

MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO
“Dr. Antonio Núñez Jiménez”
FACULTAD DE GEOLOGIA Y MINERIA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

Tesis en opción al título de Máster en Topografía Minera.

Título: Procedimiento para la determinación de la verticalidad y redondez de Tanques Cilindros Verticales por Métodos Geodésicos

Autor: Ing. Rolando Albear Paniagua

Tutores: Dra. C. Maday Cartaya Pire

Moa 2014

Año 56 de la Revolución



RESUMEN

Se caracterizan mediante el estudio los depósitos de gran porte empleados hoy para el almacenamiento de hidrocarburos las normas dimensionales establecidas para su uso

El procedimiento para la determinación de la verticalidad y redondez de tanques cilindros verticales de gran porte fue elaborado con el objetivo de determinar las dimensiones de los Tanques Cilíndricos Verticales. Realizar mediante hojas de cálculo una información grafica que permita comprender las características y estado actual de estos depósitos. Puede el inspector o encargado de reparación modelar gráficamente la redondez de tanque utilizando los datos de diseño y reales.

Brinda una herramienta e información necesaria para la relación y montaje de los nuevos elementos garantizando la calidad en las dimensiones para el almacenamiento de hidrocarburo

Ofrece una forma cómoda y fácil de observación al técnico que emplea las nuevas tecnologías de campo Estación Total. Durante la construcción se puede emplear esta técnica que garantiza la fiabilidad de las observaciones

El procedimiento mediante hojas de cálculo vinculadas ofrece gráficos y reportes de la calidad de los resultados obtenidos, la posición de los rolos en toda la envolvente.



ÍNDICE

	Página
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN.....	7
1.1 Generalidades sobre el diseño y construcción de tanques de almacenamiento.....	7
1.2 <i>Características de los tanques de almacenamiento atmosféricos.....</i>	9
1.3 <i>Características del Domo geodésico.....</i>	12
1.3.1 <i>Estabilidad de los domos geodésicos.....</i>	13
1.3.2 <i>Domo Geodésico de Aluminio. .</i>	15
1.4 Antecedentes y tendencias actual.....	16
1.5 <i>Términos y definiciones.</i>	20
1.6 <i>La redondez y la verticalidad en tanques de almacenamiento de gran porte.</i>	21
CAPÍTULO II. PROCEDIMIENTO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA VERTICALIDAD Y REDONDEZ DE TANQUES CILINDROS VERTICALES POR MÉTODOS GEODÉSICOS.....	27
2.2 <i>Instrumento utilizado.....</i>	27
2.3 <i>Esquema tecnológico.....</i>	29
2.3.1 Examen interior del tanque.....	29
2.3.2 <i>Análisis a priori de la precisión de las mediciones ingeniero-geodésicas.....</i>	30
2.3.2.2 <i>Replanteo de los puntos de medición por el método polar.</i>	34
2.3.3 <i>Realización de las mediciones.....</i>	37
2.3.3.1 <i>Medición de perfiles Topográfico desde el centro del Tanque.....</i>	37
2.3.3.2 <i>Nivelación del fondo del tanque.....</i>	40



2.3.4	<i>Evaluación de las Precisiones alcanzada.....</i>	41
2.4.	<i>Determinación de la verticalidad y la redondez.....</i>	42
2.4.1	<i>Procesamiento de la información.....</i>	43
2.4.2.	<i>Coordenadas de las estaciones en los rolos.....</i>	44
2.4.3	<i>Cálculo de los radios.</i>	44
2.4.4	<i>Análisis para determinar la verticalidad y la redondez del tanque.....</i>	45
CAPÍTULO III. DETERMINACIÓN DE LA VERTICALIDAD Y REDONDEZ DE UN TANQUE CILÍNDRICO VERTICAL CON APLICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO CREADO (CASO DE ESTUDIO).....		47
3.1	<i>Métodos utilizados y descripción general del contenido.....</i>	47
3.2	<i>Descripción general del contenido del trabajo.....</i>	47
3.3	<i>Volumen de los trabajos realizados.....</i>	48
3.4	<i>Resultados obtenidos en el tanque 62 de la refinería de petróleo Hermanos Díaz de Santiago de Cuba.....</i>	48
3.4.1	<i>Resultados de las mediciones del tanque.....</i>	48
3.4.2	<i>Determinación de la verticalidad y redondez.....</i>	49
3.4.3	<i>Procesamiento digital.....</i>	49
3.4.3	<i>Precisiones alcanzadas en el trabajo.....</i>	50
3.4.4	<i>La redondez del rolo base (R Base a 0.3m) Tanque TK-62.....</i>	51
3.4.5	<i>Análisis de la Verticalidad del rolo base y el rolo 8.....</i>	52
3.4.6	<i>La redondez y la verticalidad del Tanque TK-62.....</i>	54
3.4.7	<i>Nivelación del fondo del tanque.....</i>	55
CONCLUSIONES.....		56
RECOMENDACIONES.....		58
BIBLIOGRAFIA.....		59



Introducción

El hombre debido a la necesidad de almacenar fluido (agua) para su uso posterior comenzó a diseñar distintas formas de almacenamiento, sobre la superficie o creando un agujero en el suelo. Luego comenzó a diseñar tanques de almacenamiento con distintos tipos de materiales como: lana, piedra, pieles de animales o cualquier material que tuviera.

La necesidad de almacenar los recursos energéticos para controlar mejor su producción, transporte, distribución y utilización, es evidente en la medida en que se desea asegurar un abastecimiento abundante y regular de las industrias y de los consumidores.

En la industria petrolera, petroquímica y otras industrias son utilizados distintos tipos de recipientes para almacenar una gran variedad de productos como son agua, petróleo crudo y sus derivados, gases (butano, propano, GLP), entre muchos otros. Los tanques de almacenamiento son empleados en distintas áreas de la industria, tales como: Producción, Tratamiento, Transporte, Refinación, Inventarios / Reservas, Servicios.

Los tanques de almacenamiento atmosféricos son usados para guardar líquidos o gases; son ampliamente utilizados en la industria, principalmente en las refinerías por requerimiento de proceso de almacenamiento temporal de los productos.

Debido a su tamaño usualmente son diseñados para contener el líquido a una presión ligeramente mayor que la atmosférica.

En la actualidad los tanques para almacenar hidrocarburos son fabricados fundamentalmente con acero producto a su resistencia, facilidad de manejo este tipo de material está disponible a un costo razonablemente efectivo en el mercado.

Los tanques de hidrocarburos son recipientes generalmente metálicos capaces de almacenar fluidos eficientemente. El diseño y la construcción de estos tanques dependen de las características físico-químicas de los productos a almacenar.

Antes de los años 40 se utilizaban los tanques remachados tanto para fluidos inflamables como no inflamables, Estos tanques tienen mayor tendencia a los salideros debido a la presión ejercida sobre las uniones remachadas. También son



costosos de fabricar por los requerimientos de material de mayor espesor y el hecho de requerir mayor intensidad de trabajo en su construcción.

A finales de los años 30 y hacia los 40 el principio de diseño del tanque evolucionó de forma tal que facilitó la rápida erección de los tanques.

Los tanques cilíndricos verticales se constituyeron en el diseño más eficaz para el almacenamiento de hidrocarburo. El principio de diseño aquí fue una unión solapada en todas las conexiones del cuerpo con doble soldadura. La terminación del tanque era acelerada realizando el montaje inicial utilizando pines de fijación previamente perforando las chapas. Este diseño fue utilizado ampliamente, particularmente durante los años de guerra para ubicar y erigir tanques de almacenamiento de combustible con celeridad.

Una vez en el lugar las chapas eran soldadas en ambos extremos del solape los pines de fijación eran extraídos y los agujeros rellenados con soldadura.

En nuestro país, el petróleo constituye el producto esencial para muchas industrias, y es de vital importancia para el mantenimiento de la misma civilización por el alto del consumo de energía. Es por ello que es necesario contar con suficiente capacidad de almacenamiento.

Para la realización del mantenimiento y reparación de los depósitos, con el objetivos de conocer las dimensiones y posición de las chapas que conforman toda su envolvente se utilizan métodos rudimentarios, mediante el empleo de cordeles o cintas métricas, con el desarrollo de nuevos medios de medición entre los que se destacan las Estaciones Total con Laser, brinda la posibilidad de conocer con mayor exactitud las características de los depósitos de almacenamiento

En la actualidad se manifiesta la problemática que la determinación de las dimensiones de los depósitos de almacenamiento no se realiza con la rigurosidad necesaria, los estudios no se realizan de forma multidisciplinaria, no se emplean estos como herramienta de trabajo para una mejor reparación trayendo consigo daños, perdidas y atraso en los mantenimientos



A partir del año 2011 le solicitamos a la Empresa de mantenimiento y reparación del Petróleo la utilización de nuevas tecnologías, esto represento conocer de manera inmediata las medidas de los depósitos en mantenimiento

El empleo de esta tecnología presenta las limitaciones siguientes:

- 1- No se cuenta con un procedimiento integral para evaluación de los tanques Cilíndricos Verticales.
- 2- No se aplica un análisis integrado para las interpretaciones de los resultados.
- 3- La capacitación de los inspectores y personal que realiza el montaje y reparación es baja, producto a que no cuentan con un documento rector para el manejo de los datos.
- 4- No se cuenta con una representación gráfica que permita conocer en tres dimensiones las deformaciones de la envolvente del tanque.
- 5- No se cuenta con los datos necesarios para la reparación de las paredes, fondo y montaje de los nuevos componentes (Domos, Membranas) en los Tanque.

Problema:

No existe en la Empresa GEOCUBA Oriente Sur un procedimiento que permita por métodos geodésicos, conocer las características dimensionales de los Tanques Cilíndricos Verticales, mediante una herramienta de cálculo que permita a la Empresa de Manteniendo al Petróleo de Santiago de Cuba consultar y analizar espacialmente de forma eficiente los valores calculados.

Objeto de estudio:

Los métodos geodésicos.

Campo de Acción:

Las características de los métodos geodésicos con el empleo de Estación Total para la determinación de las dimensiones de la envolvente de los Tanques Cilíndricos Verticales.



Objetivo general:

Elaborar un procedimiento para la determinación de la verticalidad y redondez de Tanques Cilindros Verticales por Métodos Geodésicos con el empleo de la tecnología Estación Total.

Hipótesis:

Si se caracterizan, los depósitos para el almacenamiento de hidrocarburo, analizan los conceptos básicos y principales métodos geodésicos que se utilizan en el estudio de tanques de gran porte, se podrá elaborar un procedimiento para la determinación de la verticalidad y redondez de Tanques Cilindros Verticales por Métodos Geodésicos.

Objetivos específicos:

1. Caracterizar los diferentes depósitos para el almacenamiento de hidrocarburos.
2. Analizar los conceptos básicos y principales métodos geodésicos que se utilizan en el estudio de tanques de gran porte
3. Elaborar un procedimiento para la determinación de las dimensiones interiores (verticalidad y redondez) de los tanques Cilíndricos Verticales.
4. Validar la factibilidad del procedimiento propuesto para la realización de las mediciones a través de un caso de estudio.

Métodos empleados en dar solución al problema científico de la investigación:

•**Histórico-lógico:** Se utilizó para la revisión y análisis de los documentos y definir los principales antecedentes.

•**Métodos empíricos:** será imprescindible el empleo de la medición. Como técnicas; la observación científica la entrevista, para el conocimiento de las características fundamentales del objeto.

•**Métodos teóricos:** se usa para la interpretación conceptual de los datos empíricos; haciendo uso del análisis y la síntesis en el estudio de las partes del objeto y para



comprender su comportamiento como un todo. Dentro de los métodos teóricos también se usó la inducción y deducción como procedimiento para pasar de lo conocido a lo desconocido y de lo general a lo particular.

Tareas:

- Determinación de los antecedentes y situación problemática de la investigación.
- Recopilar y analizar las normativas sobre los trabajos relacionados con el estudios de tanques cilíndricos verticales
- Definir los principales aspectos que caracterizan estos depósitos.
- Elaborar un procedimiento para la determinación de la verticalidad y redondez de Tanques Cilindros Verticales por Métodos Geodésicos con el empleo de la tecnología Estación Total
- Evaluar los resultados de la aplicación del procedimiento a través de un caso de estudio.

Actualidad del tema:

El empleo de mediciones geodésicas con el uso de Estaciones Total, para la determinación de las características dimensionales de los tanques cilindros verticales constituye una temática actual y de interés a nivel nacional, siendo una preocupación constante de especialista y proyectista el hecho de conocer con mayor rigurosidad los datos técnicos de estos depósitos; aumentado la calidad de las reparaciones en menor costo y tiempo. Los métodos empleados son más precisos permiten, la interacción de los datos y gráficos, durante la reparación, definir las áreas donde las deformaciones sobrepasan el límite permisible. Dando muestra de su utilidad para los trabajos de reparación en la industria.

Aporte Práctico:

- Elaborar un procedimiento para la determinación de la verticalidad y redondez de Tanques Cilindros Verticales por Métodos Geodésicos con el empleo de la tecnología Estación Total
- La integración de los conocimientos, la combinación de varias disciplinas (geodesia, mecánica) como un todo.



- La posibilidad de caracterizar y modelar espacialmente la envolvente o circunferencia de los Tanques, con salidas de las informaciones a través de reportes, tablas, gráficos.



CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN.

1.1 Generalidades sobre el diseño y construcción de tanques de almacenamiento.

La necesidad de almacenar los recursos energéticos para controlar mejor su producción, transporte, distribución y utilización, es evidente en la medida en que se desea asegurar un abastecimiento abundante y regular de las industrias y de los consumidores.

En la actualidad los tanques para almacenar hidrocarburos son fabricados fundamentalmente con acero producto a su resistencia, facilidad de manejo y que este tipo de material está disponible y a un costo razonablemente efectivo en el mercado.

Los tanques de hidrocarburos son recipientes generalmente metálicos capaces de almacenar fluidos eficientemente. El diseño y la construcción de estos tanques dependen de las características físico-químicas de los productos a almacenar.

Antes de los años 40 se utilizaban los tanques remachados tanto para fluidos inflamables como no inflamables, figura 1. Estos tanques tienen mayor tendencia a los salideros debido a la presión ejercida sobre las uniones remachadas. También son costosos de fabricar por los requerimientos de material de mayor espesor y el hecho de requerir mayor intensidad de trabajo en su construcción. El diseño del cuerpo para los tanques remachados es más grueso que para los tanques soldados y esto se debe puramente a que el remachado en chapas de acero fino era mucho más problemático que en chapas más gruesas.

