más reducida a la que un fluido comunica los vapores adecuados para permitir el inicio de una combinación de aire y vapores cerca de la capa exterior del fluido. Si la disipación se produce a baja temperatura, el vapor creado es insuficiente para formar una combinación combustible. Se espera una fuente de arranque para que se produzca el arranque. Cuando esta temperatura está por encima de la temperatura ambiente, los vapores se encienden, pero no se queman hasta que alcanzan el "punto de inflamación".Las temperaturas del punto de inflamación pueden ser demasiado bajas para los productos de petróleo volátiles; Por ejemplo, la gasolina tiene un punto de inflamaciónde aproximadamente $-45\text{ }^{\circ}\text{F}$ ($-43\text{ }^{\circ}\text{C}$). El punto de inflamación es uno de los estándaresfundamentales para clasificar el peligro potencial de un líquido establecido por la NFPA. Esencialmente, los fluidos de bajo punto de inflamación son líquidos de alto riesgo de incendio (Gudiño, 2009).

2.1.9. Líquidos inflamables

Estos son aquellos que tienen un punto de inflamación de menos de 100°F (37.8°C) y una presión de vapor de no más de 40 psia (2068 mm Hg) a 100°F (37.8°C). Se clasifican en:

IA: punto de inflamación debajo de 73°F (22.8°C) y punto de ebullición debajo del °F 100 (37.8°C).

IB: punto de inflamación debajo de 73°F (22.8°C) y punto de ebullición en o sobre 100°F (37.8°C).

IC: punto de inflamación en ó sobre 73°F (22.8°C) y debajo de 100°F (37.8°C) (Morena, 2019).

2.1.10. Líquidos combustibles

Estos son aquellos cuyo punto de inflamación es 100°F (37.8°C) están en o más alto, sé categorizado en:

II: punto de inflamación en ó sobre 100°F (37.8°C) y debajo de 140°F (60°C)

IIIA: punto de inflamación en ó sobre 100°F (37.8°C) y debajo de 140°F (60°C)

IIIB: punto de inflamación en ó sobre 200°F (93.4°C) (INGLESA, 2020).

2.1.11. Presión interna

La presión interna que actúa en el interior de un tanque de almacenamiento provoca diferentes valores de tensión, que determinan el espesor de cada componente en función de su geometría, pero el área más compleja del diseño es la unión del techo con la carrocería; Esto se debe a que existe un desequilibrio de fuerzas en dicha zona y el techo se separa de la carrocería.

En el momento en que el tanque está expuesto a presiones adecuadas para dañarlo, la intersección entre el techo y el cuerpo es la principal región que presenta daños. Pequeñas tensiones internas pueden causar enormes poderes que deben ser vistos como en el plan y la actividad de los tanques de gran tamaño. Cuando el espacio de vapor de un tanque está abierto a la atmósfera, o si es frecuentemente venteado, la presión interna siempre es cero o atmosférica; sin embargo, la mayoría de los tanques no están abiertos a la atmósfera, por lo que son provistos con accesorios que permiten el venteo llamados válvulas a presión-vacío (Gudiño, 2009).

El objetivo principal de estas válvulas es reducir los riesgos de incendio y emisiones, o reducir el flujo libre de aire y vapor del tanque. Estas válvulas están diseñadas para abrirse cuando la presión interna excede la capacidad de resistencia del tanque

evitando así daños estructurales.

2.1.12. Presión externa

La presión externa puede ser considerablemente perjudicial para el tanque ya que ejerce su influencia sobre un área grande, creando grandes fuerzas. El resultado de una presión externa excesiva es el endurecimiento de las paredes del cuerpo o su colapso total. Hay casos en los que las altas velocidades del viento han desarrollado suficiente presión externa para hacer que los tanques se vuelquen y colapsen. La presión externa o capacidad de vacío es controlada por otra parte del PVSV para asegurar la vida útil del tanque (Gudiño, 2009).

2.1.13. Rangos de presión

El rango de presión típico para tanques de fondo plano es de 1 pulgada de agua (en WC) a 15 libras por pulgada cuadrada (psig) y para vacío, hasta 1 psig en WC. Si los requisitos de almacenamiento exceden estos límites, los tanques deben diseñarse de acuerdo con las pautas establecidas en otros códigos para recipientes a presión, y su estudio está más allá del alcance de este trabajo (Gudiño, 2009).

2.2.DOMO GEODÉSICO

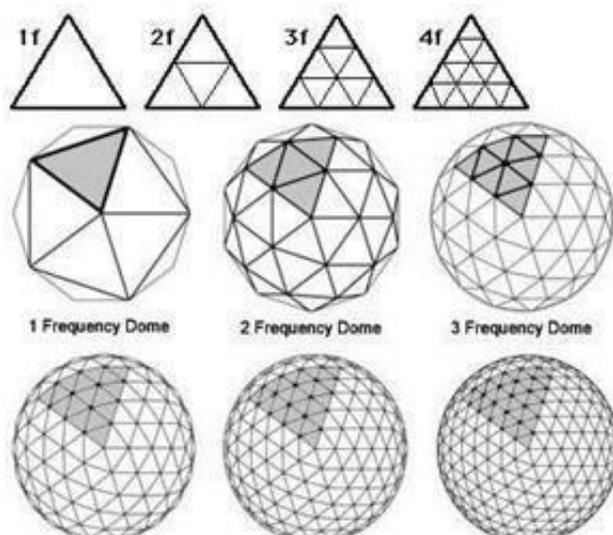
El domo geodésico contiene no solo la fuerza de una fuerte esfera/arco, sino también muchos triángulos. El éxito de la cúpula como estructura se debe a la integridad natural de su forma, la cúpula utiliza la misma forma curva que le da fuerza al arco, la única diferencia es que utiliza la tensión para evitar que se propague. Se sabe que el triángulo tiene la forma más fuerte porque tiene un ángulo constante y es la única configuración de pieza de trabajo que se estabiliza sin soporte adicional en las uniones para evitar la distorsión geométrica. Un arco, por otro lado, es una estructura tridimensional que utiliza triángulos en forma de bola para crear varias rutas de carga desde el centro del vértice hasta los puntos de soporte estructural.

La combinación de cúpulas con triángulos isósceles y equiláteros da como resultado una estructura extremadamente duradera conocida como cúpula geodésica. Por lo tanto, si se aplica presión a un lado del triángulo, la fuerza se distribuirá uniformemente a los otros lados, transfiriendo la carga al triángulo adyacente. El triángulo es muy importante para la resistencia de la estructura del domo. Esta distribución de fuerza es la forma en que un domo geodésico distribuye de manera eficiente la tensión en toda la forma. Los domos geodésicos están diseñados para acomodar pentágonos o hexágonos que miran hacia adentro en forma de esferas. Tanto los hexágonos como

los pentágonos se pueden dividir con precisión en triángulos, haciéndolos muy sólidos (SETI PETROLEUM EQUIPMENT, 2019).

La frecuencia del domo se indica con la letra "v", por ejemplo, 2v es un domo con 2 frecuencias, 3v es un domo con 3 frecuencias, a mayor frecuencia, más triángulos hay en el domo. Casi todas las cúpulas geodésicas se basan en un icosaedro, pero también puedes diseñarlas a partir de otros sólidos platónicos: el dodecaedro, el octaedro o el tetraedro.

Figura 1. Frecuencia del domo

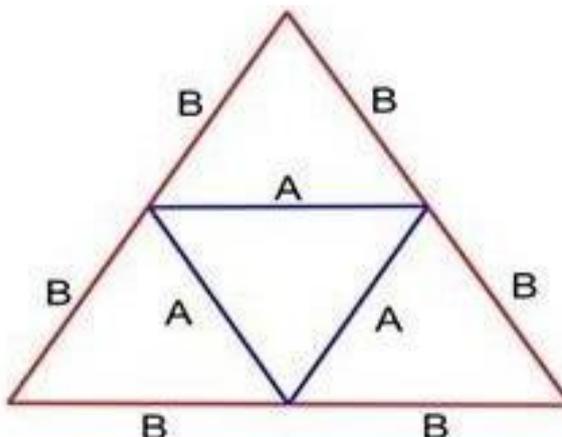


Fuente: SETI PETROLEUM EQUIPMENT (2019)

Un icosaedro es una unidad geométrica de 20 caras. Cada cara del icosaedro consta de un triángulo equilátero. Cuando se quita la parte inferior del bloque de icosaedro, se convierte en una cúpula con una frecuencia de 1 o "1v". Todos los puntales en un domo geodésico de 1v tienen la misma longitud, pero un domo geodésico de 1v tiene algunas limitaciones en cuanto a la longitud y resistencia óptimas del puntal. Para diseñar un domo de aluminio con un área de superficie más grande, se tiene que dividir cada triángulo de 1v en triángulos más pequeños mediante el proceso de "teselación".

Así como las longitudes de los triángulos teselados hacen que los vértices sean empujados hacia fuera en una esfera. Los bordes o los puntales del exterior de los triángulos teselados en las cúpulas de alta frecuencia son siempre más cortos que el centro del triángulo

Figura 2. *Proceso de teselación*



Fuente: SETI PETROLEUM EQUIPMENT (2019)

2.3. CLASIFICACIÓN DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO

El método más común para archivar los tanques de almacenamiento utilizada en códigos, normas y reglamentos internacionales se basa en la presión interna. El método es interesante por su dependencia de las propiedades físicas del líquido, particularmente la presión de vapor, que establecen la geometría y por lo tanto el tipo de tanque.

Una subclasificación generalizada de los tanques de almacenamiento se fundamenta en su geometría y se pueden clasificar en: tanques rectangulares abiertos o cerrados, tanques cilíndricos verticales con techo fijo o flotante, tanques cilíndricos horizontales con extremos perfilados, tanques esféricos y todas sus combinaciones posibles (Gudiño, 2009).

Los rangos de servicio de los distintos tipos de tanques se entrecruzan y es difícil establecer pedidos discretos para todas las aplicaciones, pero, por regla general, las inclinaciones de utilización de la industria son las siguientes:

- Las cantidades enormes de fluidos no peligrosos, así como las soluciones salinas y otras disposiciones acuosas, pueden guardarse en tanques abiertos de gasto mínimo hechos de acero, madera o cemento.
- Para el almacenamiento de líquidos a presión atmosférica se suelen utilizar depósitos cilíndricos verticales de fondo plano y techo cónico.
- Se requiere un tanque cerrado si el líquido es tóxico, combustible o gaseoso en su estado de almacenamiento o si la presión es superior a la atmosférica.

- Los esféricos y esféricos se utilizan para almacenamiento a presión de gran volumen.
- Para pequeños volúmenes a presión, los depósitos cilíndricos con fondo perfilado son los más económicos (INGLESA, 2020).

Figura 3. *Tanques atmosféricos y de tanques a baja presión*



Fuente: (NTP 527, 1993)

Figura 4. *Recipientes a presión*



Fuente: (NTP 527, 1993)

2.3.1. Componentes Principales

La determinación del tipo de tanque adecuado a las necesidades de capacidad depende de las características que presenta cada una de sus partes. Por ejemplo, la forma geométrica del techo califica el tipo de tanque y su determinación depende del valor de la tensión interna necesaria.

Forma barata y fácil de fabricar para soportar la presión del cilindro, la mayoría de los tanques son cilíndricos en la parte del cuerpo; El problema con los cilindros es que los extremos deben estar cerrados. Los fondos y tapas relativamente planos no resisten mucha presión interna, y a medida que aumenta, es necesario utilizar cúpulas o esferas.

Es la forma más económica para el almacenamiento de presión interna en términos de espesor, pero debido a la dificultad de construcción, se prefieren los techos abovedados o en forma de paraguas (Naranjo, 2017).

2.3.2. Tanques con techo fijo.

Se han diseñado, fabricado y producido un gran número de tanques de techos fijos a partir de 1893; hoy en día, se fabrican idealmente en tamaños inequívocos caracterizados en el Apéndice C, satisfaciendo las necesidades individuales de capacidad.

Estos tanques cumplen el requisito esencial de guardar grandes cantidades de artículos de baja imprevisibilidad con un interés de capital insignificante en petróleo, sustancias, alimentos y diferentes empresas. Se mantienen con su nivel consistente y libre del nivel del fluido contenido, con un espacio con una combinación de aire y vapores presente en la capa exterior del fluido. Generalmente se trabajan con una base plana o con una ligera inclinación hacia o fuera de su centro geométrico, teniendo en cuenta su plano, el tipo de establecimiento y las condiciones del suelo, los requisitos previos de erosión y las condiciones extraordinarias de apilamiento (brisas y temblores fuertes).

Los diseños especiales se utilizan para el almacenamiento de alimentos, bebidas y productos químicos, posiblemente en acero inoxidable o aluminio(Naranjo, 2017).

2.3.2.1. Tanques con techo cónico

Estos tanques tienen cuerpos cilíndricos, con un eje de simetría vertical. Su fondo es usualmente plano y su parte superior está formada por un cono de poca inclinación (EMERSON, 2021).

Figura 5. Tanques con techo cónico



Fuente: (Naranjo, 2017)

2.3.2.2. Tanques con techo tipo paraguas

Los tanques tipo paraguas son muy parecidos a los cónicos, con similitud geométrica a los paraguas y de ahí deriva su nombre. Son fabricados en diámetros mayores a 60 pies y pueden ser autos soportados, no tienen columnas de soporte que lleguen desde el fondo del tanque (Gudiño, 2009).

2.3.2.3. Tanques con techo con domo

Los tanques con techo en forma de domo tienen como característica una superficie esférica, además facilitan el uso de revestimientos interiores, y son valiosos para la administración en circunstancias corrosivas (así como en lo que respecta a guardar el azufre).

Se utilizan para almacenar artículos a presiones de hasta 15 psi. la meca más caros que los techos cónicos, especialmente los de mayor diámetro (EMERSON, 2021).

Eventualmente pueden requerir una estructura de soporte interna, pero no se pueden construir con una junta débil. Estar construido con una junta débil y se recomiendan para el almacenamiento de líquidos con alta presión de vapor. Líquidos con alta presión de vapor, si cuentan con un adecuado sistema de recuperación de vapor.

Figura 6. *Tanques con techo tipo paraguas*



Fuente: (INGLESA, 2020)

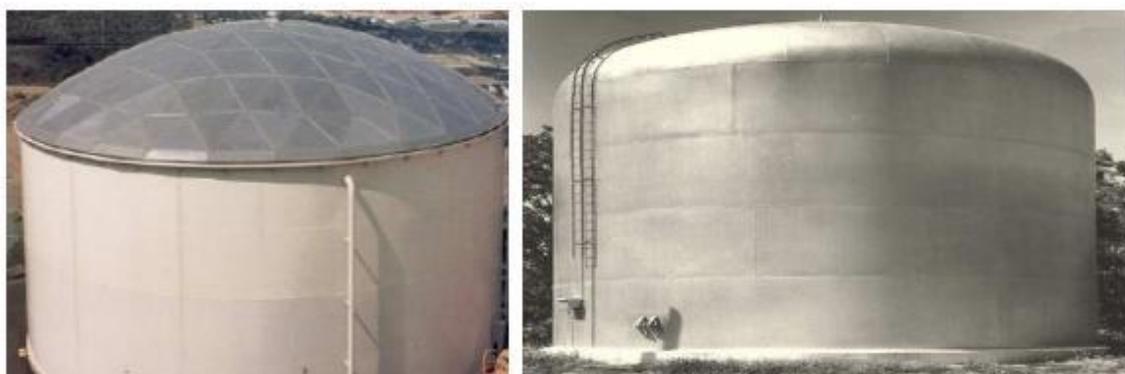
2.3.2.4. Tanques con techo con domo geodésico de aluminio

Un tipo especial de techo abovedado es el domo geodésico de aluminio, desarrollado en la década de 1970. Hoy en día, muchas industrias instalan tanques de almacenamiento para cualquier tipo de líquido, gracias a sus superiores condiciones anticorrosivas. Un tipo especial de techo abovedado es el domo geodésico de aluminio, desarrollado en la década de 1970. Hoy en día, muchas industrias instalan tanques de almacenamiento para cualquier tipo de líquido, gracias a sus superiores condiciones anticorrosivas.

