



**Universidad
de Holguín**

FACULTAD DE INGENIERÍA

DPTO. MECÁNICA APLICADA

CÁLCULO ESTRUCTURAL POR MÉTODOS NUMÉRICOS DE UN TANQUE PARA AGUA DE 37 m³ EN LA LOCALIDAD DE CRISTINO NARANJO

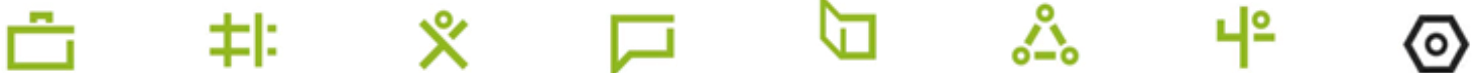
TESIS PRESENTADA EN OPCIÓN AL TÍTULO DE INGENIERO
MECÁNICO

Autora: Zunia Torres Rodríguez

Tutores: M.Sc. Ing. Pavel Michel Almaguer Zaldívar

M.Sc. Ing. José Martínez Grave de Peralta

HOLGUÍN 2019



AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a mi madre y a mi tía por haberme siempre obligado a estudiar y haberme convertido en lo que soy hoy.

A mi suegra que todo el tiempo estuvo a mi lado cuidándome a mí y a mí hijo, para poder lograr mi título de Ingeniera, que un millón de veces pensé que no podía y ella me dio fuerzas hasta el último momento.

A Dios porque da la sabiduría y de sus enseñanzas viene el conocimiento y la inteligencia. Al que tropezaba tus palabras lo levantaban y las rodillas que se doblaban las hacia firmes.

A mi esposo por haber aguantado todos estos años mis depresiones y mis malos humores cada vez que me iba un poco mal, pero aun así fin de semana por fin de semana me decía: “levántate que tienes universidad”.

A mis amigos todos y cada uno de ellos.

A Mirlenis que entre ella y yo siempre nos apoyamos moralmente y nos dimos fuerza la una a la otra.

A mis compañeros de trabajo que de una forma u otra me apañaban para poder dejar el trabajo e ir corriendo para no perder clases.

A todos los profesores que me dieron la mano y dedicaron horas para que yo entendiera durante estos seis años de carrera, incidieron profesional y humanamente en mi formación como Ingeniera.

Principalmente quiero agradecer a mis tutores Pavel Michel Almaguer Zaldívar y José Martínez Grave de Peralta por haber confiado en mí y darme su mano ayudándome a realizarme profesionalmente.

Por la dedicación; para ustedes muchas gracias y mi eterno agradecimiento.



DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mi Coquito bello, que es el amor de mi vida, el pequeñín de mamá mi amado David Alejandro Pérez Torres por el que me esfuerzo y esforzare cada día del resto de mi vida para que sienta orgullo de su mamá y que sea un niño de bien y un hombre exitoso. Con mucho amor para ti mi niño de tu mamá.



RESUMEN

En el presente trabajo se pretende dar solución a un problema existente en la localidad de Cristino Naranjo, el cual consiste en que aún no se conocen las dimensiones seguras del tanque elevado para agua en esa localidad que se ubicará sobre la estructura propuesta en investigaciones previas (Pérez, 2018).

La investigación se desarrolló con el objetivo de que se conozcan estas dimensiones, durante el procesamiento del modelo se utilizan criterios tecnológicos e investigativos, que garantizan la generación de secuencias de ensamble del tanque elevado para agua donde se verifica el dimensionamiento del mismo con una capacidad de 37 m^3 para garantizar su resistencia mecánica.

Para realizar los cálculos de los esfuerzos estáticos se utilizó la herramienta computacional de diseño *SolidWorks* y para el análisis por elementos finitos, el complemento *Simulation* como herramienta de cálculo. Se programó la ecuación fundamental de la hidrostática para el cálculo de la presión del agua.

La necesidad de la construcción de este tanque es muy importante para la localidad porque esta no cuenta con un depósito que sea capaz de satisfacer las necesidades de la población. Con la propuesta de diseño del tanque elevado para agua en la localidad de Cristino Naranjo será posible suministrarles el líquido a los habitantes del lugar y también podrá ser utilizado en cualquier otra localidad que lo necesite. Este modelo se podrá utilizar de referencia para su explotación, así como con fines docentes.