El principio de la hermeticidad de las uniones remachadas a solape es la eficiencia de la compresión proporcionada por los remaches. Tanto la distancia entre remaches (paso), el diámetro y la disposición juegan su papel en ello. Los tanques de almacenamiento atmosférico tienen una doble fila de remaches en los cursos inferiores para soportar una mayor presión y una sola fila en los cursos superiores.

A finales de los años 30 y hacia los 40 el principio de diseño del tanque evolucionó de forma tal que facilitó la rápida erección de los tanques.



El principio de diseño aquí fue una unión solapada en todas las conexiones del cuerpo con doble soldadura. La terminación del tanque era acelerada realizando el montaje inicial utilizando pines de fijación previamente perforando las chapas. Este diseño fue utilizado ampliamente, particularmente durante los años de guerra para ubicar y erigir tanques de almacenamiento de combustible con celeridad.

Una vez en el lugar las chapas eran soldadas en ambos extremos del solape los pines de fijación eran extraídos y los agujeros rellenados con soldadura.



Figura 1: Tanque remachado.

El espesor de las chapas en estos tanques era también mayor de lo que se permitiría bajo las prácticas modernas de diseño. Ello estaba más relacionado con las prácticas de fabricación de acero y las limitaciones que con los requerimientos reales de diseño del tanque.

Los tanques de cuerpos con chapas soldadas a solape no son comunes. Este método de diseño/fabricación ha estado obsoleto por tan significativo período de tiempo ya que la mayoría de los tanques con este método han sido retirados y desmantelados. No obstante, persisten algunos pequeños tanques contruidos utilizando esta técnica.

A medida que se desarrolla una mejor comprensión de la complejidad del diseño del tanque, evolucionan los detalles. Esta es la razón por la cual en algunos tanques se ven refuerzos redondos alrededor de las boquillas, mientras que en otros son elípticas o hexagonales, o el porque algunos tanques grandes de diseño tradicional



antiguos no tienen anillo anular, mientras que otros de iguales dimensiones, diseñados y contruidos posteriormente si los tienen.

Con el transcurso del tiempo los tanques han ido evolucionando y ha sido el hombre el encargado de transformarlos, según sus necesidades, por ello existe una gran variedad de ellos en relación con sus características y necesidades por lo que estos tienen innumerables variantes.

1.2 Características de los tanques de almacenamiento atmosféricos.

El almacenamiento constituye un elemento de sumo valor en la explotación de los servicios de hidrocarburos ya que:

- *Actúa como un pulmón entre la producción y transporte para absorber las variaciones de consumo.
- *Permite la sedimentación de agua y barros del crudo antes de despacharlo por oleoducto o a destilación.
- *Brinda flexibilidad operativa a las refinerías.
- *Actúan como punto de referencia en la medición de despachos de productos.

Los tanques tienen una clasificación básica referente a su disposición con relación al terreno: bajo tierra y sobre tierra.

Los tanques sobre tierra por su parte se clasifican de acuerdo a la presión de operación en:

- Atmosféricos → Norma API-650.
- Baja presión (0 a 2.5 psig) → Norma API-650.
- Media presión (2.5 a 15 psig) → Norma API-620.
- Alta presión (mayor de 15 psig) → ASME Sección VIII.

Los tanques utilizados para el almacenamiento del crudo, son los de tipo atmosférico y se denominan así porque están diseñados para soportar una presión atmosférica y una temperatura de operación no mayor de 93°C o 200°F. Existe una gran variedad de tanques destinados al almacenamiento del petróleo y sus derivados.

Los criterios que rigen el diseño, cálculo, pruebas e inspecciones para tanques de almacenamiento de petróleo se basan en las publicaciones realizadas por el



American Petroleum Institute con sus siglas API. Estas publicaciones se constituyen en normas o estándares que son de dominio público y por lo tanto no se requiere de autorización previa para diseñar y construir un tanque bajo este estándar.

Este estudio se fundamenta y adscribe principalmente en el estudio de las normas A.P.I 650 que establece los requerimientos para la construcción de tanques y API 653, que establece los requerimientos para la reparación y otras normas afines a estas, que permiten determinar los criterios que debe cumplir un tanque atmosférico de almacenamiento, para que pueda operar en nuestro país.

Los tanques cilíndricos atmosféricos para almacenamiento de derivados del petróleo se pueden clasificar en dependencia del tipo de techo, estos pueden ser: techo fijo, techo flotante, según el producto que se desea almacenar.

Los tanques que se consideran para el desarrollo de esta investigación son los tanques metálicos de techo flotante y fijo.

Los fijos son llamados como tal simplemente porque son techos estacionarios soldados al cuerpo. Los techos flotantes difieren en que el techo es apoyado por el fluido en el tanque y el techo flota en el fluido.

Techos fijos.

Típicamente los techos fijos en tanques mayores de 30 pies están soportados por al menos una columna central y balsas de techos. Los sistemas de apoyo del techo pueden tornarse una estructura compleja con múltiples columnas, vigas de techo y docenas de balsas. En los tanques pequeños existe al menos una columna vertical de apoyo colocada en el centro del tanque. En los tanques más grandes las columnas son ubicadas circunferencialmente a distancias radiales equitativas desde el centro del tanque creándose de forma efectiva un hexágono de seis columnas o un heptágono de 7 columnas y así sucesivamente alrededor del tanque. Uniendo las columnas circunferencialmente hay vigas que forman anillos.



Figura 2: Imagen del interior de un tanque de techo fijo.

Techos flotantes.

Los tanques atmosféricos de techo flotante, son tanques más costosos y complicados de construir. Su construcción se justifica, cuando se va a almacenar productos con un alto punto de inflamación y se debe reducir las pérdidas por evaporación.

Existen tres tipos de techos flotantes:

- Tipo bandeja;
- Tipo pontón;
- Tipo cubierta doble

Tipo bandeja.

La bandeja flota debido al labio en el borde de esta, es muy dada a hundirse o inclinarse ya que cualquier salidero por debajo del nivel de fluido llena la bandeja y por ende la hunde. Estos techos ya no son comunes, ya que la mayoría de los usuarios responsables han reconocido las limitaciones y peligros de este diseño.

Tipo pontón.



Este tipo de techo reduce la posibilidad de evaporación por debajo de la cubierta y es recomendado para diámetros entre 18 y 90 metros. El diseño básico consiste en un anillo de pontones segmentados alrededor del perímetro con una membrana de acero que cubre y conecta los pontones. Su flotabilidad es inherente por el anillo exterior de los pontones.



Figura 3: Techo flotante tipo pontón

Doble cubierta.

Es el diseño más avanzado pero más costoso, por esta razón se usa generalmente en diámetros mayores a 90 metros. El diseño es rígido en comparación y proporciona un mejor aislamiento del calor solar que el tipo pontón, es más seguro debido a que está diseñado para mantenerse a flote.

1.3 Características del Domo geodésico.

El domo geodésico o cúpula geodésica es una estructura espacial reticulada compuesta por barras y nudos que unidos entre sí forman un tejido sinérgico extremadamente resistente y liviano. Con estos elementos por lo general se montan entramados en monocapas y cuando las dimensiones de diseño son muy grandes (más de 80 metros de diámetros) se usan dos mallas o capas paralelas externas y una malla interna conectiva.

El primer domo geodésico fue construido en 1922 para el planetario de los talleres Carl Zeiss. Richard Buckminster Fuller es considerado el inventor de las cúpulas geodésicas, ya que es quien ostenta su patente en 1954. Fuller las desarrolló en la



década de los 40, creando una de las cúpulas geodésicas más conocidas en 1967 en la Exposición Internacional de Montreal, de 76 m de diámetro y 41,5 m de altura.

En cuanto al planetario de los talleres Carl Zeiss, se trata de una cúpula geodésica de frecuencia 16 creada por Walter Bauerafeld, que pasó a ser denominada "la maravilla de Jena". A partir de esta, muchas otras fueron creadas, hasta que la idea fue desarrollada por Fuller.



Figura 4: Muestra el Domo de Maloka en Colombia.

Los domos geodésicos se diseñan a partir de un poliedro denominado icosaedro, que está constituido por 20 triángulos equiláteros. Proyectando las aristas de estos triángulos planos a una superficie esférica se originan triángulos equiláteros curvados y así se crea un domo o cúpula geodésica.

A partir de aquí, dependiendo del tamaño y el uso, se efectúa una nueva subdivisión de estos triángulos más pequeños, lo que origina la denominada frecuencia de la que estará compuesta el domo o cúpula geodésica. Cuanto más alta la frecuencia, más barras y nudos intervienen en su composición, y más esférico o curvado resultará.

1.3.1 Estabilidad de los domos geodésicos.

La estabilidad óptima del domo se alcanza con una red esférica completamente cerrada y con apoyos simétricos en toda su base o ecuador.



Aberturas en la misma perjudican su estabilidad, así como también las cargas del viento originan fuerzas adicionales considerables y requieren una construcción especial del nudo de apoyo.

Puede estar compuesto por uno, dos o tres elementos que tienen como finalidad unir firmemente las barras concurrentes. En caso de unir los extremos de las barras con soldadura, es esta misma soldadura uniendo y fundiendo las barras que actúan de nudo.

La estructura de los domos geodésicos se fabrica por lo general con metales más comunes como acero y el aluminio preferentemente. También existen variantes en plásticos extruidos o compuestos como por ejemplo el PRFV o la madera.

La forma que tiene un domo o cúpula geodésica es una esfera. Esta, dependiendo del uso a la que se destinará se construye en general de 1/2, 3/4, 3/8 o 5/8 de esfera.

La principal ventaja de un domo geodésico es el volumen. La esfera es la forma geométrica que más volumen contiene en relación a su área. Lo liviano de sus componentes unidos, forman grandes placas laminares sinérgicas dan una extraordinaria resistencia en relación a los relativamente pocos componentes que lo conforman. La facilidad de ensamble de sus partes es otra vez muy importante, ya que permite que pueda ser construido con prácticamente ningún conocimiento o poca dirección de obra.

Una cúpula geodésica 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 de frecuencia 4 generada de un icosaedro.

Las caras de un domo geodésico pueden ser triángulos, hexágonos o cualquier otro polígono. Los vértices deben coincidir todos con la superficie. El número de veces que las aristas del icosaedro o dodecaedro son subdivididas, dan lugar a triángulos más pequeños, esto se llama la frecuencia de la esfera o cúpula geodésica.

Para la esfera geodésica se cumple el teorema de poliedros de Euler, que indica que:

$$C+V-A=2$$



Donde C es el número de caras (o número de triángulos), V el número de vértices (o uniones múltiples) y A el número de aristas (o barras usadas).

1.3.2 Domo Geodésico de Aluminio.

Con el desarrollo del aluminio como material constructivo con aplicaciones industriales, el API incluye dentro de la norma 650 el apéndice “G”, para establecer los criterios de diseño, fabricación e instalación de Domos geodésicos de aluminio, que en combinación con las cubiertas (membranas) internas flotantes de aluminio, conforme al apéndice “H”, representan la alternativa para tener tanques más confiables con las siguientes ventajas:

- Más livianos (1/3 del peso del acero).
- No requieren pintura.
- Más económicos en inversión inicial.
- Mínimos costos de mantenimiento.
- Mayor vida útil.
- Más seguros.

Los domos geodésicos son utilizados en la construcción de los techos de los tanques de almacenamiento de hidrocarburos, durante su construcción es necesario realizar los trabajos de medición de la redondez y la verticalidad.



Figuras: 5 y 6 Montaje de la cúpula desde el interior del tanque



Figura 7: Tanque con domo geodésico.

1.4 Antecedentes y tendencias actuales.

El petróleo es un producto esencial para muchas industrias, y es de vital importancia para el mantenimiento de la misma civilización industrializada, este alimenta un porcentaje muy alto del consumo de energía del mundo.

En la industria petrolera, petroquímica y otras industrias son utilizados distintos tipos de recipientes para almacenar una gran variedad de productos como son agua, petróleo crudo y sus derivados, gases (butano, propano, GLP), entre muchos otros. Los tanques de almacenamiento atmosféricos son usados para guardar líquidos o gases; son ampliamente utilizados en la industria, principalmente en las refinerías por requerimiento de proceso de almacenamiento temporal de los productos.

El diseño y cálculo de tanques de almacenamiento, se basa en la publicación que realiza el "Instituto Americano del Petróleo" (API), al que esta institución designa como "STANDAR A.P.I. 650" emitida en el año 1961 en sustitución de la norma 12A del año 1936, para tanques de almacenamiento a presión atmosférica, cubre aquellos tanques en los cuales se almacenan fluidos líquidos y están construidos de acero con el fondo uniformemente soportado por una cama de arena, grava, concreto, asfalto, etc, diseñados para soportar una presión de operación atmosférica o presiones internas que no excedan el peso del techo por unidad de área y una temperatura de operación no mayor de 93 °C (200 °F)

En 1980 se emite la norma API 653 para proveer una guía para inspeccionar el estado de los tanques su reparación, modificación, regula las normas para la



certificación de redondez y verticalidad, diagnosticar los elementos ,antes, durante y después del montaje.

Con la quinta edición de la API 12C (1942) vinieron los primeros diseños de tanques soldados a tope. Esto fue posible gracias a los avances logrados en los años de la guerra en los procesos de soldadura por arco de metal revestido (SMAW).

Antes de los años 40 la soldadura por arco era un proceso de tirar y fallar, poco comprendido y con frecuencia incorrectamente aplicado.

En la tabla 1 se hace referencia al desarrollo histórico de las publicaciones de las normas API.

Tabla 1. Historia de los estándares de diseño de tanques de la API.

Año de publicación	Edición	Título	Comentario
1936	Primera	API 12C	Esta aún cubría los tanques remachados.
1942	Quinta	API 12C	Soldadura a tope
1958	Quince	API 12C	Esta fue la última edición de la API 12C. Desde este momento la publicación se llamó API 650. El cambio de nombre fue fundamentalmente debido al cambio en la gerencia del comité – no hay grandes diferencias técnicas entre esta edición y la edición 1 de la API 650
1961	Primera	API650	
2000	Décima	API650	Se publicó un suplemento en el 2001
2007	Oncena	API 650	Revisión completa

Existen diferentes normas y procedimientos que regulan y rigen esta actividad a nivel mundial, tales como: "**American Society Mechanical Engineers**" (**ASME**) y "**American Petroleum Institute**", (**API**). Para los trabajos de Geodesia Ingéniera en estos recipientes, los parámetros permisibles se establecen en esta última, específicamente en sus ediciones **API STANDARD 650** y **API STANDARD 653** que regulan la actividad de construcción y reparación respectivamente.