La mayoría de las cúpulas de aluminio se instalan sobre techos flotantes, tendencia a instalarlos en lugar de techos cónicos fijos, debido a los requisitos de la EPA relacionados con la recuperación de vapores que contaminan el medio ambiente. Debido a la gran demanda de este tipo de cubiertas, la API 650 incluye una adenda única para establecer criterios mínimos de diseño y construcción (INGLESA, 2020).

Estas cúpulas están hechas de delgadas láminas o paneles de aluminio, soportadas por perfiles estructurales que tienen una disposición triangular, y forman un todo circular. La estructura se preensambla completamente con pernos en el piso, luego se levanta completamente sobre el tanque.

Figura 7. Tanques geodésicos de aluminio



Fuente: (Naranjo, 2017)

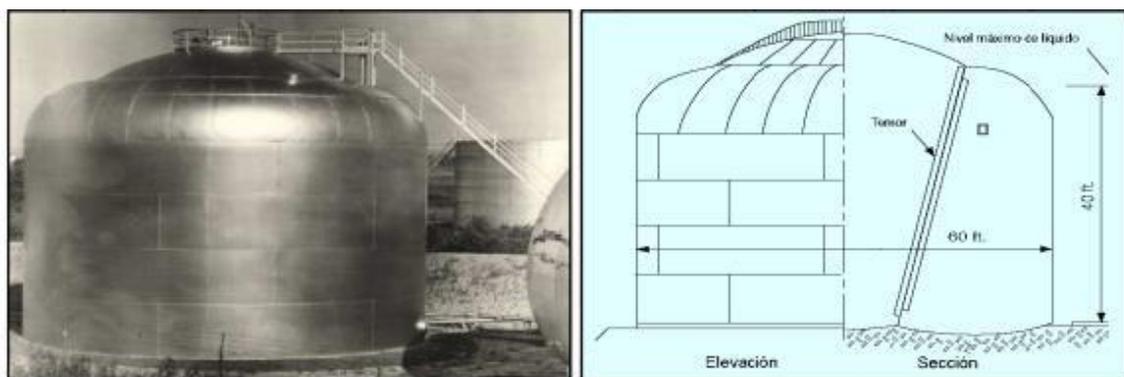
Las primordiales ventajas de las cúpulas geodésicas de aluminio son:

- Su estructura no demanda la instalación de pilares de apoyo en el interior del depósito, lo que reduce las emisiones.
- Su uso es económicamente competitivo y, en algunos casos, cuesta menos cubrir un embalse dado.
- El costo de cubrir un reservorio dado. en función de su competitividad económica.
- Protege el techo temporal de las influencias ambientales (agua, viento, cargas externas) (Cedeño, 2009).

2.3.2.5. Tanques con techo especiales

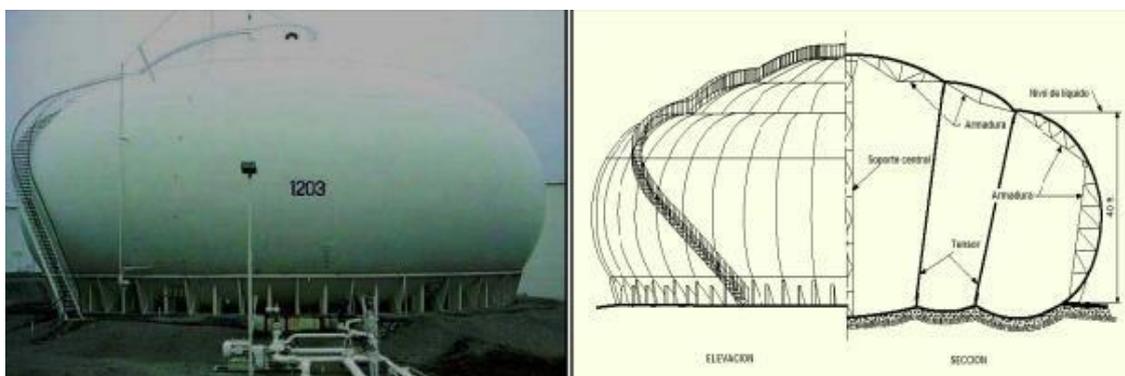
También existen los tanques con techos fijos, fundamentalmente se combina la alternativa geométrica descritas, poseen aplicaciones específicas de carácter arquitectónico (INGLESA, 2020).

Figura 8. Tanques con techo de domos anidados.



Fuente: (Naranjo, 2017)

Figura 9. Tanques con techo de domos anidados y cuerpo toroidal.



Fuente: (Naranjo, 2017)

Figura 10. Tanques de techo cónico con domo de vapor.



Fuente: (Naranjo, 2017)

2.3.2.6. Tanques con techo flotante

El techo flotante se desarrolló en la década de 1920 para reducir las pérdidas de producto por evaporación en el espacio de vapor de los tanques de techo fijo. Además de reducir las emisiones de líquidos orgánicos volátiles almacenados, ayuda a reducir el riesgo de explosión en el espacio de vapor y elimina la posibilidad de que ocurra un evento de ebullición en tanques de techo estacionarios (Cedeño, 2009).

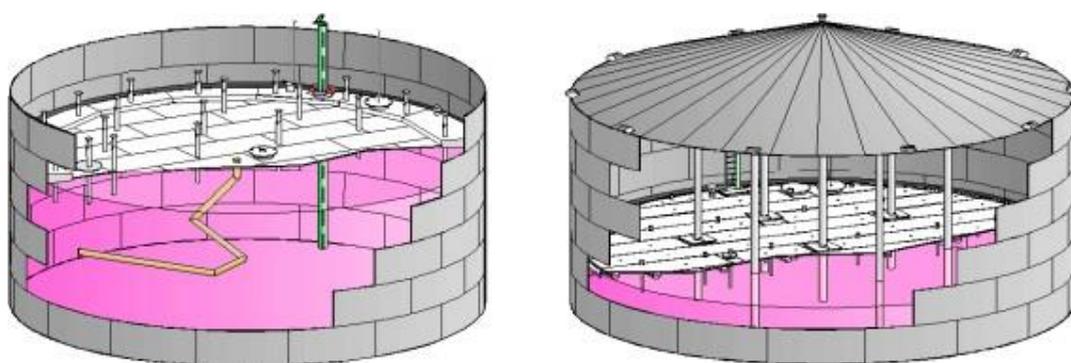
Miles de tanques de techo flotante han estado en servicio en todo el mundo, algunos durante más de 50 años. Por lo tanto, elegir el tipo correcto de techo flotante minimiza el riesgo potencial de problemas durante la operación diaria y que afecten la vida útil del conjunto.

Los tanques de techo flotante tienen un cuerpo cilíndrico vertical como los tanques de techo fijo, pero su techo es relativamente plano. Tanques con techo fijo, pero su techo es una coraza relativamente plana que flota en la superficie del líquido.

Los principales factores responsables de mitigar estas pérdidas son: la flotabilidad del techo sobre el líquido y la junta que cierra el espacio anular entre el techo y el líquido.

El techo sobre el líquido y la junta que cierra el espacio anular entre el techo y la pared del tanque. Esto reduce el área de superficie libre del líquido y la cantidad de vapor que puede ser que se puede emitir bajo ciertas condiciones de operación.

Figura 11. *Tanques con techo flotante externo.*



Fuente: (Naranjo, 2017)

Los principios básicos de diseño para todo tipo de techos flotantes son:

Requerimiento de flotabilidad en líquidos con una gravedad específica de 0,7; garantizar el contacto total con el líquido para reducir la evaporación y la corrosión; diseño de cubiertas y uso de equipos de protección contra incendios (Gudiño, 2009).

2.3.2.7 Tanques flotantes tipo bandeja

Su flotabilidad se debe al anillo circunferencial del techo, un simple orificio en la membrana. Estos techos están permitidos por código, pero no recomendado por razones de seguridad (EMERSON, 2021).

2.3.2.8 Tanques flotantes de membrana simple

Los techos de membrana simple se usan ampliamente en tanques de 30 a 200 pies de diámetro debido al bajo costo de construcción en tanques con un diámetro de 30 a 200 pies, aunque pueden usarse para un diámetro de hasta 300 pies en zonas con poco viento (Gudiño, 2009).

- El volumen de su flotador debe ser suficiente para mantener el techo flotando incluso si la membrana y los dos compartimentos están llenos de agua.
- Las patas de soporte temporales deben soportar al menos el doble de la carga muerta más la carga viva aplicable, ya que no todas las columnas son
- Carga muerta, así como la carga viva aplicada, porque no todas las columnas están espaciadas uniformemente en el techo (Cedeño, 2009).

Figura 12. Tanques con techo flotante externo



Fuente: (EMERSON, 2021)

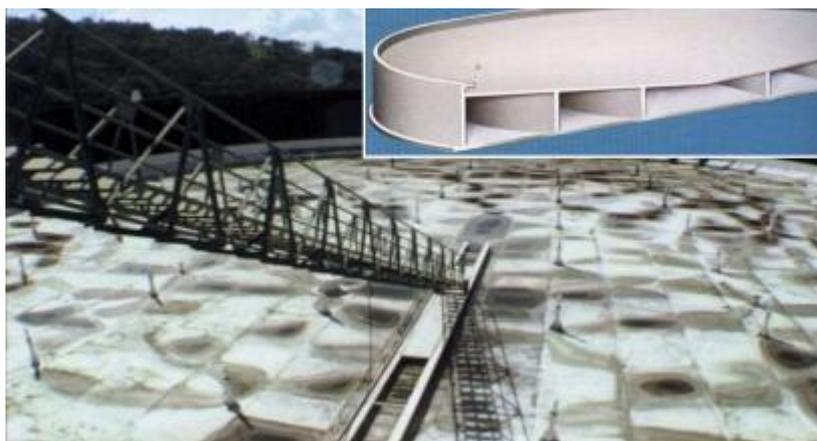
2.3.2.7. Tanques flotantes de membrana doble

Este techo es el más pesado, pero más duradero que todos los demás techos. Se fabrican desde un punto de vista económico, preferentemente para tanques de más de 30 pies o

200 pies de diámetro.

En condiciones normales se controla adecuadamente la dureza, y por tanto el drenaje en depósitos de gran diámetro. Controlado adecuadamente en tanques de gran diámetro. la cubierta superior es la formación de pendiente hacia el centro para facilitar el drenaje (Cedeño, 2009).

Figura 13. Tanques con techo flotante de doble membrana



Fuente: (Naranjo, 2017)

Entre sus principales características se encuentran:

- Su diseño facilita el posible aislamiento.
- Apropiado para guardar fluidos con alta presión de vapor.
- Fijación sencilla de los accesorios mientras el depósito está en operativo.
- Asombrosa flotabilidad bajo altas cargas exteriores.
- Son más costosos que los tanques de membrana debido a su importante carga y construcción.
- Poseen más volumen dentro del tanque, disminuyendo el límite de acopio de producto.
- El diseño de la membrana flotante de dos compartimentos proporciona suficiente volumen en la línea de flotación para mantener el techo flotando.
- Los derrames de emergencia generalmente se instalan por razones de seguridad.
- Se usa un desagüe central en techos de hasta 95 pies de radio, y se usan desagües múltiples para diámetros más grandes.

Aunque su estructura es muy rígida, este techo debe ser lo suficientemente flexible

para acomodar el vapor del producto almacenado de la misma manera que un techo de un solo nivel. Existen diversos patrones geométricos y estructurales, según el fabricante, que afectan a su estabilidad mecánica y eficiencia.

2.4 Consideraciones de ingeniería

2.4.1 Materiales utilizados

Los tanques se construyen con diversos materiales, elegidos en función del coste y la accesibilidad, la sencillez de fabricación, la oposición a la erosión y la similitud con el fluido que se va a almacenar. Los materiales más utilizados son los preparados de carbono o los preparados solidificados, ya que cumplen la mayoría de los atributos ideales. Los aceros inoxidable son los preferidos para almacenar líquidos corrosivos, aunque su costo y disponibilidad hacen que su uso sea menos común (Saga Fluid, 2021).

Depósito de acero al carbono revestido con fibra de vidrio reforzada (fiber glass reinforced plastic o FRP), utilizado por su oposición de sustancia, donde el acero tratado o el aluminio no son satisfactorios. Requieren la utilización de estrategias de montaje más específicas, lo que los hace más costosos. Almacenan agua, compuestos sintéticos destructivos e incombustibles, espumas para apagar incendios, residuos y lubricantes. No se recomiendan para el almacenamiento de líquidos inflamables o combustibles debido a su escasa resistencia al fuego (EMERSON, 2021).

ácidos, fertilizantes y agua desmineralizada.

Los tanques de hormigón se han utilizado durante mucho tiempo en el campo del almacenamiento de agua y saneamiento. Sin embargo, debido a su costo relativamente alto, hoy en día no se usan con mucha frecuencia.

2.4.2 Criterios de selección de tanques

La selección de un tanque para un uso dado es un proceso de optimización complejo que involucra variables operativas y de diseño. Las condiciones de operación se definen de acuerdo con los requerimientos del proceso industrial, mientras que las condiciones de diseño se establecen de acuerdo al tipo de líquido a almacenar y sus propiedades físicas. La presión de vapor es un factor en la elección del tipo de tanque, pero otras propiedades como el punto de inflamación, la capacidad de detonación, la temperatura y la gravedad específica afectan su diseño.

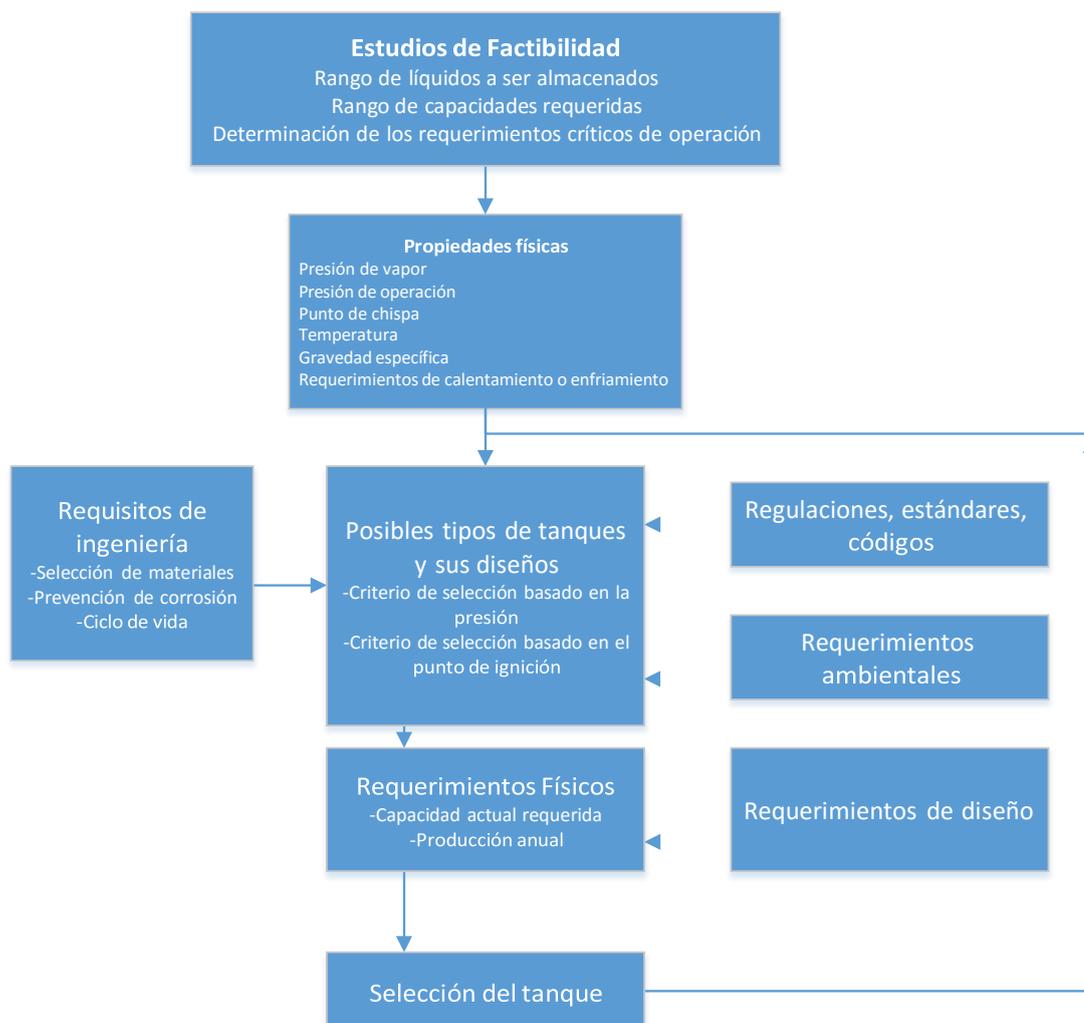
Al elegir el tipo de tanque, los siguientes parámetros juegan un papel importante

(IMERYYS, 2018):

- Propiedades físicas
- Tamaño del tanque
- Normas, prácticas y preferencias locales
- Cargas externas (viento, nieve y terremotos)
- Requisitos de ingeniería adicionales
- Vida útil
- Espacio disponible
- Peligro de incendio y explosión
- Costos relacionados con la construcción y operación.