ABSTRACT

In the present work is intended to solve a problem in the Cristino Naranjo town, which is that the safe dimensions of the elevated tank for water in that locality that will be located on the structure proposed in previous investigations (Pérez, 2018). The research was developed with the aim of knowing these dimensions, during the processing of the model technological and investigative criteria are used, which guarantee the generation of assembly sequences of the elevated tank for water where the sizing of the same is verified with a capacity of 37 m³ to guarantee its mechanical strength. To perform the calculations of static stress, the SolidWorks design computational tool was used, and for the finite element analysis the Simulation complement was used. The hydrostatics principal equation was programmed for the calculation of water pressure. The need for the creation of this tank is very important for the town because it does not have a tank that is able to meet the needs of the population. With the proposed design of the elevated water tank in the Cristino Naranjo town it will be possible to supply the liquid to the people of the place and it can also be used in any other location that needs it. This model can be used as a reference for its exploitation, as well as for teaching purposes.



ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	7
1.1. Introducción al capítulo	7
1.2. Importancia del agua para la humanidad. [7], [18]	7
1.3 Tipos de tanques de almacenamiento. [23]	9
1.3.1 Tanques superficiales.	10
1.3.2 Tanques enterrados.	10
1.3.3 Tanque semienterrado.	11
1.3.4 Tanques elevados.....	12
1.3.5 Tanque de concreto reforzado	12
1.3.6. Tanques superficiales.	13
1.4 Tipos de tanques de almacenamiento según su alimentación. [23]	13
1.4.1 Tanques de cabecera.....	14
1.4.2 Tanques flotantes.....	14
1.5 Fallos estructurales en los depósitos. [15]	14
1.6 Ventajas de los tanques elevados.....	17
1.7 Ventajas y desventajas de los tanques cilíndricos.	18
1.8 Diseño de tanques elevados de acero.	18
1.9. Instalación de un tanque elevado según las condiciones del terreno.	19
1.10. Método de los Elementos Finitos	20
1.10.1 Etapas básicas del análisis de una estructura por el MEF	21
1.10.2 El método de los Elementos Finitos aplicado al análisis estructural	22
1.10.3 Aplicaciones del método de los Elementos Finitos en el análisis estructural	23
1.11. Diseño.....	25
1.11.1 Diseño en la ingeniería mecánica	26
1.11.2 Consideraciones del diseño	26
1.11.3 Diseño asistido por computadora (CAD)	27
1.12. Clasificación de los aceros.....	28
1.12.1. Ventajas del acero como material estructural.	29



1.13. La presión hidrostática de fluidos.....	29
1.13.1 Definición de fluido.....	29
1.13.2 Presión. Definición y propiedades. Instrumentos de medición de presión.	30
1.13.3 Tipos de presión.....	31
1.13.4. Instrumentos para la medición de presión. Manómetros.....	32
CAPÍTULO 2. PROPUESTA DE DISEÑO DE UN TANQUE ELEVADO PARA AGUA EN LA LOCALIDAD DE CRISTINO NARANJO.....	36
2.1 Introducción al capítulo	36
2.2. Diagnóstico del estado actual del tanque elevado para agua	36
2.3. Clasificación de los aceros según la norma AISI-SAE	36
2.3.1. Acero utilizado en la construcción del tanque para agua.	37
2.4. Propuestas de diseño de un tanque elevado para agua.	38
2.4.1 Modelo geométrico.....	39
2.4.2. Cargas y restricciones.....	42
2.4.3. Mallado.....	45
2.4.4 Análisis de los resultados.....	47
CONCLUSIONES.....	51
RECOMENDACIONES.	52
BIBLIOGRAFÍA	53
ANEXOS	56



INTRODUCCIÓN

Desde la antigüedad el suministro de agua ha jugado un papel importante en el desarrollo de la humanidad ya que el consumo de ella es de vital importancia para la vida del hombre. En la actualidad a nivel mundial los servicios rurales de suministro de agua potable se encuentran muy retrasados respecto de los servicios urbanos.

La cobertura del saneamiento en el medio rural no llega a la mitad del que se realiza en las zonas urbanas según Informe sobre Evolución Mundial del Abastecimiento de agua y el saneamiento (2000) aproximadamente 80% de las personas que viven en zonas rurales carecen del saneamiento apropiado. Las deficiencias en el abastecimiento de agua y el saneamiento tienen graves consecuencias para la salud, mientras que la mejora de ese sector reporta valiosos beneficios para el desarrollo tanto social como económico ya que ello puede reducir en un tercio la transmisión de enfermedades diarreicas.