Las mejoras en los diseños se desarrollan más en los detalles de los tanques que en la fabricación y los métodos de erección. Estos métodos se han mantenido virtualmente iguales en los últimos 40 años.

No es hasta el año 1993 en nuestro país cuando se comienza a utilizar diferentes métodos de medición teniendo como referencia la norma ISO 70001-04 de 1993, emitida con la finalidad de conocer las características dimensionales de los tanques para el cálculo de la capacidad de almacenamiento de combustible.

En el año 2000 se comienza a trabajar de conjunto con las entidades encargada de la reparación de los tanques. Muchos de los cuales fueron construidos en el periodo de 1935 a 1980, por falta del financiamiento necesario no se les realizaron el mantenimiento requerido lo que trajo consigo la pérdida de capacidad de almacenamiento de hidrocarburo.

En estos momentos por el establecimiento de nuestro país de nuevas relaciones económicas, ha permitido ampliar las inversiones en el campo energético, esto conlleva a recuperar nuestra capacidad de almacenamiento, esto hoy constituye un aspecto primordial para el desarrollo económico de nuestro país, permitirá ampliar la capacidad de refinación de petróleo crudo y brindar servicios en este sector a países del Caribe

Se encuentra la Refinería Hermanos Días en un proceso inversionista que demanda el alistamiento de tanques de gran porte por lo que consideramos importante realizar un procedimiento que posibilite en el menor tiempo posible, determinar las dimensiones, diagnosticar el estado de la rectitud de los tanques y que a su vez los constructores puedan utilizar estos resultados para tomar decisiones oportunas.

En nuestro país en la medida en que se construía el tanque se controlaba la redondez y verticalidad de estos mediante el uso de mangueras, vitolas y plomadas físicas, lo que se continua realizando en la actualidad.

En estos momentos se comienza con el uso del domo geodésico y techos flotantes (internos y externos) como tipos de techos en los tanques de almacenamiento



atmosféricos, permitiendo obtener las ventajas antes mencionadas y un mejor manejo del hidrocarburo.

Estos tipos de techos son ensamblados en el piso interior de los tanques, (figura 8), y posteriormente se elevan para ser colocados finalmente en la parte superior del tanque, (figura 9), en el caso de los techos flotantes estos deben bajar y subir con el producto almacenado en su interior evitando la existencia de gases en el interior del recipiente que puedan provocar algún accidente fatal. Para lograr esto es necesario conocer los detalles de la pared interna de los tanques para que no ocurra ningún problema en la colocación y funcionamiento de estos.



Figura 8: Construcción del domo en el interior del tanque



Figura 9: Isaje del domo

1.5 Términos y definiciones.

Tanque cilíndrico vertical: fabricación soldada de almacenamiento de distintas capacidades y diámetro, cerrado o abierto, de acero, de presión externa cercana a la presión atmosférica exceptuando una presión interna permitida según los requerimientos del Apéndice F de la Norma API 650.

Redondez: error medio cuadrático del radio al nivel dado de la pared del tanque en correspondencia con API - 650 y API - 653.

Circunferencia que describe el tanque: al conjunto de todos los puntos del plano que describe el tanque situados a la misma distancia de un **punto fijo** de dicho plano.

Puntos de levantamiento: serie de puntos en la pared interior del tanque a los cuales se les miden las coordenadas cartesianas (X, Y, Z).



Estaciones opuestas: son las parejas de estaciones que se obtienen cuando el tanque es cortado por un plano vertical imaginario que contiene a su eje de simetría.

Diámetro: es toda cuerda que pasa por el centro de la circunferencia que describe el tanque.

Perfil del topográfico: es el perfil vertical que se forma por la intersección de cualquier plano horizontal imaginario con la pared del tanque. Estos perfiles se forman al 20% y 80% de la altura del rolo. Los valores del diámetro del tanque se grafican y tabulan por estaciones opuestas y por anillos de corte.

Diámetro máximo: proyección horizontal de la circunferencia teórica que pasa por los puntos más lejanos del centro del tanque.

Radio medio: radio calculado como referencia.

Inclinación: inclinación de la pared del tanque con relación a la vertical, (relativo a verticalidad).

1.6 La redondez y la verticalidad en tanques de almacenamiento de gran porte.

Esta prueba se realiza con la finalidad de determinar las condiciones geométricas de fabricación y en operación del tanque, el procedimiento que se efectúa con tomas de medidas de la redondez para lo cual se obtienen diámetros a distintas alturas y por anillo, estos valores son procesados mediante una hoja de cálculo, producto del cual se obtienen los resultados, los cuales se muestran mediante cuadros con el respectivo informe. Al igual que la prueba de redondez, en la toma de las medidas de verticalidad se realizará el mismo procedimiento para la obtención de datos.

En el proceso de construcción, el inspector debe revisar las dimensiones del tanque durante su erección y verificar la conformidad de éstas con las indicadas en los planos de fabricación y con las tolerancias dimensionales siguientes:

**Tabla 2. Tolerancia de radio, según API 650.**

Diámetro del tanque en metros	Redondez / en mm.
< 12	± 13
Desde 12 hasta 46	± 19
Desde 46 hasta 76	± 25
Mayor de 76	±32

Para asegurar el montaje correcto de un tanque de techo flotante y que posteriormente pueda funcionar sin problemas, se necesita revisar primero en la cimentación y después en las distintas etapas de la erección de la envolvente, que los requerimientos de nivelación, redondez y verticalidad de estas partes, se encuentran dentro de las tolerancias marcadas en el código API 650.

Las juntas verticales deberán ser de penetración y fusión completa, lo cual se podrá lograr con soldadura doble, de tal forma que se obtenga la misma calidad del metal depositado en el interior y el exterior de las partes soldadas para cumplir con los requerimientos del procedimiento de soldadura.

Para lograr la verticalidad a la plomada es necesario que la máxima desviación de la plomada colocada en el tope del tanque con relación al fondo no deba exceder de 1/200 de altura total (en tanques nuevos). Se debe medir la verticalidad de la envolvente en su superficie exterior y cumplir con las tolerancias de acuerdo al capítulo 7.5.2 del API 650 o equivalente iniciando a una altura de 305 mm (un pie) de la unión de la placa fondo – envolvente y tomando como referencia los puntos marcados para la nivelación del fondo (estación de medición).

Las normas definen los siguientes aspectos para realizar estas inspecciones.

- a) Las estaciones de medición están definidas de esta norma de referencia, debe estar proyectadas verticalmente en toda la longitud (altura) de la envolvente.
- b) Se debe localizar el primer punto a 305 mm de altura, medida a partir de la unión fondo – envolvente.



- c) Se debe localizar un segundo punto a la mitad (50 por ciento) y un tercer punto en el 80 por ciento de la altura del primer anillo de la envolvente.
- d) En el segundo y los subsiguientes, en la misma línea de referencia, se localizan puntos adicionales al 20 por ciento, 50 por ciento y 80 por ciento de la altura de cada anillo; estas alturas deben ser medidas a partir de la soldadura horizontal inferior.
- e) En el último anillo se debe incluir el borde superior del ángulo de coronamiento.
- f) Se debe realizar el levantamiento de los perfiles verticales en cada una de las estaciones de medición, midiendo la distancia horizontal de los puntos localizados a la línea vertical de plomada.
- g) La vertical de plomada debe estar referida al punto localizado a 305 mm de altura.
- h) Se deben registrar las mediciones de cada uno de los perfiles.
- i) Se deben obtener las variaciones de verticalidad, tanque respecto a la vertical de diseño de la envolvente y se consideran negativas las variaciones hacia dentro del tanque respecto a la vertical de diseño.
- j) Las variaciones obtenidas se deben registrar en el formato INSP – F06 de esta norma de referencia.

Verticalidad y horizontalidad de soldaduras en la envolvente (Peaking and Banding). Se deben medir las distorsiones que presenta la envolvente, en sus uniones soldadas tanto verticales como horizontales; también se deben medir las distorsiones locales en su superficie, las distorsiones detectadas deben ser evaluadas de acuerdo al capítulo 4 del API- 653 o equivalente.

Para los tanques fabricados según el estándar API 650, el radio de las paredes, medido desde el primer anillo cerca de la base debe tener valores dentro de las tolerancias indicadas en la tabla 2.

La circunferencia medida no debe ser menor que la teórica correspondiente al diámetro especificado para el tanque.

La inspección visual en la envolvente del tanque ya construido, se debe realizar según sea el caso, de un tanque en operación o en un tanque fuera de servicio, se realiza un recorrido por el área circundante al dique de contención y por el área



interior del mismo en busca de asentamientos, debiendo poner especial atención en las siguientes actividades:

- a) Inspeccionar el terreno circundante (fuera del dique) en busca de grietas que podrían ocasionar socavaciones y/o tubificaciones en la cimentación del tanque y en el material base del fondo.
- b) Inspeccionar que el drenaje se encuentre bien conducido, que su escurrimiento no sea hacia el tanque (en áreas pavimentadas).
- c) Inspeccionar la existencia de grietas en el dique perimetral.
- d) Inspección de calafateo en juntas horizontales y verticales con productos resistentes a hidrocarburos para el interior del dique juntas verticales y para juntas horizontales con asfalto oxidado, ya que se considera que se aplicaría un colchón de agua al momento de un derrame.
- e) Como lo pide el API-653, se debe realizar la inspección de líneas de tubería principal de entrada y salida del tanque para determinar posibles deformaciones o sobreesfuerzos de las tuberías como producto de los asentamientos del tanque. En el caso de líneas de tuberías con soportes de resortes se debe verificar el estado de carga y/o deformación, debiendo recortar los casos en donde proceda el reajuste.
- f) Se debe realizar la inspección del anillo de cimentación, envolvente y fondo del tanque en busca de deformaciones (defectos visibles) debiendo tomar en consideración los puntos siguientes:
 - 1) Agrietamientos o deformaciones del concreto.
 - 2) Erosión del concreto.
 - 3) Estado del sello entre fondo y anillo de cimentación.
 - 4) Deformaciones visibles en la envolvente (protuberancia).
 - 5) Inclinación visible de la envolvente.
 - 6) Hundimientos y/o protuberancias en las placas del fondo (la inspección se puede realizar a una hora del día en que el calor no sea muy intenso).
 - 7) Boquillas y/o tuberías dañadas.



Los puntos anteriores se deben registrar en el formato INSP- F01 (modelo) de esta norma de referencia, y se deben marcar físicamente (con pintura roja de aceite), entregando el reporte.

Se deben medir las distorsiones que presenta la envolvente, en sus uniones soldadas tanto verticales como horizontalmente; también se deben medir las distorsiones locales en su superficie, las distorsiones detectadas deben ser evaluadas de acuerdo al capítulo 4 del API -653 para la reparación o equivalente.

Se entiende por redondez de diseño, a la forma circular perfecta que debe tener la envolvente del tanque (circunferencia) y por redondez real a la configuración real que presenta el perímetro en la envolvente.

Para medir la redondez por la parte interior del tanque (fuera de servicio), se debe tomar como referencia los puntos definidos, debiendo proceder como se indica en las siguientes actividades:

- a) Se debe localizar el centro del tanque tomando como referencia la placa central del fondo.
- b) Se debe localizar las estaciones del perímetro interior del tanque usadas para el levantamiento de nivelación del fondo.
- c) Se debe proyectar verticalmente las estaciones de medición a la altura de 305 mm (un pie) a partir de la unión fondo- envolvente y marcarlas sobre el primer anillo de la envolvente.
- d) Se debe comparar cada uno de los radios medidos contra el radio interior de diseño y obtener la diferencia, considerándose como positiva si el radio medido es mayor y con signo negativo, si el radio medido es menor que el radio interior de diseño. Los radios así como las diferencias encontradas con sus signos correspondientes.
- e) Se debe entregar el informe por escrito del estado que guarda el tanque con respecto a la redondez y la verticalidad en la cual se debe determinar si puede continuar en servicio, debiendo adicionar los dibujos respectivos del levantamiento (impreso o por medios electrónicos).

Para garantizar que estos recipientes cumplan con los requerimientos establecidos en estas normas, es necesario contar con una serie de datos que permitan realizar una valoración del estado en los mismos. Mediante los estudios que se realizan en



la pared interna de los tanques, podemos adquirir los datos a partir de los cuales se determina la redondez y verticalidad, proporcionándonos una visión del estado en que se encuentra el tanque.

Conclusiones parciales.

Después de evaluar las características de los Tanques cilíndricos verticales de gran porte se llegó a una serie de conclusiones que son el reflejo de la necesidad de la investigación que se describe en la presente tesis.

1. Hoy se continúa empleando en nuestro país para el control de la redondez y verticalidad y reparación el uso de instrumentos obsoletos como mangueras, vitolas y plomadas físicas,
2. Las tolerancias según las normas establecidas para la reparación y montaje de los nuevos elementos (domo y membrana) son rigurosas lo que nos obliga a emplear nuevas tecnologías que garanticen la calidad requerida.
3. Las distorsiones se deben medir en toda la envolvente del tanque tanto verticales como horizontales, realizando comparaciones entre los valores de diseños y los reales obtenidos



CAPÍTULO II. PROCEDIMIENTO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA VERTICALIDAD Y REDONDEZ DE TANQUES CILINDROS VERTICALES POR MÉTODOS GEODÉSICOS.

2.1 Introducción

El estudio de la redondez y la verticalidad es fundamental para la construcción y reparación de los tanques de almacenamiento de hidrocarburos, pues este permite garantizar la seguridad en las instalaciones y prevenir la ocurrencia de accidentes fatales tanto para el hombre como para la economía, además esto constituye un elemento de sumo valor en la exportación y comercialización de los hidrocarburos.