Los sistemas de prevención de la corrosión y los requisitos ambientales también afectan la elección. La Figura 12 resume un proceso de selección de tanques de almacenamiento y la Tabla 1 define los criterios para la selección de tanques en función de la presión de vapor.

Figura 14. Discernimientos de elección de tanques de almacenamiento



Fuente: (Naranjo, 2017)

Los tanques de almacenamiento difieren en el costo de construcción y la eficiencia en el ahorro de vapor, por lo que no todos son adecuados para todos los diámetros. Los tanques de techo abierto no se pueden usar para almacenar productos derivados del petróleo, pero pueden ser útiles para agua contra incendios o agua fría. Por lo general, se fabrican en diámetros de 6 a 336 pies (NTP 527, 1993).

Tabla 1.

Tipos de tanque recomendado para químicos en estado líquido a 25°C

Tipo de tanque recomendado para Químicos Líquidos, 25°C (77°F)			
Químico	Tipo tanque	Químico	Tipo tanque
Acetaldehyde	H	Ethylene diamine	A
Acetamide	A	Ethylene dichloride	L
Acetic acid	A	Ethylene glycol	A
Acetone	L	Ethylene glycol monoethyl	A
Acetonitrile	L	Ether	L
Acetophenone	A	Formic acid	A
Acrolein	L	Freons	H
Acrylonitrile	L	Furfural	A
Allyl alcohol	L	Gasoline	A
Ammonia	H	Glycerine	A
Benzene	L	Hydrocyanic acid	L
Benzoic acid	A	Isoprene	L
Butane	L	Methyl acrylate	A
Carbon disulfide	L	Methyl amine	A
Carbon tetrachloride	A	Methylchloride	A
Chlorobenzene	L	Methyl ethyl ketone	A
Chloroethanol	A	Methyl formate	L
Chloroform	L	Naphtha	A
Chloropicrin	L	Nitrobenzene	A
Dichlorosulfonic acid	A	Nitrophenol	A
Cumene	A	Nitrotoluene	A
Cyclohexanone	A	Pentane	L
Cyclohexane	L	Petroleum oil	A
Dichloromethane	L	Propane	H
Diesel oil	A	Pyridine	A
Diethyl ether	L	Styrene	A
Dimethylformamide	A	Sulfuric acid	A
Dimethyl phthalate	A	Sulfur trioxide	L
Dioxane	L	Tetrachloroethane	A
Epichlorohydrin	A	Tetrahydrofuran	L
Ethanol	L	Toluene	A
Ethyl acetate	L	Trichloroethylene	L
Ethyl benzene	A	Xylene	A

Clave:
A = atmosférico, < 0.5 psig
L = Baja presión, < 15 psig, > 0.3 psig
H = Alta presión, > 15 psig

Fuente: (NTP 527, 1993)

El tanque de techo fijo se puede clasificar en tanque de techo cónico y tanque de techo abovedado, y cada uno de ellos se puede dividir en tanque sin presión, tanque de baja presión y tanque de alta presión. Los tanques no presurizados se utilizan para el almacenamiento a presión atmosférica y, por lo tanto, tienen respiraderos abiertos a la atmósfera (INGLESA, 2020).

Los tanques de baja presión, que funcionan con baja presión interna o vacío, están equipados con válvulas de alivio de presión y vacío que están calibradas para abrirse completamente a la presión o vacío de diseño.

Los tanques que trabajan en alta presión o en vacío también están limitados por válvulas de seguridad y dependen de requisitos adicionales de planificación y desarrollo para garantizar la solidez primaria.

Los tanques de techo flotante alimentados atmosféricamente se construyen típicamente en diámetros de 49 pies o más, pero se pueden fabricar en diámetros más pequeños para circunstancias especiales. El diámetro elegido debe ser al menos igual en altura para permitir el uso de una escalera rodante para acceder al techo (Gudiño, 2009).

2.4.3 Consideraciones especiales

Debido a que los tanques se usan de muchas maneras diferentes, a veces se necesitan aplicaciones especiales para satisfacer necesidades específicas, como el almacenamiento a temperaturas muy bajas o altas. Algunas de estas aplicaciones se describen a continuación (Naranjo, 2017).

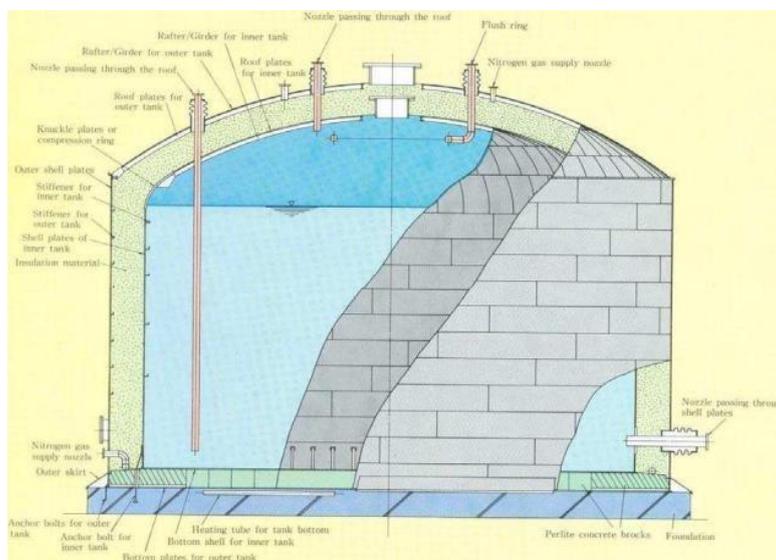
2.4.3.1 Tanques criogénicos

Para reducir los costos de infraestructura y operación, grandes cantidades de líquidos con alta presión de vapor se almacenan a bajas temperaturas o en estado criogénico, incluso si el uso final de estos productos es en estado gaseoso (Saga Fluid, 2021).

Los tanques de almacenamiento de baja temperatura se utilizan para gases de hidrocarburos condensados (propano, butano, metano, etc.), gasolina gaseosa, aire, etileno, nitrógeno, oxígeno, álcali, argón, cloro, flúor y otros fluidos refrigerados. No obstante, una gran cantidad de estas mezclas no pueden fundirse a la temperatura y tensión típicas, por lo que deben enfriarse y mantenerse bajo tensión antes de guardarse, lo que implica un marco de refrigeración tanto para el fluido como para el humo creado.

Además, es necesario implementar sistemas de aislamiento en los tanques para conservar la energía del producto y reducir el tamaño de los equipos de refrigeración.

Figura 15. Esquema estructural de un tanque criogénico de doble pared para gas licuado de petróleo



Fuente: (NTP 527, 1993)

Las temperaturas de $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($-150\text{ }^{\circ}\text{F}$) o menos se consideran criogénicas y las temperaturas superiores a $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($-40\text{ }^{\circ}\text{F}$) se consideran bajas. Los líquidos súper fríos o extremadamente fríos, como el oxígeno, el hidrógeno y el argón, generalmente se almacenan en tanques de doble pared, con espacios anulares que contienen perlita (IMERYYS, 2018).

Existen diferentes conceptos en el diseño de tanques de almacenamiento criogénico y de baja temperatura, pero la mayoría se construyen con una doble pared y una corona periférica rellena de perlita expandida. La conductividad térmica de la perlita instalada con un espacio poroso de 100 mm Hg es 22 veces menor que la conductividad térmica de la perlita utilizada en un tanque aislado típico a presión atmosférica (Villarejo, 2013).

Además, los códigos de incendios sugieren el establecimiento de un tanque de regulación opcional fuera del tanque de capacidad para fluidos combustibles, por ejemplo, gas de hidrocarburo condensado y gas inflamable, como medida de seguridad en caso de decepción del tanque esencial. Por lo tanto, la selección cuidadosa de los materiales es esencial para evitar fallas por fragilidad a bajas temperaturas

2.4.3.2 Tanques con sistemas de calentamiento

Debido al comportamiento de ciertos líquidos (crudos pesados, asfaltos, azufre, soluciones concentradas de sal o soda cáustica e incluso melazas y materias

alimenticias) a temperaturas bajas tendientes a solidificarse, congelarse o engrosarse, y no poder ser transferidos fácilmente a través de tuberías y equipos, los tanques de almacenamiento deben ser calentados y mantenidos a temperaturas mínimas (IMERYYS, 2018).

Figura 16. Serpentín tubular para calentamiento de un tanque de almacenamiento

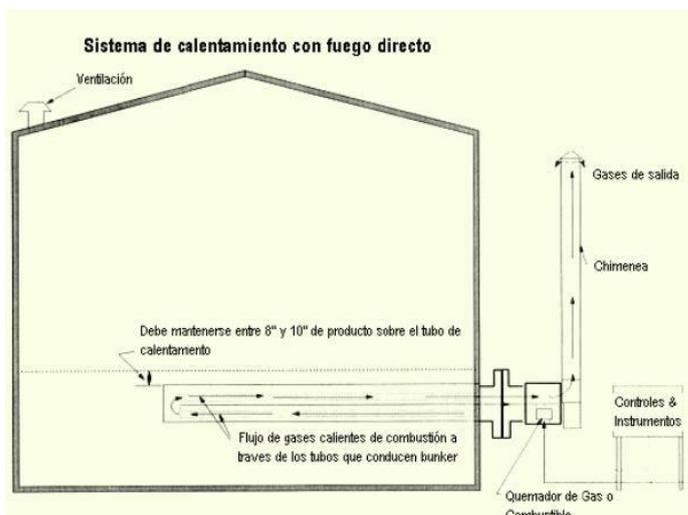


Fuente: (INGLESA, 2020)

Existen varias alternativas de calentamiento

- Calentamiento por medio de intercambiadores de calor en la parte externa.
- Calentamiento interno con arreglos en la tubería o intercambiadores instalados en la parte inferior del tanque.

Figura 17. Serpentín tubular para calentamiento de un tanque de almacenamiento



Fuente: (Gudiño, 2009)

2.4.4 Tanques con sistemas de calentamiento

Tabla 2. Ventajas y desventajas del techo flotante vs domo geodésico

Techo Flotante VS Domo Geodésico	
Techo Flotante	Domo Geodésico
Ventajas	Ventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Son instalados por razones ambientales • Se consideran los más económicos del mercado • Son altamente seguros • Limitan totalmente las pérdidas por evaporación • Reducen el riesgo de incendio y emisión de compuestos volátiles • Altamente seguros de instalar • Se emplean para almacenar productos altamente volátiles • Proporcionan un medio aislante para el líquido de resguardo 	<ul style="list-style-type: none"> • Debido a su material base poseen altas propiedades anticorrosivas • Pueden ser construidos en cualquier diámetro • En caso de exceder la presión de diseño la unión soldada puede desprenderse con facilidad. • Se pueden ensamblar de manera simple debido a que no requieren de columnas de soporte • Su costo es altamente competitivo al respecto de las demás tipologías • Al colocarlo sobre el techo flotante se lo considera como una sobreprotección. • Mantiene la pureza del producto almacenado
Desventajas	Desventajas

Techo Flotante VS Domo Geodésico

Techo Flotante

- **Existen ciertos elementos que pueden ser acumuladas en el techo como nieve o agua**
- **El costo al respecto del techo fijo es comparativamente mayor**
- **El techo está diseñado para soportar una lluvia continua de 24 h**
- **El techo al estar expuesto a los elementos tiene alta probabilidad de corrosión**

Domo Geodésico

- Es altamente costoso en comparación con el cónico y el techo flotante
- Su aplicación radica para tanques pequeños y medianos
- No debe ser empleado para trabajar con altas presiones
- Requiere de un sistema de recuperación de presión
- No es frangible

Fuente: (Mora, 2020; Peñafiel, 2013)

Comentario

Las ventajas y desventajas de tanto el techo flotante como el domo geodésico son variadas pero cada tipología tiene su campo de aplicación con base en sus propiedades anticorrosivas, instalación, capacidad, trabajo a presión, entre otras. Es necesario destacar que cada uno de ellos reside en el campo de aplicación.

CAPÍTULO III METODOLOGÍA

3.1 Generalidades

El diseño de los tanques de almacenamiento se fundamenta principalmente en la necesidad utilitaria, que obliga a circunstancias de trabajo específicas.

La probabilidad de decepción de una cisterna en ayuda se considera en el ciclo del plan desglosando sus principales componentes (desfiguración plástica por sobrecarga, deformación plástica y grieta sin flaqueza flexible). Diferentes tipos de decepciones resultan de la erosión, del mal uso o del desgaste real.

3.2 Estándares

Cuanto más líquidos valiosos haya que manejar, más seguro y más caro será el contenedor. Por lo tanto, los procedimientos de diseño, construcción, inspección, prueba y operación del tanque se desarrollan como una medida de seguridad para evitar fugas catastróficas o almacenamiento a través de la erosión del fondo o cuerpo del tanque ya sea por fractura frágil o sedimentación excesiva para evitar la pérdida de líquido. Estos procedimientos se proporcionan en forma de normas y códigos, y definen pautas mínimas para garantizar la operación y la vida útil (Ministerio del Ambiente, 1992).

Un gran número de materiales ofrece diferentes perspectivas de plan según los requisitos previos determinados por el comprador del tanque. Por ejemplo, los preparados de baja resistencia se pueden utilizar fuera de los tanques de hasta 38,1 mm (1,1/2") y se pueden usar aceros de alta resistencia de hasta 44,4 mm (1,3/4"). La selección adecuada de materiales hace posible la fabricación de tanques económicos de gran capacidad (NTP 527, 1993).

Aunque los estándares API son ampliamente aceptados numerosos países tienen códigos y normas públicas que administran el diseño y el montaje de los depósitos de almacenamiento de fluidos. La tabla resume los límites y los puntos de corte de las directrices fundamentales relacionadas con el diseño, la creación, la recopilación y las pruebas de los tanques de capacidad.