Las zonas rurales con insuficientes recursos sanitarios, energéticos, culturales y económicos resultan las regiones más afectadas por el consumo directo del agua contaminada. Para el abasto de agua a estas regiones rurales se desarrollan proyectos, los cuales se determinan mediante un proceso inversionista, en Cuba este proceso integra las actividades y/o servicios que realizan los diferentes sujetos que participan en el mismo, desde su concepción inicial hasta la puesta en explotación según Resolución N° 91 Ministerio de Economía y Planificación (2006). A lo largo de toda la isla de Cuba existen zonas rurales donde no se cuenta con un suministro de agua por acueducto y en muchos lugares no se presenta una evacuación del residual por alcantarillado. Teniendo en cuenta que algunos territorios tienen suministro de energía eléctrica, se hace posible el abasto de agua por bombeo con sistemas de pozo-tanque elevado.

El agua es un elemento de la naturaleza, integrante de los ecosistemas naturales, fundamental para el sostenimiento y la reproducción de la vida en el planeta ya que constituye un factor indispensable para el desarrollo de los procesos biológicos que la hacen posible. Así mismo, el agua contribuye a la estabilidad del funcionamiento del entorno de los seres y organismos que en él habitan, es por tanto un elemento



indispensable para la subsistencia de la vida animal y vegetal del planeta. Es decir, que "el agua es un bien de primera necesidad para los seres vivos y un elemento natural imprescindible en la configuración de los sistemas medioambientales". En este aspecto, este líquido vital constituye más del 70% del cuerpo de la mayoría de los organismos e interviene en la mayor parte de los procesos metabólicos que se realizan en los seres vivos siendo también el hábitat de una gran variedad de ellos; además interviene de manera fundamental en el proceso de fotosíntesis de las plantas.

La falta de agua es un problema que golpea a gran parte del mundo en la actualidad. Se dice que las zonas pobres están especialmente afectadas por el faltante de suministro de agua, esta crisis se está extendiendo por el planeta y comienza a abarcar zonas que parecían estar a salvo de esta problemática hasta hace un tiempo. Sumado a ello, la contaminación por la vía de los efluentes industriales y la deforestación agudiza el problema. Tanto expertos como ciudadanos comunes coinciden en que se debe hacer algo al respecto para resolverlo.

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), las enfermedades relacionadas con la falta de agua potable son las responsables de las tres causas principales de muertes en el mundo. Se calcula que más de 9 millones de personas mueren cada año por este motivo. En las Américas, existen grandes diferencias, en cuanto al acceso al agua potable, entre un país y otro e incluso entre regiones de un mismo país. Las enfermedades relacionadas con el uso de agua incluyen aquellas causadas por microorganismos y sustancias químicas presentes en el agua, organismos que tienen parte de su ciclo de vida en el agua. Así pues, la baja calidad del agua es una grave amenaza para la salud humana. Esta situación provoca que gran cantidad de enfermedades relacionadas con la falta de acceso al agua potable, saneamiento e insalubridad perjudiquen nuestro entorno cada año mueren 5 millones de personas. Más del 90% son niños menores de 5 años. Las enfermedades relacionadas con el agua causan el 60% de la mortalidad infantil a nivel global. De esta manera, la diarrea y el paludismo ocupan el 3° y 4° lugar respectivamente entre las causas absolutas de muertes de infantes. (Fabian, Luy Mendoza, Jhosel, 2016)



Actualmente aumenta de forma creciente el déficit de agua potable en múltiples países del mundo, lo que ocasiona serias dificultades al desarrollo agrícola e industrial de los mismos y pone en peligro la propia existencia del hombre. Hoy día la única respuesta realista a este problema es forzosamente un uso racional y la protección de los recursos acuíferos de la tierra. Entre los principales consumidores de agua en el mundo se encuentran los sistemas de riego; los que en su mayoría y en el caso de Cuba todos, su explotación se realiza de forma manual, lo que implica que, por regla, no exista una adecuada correspondencia entre las demandas y las entregas. Esto se puede reflejar en unos casos con el empleo de agua en exceso con las consiguientes pérdidas de apreciables volúmenes de agua y la creación de problemas ambientales.