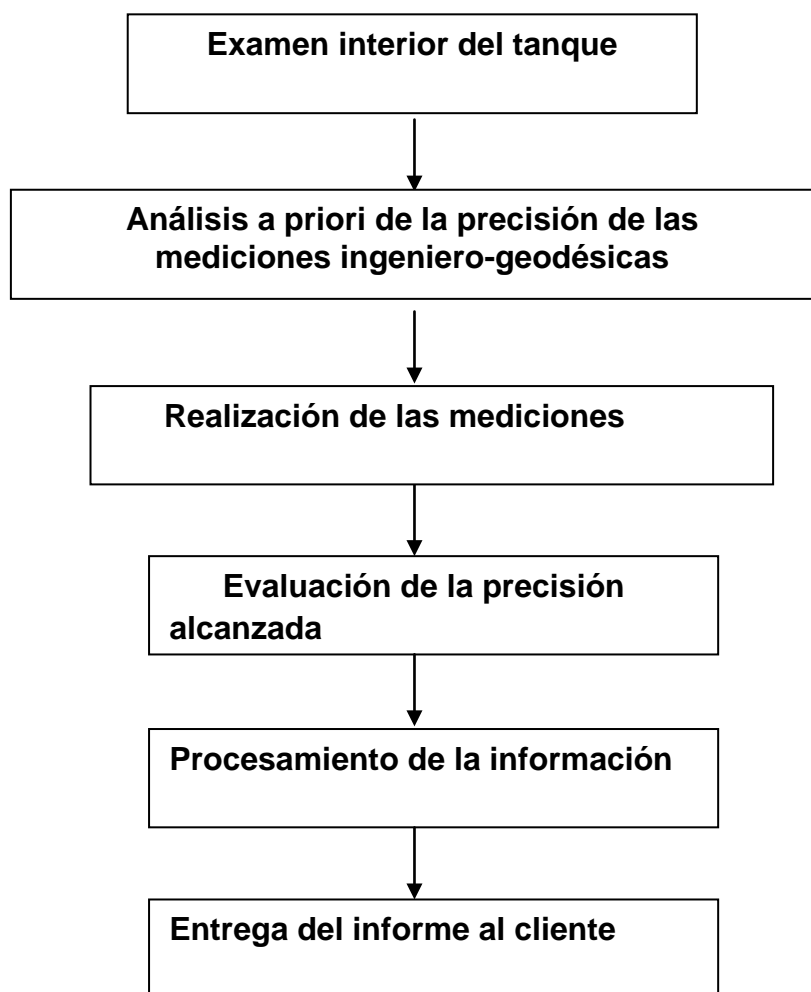
Los tanques de almacenamiento de hidrocarburo deben de cumplir con las normas que rigen los procesos de reparación y construcción, ya que son de vital importancia en la colocación y correcto funcionamiento de los domos geodésicos y techos flotantes.

De no ser controlada la redondez y verticalidad durante el isaje del domo, el mismo puede tener roses o topes con las paredes, las cuales deformarían la estructura del domo, lo que puede provocar considerables pérdidas tanto en la economía como humanas. Por tal motivo es necesario realizar las mediciones geodésicas para la determinación de la redondez y la verticalidad.

Con este capítulo se pretender los lineamientos necesario para la realización de los estudios de verticalidad y redondez de tanque cilíndricos verticales mediante mediciones geodésicas con el empleo de tecnología de camp Estación Total



2.3 Esquema tecnológico o flujo de trabajo para el desarrollo del estudio



2.3.1 Examen interior del tanque.

Antes de comenzar los trabajos dentro de un tanque que haya estado en uso debe examinarse el interior de este y comprobar que el acceso al mismo no ofrezca peligro, que el interior del tanque se encuentre limpio, que exista suficiente estabilidad sobre el fondo cerca del centro de manera que pueda estacionarse y nivelar correctamente el equipo, de esta manera se facilitará el buen desarrollo de los trabajos y se evitará cualquier tipo de accidente que pueda producirse.



Al interior de los tanques se accede por el manhole, que son bocas de aproximadamente 600 mm de diámetro. La cantidad mínima necesaria la fija la norma en función del diámetro del tanque, el cual es utilizado solamente para permitir entrar a los tanques de almacenamiento en caso de realizarse algún trabajo en el interior.



Figura 11. Manhole

En el interior del tanque el técnico debe estacionarse en el centro o lo más próximo a este ya que algunos tanques tienen en su centro una columna y otros una batea de drenaje.

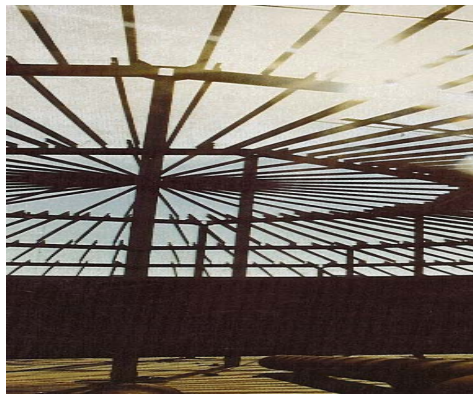


Figura 12 Columna en el centro del tanque.

2.3.2 Análisis a priori de la precisión de las mediciones ingeniero-geodésicas.

2.3.2.1 Evaluación de la precisión

Antes de comenzar cualquier trabajo de topografía aplicada hay que tener presente la precisión exigida o error total de construcción.

El error total de construcción m_{TC} está caracterizado por la suma de tres fuentes fundamentales de errores medios cuadráticos; a saber:



$$m_{TC} = \sqrt{m_{tecn}^2 + m_{montaje}^2 + m_{geodesia}^2}$$

Donde:

m_{tecn} – Error medio cuadrático (ó desviación Standard) tecnológicos, cometidos en la confección o creación del elemento dado en mm.

$m_{montaje}$ – Error medio cuadrático (ó desviación Standard) de construcción civil y montaje tecnológico expresado en mm.

$m_{geodesia}$ – Error medio cuadrático (ó desviación Standard) de los trabajos geodésicos en su conjunto en mm.

Por teoría de errores se puede asumir que la influencia de estos errores en la componente total es de similar magnitud, por lo que resulta válido plantear:

$$m_{tecn} = m_{montaje} = m_{geodesia} = m \quad m_{TC} = \pm \sqrt{3m^2} \quad m_{TC} = \pm m\sqrt{3}$$

Y por tanto concluir que:

$$m_{geodesia} = \pm \frac{m_{TC}}{\sqrt{3}} = \pm 0.6 \times m_{CT}$$

De aquí se interpreta que los errores medio cuadráticos geodésicos en su conjunto no pueden sobrepasar el valor obtenido de multiplicar 0.6 mm por el error medio cuadrático total de construcción.

Definido el valor permisible del error medio cuadrático geodésico se selecciona el instrumento y el método de medición adecuado para satisfacer el anterior requerimiento.

En esta investigación se asume como error medio cuadrático total de construcción, el error medio cuadrático de inclinación admisible del rolo base ($m_{Inc.API}$), obtenido con el coeficiente de cobertura $K=2$.



Por el procedimiento de mediciones desarrollada se ajusta a las tolerancias dimensionales definidas en el código API-650.

$$m_{TC} = m_{Inc.API} = \frac{\left(\frac{2438}{200}\right)}{2} = 6.1mm$$

Luego el error medio cuadrático geodésico permisible será:

$$m_{geodesia} = \pm \frac{m_{Inc.API}}{\sqrt{3}} = \pm 0.6 \times 6.1 = \pm 3.7mm$$

En presencia de la ley de distribución normal de los errores, común en las mediciones geodésicas, se determina el error límite de las mediciones expandiendo la incertidumbre con el coeficiente de cobertura $K=2.5$, lo cual propicia un intervalo de error admisible con un nivel de confianza del 97.5% evitando el sesgo de mediciones útiles y confiables.

$$\Delta_{geodesia\ limite} = 2.5 \times m_{geodesia} = \pm 2.5 \times 3.7 = 9.2mm$$

Con este valor permisible límite de los errores geodésicos, es que se escoge convenientemente el medio y el método de medición, lo cual es decisivo para garantizar la precisión exigida por el usuario.

El error medio cuadrático de determinación de la distancia m_s se toma del pasaporte del instrumento de medición. La estación total Leica TS 06 establece en su pasaporte que las distancias se miden hasta 500m, sin prisma reflector, con un error de $m_s \leq \pm 2mm + 2ppm$.

En la estación total Leica TS06, empleada en la creación de la base geodésica local y en el replanteo y fijación de los 72 puntos de medición, se establece que $m_\beta=5''$.

El error medio cuadrático de fijación del punto P (centro del tanque), m_f es estimado en base al diámetro del orificio que se puya; por regla este valor es de $m_f \approx \pm 0,5mm$.

El error de centración y reducción se puede estimar igual a $m_{cr} \approx \pm 0,5mm$

A continuación se muestran diferentes combinaciones de cálculo del error medio cuadrático esperado en la determinación de la verticalidad y la redondez.

Error medio cuadrático lineal transversal en mm, a causa del emc angular $m_\beta=5''$



Distancia de replanteo del punto centro S en m =9

$$m_{\Delta} = \frac{S \times m''_{\beta}}{\rho''} = 0.22$$

Donde:

ρ'' -constante

Error medio cuadrático de la base de apoyo planimétrica m_{Base} en mm

Base de replanteo b en m =9

$$m_{Base} = \sqrt{m_{\Delta}^2 + m_S^2 + m_{cr}^2 + m_f^2} = 4.04$$

Error medio cuadrático conjunto de centración y reducción m_{cr} en mm

Angulo crítico de replanteo=45°

$$m_{cr} = \sqrt{e^2 \left[1 + \left(\frac{S}{b} \right)^2 - \frac{S}{b} \cos \beta \right]} = 0.49$$

Donde:

S - distancia de la estación al punto a replantear en mm.

b - distancia base, desde la estación al punto de amarre en mm.

e - magnitud lineal de centración y reducción, por lo general se asume que $e = \pm 0,5\text{mm}$;

β - ángulo a replantear ($^{\circ} \prime \prime$)

Error medio cuadrático de replanteo y fijación de los puntos de medición en mm

$$m_p = \sqrt{m_{Base}^2 + m_{\Delta}^2 + m_S^2 + m_{cr}^2 + m_f^2} = 5.73$$



Error medio cuadrático esperado en la determinación de la verticalidad y la redondez del tanque en mm

Distancia desde el centro a la pared del tanque D en m =9

$$m_{VR} = \sqrt{m_P^2 + m_S^2 + m_{cr}^2} = 5.77$$

Complemento del emc lineal 2ppm, a la distancia $D = 0.04$

2.3.2.2 Replanteo de los puntos de medición por el método polar.

Es el método de replanteo más sencillo, y por consiguiente, el más empleado en la práctica. Sin embargo, los topógrafos no deben descuidarse al emplearlo, pues carece de control geodésico. En este método se conocen de antemano las coordenadas X, Y de los puntos de estacionamiento y amarre y se desea establecer en el terreno un punto P a partir de las coordenadas deseadas. Para este fin se mide el ángulo de inflexión y la distancia horizontal $B - P$.

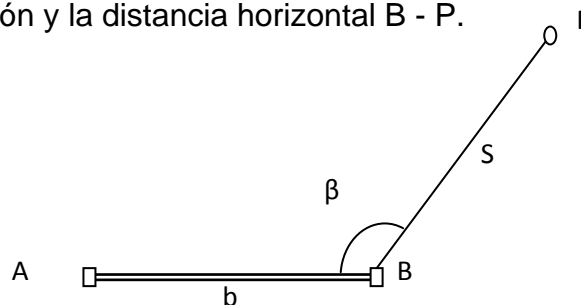


Figura N°1. Método polar.

El error medio cuadrático de determinación de las coordenadas del punto P se halla por la fórmula:

$$m_P = \sqrt{m_{Base}^2 + m_S^2 + \left(\frac{m_\beta}{\rho''}\right)^2 S^2 + m_{cr}^2 + m_f^2}$$

Donde:

m_p - error medio cuadrático de determinación del punto P , (mm);

m_{Base} - error medio cuadrático de la posición del punto de apoyo, (mm);



m_s - error medio cuadrático de determinación de la distancia S , (mm);

m_β - error medio cuadrático de medición del ángulo β , (");

m_f - error medio cuadrático de fijación del punto P en el terreno, (mm);

m_{cr} - error medio cuadrático de centración y reducción, (mm);

e - magnitud lineal estimada de centración y reducción, (mm), con plomada laser y miniprisma se asume igual a $e = \pm 0,5\text{mm}$.

El error medio cuadrático de determinación de la distancia m_s se toma del pasaporte del instrumento de medición. La Estación Total Leica TS 06 establece en su pasaporte que las distancias se miden hasta 500m, sin prisma reflector, con un error de $m_s \leq \pm 2\text{mm} + 2\text{ppm}$.

En la Estación Total Leica TS 06, empleada en la creación de la base geodésica local y en el replanteo y fijación de los puntos de Estacionado del Instrumento, se establece que $m_\beta = 2''$.

El error medio cuadrático de fijación del punto P , m_f es estimado en base al diámetro del orificio que se puya en la platina del monumento; por regla este valor es de $m_f \approx \pm 0,5\text{mm}$.

El error de centración y reducción se puede estimar igual a $m_{cr} \approx \pm 0,5\text{mm}$, o se

$$m_{cr} = \sqrt{e^2 \left[1 + \left(\frac{S}{b} \right)^2 - \frac{S}{b} \cos \beta \right]}$$

puede hallar por la fórmula:

Donde:

S - distancia de la estación al punto a replantear, mm;

b - distancia base, desde la estación al punto de amarre, ($b = \sqrt{\Delta X_{AB}^2 + \Delta Y_{AB}^2}$), mm;

e - magnitud lineal estimada de centración y reducción, (mm), por lo general se asume que $e = \pm 0,5\text{mm}$;

β - ángulo a replantear ($^\circ \ ' \ ''$)

A continuación se muestran diferentes combinaciones de cálculo del error medio cuadrático esperado en la determinación de la verticalidad y redondez.