Tabla 3

Parámetros de cobertura de los principales estándares de diseño de tanques

Descripción	API 12D	API 12F	API 650	API 620	AWWA D100
Volumen (barriles)	≥ 500, ≤ 10,000	≥ 90, ≤ 750			
Temperatura (oF)			≤ 500	≥ - 270, ≤ 250	
Presión manométrica de diseño (psig)	≤ 0.5	≤ 1	≤ 2.5	≤ 15	0
Vacio de diseño (osi)	≥ - 0.5	≥ - 0.5	≥ - 16		
Tipo de techo	Cónico	Cónico	Cónico, Domo, Flotante	Cónico, Domo	Cónico, Domo
Tipo de tanque asentado sobre superficie	Cilíndrico vertical soldado	Cilíndrico vertical soldado	Cilíndrico vertical soldado	Cilíndrico vertical soldado	Varios
Materiales	CS	CS	CS, SS, Al	CS, SS, Al	CS
Cargas de techo (psf)	20	20	20	25	15
Líquidos a almacenar	Agua, Petróleo y derivados	Agua, Petróleo y derivados	Agua, Petróleo y derivados	Agua, Petróleo y derivados	Agua
Espesor mínimo de láminas del fondo	0.25"	0.25"	0.25"		
Espesor mínimo de láminas del cuerpo	0.1875"	0.1875"	0.1875"	0.1875"	
Ancho mínimo recomendado para láminas del cuerpo	60"	60"	60"		
Espesor mínimo de láminas del techo	0.1875"	0.1875"	0.1875"		
Requerimientos de venteo	Según API 2000	Según API 2000	Según API 2000	Según API 2000	Según API 2000
Pruebas obligatorias	Hidroneumática o neumática a 1.5 Pd	Neumática a 1.5 Pd	Hidroneumática a 1.25 Pd	Hidroneumática a 1.25 Pd	
Estampe con nomograma	Opcional	Opcional	No requerido	No requerido	No requerido
Diámetro nominal (ft)	≥ 15.5, ≤ 55	≥ 7.916, ≤ 15.5	≤ 200 ó L/H ≤ 2		
Metodología diseño			Elástico		
Altura nominal (ft)	≥ 16, ≤ 24	≥ 8, ≤ 24	≥ 6		

Fuente: (NTP 527, 1993)

3.3 MÉTODOS

Los métodos que se aplicaron para la realización del proyecto de investigación son:

3.3.1 Desmontaje de techo flotante de Acero

Este procedimiento consistió en segmentar el techo flotante del tanque con OXICORTE para poder retirarlos en partes, estos segmentos no deben exceder el peso que puede elevar la grúa con la que serán retirados. Para la ejecución del Desmontaje de Techo flotante de Acero de almacenamiento de gasolina se requiere el siguiente personal:

- Auxiliar de Corte y Soldadura

- Operador de Grúa Calificado
- Equipos para Oxicorte
- Grúa
- Amoladoras
- EPP

Luego de haber realizado las coordinaciones respectivas con el personal de EP Petroecuador y haber obtenido los permisos de trabajo del personal encargado de las operaciones. En caso de no poder ejecutar las tareas de acuerdo a lo establecido en este procedimiento, se podrá cambiar el procedimiento con la autorización respectiva del Administrador del Contrato. Si por problemas observados en sitio se debe aplicar otro procedimiento, modificar el presente para ajustarse a la nueva revisión.

Para la realización del desmontaje del techo Desmontaje de Techo flotante de Acero de almacenamiento de gasolina fue necesario seguir los lineamientos de las normas aplicables, tales como:

- Norma API 653, Sección 9 Inspección, reparación, alteración y reconstrucción de tanques de almacenamiento de petróleo (9.12 TECHOS FLOTANTES)
- Norma API 2015, Limpieza de tanques de almacenamiento de petróleo.
- Norma API 650 Décima Edición, Los tanques de acero soldados para el almacenamiento de petróleo (Apéndice H, Techos Flotantes Internos)
- Normativa de SSA de la empresa de Hidrocarburos

3.3.2 Procedimiento de Desmontaje de techo flotante

N°	DESCRIPCIÓN DE LA TAREA	RESPONSABLE
1	Programar la ejecución de trabajo con el Administrador del Contrato, Supervisor del Contrato y área usuaria	Supervisor residente del servicio(consorcio indutanques)
2	Capacitación de seguridad al personal que va a realizar los trabajos sobre los riegos y medidas de seguridad para la ejecución de los trabajos	Técnico de SSA, paramédico supervisor residente del servicio (consorcio indutanques) y personal de SSA empresa de hidrocarburos
3	Obtener los permisos para trabajos, caliente, izaje, trabajos en altura. (REALIZAR	Técnico de SSA (consorcio indutanques), personal de SSA y

N°	DESCRIPCIÓN DE LA TAREA	RESPONSABLE
	INSPECCIÓN EN SITIO)	área usuaria de la empresa de hidrocarburos
4	Ingresar personal, maquinarias, equipos, herramientas y materiales a la zona del operativo.	Supervisor residente del servicio y técnico de SSA (consorcio indutanques)
5	Medir explosividad en el área de trabajo para descartar la presencia de combustibles	Personal de SSA y área usuaria Empresa de hidrocarburos
6	<p>Se procederá al corte (oxicorte), en segmentos del techo flotante, escaleras, plataformas de aforo, para el caso del Tanque 14 los segmentos no excederán 1,5 toneladas de peso y para el Tanque 10 los segmentos no excederán 4 toneladas de peso.</p> <p>Requerimientos de API 653 sección 9.12 TECHOS FLOTANTES</p> <p>9.12.1 Techos Flotantes Externos: Cualquier método de reparación es aceptable para restaurar el techo que permita al tanque el adecuado desempeño que es requerido.</p> <p>9.12.2 Techos flotantes Internos: Las reparaciones para los techos flotantes internos se deben hacer de acuerdo con los planos de construcción original, si están disponibles. Si los planos de la construcción original no están disponibles, las reparaciones del techo deben ir de acuerdo con los requerimientos de API Std 650, Apéndice H.</p> <p>Requerimientos de API 650 Apéndice H TECHOS FLOTANTES INTERNOS (H1 Alcance, H2 Tipos, H3 Materiales y H3.1 Acero).</p>	Auxiliar de corte y soldadura (consorcio indutanques)

N°	DESCRIPCIÓN DE LA TAREA	RESPONSABLE
7	Con la ayuda de la Grúa se procederá al retiro de los segmentos del techo del tanque y se los trasladará en un camión al sitio establecido por EP Petroecuador.	Auxiliar de corte y soldadura (CONSORCIO INDUTANQUES) Operador de grúa contratado con sus permisos respectivos (CONSORCIO INDUTANQUES)

Fuente: CONSORCIO INDUTANQUES (2019)

3.3.3 Montaje de domo geodésico

El proceso de montaje del domo ALUSPHERE® ha sido elaborado por la organización JSF ALUROOFS empresa fabricante (JSF ALUROOFS, 2020).

Los distintos componentes de las cúpulas de aluminio ALUSPHERE® están prefabricadas y se suministran listados de materiales, junto con planos de montaje e instrucciones necesarias para su instalación. Todos los componentes están codificados individualmente para su fácil identificación. Estos domos están contruidos concéntricamente, comenzando en el centro de la cúpula y terminando el del anillo exterior. Los domos se componen de perfiles y discos de aluminio que se unen mediante tornillería de acero inoxidable formando nudos. Los paneles de cubierta se instalan directamente sobre los perfiles de aluminio y se aseguran en su lugar utilizando perfiles cubrejuntas.

3.3.4 Instrucciones del montaje

3.3.4.1 Instalación de las vigas de estructura y platos de nudos

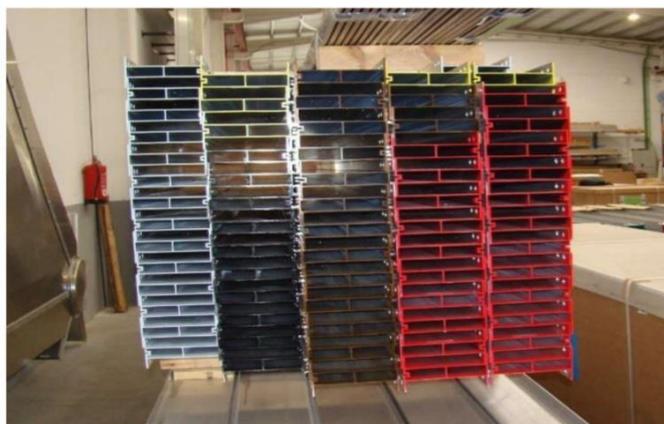
Cada plato, viga, perfil cubrejuntas y panel de cubierta de los domos de aluminio ALUSPHERE® tiene su propia nomenclatura y código de color que indican su posición dentro de la estructura del domo. Tanto los extremos de las vigas como de los platos están codificados por colores, como se muestra en la Figura 17 y la Figura 18 respectivamente. Tenga en cuenta que podría haber diferentes colores en el plato y estos deben estar lineados con los correspondientes códigos de las vigas.

Figura 18. *Códigos de colores de los platos*



Fuente: JSF ALUROOFS

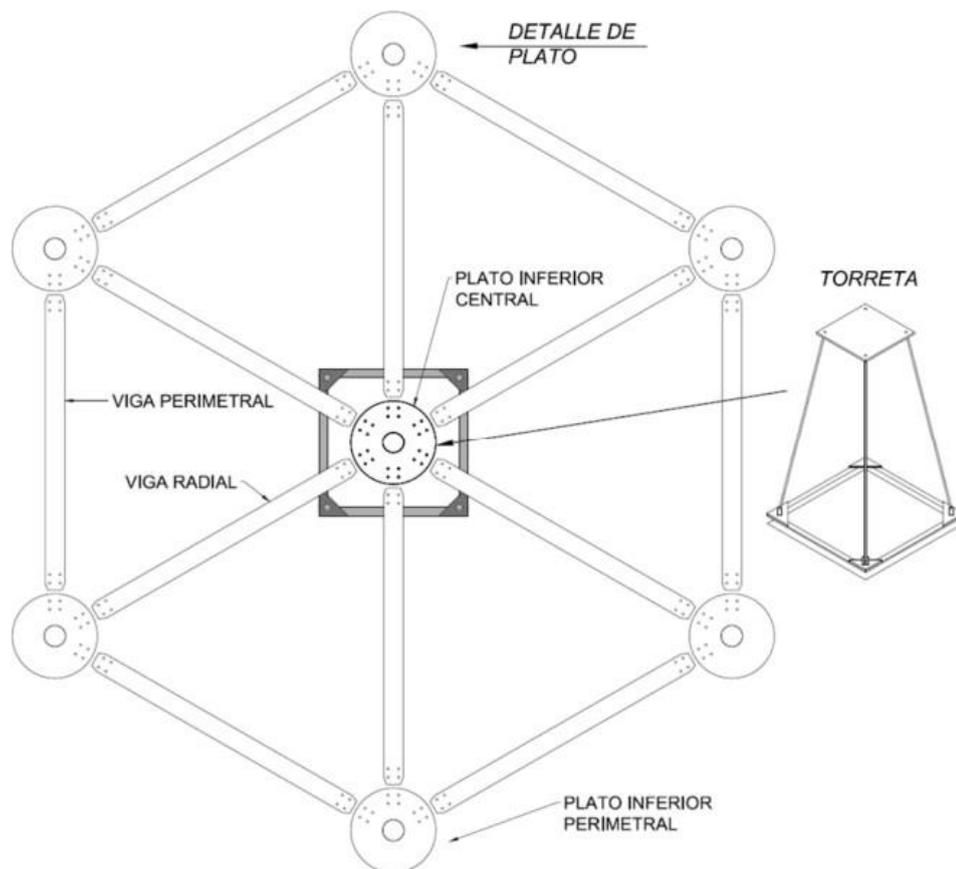
Figura 19. *Códigos de colores de las vigas*



Fuente: JSF ALUROOFS

1. Colocar un solo soporte de montaje en el centro de la zona de montaje del domo de aluminio ALUSPHERE®. Acopiar el plato inferior del nudo central, las vigas radiales del primer tramo, las vigas del primer anillo y los platos inferiores de los nudos del primer anillo, como se muestra en la Figura 5. Asegúrese de que el código (y el color) de los platos y de las vigas son los mismos

Figura 20. Replanteo inicial del montaje del domo



Fuente: JSF ALUROOFS

2. Unir las vigas radiales del primer tramo al plato inferior del nudo central, vea la Figura 20

Figura 21. Unión de las vigas al plato central

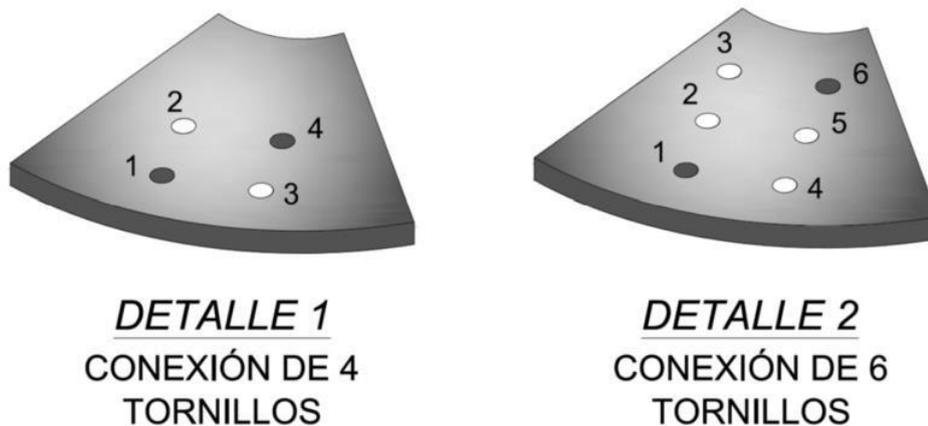


Fuente: JSF ALUROOFS

3. Después de fijar las vigas radiales al plato inferior del nudo central (la zona roscada de los tornillos debe quedar hacia abajo), unir provisionalmente el plato superior del nudo central a estas vigas utilizando dos tornillos por viga:
 - Si la viga tiene 2 filas de taladros, utilice 2 tornillos en la diagonal (agujeros 1 y 4 como se muestra en la Figura 21)
 - Si la viga tiene 3 filas de taladros, utilice 2 tornillos en la diagonal (agujeros 1 y 6 como se muestra en la Figura 21).

Todos los tornillos del plato superior deben colocarse con su parte roscada hacia arriba. Apriete completamente con el par de apriete especificado en los planos de montaje solo 1 de estos tornillos, el otro tornillo se apretará a mano (unión provisional, solo para fijar la posición de la viga)

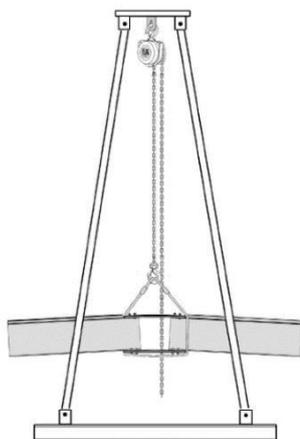
Figura 22. Posición de los tornillos durante el montaje provisional



Fuente: JSF ALUROOFS

4. Una vez que los platos del nudo central estén colocados, colocar una eslinga de elevación alrededor del nudo (nunca colocar la eslinga alrededor de las vigas, ya que se podrían doblarlas y dañarlas) y conéctelo al polipasto montado en los soportes de elevación.