El abastecimiento de agua en las comunidades rurales constituye una gran necesidad para los pobladores de estas zonas, ya que este representa un elemento esencial para la vida y de su calidad depende la salud y el bienestar de las personas. Así como la cantidad disponible de este preciado líquido para poder realizar todos los servicios como el aseo, la preparación de alimentos y la limpieza. Para almacenar agua se utilizan tanques de diferentes formas y dimensiones. En la mayoría de los diseños ingenieriles se emplea en la construcción de estos tanques el acero ya que este posee características más favorables que el hormigón armado tales como el peso, alta resistencia, homogeneidad, elasticidad, precisión dimensional, ductilidad, tenacidad, rapidez de montaje, disponibilidad de secciones y tamaños.

Los metales son desde el origen de los tiempos la base de la civilización. Están presentes en las herramientas y enseres domésticos, en las viviendas y medios de transporte, e incluso en los símbolos de poder, ya sea joyas que adornan o en las armas para defendernos. Desde los tiempos prehistóricos el Hombre aprovechó los metales tal y como los encontraba en la naturaleza. En los tiempos actuales con los grandes avances en metalurgia y aplicaciones industriales, los metales son la base del progreso de la sociedad. Estos presentan una gran variedad de usos en la vida actual, todos ellos inherentes a sus propiedades físicas y químicas. Las mayores aplicaciones se encuentran en el ámbito industrial.



Se conoce que la mayor porción de la curva esfuerzo - deformación está muy por encima del límite elástico del acero. (Pérez, 2018) Los estudios realizados han demostrado que el acero tiende a resistir tensiones mucho mayores que los valores de fluencia y que en casos de sobrecargas las estructuras tienen la capacidad de repartir estas sobrecargas hacia el resto de sus elementos, gracias a la ductilidad del acero. Por lo que se hace cierto que para ciertos tipos de estructuras donde se encuentra más economía con un diseño plástico que con uno elástico.

Existen muchos problemas de gran importancia práctica, estos frecuentemente aparecen en la ingeniería como resultados de una gran complejidad matemática. La deducción de las ecuaciones diferenciales que gobiernan el problema no resulta de muy difícil solución por métodos exactos de análisis; aún después de introducir algunas hipótesis simplificadoras, no se logra sino para ciertos problemas de geometría, condiciones de contorno y/o sistemas de cargas muy particulares. Por eso, aunque ese tipo de solución es la que más información proporciona sobre el comportamiento de las variables involucradas en un problema dado, se debe recurrir a los métodos numéricos, los cuales permiten elaborar análisis de diseño con un alto grado de sofisticación y precisión.

Los métodos de elementos finitos son apenas algunos, entre una gran gama de métodos numéricos que se han venido desarrollando y usando exitosamente, en la solución de muchos problemas en distintas áreas de la ciencia. Aun cuando todos estos métodos constituyen una muy poderosa herramienta matemática, no dejan de ser métodos aproximados debiéndose tener por lo tanto un especial cuidado en su utilización, ya que la calidad de las soluciones que se obtengan dependen de varios factores, entre los cuales se pueden descartar la distribución de la discretización espacial de la región en estudio, el tipo de discretización en el tiempo en los problemas no permanentes, la aplicación propia de las condiciones de contorno y la correcta inclusión en el modelo de las propiedades físicas de los materiales que intervienen en el problema. El posicionamiento correcto de esos aspectos requiere del sentido común en algunas experiencias del analista, independientemente del método seleccionado.



En el poblado del municipio Cristino Naranjo de la provincia de Holguín, existen dificultades con el suministro de agua. Por esa causa especialistas de la empresa RAUDAL solicitaron a profesores del centro de estudios CAD/CAM el diseño de la estructura portante de un tanque elevado para agua con capacidad prevista de 37 m³. En el curso 2017–2018 se desarrolló un trabajo de diploma (Pérez, 2018) en el que se propuso el diseño de la estructura portante para ese tanque. En esa investigación se realizó el cálculo de la estructura ante la acción de las cargas estáticas, sin embargo, no se trató el dimensionamiento del tanque para garantizar su resistencia mecánica.

Problema científico: No se conocen las dimensiones seguras del tanque elevado para agua en la localidad de Cristino Naranjo que se ubicará sobre la estructura propuesta en investigaciones previas. (Pérez, 2018).

Constituyendo el **Objeto de investigación:** Tanque elevado para agua en la localidad de Cristino Naranjo y como **Campo de acción:** Propuesta de diseño del tanque para agua en la localidad de Cristino Naranjo.