Error medio cuadrático lineal transversal en mm, a causa del emc angular $m_{\square} = 2''$



Seguidamente se calculan los errores medio cuadráticos para diferentes distancias ya sea desde la posición del centro del tanque o del exterior

Distancia de replanteo S en m = 20 50 110

$$m_{\Delta} = \frac{S \times m''_{\beta}}{\rho''} = 0.19 \quad 0.48 \quad 1.07$$

Error medio cuadrático de la base de apoyo planimétrica m_{Base} en mm

Base de replanteo (b) en m = 55 80 110

$$m_{Base} = \sqrt{m_{\Delta}^2 + m_S^2 + m_{\sigma}^2 + m_f^2} = 2.16 \quad 2.27 \quad 2.59$$

Complemento del emc lineal 2ppm, a la distancia (S) = 0.04 0.1 0.22

Precisión relativa esperada = 1/9241 1/22010 1/42545

Error medio cuadrático conjunto de centración y reducción m_{cr} en mm

Angulo crítico de replanteo $\square\square\square$: 45 45 45

$$m_{cr} = \sqrt{e^2 \left[1 + \left(\frac{S}{b} \right)^2 - \frac{S}{b} \cos \beta \right]} = 0.49 \quad 0.52 \quad 0.61$$

Error medio cuadrático de replanteo y fijación de los puntos de medición en mm

$$m_p = \sqrt{m_{Base}^2 + m_{\Delta}^2 + m_S^2 + m_{cr}^2 + m_f^2} = 3.06 \quad 3.21 \quad 3.66$$

Error medio cuadrático esperado en la determinación de la verticalidad y redondez del tanque en mm

Distancia a la pared del tanque D en m = 18

$$m_{VR} = \sqrt{m_P^2 + m_S^2 + m_{cr}^2} = 3.71 \quad 3.84 \quad 4.23$$



Complemento del emc lineal 2ppm, a la distancia $D = 0.04$

Este método es muy utilizado principalmente cuando es necesario trasladar la estación de trabajo ya que no se puede observar toda la envolvente del tanque, ya sea en el exterior o en el interior, sus desventajas principales está dada, que la fuente de errores en el estacionado y orientación se vuelven acumulativo por os cambios constante de posición del observador.

2.2 Características de la Estación Total.

Para la ejecución de las mediciones en los tanques se deberá emplear la estación total Leica TS-06 o similar de procedencia suiza, hay que tener en cuenta que antes de comenzar los trabajos debe comprobarse que el instrumento se encuentre apto para la realización de las mediciones.

Algunas de las características de la estación total TS-6 son:

- Incertidumbre en la medición de los ángulos horizontales y verticales es 3".
- Para la medición lineal de longitudes menores de 500 m, el error lineal es de $m\leq\pm 2\text{ mm}+2\text{ ppm}$, por lo que en esta distancia el error es de 3mm.
- Para las mediciones angulares donde el error medio cuadrático de medición angular es de $m\beta = \pm 3''$ el error medio cuadrático lineal transversal hasta 500m es de 7.2mm.
- La acción conjunta en el resultado de los errores angulares horizontales y lineales de longitudes menores de 500 m es de 8mm.
- Desviación típica del modo preciso de distancia (ISO 17123-4) 2mm+2ppm (sin prisma).



Figura 10: Estación total TS-06



Este instrumentos está equipado con un rayo laser con un alcance hasta 180.0m que permite realizar las mediciones sin prisma lo que lo hace ideal para obtener los valores de coordenadas de los puntos inaccesibles por su ubicación en la pared del tanque.

Las mediciones de distancias con Estación Total a los puntos que describen la envolvente del Tanque se miden con el modo el **Sin prisma** cuando se miden con este modo, el anteojo utiliza un rayo laser visible rojo y estrecho, el cual emerge de forma coaxial del objetivo del anteojo

2.3.3 Realización de las mediciones.

Las mediciones se desarrollan en dependencia de la situación que presente el tanque. La ubicación del equipamiento esto puede ser desde una red interior al tanque y mediciones desde el exterior del tanque.

2.3.3.1 Medición de perfiles Topográfico desde el centro del Tanque

El método consiste en la determinación de las distancias a los rolos desde un punto centro en el tanque. Es imprescindible que primeramente se haya creado una red local por dos puntos (método polar), uno próximo al centro desde donde se realiza el levantamiento del rolo base y otro que sirve como punto de apoyo que puede estar dentro o fuera del tanque.

Primero se determina el centro del tanque en el interior, lo cual es una de las tareas fundamentales. Cuando no existe definición de este, se toma como centro el determinado por la chapa centro de la plancha del fondo, otro de los métodos es mediante la coincidencia de las mediciones de la doble distancia desde dos puntos diferentes ubicados en la pared del tanque de forma que ambos valores sean iguales, determinado el centro, este debe quedar marcado con un centra punzón, luego de estacionado el instrumento, situamos un punto de referencia que puede estar dentro o fuera del tanque, se realiza el replanteo de los puntos cada 5° en el rolo base a un pie de altura del fondo del tanque utilizando el método polar empleando la estación total, estos puntos deben quedar marcados en la pared del tanque.



El objetivo es realizar mediciones hacia la pared del tanque desde un punto central ubicado en el interior del tanque en puntos preferentemente a 5° en toda la envoltente describiendo un perfil topográfico.

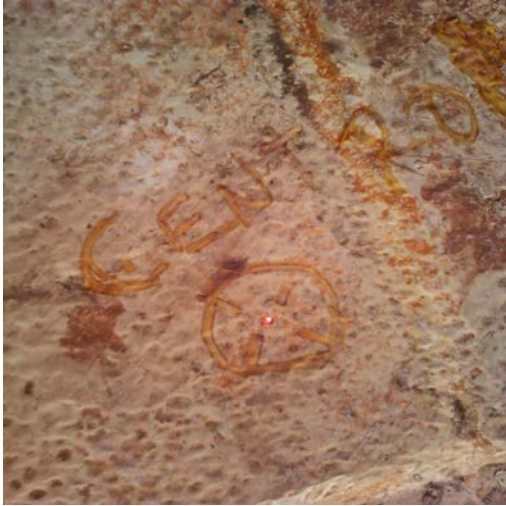
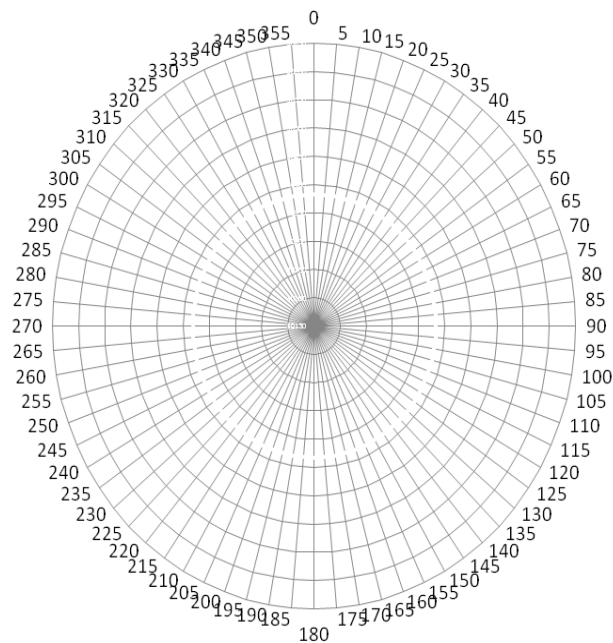


Fig. 13 Ubicación del centro del tanque instrumento en su interior



Fig. 14 Estacionado del en el centro del tanque



Figuras. 15 y 16 Puntos cada 5° ubicados en la envoltente del tanque.



Figuras. 17 y 18 Replanteo de los puntos cada 5° en el rolo base a un pie de altura (30cm) del fondo del tanque.

Las mediciones se realizan en el horario de 6:00 a 10:00 a.m. donde la temperatura máxima en el interior del tanque es de 27°C. , los vientos son inferiores a 2 m/s. De esta forma se conservan las dimensiones actuales del tanque.

La medición se desarrolla en dependencia de la etapa de reparación en la que se encuentre el tanque, puede encontrarse en el interior del tanque, la etapa de limpieza de sus paredes o construcción del domo geodésico o otra cuestión que impida el estacionado del equipamiento en un punto cercano al centro tanque

Desde la base creada se realiza el levantamiento del rolo base mediante la observación de 72 puntos temporales marcados cada 5° en toda la circunferencia, determinando las coordenadas X, Y a la altura de un pie del fondo del tanque. Después de centrado y nivelado el instrumento se introducen las coordenadas arbitrarias X_0 , Y_0 y Z_0 , con el único requisito de que X_0 y Y_0 sean mayores que el radio del tanque, de aquí las mediciones en los perfiles deben realizarse al 20% y al 80% en el rolo base , en los demás rolo se toman las lecturas al 80% ; las alturas de cada rolo se determinan empleando el programa altura remota de la estación total; ubicando el láser en la unión de cada rolo (en la soldadura), se obtiene la altura de

estos , a partir de la unión del primer rolo con el segundo se le resta a la altura 30 cm para determinar el ángulo vertical en los puntos del 80% de los rolos. Ya con estos datos orientamos el láser en el punto cero y se realiza la primera medición, con ayuda del tornillo del movimiento vertical de la estación total se fijan en el instrumento el ángulo vertical obtenido en cada punto y se van realizando las mediciones de los perfiles verticales, esta operación se realiza en todas las marcas ubicadas en la pared del tanque.

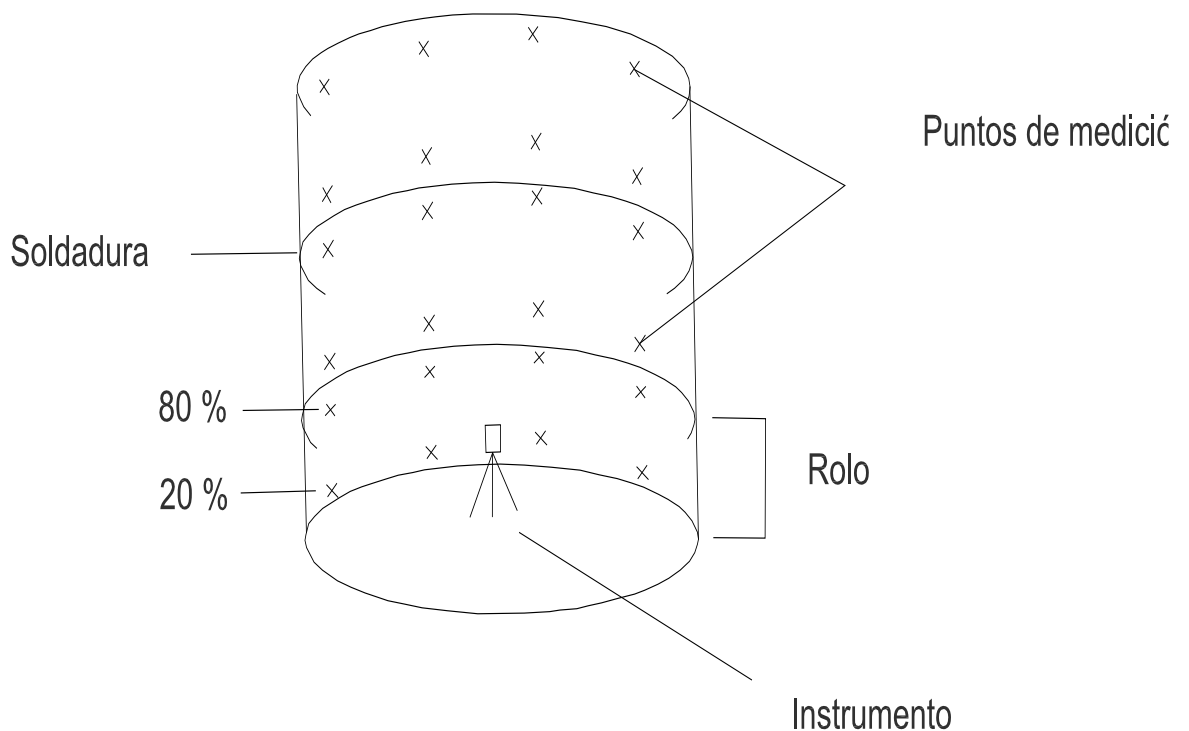


Figura 19. Posición de la Estación Total para el desarrollo de los perfiles desde el interior del tanque.

2.3.3.2 Nivelación del fondo del tanque.

Con el objetivo de verificar la nivelación del fondo del tanque se utiliza la estación total en su centro y con ayuda del mini prisma se procede a medir en sentido horario la elevación de los puntos de medición cada 5° partiendo del grado 0° en la unión de la pared y el fondo, aceptando la altura sobre este como cero de referencia inicial, a partir del cual se analizan los desniveles de los puntos.



En correspondencia con la tolerancia definida en la API- 650 el nivel de la base con pendiente definida y anillo de concreto como soporte debe garantizar la erección de las paredes del tanque en los límites de verticalidad establecidos, para ello se plantea que el borde del anillo de concreto debe ser liso y nivelado en el rango de +/-3mm cada 9m de arco y ningún punto sobre la circunferencia debe variar más de +/-6mm a lo largo de su perímetro.

Durante la evaluación de los trabajos se debe considerar que las diferencias fuera de lo permisible puede ocasionar bajo el perímetro de apoyo de la pared del tanque, pandeos de la pared y concentración de esfuerzos en las juntas pared-techo-fondo pudiera agravar la situación ya comprometida de funcionamiento del sello de la membrana a la altura del ultimo

2.3.4 Evaluación de las Precisiones alcanzadas.

Para la evaluación de la incertidumbre real alcanzada durante las mediciones se realiza un muestreo midiendo el radio interior en el rolo base a un pie por encima de su soldadura con el fondo en 8 puntos que difieren en 45°, se realiza bajo las mismas condiciones que las mediciones anteriores pero en diferentes fechas, esta comprobación representa el 11% del total de las mediciones con la salvedad de que las mismas se realizan en los lugares de mayor estabilidad dimensional de la envolvente. La evaluación de la incertidumbre de las mediciones se realiza a través de las diferencias entre el radio interior calculado en momentos diferentes, los resultados alcanzados demuestran la confiabilidad en la determinación de la verticalidad y la redondez del tanque; así como las reservas de precisión para satisfacer los requerimientos del cliente a tenor con las normativas y códigos internacionales vigentes en la práctica de la construcción, certificación y calibración de tanques cilíndricos verticales.

$$m_{geodesia} \leq \pm \frac{m_{Inc.API}}{\sqrt{3}} \leq \pm 0.6 \times 6.1 \leq \pm 3.7mm$$

$$\Delta_{geodesia} = \pm 2.5 \times m_{geodesia} = \pm 2.5 \times 3.7 = \pm 9.2mm$$



2.4 Determinación de la verticalidad y la redondez.

La determinación de verticalidad y redondez parte del conocimiento exhaustivo de la posición planimétrica del rolo base, también llamado en la práctica de construcción y certificación de tanques como rolo de referencia; esto se logra mediante mediciones en el interior con validación de los radios en los puntos situados cada 5° en la pared del tanque a un pie de la junta de soldadura con el fondo. Además en cada estación se miden las distancias horizontales a la altura de los rolos indicada por el fabricante, utilizando para ello el programa habilitado para situarnos en "altura remota" con la estación total.