Figura 23. Posición de los tornillos durante el montaje provisional



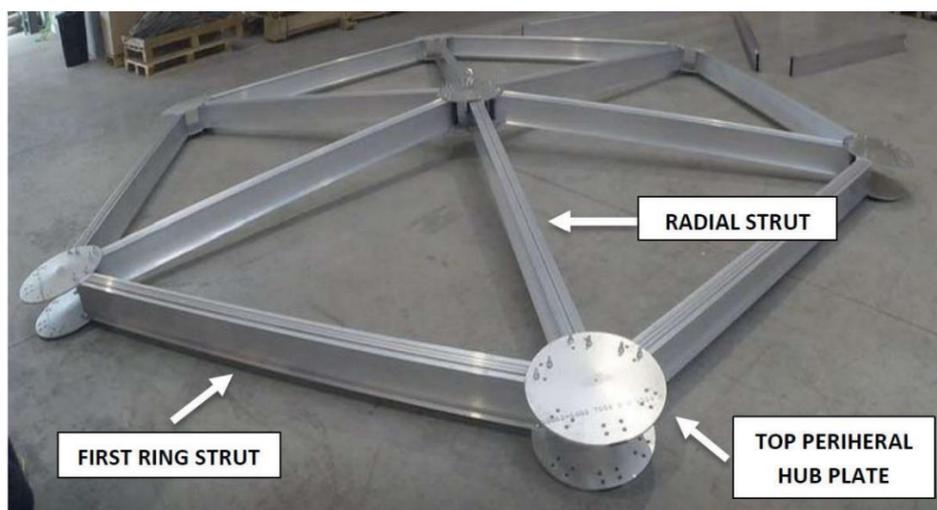
Fuente: JSF ALUROOFS

5. Utilizando la cadena del polipasto, elevar la estructura del domo hasta una altura suficiente como para permitir trabajar y continuar el montaje en el extremo inferior de las vigas radiales.
6. Colocar en los platos inferiores del primer anillo el segundo tramo de vigas

radiales, asegurándose que la codificación de color esté alineada correctamente. Colocar los tornillos (con la rosca hacia abajo) en cada agujero las vigas. Sólo se deberán apretar completamente (con el par de apriete especificado en los planos de montaje) un tornillo de cada viga, dejando el resto sueltos (apretados a mano).

7. Disponer los platos inferiores del segundo anillo a las vigas radiales que se acaban de instalar. Insertar los tornillos (con la rosca hacia abajo) en cada agujero de cada viga, sólo apretando completamente un tornillo de cada extremo de viga (el resto de los tornillos quedarán apretados a mano).
8. Colocar los platos superiores en los nudos del primer anillo. Inserte los tornillos (con la rosca hacia arriba) y apriete completamente (según el par de apriete especificado en los planos constructivos) todos los tornillos de las vigas del primer anillo (vea la Figura 24).

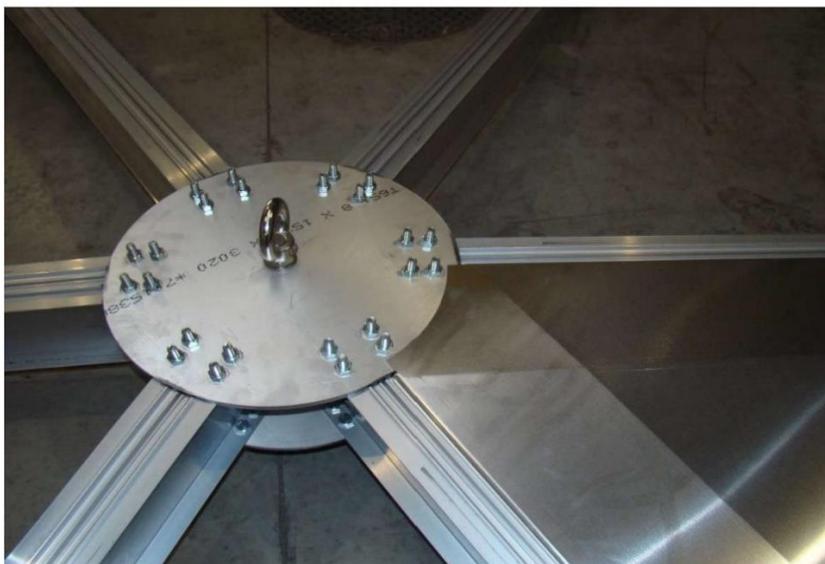
Figura 24. Montaje del primer anillo del domo



Fuente: JSF ALUROOFS

Usando la cadena del polipasto, baje la estructura domo a una altura que permita el acceso al nudo central. Inserte todos los tornillos (tanto del plato inferior como superior) y apriételos completamente según el par especificado en los planos de montaje, como se muestra en la Figura 25.

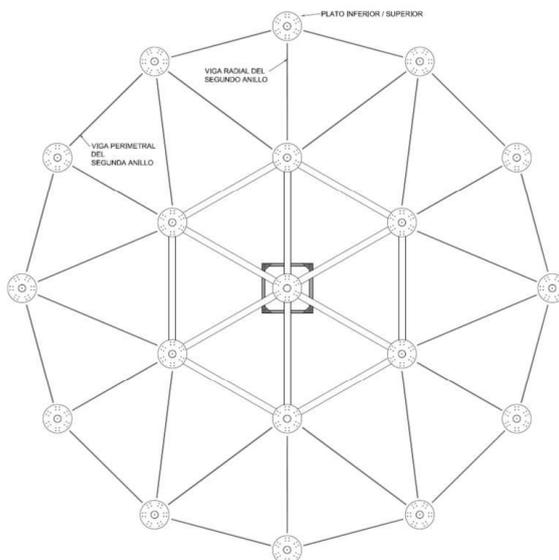
Figura 25. Montaje final del nudo central del domo



Fuente: JSF ALUROOFS

9. Usando la cadena del polipasto, elevar la estructura a una altura adecuada para permitir la instalación de las vigas radiales del segundo tramo.
10. Replantear todos los componentes del segundo tramo incluyendo las vigas radiales, las vigas del 2° anillo y los platos inferiores y superiores del 2° anillo, como se muestra en la Figura 11. Asegurarse de que los códigos de colores de platos y vigas coincidan y están alineados correctamente.
11. Repetir la secuencia de montaje explicada en los pasos anteriores. Ver la Figura 26.

Figura 26. Montaje del segundo tramo del domo



Fuente: JSF ALUROOFS

3.3.4.2 Montaje de paneles de cubierta

Una vez completado el montaje de toda la estructura del domo de aluminio, puede comenzar el montaje de los paneles de cubierta de aluminio y los perfiles cubrejuntas. Los paneles se pueden instalar en cualquier zona del domo donde no haya soportes de montaje que sostengan la estructura. Se deben consultar los planos de montaje del domo para determinar la ubicación exacta de cada panel de cubierta. Todos los paneles tienen un número de pieza grabado (código) en uno de sus vértices que lo identifica. El lado del triángulo opuesto a este código debe colocarse sobre una viga de anillo

Asegurarse de que los paneles estén instalados sin tensión ni deformación, ya que esto permitirá que los perfiles cubrejuntas se instalen correctamente. A partir del último tramo (parte inferior de la cúpula), se colocarán los paneles de cubierta que siguen un patrón circular alrededor de la cúpula.

Se recomienda que la instalación de los paneles de cubierta y perfiles cubrejuntas se realice utilizando un equipo de cuatro personas (tres personas en la estructura y uno en la zona de montaje) trabajando de la siguiente forma:

- 2 personas serán los encargados del manejo y colocación de los paneles de cubierta.
- El 3º miembro del equipo será el encargado de la instalación de los perfiles

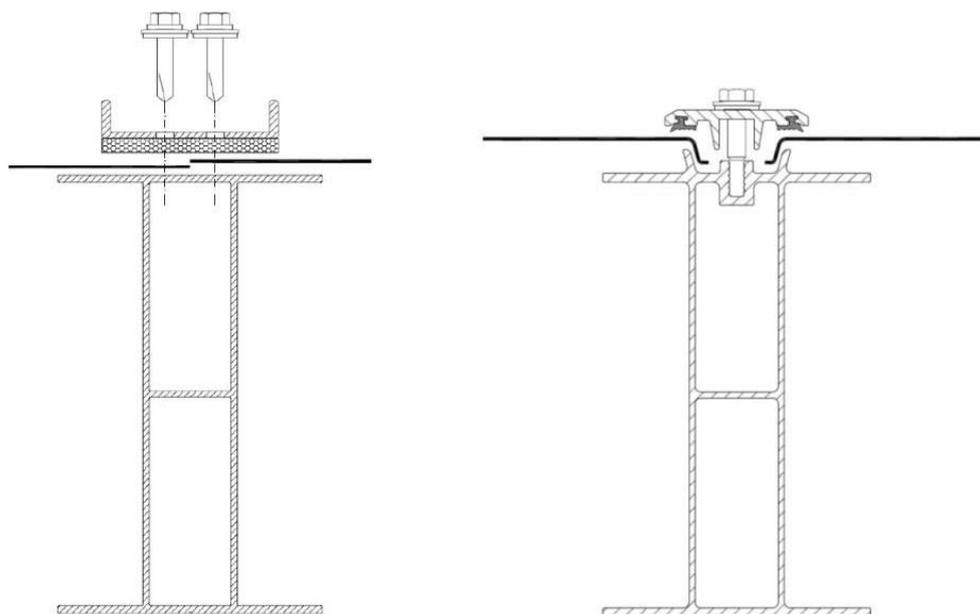
cubrejuntas y su atornillado.

- El 4º miembro del equipo, ubicado en la zona del montaje, se encargará del acopio de paneles en las proximidades de la estructura y del suministro de paneles al 1º grupo de montadores que los instalarán.

3.3.4.3 Montaje de perfiles cubrejunta

Una vez instalados los paneles adyacentes, se fijarán a la estructura colocando el perfil cubrejuntas correspondiente para asegurarlos, como se muestra en la Figura 27.

Figura 27 Montaje del perfil cubrejuntas en un domo ESTANDAR (izquierda) o API (derecha)



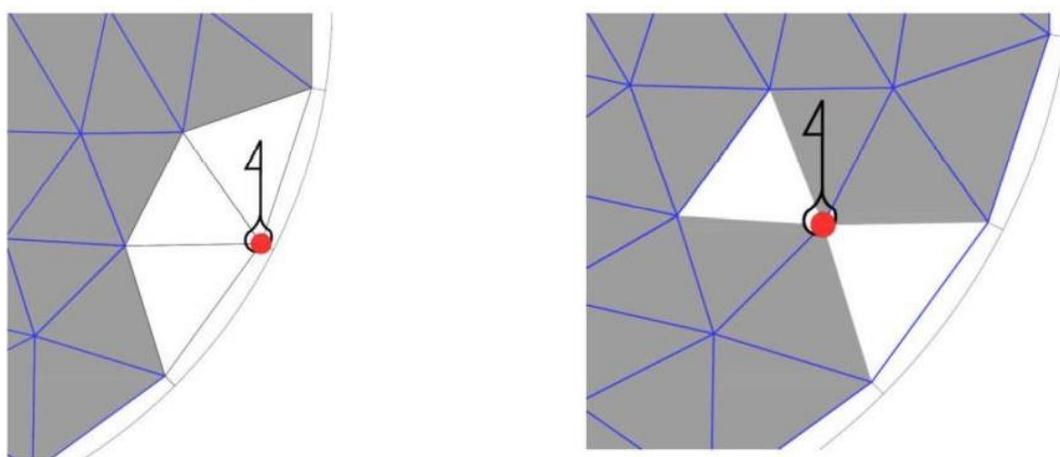
Fuente: JSF ALUROOFS

Los paneles de aluminio no deben instalarse en condiciones de mucho viento (no debe exceder 20 km/h / 13 mph / Fuerza 4 Beaufort). Realizar la instalación de los paneles con un viento mayor a estos valores podría dañarlos, así como causar daños personales en al personal de montaje

3.3.4.4 Instrucciones antes del izado

El domo de aluminio completamente montado (excepto los vierteaguas) será izado para su colocación sobre el tanque/depósito utilizando un procedimiento adecuado y siguiendo la Evaluación del Riesgo y el Procedimiento de Montaje. El número de puntos de izado para el levantamiento de un domo depende del peso y diámetro de la cúpula. Es esencial que esta operación se lleve a cabo de manera cuidadosa y controlada por el personal de montaje y el encargado de la grúa para asegurar que el domo se coloca perfectamente sobre el depósito. Con el fin de dejar accesibles los nudos utilizados para levantar la cúpula, algunos de los paneles de aluminio no debenser instalados. En los planos de montaje se dará una sugerencia sobre los puntos de izado necesarios y su ubicación. Los paneles que no deben ser instalados dependerán de la posición del nudo, según se puede ver en la Figura 27. Estos nudos podrían estaren el perímetro o dentro del domo. Los paneles situados junto a los puntos de elevación deben instalarse con al menos 2 perfiles cubrejuntas, como se muestra en azul en la Figura 28

Figura 28. Instalación de paneles según los nudos de izado



Fuente: JSF ALUROOFS

3.3.5 Selección e instalación de membrana flotante full contact

Para proceder a la selección de la membrana flotante es necesario conocer el anexo H de la norma API 650 el cual establece los requisitos mínimos para las membranas internas flotantes. Las normas de diseño deben establecerse en función de los requisitos del sistema y de un análisis coste-beneficio para la durabilidad de la membrana. Según lo antes mencionado junto al ente contratista se procede a seleccionar membrana de TIPO H.2.2.f, una membrana o techo flotante tipo panel sin embargo este no es hueco al contrario está relleno de espuma lo cual proporciona mayor índice de flotabilidad, al ser un panel tipo sándwich mayor rigidez.

Para la instalación debe incluir todo el sistema de membrana flotante interna de aluminio, que consiste en lo siguiente: cubierta de paneles flotantes (tipos de paneles rellenos de espuma y láminas de aluminio), anillo perimetral, herrajes, juntas y accesorios.

CRITERIOS DE DISEÑO

Estándares

1. La estructura ensamblada cumple o excede los requisitos de diseño de la última edición de API Standard 650 y EN14015.

Flotación

1. Proporción de flotabilidad mínima de 200% contra la carga muerta del techo más la fuerza de fricción ejercida por las juntas perimetrales con un coeficiente de arrastre de no menos de 3 lb / ft.
2. El techo debe poder mantenerse a flote mientras tiene dos compartimentos flotantes, mientras está flotando en el producto.
3. El diseño se basará en una gravedad específica de 0.7 o la del producto almacenado, el que sea menor.

Diseño del panel

1. Los módulos principales del panel de aluminio serán de 3'-9" x 7'-6" x 2" de profundidad (1143 mm x 2286 mm x 52 mm). Los paneles de borde se diseñarán según sea necesario para cumplir con el diámetro del tanque a 3'-9" anchura. Los paneles se construirán utilizando elementos estructurales de aluminio de 3,3" (82 mm) de

profundidad para la resistencia y durabilidad, esta estructura de encuadre proporcionará la resistencia estructural primaria del IFR.

2. Cada panel de tipo sándwich consistirá en un relleno de espuma y láminas de aluminio para proporcionar rigidez al panel. Las láminas de aluminio deben soldarse para formar un compartimento flotante completamente cerrado.

3. Cada panel debe contener un puerto de detección de vapor con el propósito de mostrar la presencia de hidrocarburos durante la limpieza fuera de servicio en el futuro y los ciclos de certificación libre de gas.

Los paneles dañados se pueden quitar o reemplazar fácilmente desatornillándolos y reemplazándolos con dos "medios paneles" que se adaptarán a un pasillo de 24".

4. Cada panel se inspeccionará por medio de una prueba de disminución de presión del espectrómetro de masas de helio antes del envío al campo.

Montaje de campo y construcción

1. La instalación de campo y el montaje de este techo se deben completar de acuerdo con el Manual de instalación y dibujos del modelo del fabricante.

2. La resistencia estructural del sistema de techo ensamblado se proporcionará mediante sujeción mecánica y sujeción de los paneles.

3. El techo debe estar instalado a nivel y en la alineación adecuada. Se deben tomar medidas para un soporte inferior adecuado durante la instalación según el manual de instalación del fabricante y los requisitos de seguridad de fabricante.