Hipótesis: Con la propuesta de diseño del tanque elevado para agua en la localidad de Cristino Naranjo será posible suministrarles el líquido a los habitantes del lugar.

Teniendo como **objetivo general:** Calcular el estado tensional-deformacional de un tanque elevado para agua de 37 m³ ubicado en la localidad de Cristino Naranjo.

Como **objetivos específicos** tenemos:

1. Confeccionar la fundamentación teórico-metodológico de la investigación.
2. Caracterización de las variantes a proponer del tanque elevado para agua.
3. Proponer las dimensiones seguras del tanque elevado para agua.

Tareas de la investigación:

- Búsqueda bibliográfica acerca de las estructuras y tanques para agua.
- El método de los Elementos Finitos aplicado al análisis estructural.
- Estudiar y analizar las posibles variantes.
- Evaluar los posibles métodos para el diseño.



- Proponer el diseño del tanque para agua utilizando el software profesional *SolidWorks*.
- Elaborar el informe técnico

Métodos de investigación.

Teóricos:

Histórico-lógico: permitió conocer el estado del arte y evaluar los antecedentes del trabajo de diploma.

Inductivo-deductivo: para diagnosticar las condiciones existentes.

Análisis y síntesis: Para el estudio de fuentes de información, procesamiento de los datos de la investigación y las interpretaciones conceptuales de la fundamentación teórica.

Empíricos:

Observación científica: Para obtener el conocimiento del comportamiento del objeto de la investigación y acceder a la información directa e inmediata.

Entrevista: Para recopilar información del objeto mediante la opinión de técnicos e ingenieros.

Observación: Se realiza un prediseño del elemento para ver si cumple con los requisitos.

Consultas a expertos: para que la investigación esté dentro de los marcos más utilizados en proceso de diseño. Dieron vías de solución para el diseño del tanque para agua.

La modelación: Se utilizó el software profesional *SolidWorks*, con el cual se modeló la estructura del tanque.



CAPÍTULO 1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.

1.1. Introducción al capítulo

En este capítulo se abordan aspectos teóricos sobre la importancia del agua para la humanidad. Se muestran algunos equipos que se utilizan para el agua, su purificación entre otros. También se muestran diferentes tipos de tanques donde se comprueban las ventajas de los mismos y sus posibles fallos

Se citan algunos cálculos donde se demuestra que los elementos finitos se pueden utilizar para el cálculo de diseños de tanques. Se ejemplifica el método de los elementos finitos para el cálculo para el mismo y se exponen algunos mecanismos de fallo.

1.2. Importancia del agua para la humanidad. [7], [18]

El agua no es otra cosa que dos moléculas de hidrógeno con una molécula de oxígeno. Así de simple, pero a la vez así de complicado. Se trata de uno de los elementos más esenciales para la salud, tanto del planeta, como de los animales que lo pueblan, y que resulta fundamental en la supervivencia del ser humano.

El agua no solo es importante como recurso vital sino también como recurso económico e industrial, ya que se usa en una gran variedad de sustancias químicas. El consumo doméstico absorbe innumerables actividades industriales, supone un consumo elevado y casi siempre resulta contaminada. Se estima que aproximadamente el 70 % del agua dulce se destina a la agricultura. El agua en la industria absorbe una media del 20 % del consumo mundial, empleándose en tareas de refrigeración, transporte y como disolvente el 10 % restante.

El agua es esencial para la mayoría de las formas de vida conocidas por el hombre, incluida la humana. El acceso al agua potable se ha incrementado durante las últimas décadas en la superficie terrestre. Sin embargo, estudios de la FAO estiman que uno de cada cinco países en vías de desarrollo tendrá problemas de escasez de agua antes del 2030; en esos países es vital un menor gasto de agua en la agricultura modernizando los sistemas de riego. Durante años es utilizada para la generación de energía eléctrica. La hidroelectricidad es la que se obtiene a través de



la energía hidráulica. La energía hidroeléctrica se produce cuando el agua embalsada previamente en una presa cae por gravedad en una central hidroeléctrica, haciendo girar en dicho proceso una turbina engranada a un alternador de energía eléctrica. Este tipo de energía es de bajo coste, no produce contaminación, y es renovable. El agua es fundamental para varios procesos industriales y maquinarias, como la turbina de vapor, el intercambiador de calor, y también su uso como disolvente químico. El vertido de aguas residuales procedentes de procesos industriales causa varios tipos de contaminación como: la contaminación hídrica causada por descargas de solutos y la contaminación térmica causada por la descarga del refrigerante.