Según las tolerancias dimensionales definidas en la API-650, la máxima desviación de la verticalidad permisible en la parte superior de la envolvente relativa al fondo no excederá de $1/200$ del total de la altura del tanque.

En cuanto a la redondez, para tanques con el radio medido a un pie sobre la soldadura de la esquina del fondo, la forma cilíndrica de la pared no excederá de las tolerancias de la Tabla no. 2

Durante el estudio se considera la holgura de trabajo admisible del sello de contacto con la pared del tanque de ± 110 mm de la cubierta flotante (membrana interna), se precisa tener en cuenta estas observaciones para evaluar su colocación.

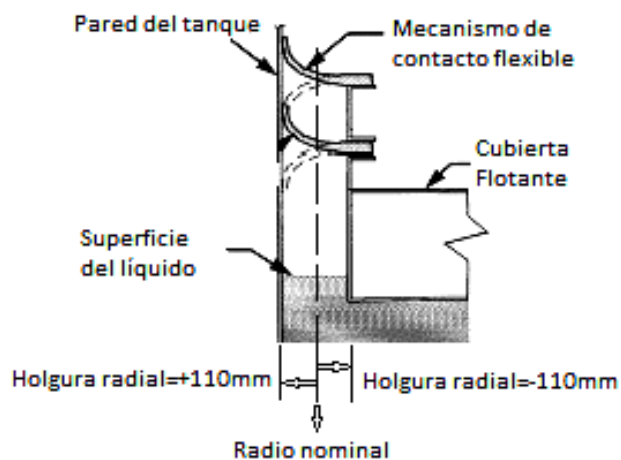


Figura 20. Holgura de trabajo del sello de la cubierta flotante con la pared del tanque.



De acuerdo con el apéndice H.1 de la API-650, debe prestarse especial atención a la combinación de las tolerancias dimensionales establecidas para la redondez y la verticalidad. Si en el peor de los casos, cuando se unen la redondez y la verticalidad negativa, queda poca holgura para el libre deslizamiento del mecanismo flexible de contacto de la cubierta flotante con las paredes del rolo superior del tanque y además se suma el efecto de las tensiones que provoca la carga impuesta por el domo geodésico; se comprenderá que las flexiones negativas que surjan agravarían el funcionamiento de la membrana interior.

2.4.1 Procesamiento de la información.

El procesamiento automatizado de los trabajos se realiza en dos etapas:

- ✓ Descarga de los ficheros desde la estación total a la PC.

Los ficheros resultantes de las mediciones se obtuvieron con extensión GSI (Geo Serial Interface).

- ✓ Procesamiento de los ficheros.

Para el procesamiento de los ficheros se utilizan los software especializados siguientes:

Leica FlexLine; Para el manejo de los datos colectados en campo por la estación total, carga y descarga de datos, software de sistema, software de aplicaciones, editor de coordenadas, manejo de listas de códigos y llamadas a otras herramientas externas.

GifCon2.5; Permite ordenar el fichero de la estación total bajado a la computadora seleccionando el formato que se desee de ficheros *.GSI, a *.ASCII.

El procesamiento digital inicial de los datos obtenidos en el terreno se realiza en ficheros Excel; utilizando las herramientas estadísticas se analizan los errores de las mediciones y con las gráficas se confeccionan los principales anexos donde se visualiza la verticalidad y la redondez del tanque.



2.4.2 Coordenadas de las estaciones en los rolos.

En la tabla 3 se muestran las coordenadas de los puntos del 0° al 25° desde el rolo base y el rolo 8.

Tabla 3 Coordenadas de los puntos.

Estación	X(m)	Y(m)	Z(m)	Estación	X(m)	Y(m)	Z(m)	Estación	X(m)	Y(m)	Z(m)
0-1	600.005	109.074	10.207	10--1	601.583	108.975	10.188	20--1	603.125	108.583	10.202
0-2	600.000	109.069	11.244	10--2	601.580	108.967	11.253	20--2	603.120	108.576	11.253
0-3	600.000	109.059	13.063	10--3	601.580	108.956	13.039	20--3	603.113	108.562	13.039
0-4	600.010	109.049	15.057	10--4	601.568	108.966	15.067	20--4	603.106	108.548	15.067
0-5	600.010	109.039	16.858	10--5	601.563	108.954	16.867	20--5	603.094	108.534	16.867
0-6	600.000	109.029	18.660	10--6	601.563	108.942	18.644	20--6	603.080	108.520	18.644
0-7	600.000	109.019	20.401	10--7	601.561	108.930	20.379	20--7	603.087	108.506	20.379
0-8	600.000	109.009	22.108	10--8	601.565	108.918	22.060	20--8	603.086	108.492	22.060
0-9	600.000	109.008	23.667	10--9	601.565	108.878	23.677	20-9	603.087	108.476	23.685
05--1	600.793	109.045	10.200	15--1	602.362	108.807	10.187	25--1	603.865	108.289	10.189
05--2	600.790	109.038	11.243	15--2	602.360	108.789	11.242	25--2	603.862	108.283	11.237
05--3	600.790	109.052	13.060	15--3	602.350	108.777	13.060	25--3	603.856	108.271	13.056
05--4	600.790	109.066	15.052	15--4	602.360	108.765	15.051	25--4	603.850	108.259	15.050
05--5	600.790	109.052	16.851	15--5	602.350	108.753	16.854	25--5	603.844	108.247	16.851
05--6	600.790	109.038	18.651	15--6	602.360	108.741	18.664	25--6	603.838	108.235	18.653
05--7	600.790	109.024	20.390	15--7	602.360	108.729	20.421	25--7	603.832	108.223	20.394
05--8	600.800	109.010	22.095	15--8	602.350	108.717	22.118	25--8	603.826	108.211	22.101
05--9	600.786	108.970	23.663	15--9	602.334	108.706	23.675	25--9	603.819	108.188	23.704

2.4.3 Cálculo de los radios.

Se conforman hojas de cálculos que permite luego de descargada las mediciones efectuar los cálculos con facilidad, las tablas que aquí aparecen relacionan las relaciones matemáticas empleadas.

El tabla aparecen los radios medidos por rolos en los puntos 0° y 5°; los diámetros medidos son la suma del radio medido en un punto y el radio medido que se encuentra a 180° de este.



Tabla 4 Cálculo de los radios.

		Coordenada Centro				
		Xo	Yo			
		600.02	99.97			
	Xi	Yi	Rm	Diám. Medido	Diám. Calculado	Ángulos
RB-0	600.005	109.074	9.104	18.20802471	18.216	0-180
R1-0	600.000	109.069	9.099		18.238	
R2-0	600.000	109.059	9.089		18.237	
R3-0	600.010	109.049	9.079		18.238	
R4-0	600.010	109.039	9.069		18.235	
R5-0	600.000	109.029	9.059		18.213	
R6-0	600.000	109.019	9.049		18.217	
R7-0	600.000	109.009	9.039		18.177	
R8-0	600.000	109.008	9.038		18.116	
					18.210	
RB-5	600.793	109.045	9.108	18.21572442	18.229	5-185
R1-5	600.790	109.038	9.101		18.244	
R2-5	600.790	109.052	9.115		18.265	
R3-5	600.790	109.066	9.129		18.264	
R4-5	600.790	109.052	9.115		18.262	
R5-5	600.790	109.038	9.101		18.204	
R6-5	600.790	109.024	9.087		18.247	
R7-5	600.800	109.010	9.074		18.212	
	600.786	108.970	9.033		18.116	

Xi, Yi – Coordenadas del centro del tanque i = 1, 2, 3,..... 36. Origen de coordenadas: (X = 0, Y = 0. Red local)

Rm: Radio medido (Distancia del punto centro del tanque a cada estación hasta el círculo)

Ver Figura 13.

$$Rm = \sqrt{(Xo - Xi)^2 + (Yo - Yi)^2}$$

El diámetro medido es el calculado a partir del radio medido y el calculado se calcula en base a la sumatoria de los radios de los puntos opuestos.

2.4.4 Análisis para determinar la verticalidad y la redondez del tanque.

A partir de los datos obtenidos de la siguiente tabla se comienzan a realizar los análisis para determinar la redondez y verticalidad del tanque, solo se muestran los resultados de las mediciones en el punto 0°, en el anexo 2 aparecen los resultados de las mediciones del tanque.



Tabla 5 Mediciones para determinar la verticalidad (inclinación) y la redondez.

Rolo	Altura	Rm	Rm- R _{promedio}	Inclin. (mm)	Perm. +- (mm)	R _{medido}	Δ _{medida} (mm)
	Grado 0		δhi	I			
Base	0,300	9,104	-10	0	0	9,106	2
1	1,337	9,099	-15	-5	5	-	-
2	3,156	9,089	-25	-15	14	-	-
3	5,150	9,079	-35	-25	24	-	-
4	6,951	9,069	-45	-35	33	-	-
5	8,753	9,059	-55	-45	42	-	-
6	10,494	9,049	-65	-55	51	-	-
7	12,201	9,039	-75	-65	60	-	-
8	13,760	9,038	-76	-66	67		

La redondez se define como la diferencia del Radio medido del centro del tanque a cada puntos sobre la pared y el Radio promedio que no es más que el promedio de los radios de cada punto en toda la circunferencia en el rolo base o construcción por ser este rolo quien define las características dimensionales del tanque. Según la norma API 650

Caliculada la diferencia entre los radios se calcula la verticalidad o inclinación de la pared del tanque en cada punto que describe un perfil topográfico:

$$\delta_{hi} = R_m - R_{promedio}$$

$$\delta_{hi} - \square\square \text{Distancia de los puntos medidos a la circunferencia ajustada (redondez)}$$

I – Diferencia entre el valor δ_{hi} del rolo base tomado como inicial y el valor $\delta_{hi..n}$ ajustado a la circunferencia en cada punto

$$I = \delta_{hi} - \delta_{hi..n}$$

.Conclusiones parciales.

1. El esquema tecnológico diseñado responde a un orden lógico de los trabajos.
2. Los trabajos realizados y la tecnología empleada garantizan el cumplimiento de las normas que rigen los procesos de reparación y construcción de tanques atmosféricos.



CAPÍTULO III. DETERMINACIÓN DE LA VERTICALIDAD Y REDONDEZ DE UN TANQUE CILÍNDRICO VERTICAL CON APLICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO CREADO (CASO DE ESTUDIO).

En este capítulo se exponen los resultados obtenidos de las mediciones realizadas al tanque 62 de la refinería de petróleo Hermanos Díaz y una breve valoración de la importancia de los tanques de almacenamiento para la economía.

3.1 Métodos utilizados y descripción general del contenido.

Para la ejecución de los trabajos se siguió las pautas generales del esquema tecnológico para la determinación de deformaciones a partir de mediciones geodésicas dado en el punto 2.3

Se chequeo la red local creada, las mediciones se realizaron con la Estación Total TS-06 en modo con prisma estándar. Desde la base creada se realizó el levantamiento del rolo base mediante la observación de 72 puntos temporales cada 5° en toda la circunferencia, determinando las coordenadas X; Y a la altura de un pie del fondo del tanque. Se realizó la marcación de cada punto con marcador permanente.

3.2 Descripción general del contenido del trabajo.

Primeramente se procedió a definir el centro del tanque desde el cual se han desarrollado los trabajos de montaje, para esto fue necesario realizar la medición de puntos por toda la circunferencia del rolo base, se calcularon las coordenadas de cada punto, con ayuda del software AutoCAD la herramienta " Crear Centroide", se calculo el centro del tanque. Se replanteo en el interior del tanque por el método polar con la Estación Total quedando marcado con pintura permanente. El Radio Nominal del interior del tanque es de 9135 mm, el radio medio calculado es de 9114 mm.

Las mediciones se realizaron con la Estación Total en modo sin prisma, desde el centro del tanque a los puntos replanteados en el rolo base cada 5°, en el resto de los rolos a las alturas indicadas por el fabricante definiendo una circunferencia concéntrica. El error total impuesto a las mediciones geodésicas se subordina $1/\sqrt{3}$ inferior a los requerimientos de precisión del cliente en cuanto al error de inclinación admisible del rolo base.

La metodología de mediciones desarrollada se ajusta a las tolerancias dimensionales definidas en el código API-650 con reservas de precisión capaces de satisfacer la incertidumbre máxima admisible según referencias y normativas



internacionales de cero coma dos por ciento (0.2%) del volumen indicado para tanques cilíndricos verticales calibrados por el método geométrico.

3.3 Volumen de los trabajos realizados.

Tabla # 6 Volumen de los trabajos.

N _o	Procesos	U/M	Cant
2	Replanteo y fijación de puntos de medición y control.	ptos	4
4	Medición de distancias horizontales internas en las alturas indicadas.	ptos	504
5	Medición de distancias horizontales internas en el rolo base.	ptos	72
6	Procesamiento digital.	datos	Todos
7	Informe Técnico	u	1

3.4 Resultados obtenidos en el tanque 62 de la refinería de petróleo Hermanos Díaz de Santiago de Cuba.

3.4.1 Resultados de las mediciones del tanque.

El tanque TK 62 posee 8 rolos. La altura nominal es de 16360 mm y la altura medida es de 14060 y un diámetro nominal de 18270 mm. El diámetro medio calculado en el rolo base fue de 18223mm. El diámetro medio calculado en el último rolo es de 18224 mm.

El radio nominal es 9135mm, el radio medio calculado en el rolo base o de construcción empleado como referencia para la determinación de la rectitud de las paredes del tanque es de 9114 mm, determina la posición en la circunferencia de la mayor parte de los puntos del tanque. El radio permisible de la suma de la verticalidad más la redondez, máximo es de 9181 mm y el mínimo 9047 mm. El radio mínimo de la membrana es de 9004 mm.

Las mediciones se realizaron en 72 estaciones distribuidas en la pared del tanque y en cada estación se midieron 8 niveles, en el primer rolo se toman mediciones a 1/5 y 4/5 de su altura, en el resto de cada rolo medido, desde el segundo hasta el último, solo se miden a 4/5 de su altura.