4. El techo ensamblado debe cumplir con los requisitos de carga con sujetadores, barras de listones, estructura de bastidor y paneles completamente ensamblados.

Sistema de soporte

1. Cargas de diseño mínimo según lo determinado por el Apéndice H de la última edición del API Standard 650.

2. La estructura de soporte de la membrana será mediante patas de soporte.

3. Patas ajustables conectadas a la membrana interna flotante.

4. Patas fijas conectadas a la membrana interna Flotante.

3.3.6 Prueba de flotabilidad de membrana flotante full contact (pruebas hidrostáticas)

En este procedimiento se definen los criterios operacionales necesarios para ejecutar las pruebas de flotabilidad de membranas flotantes de contacto total en tanques almacenamiento de hidrocarburos.

La prueba de flotabilidad consiste en el control realizado a las membranas flotantes, instaladas en tanques de almacenamiento de hidrocarburos, para determinar que la membrana puede flotar sobre el producto almacenado en la operación de llenado y vaciado del tanque.

Para la ejecución de la prueba de flotabilidad en tanque se requiere el siguiente personal:

- Operadores de grupos de bombeo de agua.
- Personal de apoyo para conexión y desconexión de mangueras, apertura y cierre de válvulas.
- Operador aforador.
- Personal para verificación del estado de la membrana durante el ingreso y desalojo del agua.
- Cinta de aforo.
- Cámara para monitoreo de la membrana.
- Grupos de Bombeo y Mangueras

Preparaciones preliminares

Las siguientes actividades se deben ejecutar previo a las pruebas y puesta en operación de las membranas:

- Verificar de la existencia de todos los tornillos y su apriete, (el torque aplicable manualmente con una llave), luego de esto se realizó una comprobación aleatoria en cada uno de los paneles para verificar tornillos sueltos o faltantes.
- Remover toda herramienta y soporte temporal de la cubierta, en la parte superior e inferior.

- Revisar todos los accesorios para comprobar su correcta instalación y asegurar que están listos para operar.
- Que la válvula de presión-vacío está abierta por lo menos 6 pulgadas.
- Que la boca de visita está cerrada.
- Verificar que todas las patas se colocó el pasador.
- La guaya anti-rotación ha sido verificada en su verticalidad, tensión y el correcto apriete de los pernos.
- Las guayas de aterramiento están libres de doblez y desenredadas.
- Verificar el área de sello de la cubierta (Zapatas, tijeras, clip, resortes, barreras de vapor y wiper)

Realización de la Prueba

El tanque debe llenarse con agua a través de tuberías de acceso o por una conexión preliminar debe verificarse periódicamente durante el período de finalización.

El llenado se efectúa en cuatro etapas de modo que la altura se divide en tres partes aproximadamente. Una vez llenada la primera parte, el 50% de los niveles establecidos, deben chequearse y documentarse. Si los niveles están dentro de los límites especificados en el Código API 650, la prueba puede continuar. Lo mismo se repite para los niveles del 75% y 100%.

Se deja descansar al tanque de almacenamiento por un período de 24 horas, luego de esto se inspeccionan los niveles nuevamente registrando los valores correspondientes, entonces, se procede con el llenado de la parte final de la misma manera.

Una vez que se alcanza el nivel de llenado máximo, se deja descansar el agua por 24 horas. Los valores iniciales y finales son verificados y documentados.

Como regla general, se debe limitar la permanencia de sobre la cubierta de un máximo de 4 (cuatro) personas, especialmente si están trabajando juntos en un área reducida.

Control de Nivel

Durante la prueba debe inspeccionarse cada cierto nivel, el recorrido de la cubierta, así como el comportamiento de los sellos, cajas de las columnas.

El vaciado del tanque se lleva a cabo en base a la tabla especificada en el API 650.

Criterios de Aceptación y Rechazo

La prueba de flotabilidad es aprobada si la membrana pudo desplazarse en el llenado y vaciado del tanque sin fugas del fluido de prueba.

Se otorga la aprobación final después de evaluar todos los datos de nivel obtenidos durante la prueba.

Documentación

Después de obtener resultados satisfactorios en la prueba de flotabilidad, el informe deberá ser aprobado por el Cliente y el mismo pasará a formar parte del Dossier de calidad o Informe a entregarse al final del mismo (CONSORCIO INDUTANQUES, 2020).

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

Mediante la realización de este proyecto se obtuvieron los siguientes resultados:

- El desmontaje del techo flotante del tanque de almacenamiento se realizó con éxito por medio del uso de oxicorte y posteriormente las partes del mismo fueron retiradas con el uso de una grúa, los diferentes procedimientos se realizaron bajo una serie de normativas como; API 653, 2015, 650 y por último la SSA de la empresa de la empresa de Hidrocarburos
- La implementación del Domo Geodésico, su nombre responde a ALUSPHERE® se realizó de manera exitosa, y esto se pudo ver reflejado en la prueba de permeabilidad, cumpliendo así con los procesos de armado en la estructura y su correcta colocación.
- La selección e instalación de la membrana flotante se implementó tomando en consideración cada recomendación del fabricante lo cual significó una correcta selección e instalación del producto lo cual se puede ver reflejado en las diferentes pruebas realizadas a la membrana como permeabilidad y flotabilidad.

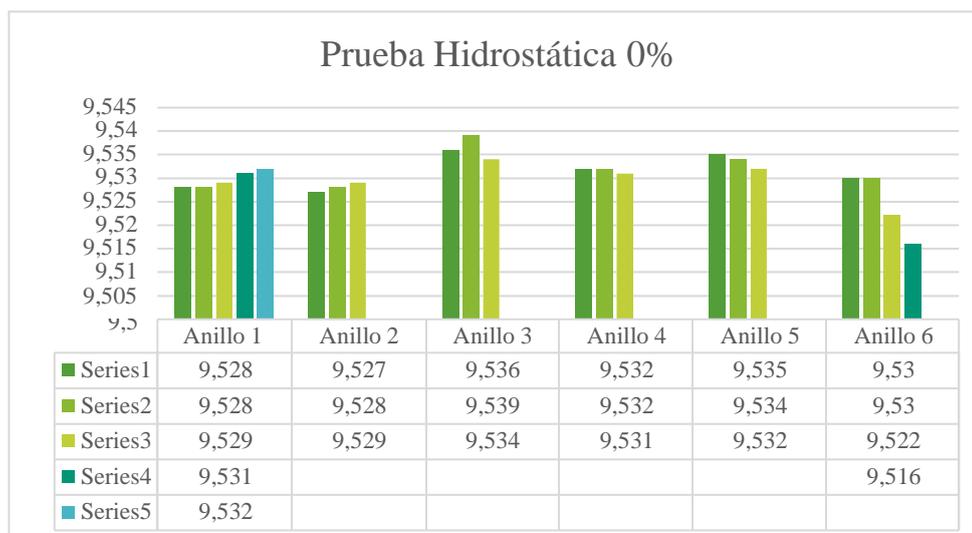
4.1 Resultados de las pruebas hidrostáticas

Figura 29. Resultado del ensayo (Prueba hidrostática 0%)

PRUEBA HIDROSTÁTICA 0%										
ANILLOS	PUNTO	%	COORD.	COORD.	DIF.	ANGULO	DIAMETRO	DIAMETRO	ALTURA	DISTANCIAS
			ESTE	NORTE	DE NIVEL	HORIZONTAL	0-180	PROMEDIO	PROMEDIO	PARCIALES
								POR ANILLO		(PLANCHA)
							m	m	m	m
ANILLO 1	1	BASE	20005,08	50000,001	-0,069	00-00-00	9,543	9,528	-0,075	0
	2	PIE	20005,082	50000,001	0,159	00-00-00	9,538	9,528	0,137	
	3	20	20005,083	50000,001	0,363	00-00-00	9,538	9,532	0,344	
	4	50	20005,085	50000,001	0,892	00-00-00	9,534	9,531	0,933	
	5	80	20005,087	50000,001	1,522	00-00-00	9,534	9,529	1,497	1,834
ANILLO 2	6	20	20005,082	50000,000	2,132	00-00-00	9,536	9,527	2,019	
	7	50	20005,078	50000,001	2,737	00-00-00	9,535	9,528	2,708	
	8	80	20005,082	50000,001	3,274	00-00-00	9,545	9,529	3,310	1,842
ANILLO 3	9	20	20005,086	50000,001	3,903	00-00-00	9,548	9,536	3,918	
	10	50	20005,084	50000,001	4,612	00-00-00	9,556	9,539	4,611	
	11	80	20005,083	50000,001	5,246	00-00-00	9,555	9,534	5,183	1,839
ANILLO 4	12	20	20005,083	50000,001	5,812	00-00-00	9,559	9,532	5,776	
	13	50	20005,082	50000,002	6,429	00-00-00	9,553	9,532	6,392	
	14	80	20005,079	50000,002	7,015	00-00-00	9,545	9,531	6,990	1,846
ANILLO 5	15	20	20005,082	50000,002	7,670	00-00-00	9,538	9,535	7,609	
	16	50	20005,079	50000,002	8,289	00-00-00	9,539	9,534	8,278	
	17	80	20005,078	50000,002	8,887	00-00-00	9,539	9,532	8,873	1,843
ANILLO 6	18	20	20005,074	50000,002	9,458	00-00-00	9,538	9,530	9,465	
	19	50	20005,077	50000,002	9,966	00-00-00	9,529	9,530	10,032	
	20	80	20005,066	50000,002	10,546	00-00-00	9,510	9,522	10,560	
	21	100	20005,066	50000,003	10,892	00-00-00	9,495	9,516	10,890	1,840
								9,530	TOTAL	11,044

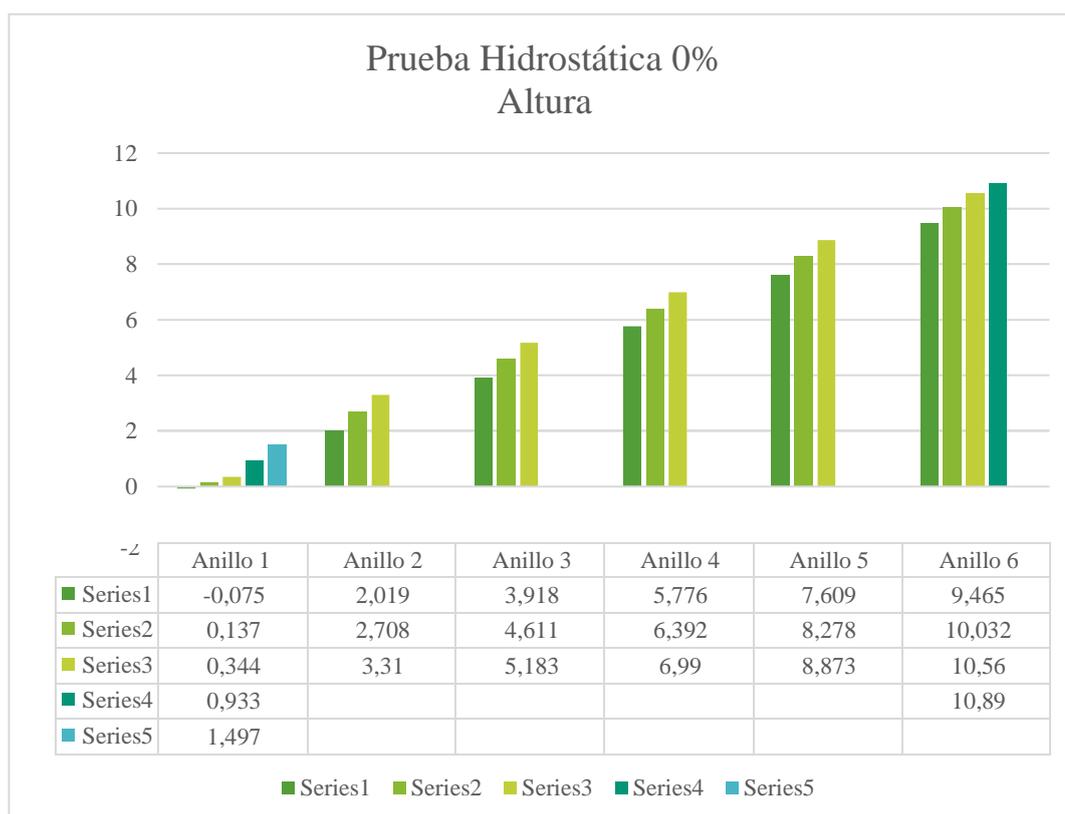
Fuente: Autor

Figura 30. Resultado del ensayo descriptivo (Prueba hidrostática 0%; diámetro)



Fuente: Autor

Figura 31. Resultado del ensayo descriptivo (Prueba hidrostática 0%; altura)



Fuente: Autor

Comentario

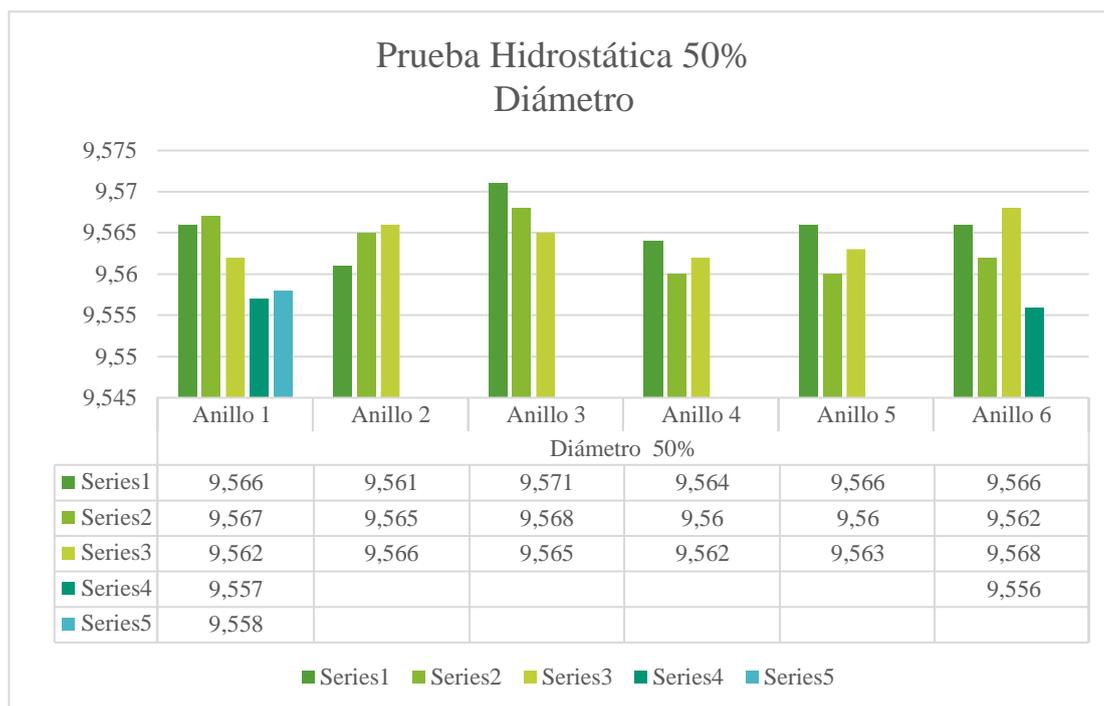
En las figuras 28 a 30.- mostradas con antelación se deja en evidencia los resultados de las pruebas hidrostáticas a un llenado igual al 0%. La distribución se realizó con base en una división a base de anillos (anillos 1 al 6). Los resultados se expresan con base en la altura y por supuesto el diámetro. Los datos arrojan que cada anillo posee una variedad de resultados; para el caso del anillo 1: los valores de mayor realce corresponden a 9,528 para la primera toma de muestra y 9,532 para la última. Para el caso del anillo #2; este en particular posee tres tipos de muestra; siendo el más representativo la cantidad mayor; 9,529. Continuando con el anillo #3; tenemos información prácticamente similar con notorio incremento claro está. El anillo #4 denota una disminución de cierta cantidad en las unidades de muestra. En el último punto de análisis tenemos una total diferencia de unidades representativas; tal es el caso de la inferior 9,516 y la mayor con un valor igual a 9,53. Continuando con el análisis, en esta oportunidad se analiza el segundo factor de análisis. Al respecto de este parámetro tenemos la altura. A medida que cada uno de los anillos es analizado se nota un incremento notable, ejemplificando este punto en particular se toma como base valor inferior y superior del análisis; tal es el caso de -0,075 para el anillo # 1 y 10,89 para el ultimo anillo.