Otra de las aplicaciones industriales es el agua presurizada, la cual se emplea en equipos de hidrodemolición, en máquinas de corte con chorro de agua, y también se utiliza en pistolas de agua con alta presión para cortar de forma eficaz y precisa varios materiales como acero, hormigón, hormigón armado, cerámica, etc. El agua a presión también se usa para evitar el recalentamiento de maquinaria como las sierras eléctricas o entre elementos sometidos a un intenso rozamiento.

La vida en la Tierra siempre ha dependido del agua. El agua constituye más del 80% del cuerpo de la mayoría de los organismos, e interviene en la mayor parte de los procesos metabólicos que se realizan en los seres vivos. Desempeña de forma especial un importante papel en la fotosíntesis de las plantas y, además, sirve de hábitat a una gran parte de los organismos.

Es un deber de todos cuidar nuestros recursos hidrológicos, así como crear la conciencia de que el agua es uno de los recursos más preciados de la naturaleza, por el papel que desempeña en la vida de todos los seres vivos.

Podemos conservar el agua de la siguiente manera:

- Utilizar la manguera solo si es necesario para limpiar un área y no dejarla abierta todo el tiempo ni usarla como escoba. Controla el agua que sale con un pistero.



- Lavar los platos sin dejar la llave abierta todo el tiempo y no uses demasiado detergente. Raspar bien las ollas y platos antes de fregarlos y consumirás menos agua.
- Al lavarte los dientes o afeitarte, cierra la llave del lavamanos, de forma que el agua no se desperdicie.
- Revisa si las tuberías del baño gotean y corrígelas rápido.
- En la bañera mientras te enjabonas, cierra la llave para economizar agua. Al ducharnos usamos menos agua que al llenar la bañera.
- Si puedes, usa el agua del enjuague final de la lavadora para regar las plantas.
- Lava el auto sobre el césped y la tierra aprovechará el agua.
- Recoge agua de lluvia y utilízala para regar las plantas y lavar el auto.
- Nunca deje los grifos de agua abiertos en el caso que no haya servicio.

Es indispensable en la vida diaria para:

- Uso doméstico: en la casa para lavar, cocinar, regar, lavar ropa, etc.
- Uso industrial: en la industria para curtir, fabricar alimentos, limpieza, generar electricidad, etc.
- Uso agrícola: en la agricultura para irrigar los campos.
- Uso ganadero: en la ganadería para dar de beber a los animales domésticos.

1.3 Tipos de tanques de almacenamiento. [23]

Los tanques son estructuras cuya función primordial es almacenar algún líquido. De acuerdo con su posición relativa al terreno, este tipo de depósitos pueden clasificarse como enterrados, superficiales y elevados.

Los tanques de almacenamiento son estanques de agua o de cualquier otro líquido que se pueden encontrar por encima del nivel del terreno natural o por debajo, los que se encuentran por encima son soportados por columnas pilotes o por paredes.



Estas estructuras desempeñan un rol importante en los sistemas de distribución y almacenamiento de agua, tanto desde el punto de vista económico, así como del funcionamiento hidráulico del sistema y del mantenimiento de un servicio eficiente.

1.3.1 Tanques superficiales.

Los tanques superficiales se construyen directamente apoyados sobre la superficie del suelo. Por lo general, se utilizan este tipo de tanques, cuando el terreno sobre el que se va a desplantar tiene la capacidad necesaria para soportar las cargas impuestas, sin sufrir deformaciones importantes. Resulta conveniente, en caso necesario, disponer de cierta altura para la descarga del líquido, a fin de disponer de una carga de presión hidrostática adecuada. Los tanques superficiales tienen la ventaja de que su mantenimiento es más sencillo de efectuar, también es más sencilla la instalación, operación y mantenimiento de las tuberías de entrada y de salida.