3.4.2 Determinación de la verticalidad y redondez.

La determinación de verticalidad y redondez parte del conocimiento exhaustivo de la posición planimétrica del rolo base, también llamado en la práctica de construcción y certificación de tanques como rolo de referencia; esto se logra mediante mediciones en el interior con validación de los radios en los puntos situados cada 5° en la pared del tanque a un pie de la junta de soldadura con el fondo. Además en cada estación se miden las distancias horizontales a la altura de los rolos indicada por el fabricante, utilizando para ello el programa habilitado para situarnos en "altura remota" con la Estación Total.

Las mediciones fueron hechas en 72 estaciones distribuidas en la pared del tanque y en cada estación se midieron 8 niveles. En el primer rolo se tomo mediciones a 1/5 y 4/5 de su altura en el resto de cada rolo medido, desde el segundo hasta el último, solo se midió a 4/5 de su altura.

Según las tolerancias dimensionales definidas en la API-650, la máxima desviación de la verticalidad permisible en la parte superior de la envolvente relativa al fondo no excederá de 1/200 del total de la altura del tanque: ± 67 mm; ver resultados de la verticalidad obtenida en el Anexo # 3 y 5.

En cuanto a la redondez, para tanques con el radio medido a un pie sobre la soldadura de la esquina del fondo, la forma cilíndrica de la pared no excederá de las siguientes tolerancias.

<u>Rango de tolerancia en metro</u>	<u>Tolerancia del radio. en</u>
0 a 12 metro de diámetro	± 12.7
<u>12 a 46 metro de diámetro</u>	<u>± 19.0</u>
46 a 76 metro de diámetro	± 25.4
76 metro de diámetro o más	± 31.8

Las mediciones se realizaron en el horario de 6:00 a 10:00 de la mañana donde la temperatura máxima en el interior del tanque fue de 27°C. Durante los trabajos no hubo vientos fuertes. De esta forma se conservan las dimensiones actuales del Tanque. Ver resultados de la redondez obtenida en los Anexos # 4, 5 y 8.

3.4.3 Procesamiento digital.

El procesamiento automatizado de los trabajos se realizó en dos etapas:

- ✓ Descarga de los ficheros desde la Estación Total a la PC.



Los ficheros resultantes de las mediciones se obtuvieron con extensión GSI (Geo Serial Interface).

- ✓ Procesamiento de los ficheros.

Para el procesamiento de los ficheros se utilizaron los softwares especializados siguientes:

Leica FlexLine; Para el manejo de los datos colectados en campo por la ET, carga y descarga de datos, software de sistema, software de aplicaciones, editor de coordenadas, manejo de listas de códigos y llamadas a otras herramientas externas.

GifCon2.5; Permitted ordenar el fichero ET bajado a la computadora seleccionando el formato que se desee de ficheros *.GSI, a *.ASCII.

- ✓ *Procesamiento de los datos geodésicos.*

El procesamiento digital inicial del dato obtenido en el terreno se realiza en ficheros Excel; utilizando las herramientas estadísticas se analizan los errores de las mediciones y con las gráficas se confeccionan los principales anexos donde se visualiza la verticalidad y redondez del tanque.

Para el conocimiento del estado de las paredes del tanque, en cuanto a la presencia de abolladuras y salientes, se modela por medio de un gráfico generado en excel

3.4.3 Precisiones alcanzadas en el trabajo.

Para la evaluación de la incertidumbre real alcanzada durante las mediciones se realizó un muestreo midiendo el radio interior en el rolo base a un pie por encima de su soldadura con el fondo en 8 puntos que difieren en 45°, se realiza bajos las mismas condiciones que las mediciones anteriores pero en diferentes fechas, esta comprobación representa el 11% del total de las mediciones con la salvedad de que las mismas se realizan en los lugares de mayor estabilidad dimensional de la envolvente. La evaluación de la incertidumbre de las mediciones se realiza a través de las diferencias entre el radio interior calculado en momentos diferentes, los resultados alcanzados demuestran la confiabilidad en la determinación de la verticalidad y redondez del tanque; así como las reservas de precisión para satisfacer los requerimientos del cliente a tenor con las normativas y códigos internacionales vigentes en la práctica de la construcción, certificación y calibración de tanques cilíndricos verticales; ver resultados de la evaluación de incertidumbre de las mediciones en el Anexo # 9.



Tabla # 7 Evidencia de la precisión alcanzada en la determinación de verticalidad y redondez del tanque.

No.	PROCESO EVALUATIVO	Fecha	Desviación estándar obtenida	Desviación estándar Permisible
1	Diferencias para el rolo base a 0.3m entre radio interior calculado con las mediciones en dos momentos de tiempo desde un punto central.	22/4/2013	$\pm 2.0\text{mm}$	$\pm 5.77\text{mm}$

Tabla # 8 Errores residuales máximos y parámetros fundamentales que garantizan la Estación Total utilizada en la ejecución de los trabajos

Descripción	Parámetro
	TS-06
Distancia mínima de enfoque	2,0 m
Desviación típica horizontal y vertical (ISO 17123-3).	5"
Desviación típica modo preciso distancia (ISO 17123-4)	2mm+2ppm (sin prisma)

3.4.4 La redondez del rolo base (R Base a 0.3m) Tanque TK-62.

La redondez obtenida en el primer rolo a 1/5 de su altura presenta valores por encima del permisible, $\pm 19\text{ mm}$, principalmente en los puntos del 10° al 45° , 65° , 70° y del 340° al 345° , en el caso de los valores que se encuentran por debajo del permisible $\pm 19\text{ mm}$ están los puntos del 210° al 225° , del 240° al 265° y el 320° .

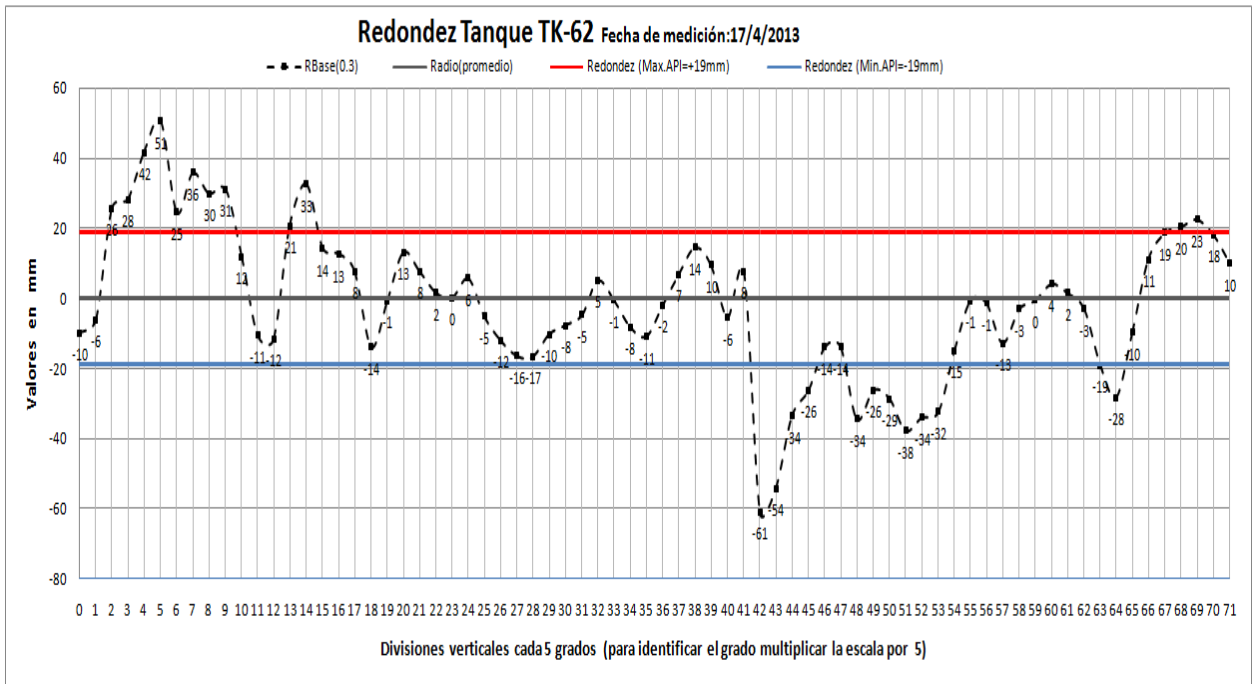


Figura 21. Gráfico de la redondez del rolo base.

3.4.5 Análisis de la Verticalidad del rolo base y el rolo 8.

La figura 22 muestra los resultados de la verticalidad entre el rolo base y el rolo 8 donde se observa que en los puntos del 330° al 55° el tanque se encuentra inclinado en dirección a su centro, los puntos del 295° al 305° y el 315° del rolo 8, los radios medidos sobrepasa el valor permisible del radio máximo, y en los puntos 350° al 20° y 135° ;140° se encuentran fuera de los valores permisible del radio mínimo.

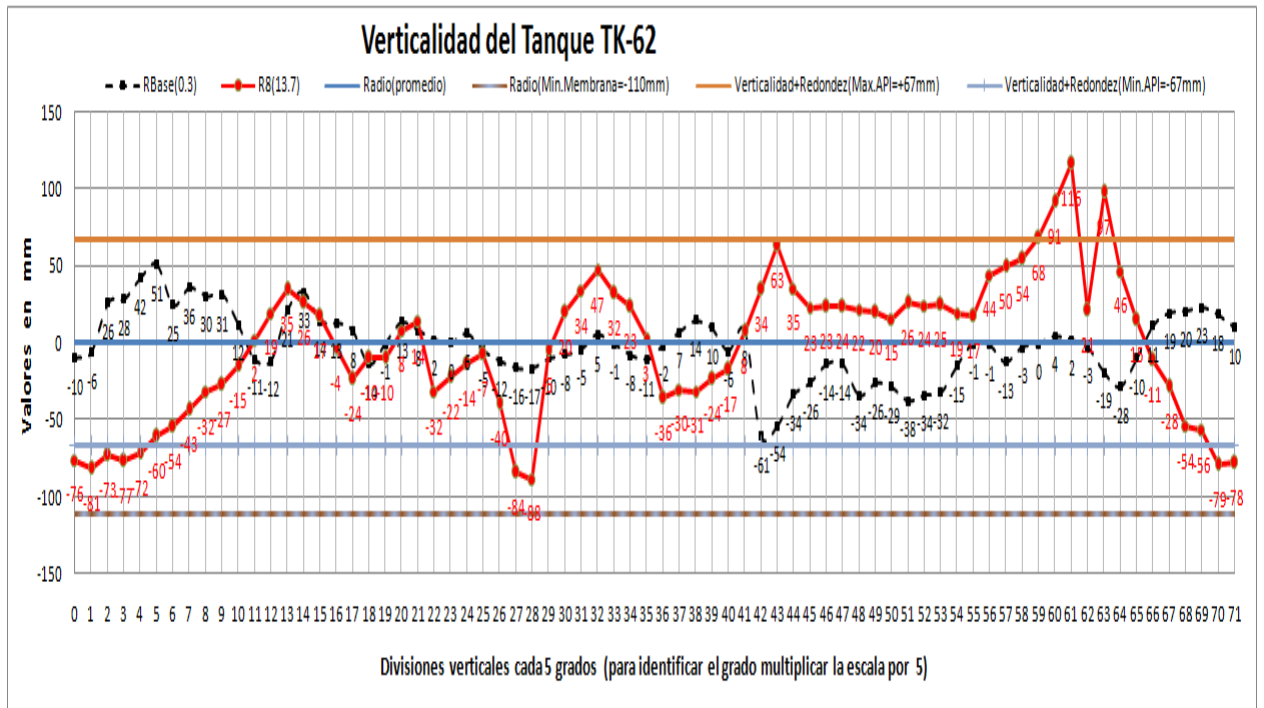


Figura 22. Gráfico de verticalidad entre el rolo base y el rolo 8.

Los perfiles verticales se realizan con el objetivo de determinar las deformaciones existentes en toda la pared del tanque, un ejemplo de estos lo podemos ver en la figura 23, los resultados de las mediciones realizadas al tanque se encuentran en el Tabla 4

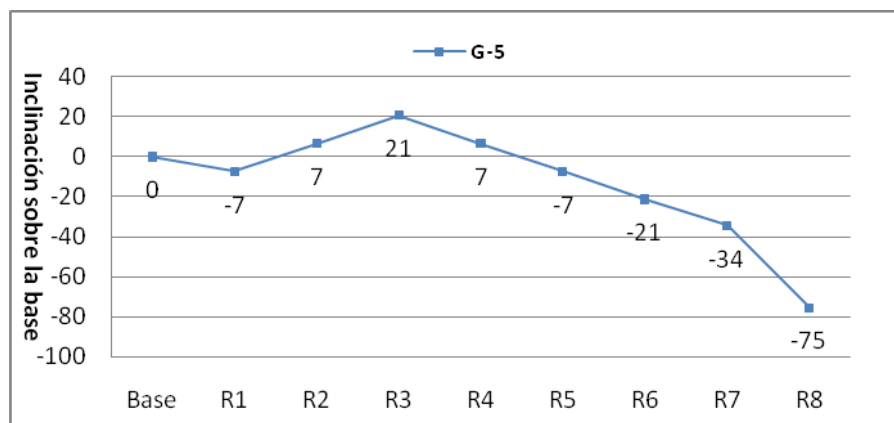


Figura 23. Perfil verticalidad del tanque en la estación 5⁰.



Según las tolerancias dimensionales definidas en la API-650, la máxima desviación de la verticalidad permisible en la parte superior de la envoltura relativa al fondo no excederá de 1/200 del total de la altura del tanque: ± 67 mm.

3.4.6 La redondez y la verticalidad del Tanque TK-62.

En las figura 24 se analiza la redondez más la verticalidad donde se observan las desviaciones en cada rolo.

Los rolos con mayores problemas son el 2, 4 ,7 y 8 donde existen puntos fuera del permisible.