Figura 32. Resultado del ensayo descriptivo (Prueba hidrostática 50%; diámetro)

PRUEBA HIDROSTÁTICA 50%										
ANILLOS	%	COORD.	COORD.	DIF.	ANGULO	DIF.	DIAMETRO	DIAMETRO	ALTURA	DISTANCIAS
		ESTE	NORTE	DE NIVEL	HORIZONTAL	DE NIVEL	Ø-180	PROMEDIO POR ANILLO	PROMEDIO	PARCIALES (PLANCHA)
ANILLO 1	BASE	20001,137	50012,768	98,717	00-00-00	0,000	9,583	9,566	0,008	0
	PIE	20001,137	50012,769	98,988	00-00-00	0,271	9,586	9,567	0,227	
	20	20001,136	50012,769	99,263	00-00-00	0,546	9,583	9,562	0,503	
	50	20001,136	50012,771	99,892	00-00-00	1,175	9,562	9,557	1,071	
	80	20001,136	50012,774	100,38	00-00-00	1,663	9,562	9,558	1,581	1,834
ANILLO 2	20	20001,134	50012,744	100,909	00-00-00	2,192	9,572	9,561	2,195	
	50	20001,132	50012,732	101,532	00-00-00	2,815	9,577	9,565	2,795	
	80	20001,132	50012,726	102,069	00-00-00	3,352	9,583	9,566	3,376	1,842
ANILLO 3	20	20001,131	50012,722	102,687	00-00-00	3,970	9,595	9,571	4,014	
	50	20001,113	50012,714	103,382	00-00-00	4,665	9,601	9,568	4,656	
	80	20001,129	50012,707	103,94	00-00-00	5,223	9,603	9,565	5,256	1,839
ANILLO 4	20	20001,128	50012,699	104,563	00-00-00	5,846	9,604	9,564	5,903	
	50	20001,129	50012,724	105,651	00-00-00	6,934	9,593	9,560	6,556	
	80	20001,127	50012,689	105,981	00-00-00	7,264	9,608	9,562	7,113	1,846
ANILLO 5	20	20001,126	50012,684	106,529	00-00-00	7,812	9,617	9,566	7,783	
	50	20001,125	50012,724	107,141	00-00-00	8,424	9,596	9,560	8,389	
	80	20001,124	50012,668	107,769	00-00-00	9,052	9,622	9,563	9,021	1,843
ANILLO 6	20	20001,122	50012,648	108,384	00-00-00	9,667	9,631	9,566	9,586	
	50	20001,121	50012,637	108,927	00-00-00	10,210	9,635	9,562	10,197	
	80	20001,121	50012,639	109,55	00-00-00	10,833	9,627	9,568	10,735	
	100	20001,122	50012,645	109,76	00-00-00	11,043	9,621	9,566	11,048	1,840
								9,563	TOTAL	11,044

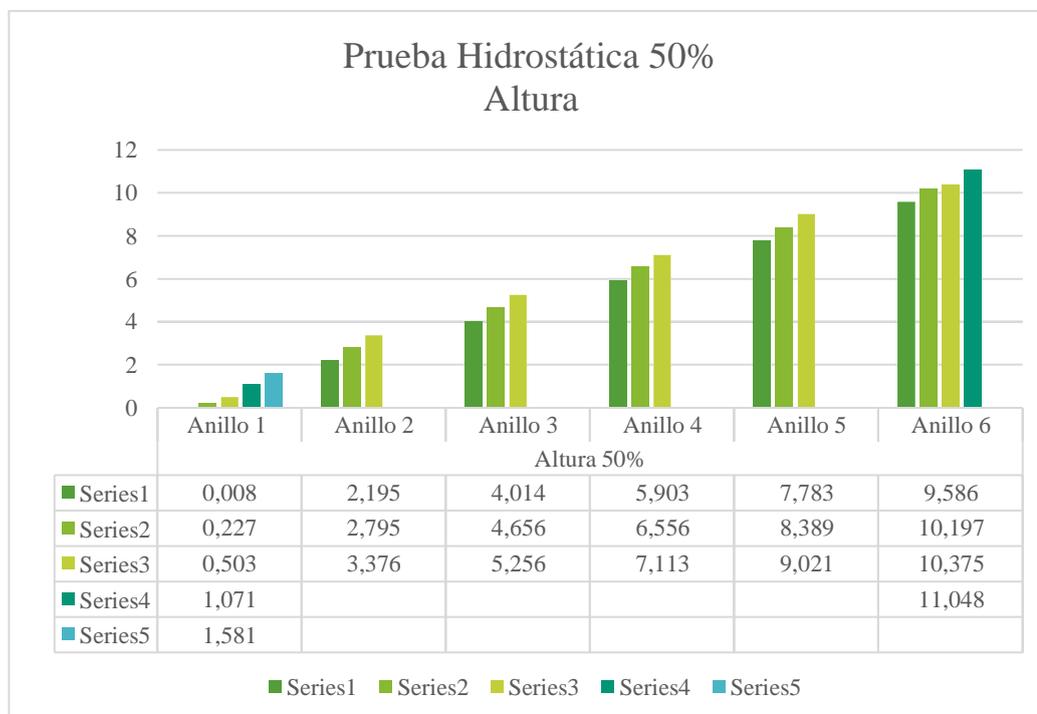
Fuente: Autor

Figura 33. Resultado del ensayo descriptivo (Prueba hidrostática 50%; diámetro)



Fuente: Autor

Figura 34. Resultado del ensayo descriptivo (Prueba hidrostática 50%; altura)



Fuente: Autor

Comentario

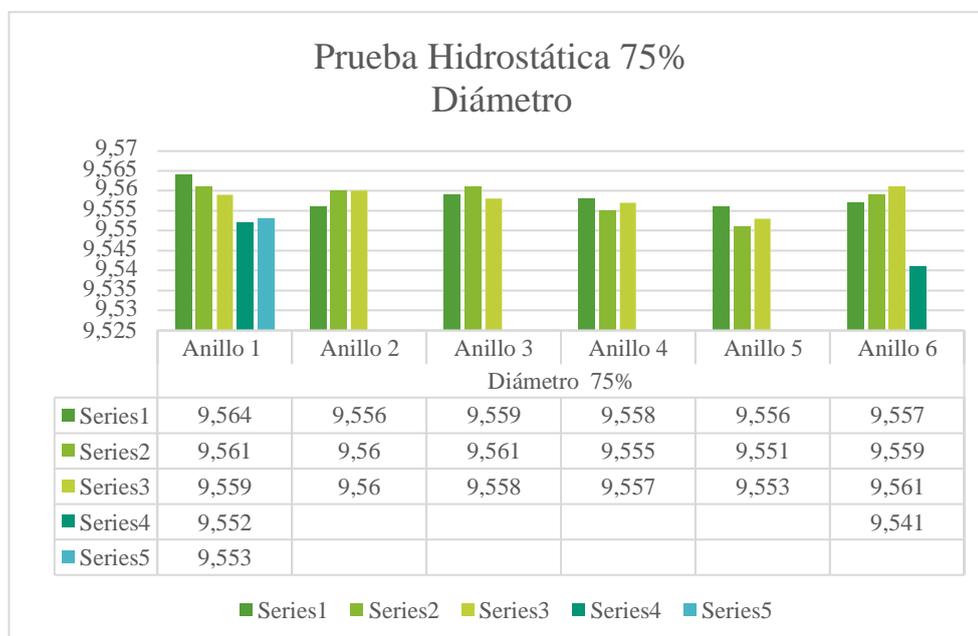
En las figuras 31 a 33.- mostradas con antelación se deja en evidencia los resultados de las pruebas hidrostáticas a un llenado igual al 50%. La distribución se realizó con base en una división a base de anillos (anillos 1 al 6). Los resultados se expresan con base en la altura y por supuesto el diámetro. Los datos arrojan que cada anillo posee una variedad de resultados; para el caso del anillo 1: los valores de mayor realce corresponden a 9,566 para la primera toma de muestra y 9, 558 para la última. Para el caso del anillo #2; este en particular posee tres tipos de muestra; siendo el más representativo la cantidad mayor; 9,561. El anillo #3; tenemos información prácticamente similar con notorio incremento claro está. El anillo #4 denota una disminución de cierta cantidad en las unidades de muestra. En el último punto de análisis tenemos una total diferencia de unidades representativas; tal es el caso de la inferior 9,556 y la mayor con un valor igual a 9,568. Al respecto del segundo parámetro tenemos la altura. A medida que cada uno de los anillos es analizado se nota un incremento notable, ejemplificando este punto en particular se toma como base valor inferior y superior del análisis; tal es el caso de 0,008 para el anillo # 1 y 11,489 para el ultimo anillo. En este punto es necesario resaltar el hecho que los valores del ensayo demuestran un leve incremento.

Figura 35. Resultado del ensayo descriptivo (Prueba hidrostática 75%; diámetro)

PRUEBA HIDROSTÁTICA 75%										
ANILLOS	%	COORD.	COORD.	DIF.	ANGULO	DIF.	DIAMETRO	DIAMETRO	ALTURA	DISTANCIAS
		ESTE	NORTE	DE NIVEL	HORIZONTAL	DE NIVEL	0-180	PROMEDIO	PROMEDIO	PARCIALES
								POR ANILLO		(PLANCHA)
ANILLO 1	BASE	20001,137	50012,765	98,713	00-00-00	0,000	9,575	9,564	0,014	0
	PIE	20001,137	50012,767	98,983	00-00-00	0,270	9,571	9,561	0,236	
	20	20001,137	50012,764	99,317	00-00-00	0,604	9,571	9,559	0,491	
	50	20001,137	50012,77	100,163	00-00-00	1,450	9,562	9,552	1,137	
	80	20001,137	50012,769	100,358	00-00-00	1,645	9,562	9,553	1,471	1,834
ANILLO 2	20	20001,135	50012,752	100,663	00-00-00	1,950	9,565	9,556	2,076	
	50	20001,133	50012,728	101,628	00-00-00	2,915	9,577	9,560	2,753	
	80	20001,133	50012,724	102,092	00-00-00	3,379	9,584	9,560	3,346	1,842
ANILLO 3	20	20001,133	50012,721	102,673	00-00-00	3,960	9,595	9,559	3,983	
	50	20001,132	50012,712	103,369	00-00-00	4,656	9,601	9,561	4,580	
	80	20001,131	50012,707	104,027	00-00-00	5,314	9,603	9,558	5,183	1,839
ANILLO 4	20	20001,131	50012,699	104,503	00-00-00	5,790	9,603	9,558	5,809	
	50	20001,132	50012,722	105,66	00-00-00	6,947	9,595	9,555	6,540	
	80	20001,13	50012,691	105,867	00-00-00	7,154	9,608	9,557	7,062	1,846
ANILLO 5	20	20001,129	50012,687	106,425	00-00-00	7,712	9,614	9,556	7,674	
	50	20001,129	50012,724	107,037	00-00-00	8,324	9,595	9,551	8,308	
	80	20001,128	50012,67	107,567	00-00-00	8,854	9,624	9,553	8,919	1,843
ANILLO 6	20	20001,127	50012,659	108,163	00-00-00	9,450	9,627	9,557	9,545	
	50	20001,125	50012,643	108,811	00-00-00	10,098	9,632	9,559	10,131	
	80	20001,125	50012,64	109,448	00-00-00	10,735	9,631	9,561	10,697	
	100	20001,126	50012,649	109,756	00-00-00	11,043	9,620	9,541	11,049	1,840
							9,557	TOTAL		11,044

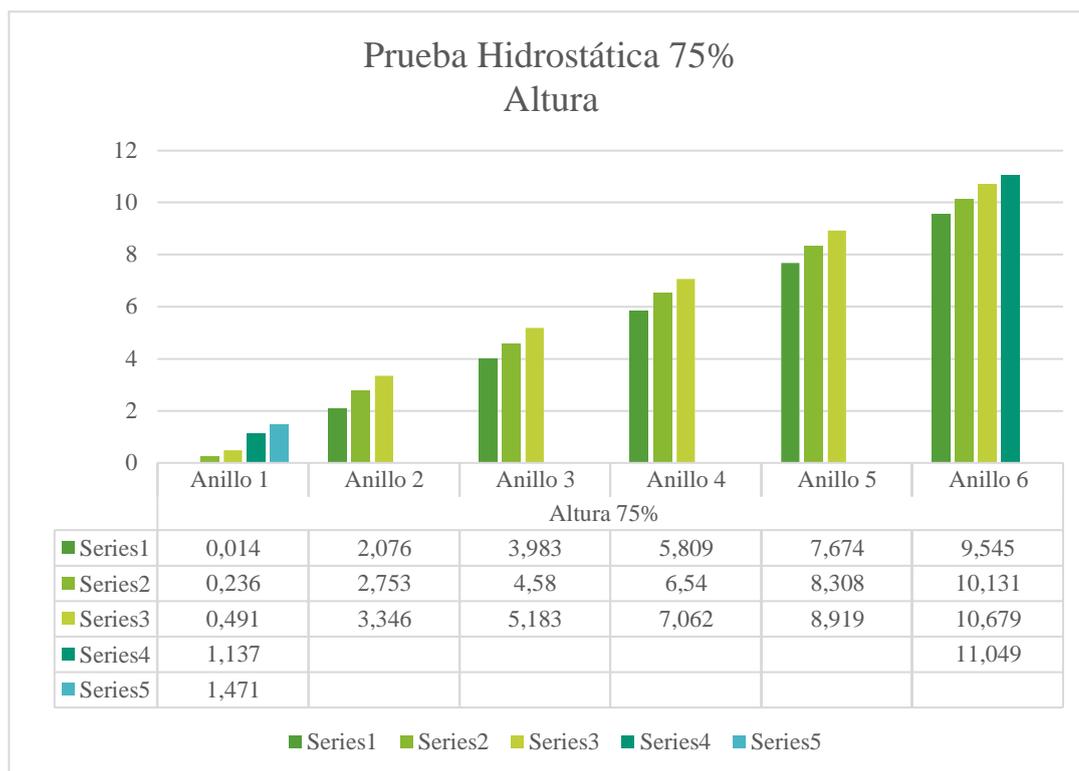
Fuente: Autor

Figura 36. Resultado del ensayo descriptivo (Prueba hidrostática 75%; diámetro)



Fuente: Autor

Figura 37. Resultado del ensayo descriptivo (Prueba hidrostática 75%; altura)