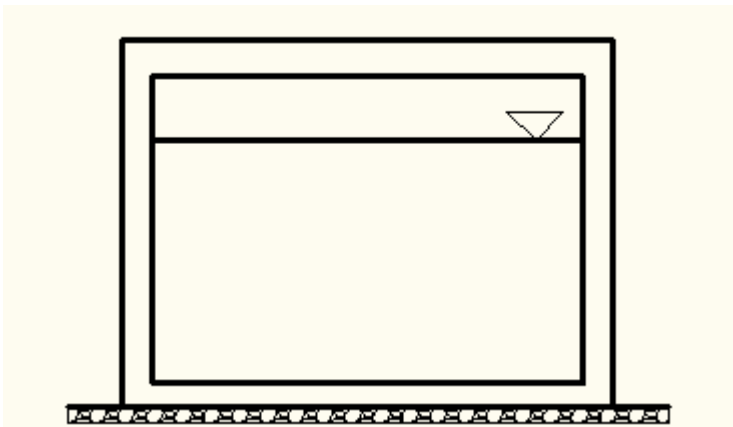


Figura 1.1. Tanque superficial. (Fuente: Onofre Ledesma, Eduardo Ulises, 2014)

1.3.2 Tanques enterrados.

Los tanques enterrados se construyen totalmente bajo la superficie del terreno. Se emplean cuando el terreno de desplante es adecuado para el funcionamiento hidráulico de la red de distribución y cuando es necesario excavar hasta encontrar un estrato de soporte más resistente. Tienen la ventaja de conservar el agua a resguardo de las grandes variaciones de temperatura; no alteran el paisaje y sus cubiertas pueden utilizarse para las más diversas funciones, tales como: áreas verdes, canchas de juego para básquetbol, tenis, etc.; e incluso como helipuertos. Sus



inconvenientes son el tener que efectuar excavaciones costosas, la dificultad de observar y mantener las instalaciones de conexión del abastecimiento y la red de distribución, así como, la dificultad para descubrir las posibles filtraciones y fugas del líquido

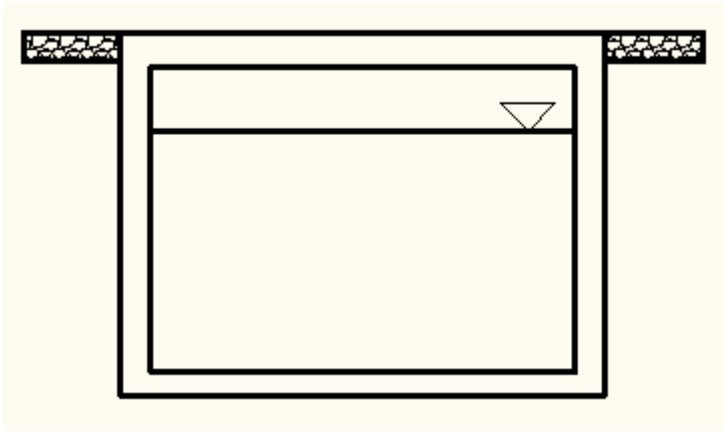


Figura 1.2. Tanque enterrado (Fuente: Onofre Ledesma, Eduardo Ulises, 2014)

1.3.3 Tanque semienterrado.

Los tanques semienterrados, son una porción de la construcción se encuentra bajo el nivel del terreno y otra parte sobre éste, como se muestra en la figura siguiente.

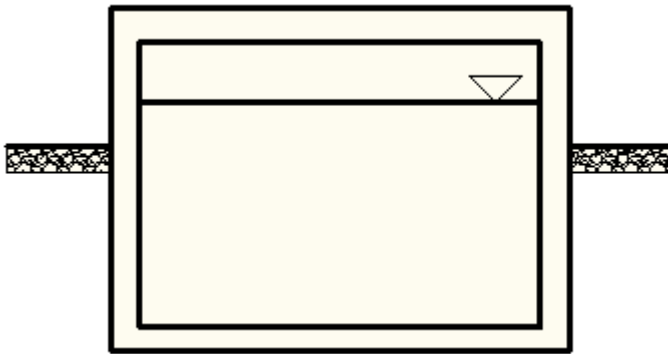


Figura 1.3. Tanque semienterrado. (Fuente: Onofre Ledesma, Eduardo Ulises, 2014)

La construcción de este tipo de depósito está definida por razones de topografía o cuando el costo de la excavación es alto, debido a que ésta no se justifica por su localización desventajosa o por razones de geotecnia. De no observarse ambos factores, el resultado final sería el costo elevado de la construcción. Por otra parte, permiten un acceso a las instalaciones más fácilmente que el de los depósitos totalmente enterrados.