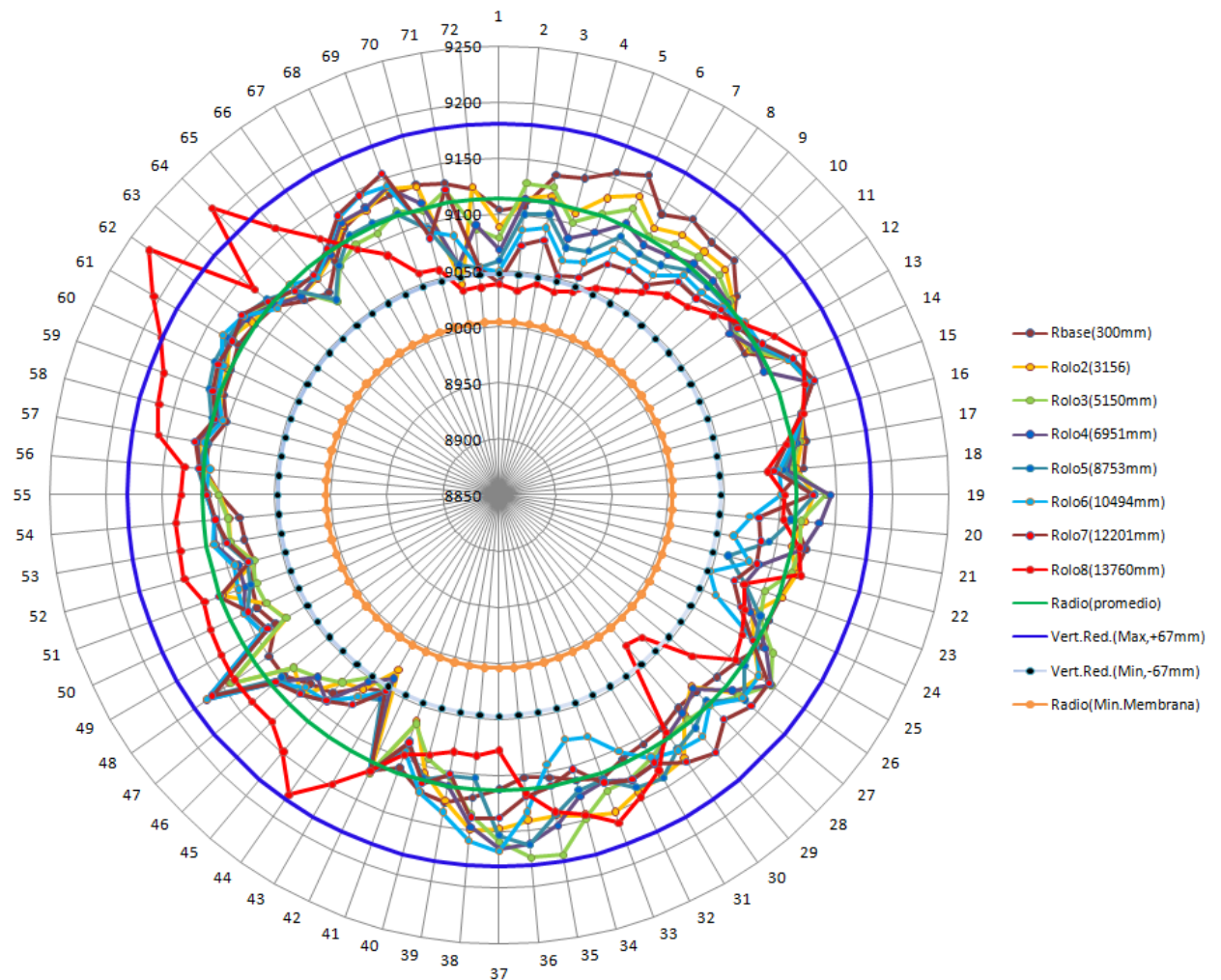


Figura 24. Gráfico de la redondez y verticalidad del tanque.



Los diámetros fueron calculados con los valores promedios del radio en cada rolo, luego de realizadas las mediciones, el diámetro interior por rolo es como sigue:

Tabla 8 Diámetro interior por rolo.

Rolos	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8
Diámetro Interior (m)	18.23	18.23	18.23	18.23	18.23	18.22	18.21	18.22

3.4.7 Nivelación del fondo del tanque.

En este estudio se ha tenido en cuenta los resultados de las investigaciones de los desniveles del fondo que ocurren bajo el perímetro de apoyo de la pared del tanque, que traen como consecuencia pandeos de la pared y concentración de esfuerzos en las juntas pared-techo-fondo, las mediciones se realizaron en sentido horario partiendo del grado 0° en la unión de la pared y el fondo, aceptando la altura sobre este como cero de referencia inicial, a partir del cual se analizan los desniveles de los demás puntos.

En correspondencia con la tolerancia definida en la API- 650 el nivel de la base con pendiente definida, debe garantizar la erección de las paredes del tanque en los límites de verticalidad establecidos, este tanque no cuenta con anillo de concreto fue construido sobre una explanación por lo que el fondo debe ser flexible en un rango que absorba las presiones y el peso del líquido, para ello se plantea que la unión del fondo interior y la pared del tanque deben estar nivelado en toda la envolvente.

El desnivel relativo entre puntos en toda la envolvente se mantiene en valores similares, no existe influencia de las deformaciones del fondo a la pared del tanque

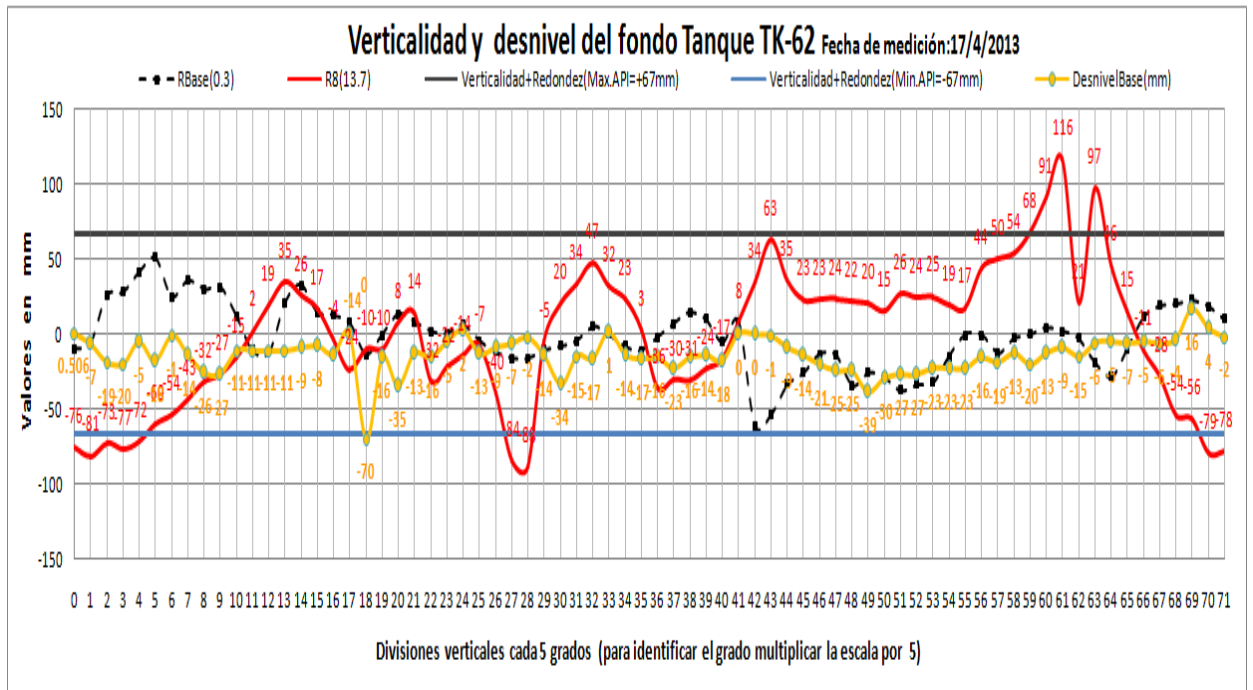


Figura 25. Gráfico de la verticalidad y desnivel del fondo del tanque.

Conclusiones parciales.

1. Los resultados obtenidos en las mediciones realizadas demuestran las deformaciones existentes en el tanque 62.
2. Se demostró que la tecnología empleada es factible para la obtención de los resultados.
3. Las mayores deformaciones del tanque se encuentran en el rolo 8.



CONCLUSIONES.

1. El análisis de los resultados obtenidos permitió elaborar un procedimiento para la determinación de los valores de verticalidad y redondez de los tanques cilíndricos verticales.
2. Se logro validar la factibilidad del procedimiento su aplicación práctica en la reparación y montaje de nuevos elementos en tanques de gran porte.
3. Se logro crear una cultura en los especialistas y técnicos de GEOCUBA y el personal encargado de la reparación de tanques, sobre el uso de las Estaciones Total en los trabajos geodésicos-ingenieros, reconociéndose por estos las ventajas que brindan.
4. El presente trabajo resulta la primera investigación de este tipo llevada a cabo en la Empresa GEOCUBA Oriente Sur, lográndose elevar la eficacia y eficiencia en el empleo de las nuevas tecnologías.
5. El procedimiento puede ser generalizado en cualquier provincia del país, así como en otros organismos e instituciones que lo necesiten para su trabajo.



RECOMENDACIONES.

1. Mantener la vigilancia tecnología sobre la actualización de las Normas API 650 y 653, realizando el análisis sobre los nuevos materiales y diseño de los depósitos de hidrocarburo que condicionan las normas y valores permisibles de deformación necesarios para la elección métodos de medición.
2. Preparar a todo el personal que se dedica a la reparación y montaje de nuevos elementos (domo y membrana) en el manejo de las tablas de cálculo e interpretación de sus gráficos.
3. Realizar un estudio más profundo de las características constructivas y la zona geológica donde se construyen los tanques de gran porte ya que este estudio no se tuvo en cuenta su interrelación y su incidencia en las deformaciones
4. Lograr mantener en el futuro la actualización del procedimiento elaborado , así como su generalización en otras empresas de reparación del país perteneciente al Ministerio de Energía y Minas.



BIBLOGRAFÍA.

- ✓ Metodología 30-27/2004 Metodología para el control de deformaciones de obras a partir de métodos geodésicos: GEOCUBA Villa Clara
- ✓ Manual de Usuario para el uso del Software Surface Mapping System 2002 v8. 0 [Consultado: 20110209]. Disponible en:
- ✓ Requisitos Técnicos principales para el uso de Taquímetros Electrónicos.[Consultado: 20110209]. Disponible en:
- ✓ Manual de empleo de la Estación Total Leica FlexLine TS-06.
- ✓ Metodología 30-29/2004 Metodología para el control geométrico de obras: GEOCUBA Villa Clara
- ✓ Norma API-650 Construcción de tanques verticales de acero para petróleo. Séptima edición, Noviembre 1980.Revisión 1, Febrero 1984. [Consultado: 20110209]. Disponible en:
- ✓ Norma API STANDARD 653 Inspección, reparación, modificación y reconstrucción de tanques verticales de acero para petróleo. Séptima edición 1984. [Consultado: 20110209]. Disponible en:
- ✓ Dr. Ricardo Olivera Rodríguez. Fundamentos del análisis o priori de la precisión de las mediciones ingeniero-geodésicas. Santa Clara. 2008.: GEOCUBA Villa Clara
- ✓ MsC. Ing. Vladimir Mederos Pérez. Procedimiento para la evaluación de la incertidumbre de calibración de tanques cilíndricos horizontales según el estándar internacional ISO 12917-1. Santa Clara, Marzo 2006.: GEOCUBA Villa Clara
- ✓ NI ISO 17123-4, 2001 Óptica e instrumentos Ópticos- Instrumentos Geodésicos, Procedimientos de campo para determinar la precisión en el terreno, cuarta parte, Distanciómetros electro-ópticos (DEO). Ginebra. Suiza.
- ✓ Norma Cubana N.C. 64-83. 1983. Sistema Internacional de Unidades. Comité Estatal de Normalización. Consejo de Estado. La Habana.
- ✓ Norma Cubana NC 330:2004. Distanciómetro electro-óptico. Método de Verificación. Oficina Nacional de Normalización. Consejo de Estado. La Habana.
- ✓ NI ISO 9849, 1991. Óptica e instrumentos ópticos. Instrumentos geodésicos. Vocabulario. Ginebra. Suiza.



- ✓ Inspección, Mantenimiento y Reparación de tanques. Ing. Profesional, Trevor Paananen. Noviembre 2007.
- ✓ Requisitos Técnicos principales para el uso de Taquímetros Electrónicos.
- ✓ Manual práctico de nivelación I, II, III, IV Orden y nivelación técnica.
- ✓ Instrucción técnica para la nivelación de I, II, III, IV ordenes del instituto cubano de Geodesia y Cartografía de 1984.
- ✓ Griffith, V. et al: Procedimiento para la confección de los Proyectos e Informes Técnicos de las producciones y servicios hidrográficos y geodésicos de interés estatal. ONHG. La Habana. 1995.
- ✓ Dr. Ricardo Olivera Rodríguez. Fundamentos del análisis o priori de la precisión de las mediciones ingeniero-geodésicas. Santa Clara. 2008.
- ✓ Ing. Alberto Diaz Machado. Errores de inventario en tanques de petróleo. Ciudad Habana, Cuba, Mayo 2005.
- ✓ MsC. Ing. Vladimir Mederos Pérez. Procedimiento para la evaluación de la incertidumbre de calibración de tanques cilíndricos horizontales según el estándar internacional ISO 12917-1. Santa Clara, Marzo 2006.
- ✓ OIML TC8/SC1/WG3/R 80-1 CD1 .Road and rail tankers. Part 1 - Technical and metrological requirements.12 January 2005.
- ✓ Laboratorios de calibración acreditados bajo la norma NMX-EC-17025-IMNC-2000 en el área: Volumen. 10 de Mayo de 2005.
- ✓ Resolución SCT N° 199/2004 (BO 07/01/2005). Reglamento sobre tanques fijos de almacenamiento. Buenos Aires, 29 de diciembre de 2004.
- ✓ OIML R117. Measuring systems for liquids other than water 1995.



Acrónimos.

MDT Modelo digital del terreno.

SE Sur-oeste.

NW Noroeste.

s.n.m.m Sobre el nivel medio del mar.

m Metro.

mm milímetro

tn Toneladas.

NC Normas cubanas.

CAD Diseños asistidos por computadoras, más conocido por sus siglas en inglés.

Est. Estacionados.

Empet Empresa de mantenimiento al petróleo (nombre de una empresa).

TK -62 Tanque 62 (nombre que caracteriza el tanque y su número)

G-240 Grado- valor (posición en la circunferencia del punto de medición)

Base Rolo base o de construcción.

R1....Rn Rolo o sección en los que se compone el tanque mediante soldadura

API Instituto Americano del Petróleo