Fuente: Autor

Comentario

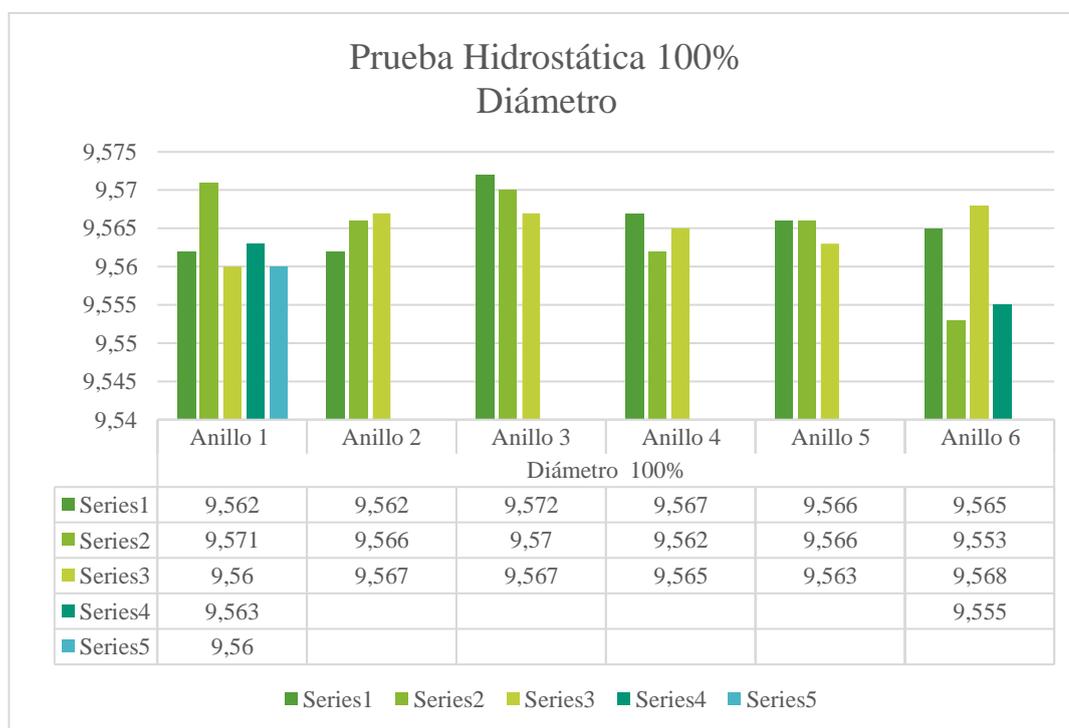
La evidencia de los resultados de las pruebas hidrostáticas a un llenado igual al 75% expresan que con base en la altura; los datos arrojan que cada anillo posee una variedad de resultados; para el caso del anillo 1: los valores de mayor realce corresponden a 9,564 para la primera toma de nuestra y 9, 553 para la última (prácticamente casi similar a los valores con un 50% del llenado). Para el caso del anillo #2; este en particular posee tres tipos de muestra; siendo el más representativo la cantidad mayor; 9,56. El anillo #4 presenta un valor en promedio de 9,557. En el último punto de análisis tenemos una total similitud de datos; siendo el valor igual a 9,559 en promedio. Al respecto altura; se toma como base un valor inferior y superior del análisis; tal es el caso de 0,014 para el anillo # 1 y 11,049 para el ultimo anillo. En este punto es necesario resaltar el hecho que los valores del ensayo demuestran una total discrepancia entre unidades.

Figura 38. Resultado del ensayo descriptivo (Prueba hidrostática 100%; altura)

PRUEBA HIDROSTÁTICA 100%										
ANILLOS	%	COORD.	COORD.	DIF.	ANGULO	DIF.	DIAMETRO	DIAMETRO	ALTURA	DISTANCIAS
		ESTE	NORTE	DE NIVEL	HORIZONTAL	DE NIVEL	0-180	PROMEDIO	PROMEDIO	PARCIALES
								POR ANILLO		(PLANCHAS)
ANILLO 1	BASE	20001,138	50012,768	98,712	00-00-00	0,000	9,573	9,562	0,012	0
	PIE	20001,139	50012,737	98,987	00-00-00	0,275	9,591	9,571	0,215	
	20	20001,138	50012,767	99,314	00-00-00	0,602	9,574	9,560	0,480	
	50	20001,139	50012,770	99,773	00-00-00	1,061	9,575	9,563	1,085	
ANILLO 2	80	20001,138	50012,771	100,318	00-00-00	1,606	9,567	9,560	1,596	1,834
	20	20001,136	50012,747	100,774	00-00-00	2,062	9,573	9,562	2,099	
	50	20001,135	50012,733	101,357	00-00-00	2,645	9,579	9,566	2,710	
ANILLO 3	80	20001,134	50012,729	102,057	00-00-00	3,345	9,584	9,567	3,388	1,842
	20	20001,134	50012,726	102,646	00-00-00	3,934	9,595	9,572	3,992	
	50	20001,134	50012,720	103,325	00-00-00	4,613	9,600	9,570	4,650	
ANILLO 4	80	20001,133	50012,712	103,896	00-00-00	5,184	9,604	9,567	5,250	1,839
	20	20001,132	50012,702	104,548	00-00-00	5,836	9,606	9,567	5,841	
	50	20001,135	50012,739	105,523	00-00-00	6,811	9,590	9,562	6,508	
ANILLO 5	80	20001,131	50012,695	105,900	00-00-00	7,188	9,608	9,565	7,074	1,846
	20	20001,130	50012,691	106,450	00-00-00	7,738	9,616	9,566	7,703	
	50	20001,130	50012,682	106,939	00-00-00	8,227	9,621	9,566	8,307	
ANILLO 6	80	20001,129	50012,672	107,430	00-00-00	8,718	9,623	9,563	8,903	1,843
	20	20001,128	50012,659	108,158	00-00-00	9,446	9,628	9,565	9,520	
	50	20001,126	50012,691	108,951	00-00-00	10,239	9,606	9,553	10,148	
ANILLO 6	80	20001,126	50012,642	109,461	00-00-00	10,749	9,630	9,568	10,826	
	100	20001,127	50012,649	109,755	00-00-00	11,043	9,623	9,555	11,051	1,840
								9,564	TOTAL	11,044

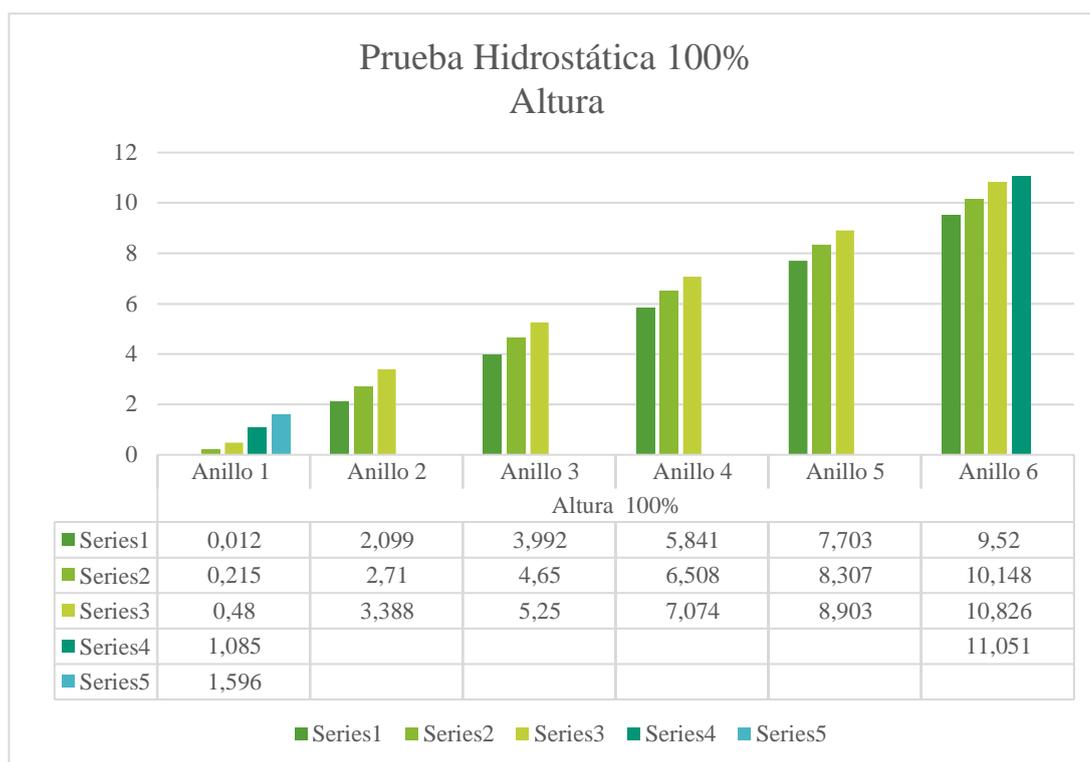
Fuente: Autor

Figura 39. Resultado del ensayo descriptivo (Prueba hidrostática 100%; diámetro)



Fuente: Autor

Figura 40. Resultado del ensayo descriptivo (Prueba hidrostática 100%; diámetro)



Fuente: Autor

Comentario

La evidencia de los resultados de las pruebas hidrostáticas a un llenado total; expresan que con base en la altura; los datos arrojan que cada anillo posee valores similares. Para el caso del anillo # 1; se presentan valores iguales a 9,562 (dos milésimas de diferencia con respecto a un llenado del 75%). Para la última toma de nuestra 9,56 (prácticamente casi similar a los valores con un 50% y 75% del llenado). Para el caso del anillo #2; este en particular posee tres tipos de muestra; siendo el más representativo la cantidad mayor; 9,567. El anillo #4 presenta un valor en promedio de 9,554. En el último punto de análisis no existe una similitud de datos; en este apartado se muestra discrepancia de al menos 10 centésimas. Al respecto altura; se toma como base un valor inferior y superior del análisis; tal es el caso de 0,012 para el anillo # 1 y 11,051 para el último anillo.

Conclusiones

Una vez culminado el presente trabajo de investigación se pueden hacer las siguientes aseveraciones:

- En la presente investigación se efectuó el desmontaje del techo flotante del tanque de almacenamiento por medio de oxicorte con el propósito de detallar cada uno de los componentes por pares y/o segmentos de peso controlado con el propósito de no exceder el peso límite que puede soportar la grúa empleada para el levantamiento de los elementos. Es de igual importancia resultar que para su tratamiento y trabajo fue necesario que se empleen una serie de normativas, tales como; API 653, 2015, 650 y por último la SSA de la empresa de hidrocarburos.
- Al respecto de la implementación del Domo Geodésico, su nombre responde a ALUSPHERE® mismo que se caracteriza por ser de aluminio. Su montaje fue ligeramente simple dado que cada parte del domo posee una codificación única que permite que cada pieza tenga su lugar de colocación. Es menester acotar que el procedimiento de ensamblaje consto de once actividades que van desde la colocación del módulo principal en el centro de los puntos apoyo hasta colocar cada una de las vigas verticales en cada uno de los anillos.
- Para la instalación de la membrana flotante fue necesario considerar los siguientes aspectos fundamentales; estándares de diseño, flotación, diseño del panel, montaje de campo y construcción y sistema de soporte. Cada uno de estos procedimientos debieron ser debidamente organizados y realizados de una manera sistemática.
- Las pruebas hidrostáticas efectuadas a los elementos de análisis fueron efectuadas con base en las particularidades detalladas en el marco metodológico de la presente investigación. Es necesario señalar que el tratamiento del tanque de almacenamiento fue efectuado con base en diferentes niveles de llenado (0%, 50%, 75% y 100%). La distribución se realizó con base en una división a base de anillos (anillos 1 al 6 para cada valor de llenado). Los resultados se expresan con base en la altura y por supuesto el diámetro. Los datos arrojan que cada anillo posee una variedad de resultados y es necesario afirmar que tras la realización de las pruebas hidrostáticas la prueba de flotabilidad fue aprobada dado que la membrana pudo desplazarse en el llenado

y vaciado del tanque sin fugas del fluido lo que significa evitar pérdidas innecesarias de fluido, lo que significa menos mantenimiento y por ende se recorta el presupuesto invertido

Recomendaciones

De igual manera es necesario acotar las siguientes recomendaciones:

- Al momento de trabajar con elementos de desprendimiento masivo como es el caso de oxicorte es necesario que se utilicen todos los equipos y parámetros de protección para que no se produzcan danos en le personas que efectúa la prueba.
- La implementación del domo geodésico implica un procedimiento lógico que debe ser llevado por medio de personal competente con el propósito de efectuar una instalación limpia y rápida sin mayor dilación o contratiempo.
- El proceso de instalación de una membrana flotante implica al igual que la instalación del domo geodésico una serie de procedimientos sistemáticos que deben ser llevados de forma ordenada y por personal competente. Es necesario resaltar que todo el proceso debe responder a estándares que deben ser respetados en todo momento.
- Con base en los criterios de aceptación y rechazo de las pruebas hidrostáticas es necesario que cada uno de los resultados sea documentado debidamente y con la concentración que el ensayo lo requiere. No se puede trabajar con datos ficticios o establecer la aceptación si esta no está debidamente documentada.

Bibliografía

- Cedeño, M. (2009). *Diseño sismo-resistente de tanques de acero soldados*. Química: EPN. Obtenido de file:///C:/Users/hp/Downloads/CD-2126_unlocked.pdf
- CONSORCIO INDUTANQUES. (2020). *PROCEDIMIENTO PARA PRUEBAS DE FLOTABILIDAD DE MEMBRANA FLOTANTE DE CONTACTO TOTAL*.
- EMERSON. (2021). *La guía del ingeniero para la medición de tanques*. Bogotá: Emerson.
- Gudiño, M. (2009). *Diseño sismo-resistente de tanques de acero*. Quito: UPN.
- IMERYYS. (2018). Perlita Criogénica. *IMERYYS*, 2-18.
- INGLESA. (2020). *Diseño y Cálculo de Tanques de Almacenamiento*. Buenos Aires : FNMT.
- JSF ALUROOFS. (2020). *PROCEDIMIENTO DE MONTAJE PROCEDIMIENTO DE MONTAJE*.
- Ministerio del Ambiente. (1992). El almacenamiento del petróleo. *CIU*, 1-46.
- Mora, H. (2020). *Análisis de Riesgos e Integridad mecánica de acuerdo con metodología API RP 580, API RP 581 y API STD 653 para tanques de almacenamiento de crudo capacidad 420 000 BLS*. Bogotá: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Obtenido de https://repositorio.uptc.edu.co/bitstream/001/3229/1/Analisis_de_riesgos.pdf
- Morena, L. (2019). *Análisis y diseño de cimentación para tanques metálicos de almacenamiento*. La Libertad: UPSE.
- Naranjo, M. (2017). *Diseño de un plan de mantenimiento para tanques de almacenamiento de techo de domo geodésico*. Riobamba: ESPOCH. Obtenido de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/6719/1/15T00658.pdf>
- NTP 527. (1993). *Reacciones químicas exotérmicas (I): factores de riesgo*. Madrid: INSHT.
- Peñañiel, D. (2013). *“Instalación de Techo Flotante Interno y Domo Geodésico de Aluminio para un Tanque de Gasolina para pesca Artesanal, para Evitar Pérdidas por Evaporación en la Estación de Almacenamiento y Transporte – Cabecera La Libertad EPPETROECUADOR*. Santa Elena-Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Litoral. Obtenido de <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/123456789/32226/D->

68989.pdf?sequence=1

Saga Fluid. (2 de junio de 2021). *Tanques de almacenamiento para líquidos*.

Obtenido de <https://sagafluid.com/tanques-de-almacenamiento/>

SETI PETROLEUM EQUIPMENT. (2019). *SETI-Equips*. Obtenido de SETI-

Equipos: <https://seti-equipos.com/en/geodesic-dome-roofs-complete-panorama/>

Villarejo, J. (2013). *Planta de regasificación*. Cuenca: ETSIM.

Anexos



EP PETROECUADOR

**TERMINAL DE PRODUCTOS
LIMPIOS PASCUALES**

**MEMORIAS TÉCNICAS
DE PRUEBA HIDROSTÁTICA DEL
TANQUE VERTICAL**

CÓDIGO: TP – 23

**MEDIO DE PRUEBA:
AGUA**

JULIO - 2020

**VERIPET CIA LTDA- Dirección: Av. Veintimilla E9-26
y Leónidas Plaza, Ed. Uziel, 5to. Piso, Of. 503 y 504.**