1.3.4 Tanques elevados.

Los tanques elevados se emplean cuando la topografía del terreno es plana. se pueden construir de concreto o de acero cuando se necesita altura para darle presión al agua y lograr su distribución. Son de diferentes tamaños dependiendo del volumen que almacenarán y esto condicionará su forma. En la figura siguiente se muestra un ejemplo de tanque elevado.

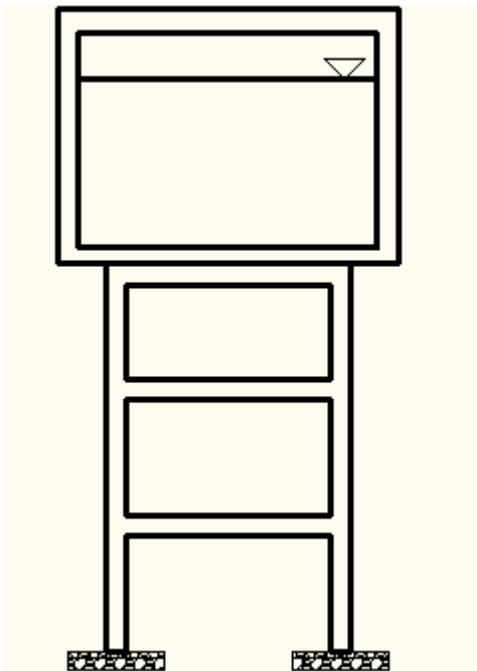


Figura 1.4 Tanque elevado. (Fuente: Onofre Ledesma, Eduardo Ulises, 2014)

1.3.5 Tanque de concreto reforzado

Muchas son las ventajas que tienen los tanques de concreto reforzado sobre otros materiales, algunas son la impermeabilidad que por sí misma contiene el concreto bien dosificado y compactado; requiere un mantenimiento mínimo, posee una gran resistencia al ataque de los agentes químicos y a la exposición a la intemperie por mencionar algunas. Sin embargo, la impermeabilidad de los depósitos se ve afectada por la secuencia de la construcción, así como la ubicación y el detallado de las juntas.



Figura 1.5. Tanque de concreto reforzado. (Fuente: Pérez Arbella, O. 2018)

1.3.6. Tanques superficiales.

Estos se encuentran contruidos a nivel de terreno. Es uno de los más comunes que se construyen siempre y cuando cuenten con una topografía adecuada. Así mismo, se operan adhiriéndoles a estos sistemas de bombeo, que permiten darle más dinámica al agua que se suministra. Su mayoría son de concreto reforzado.



Figura 1.6. Sistema de bombeo en un tanque superficial. (Fuente: Pérez Arbella, O. 2018)

1.4 Tipos de tanques de almacenamiento según su alimentación. [23]

Considerando el tipo de alimentación de los tanques elevados podemos mencionar dos tipos:

1.4.1 Tanques de cabecera.

Se alimentan directamente de la fuente o planta de tratamiento mediante gravedad o bombeo. Causa una variación relativamente grande de la presión en las zonas extremas de la red de distribución.

1.4.2 Tanques flotantes.

Se ubican en la parte más alejada de la red de distribución con relación a la captación o planta de tratamiento, se alimentan por gravedad o por bombeo.

Almacena agua en las horas de menor consumo y auxilian el abastecimiento de la ciudad durante las horas de mayor consumo.

La Organización Panamericana de la Salud en el año 2005, a través de los profesionales de Lima, Perú han demostrado que estos tanques tienen un funcionamiento hidráulico deficiente, ya que, dada las condiciones de operación de la red de distribución, durante el día no se llenan más que en la noche, incumpliendo su rol de regulador de presión. Por este motivo no es recomendable su empleo en el área rural.

1.5 Fallos estructurales en los depósitos. [15]

La importancia de un correcto estudio del diseño de depósitos de almacenamiento reduce la cantidad de fallos de estas estructuras. Los principales factores que causan daños en tanques son: corrosión en tanques de acero, deterioro de paredes en tanques de hormigón, variaciones de carga durante el llenado y la descarga, explosión del producto contenido, colapso interno estructural, formación de grietas por limitadas inspecciones al material, fallo en las uniones mecánicas y soldaduras, elevadas presiones de cimentación o condiciones del suelo no uniformes.

A continuación, imágenes sobre fallos graves en depósitos donde explica la razón principal y como se hubiera podido evitar.





Figura 1.7. Fallo por falta de soldadura. (Fuente: González Dorta, Davinia, 2018)

El fallo del tanque representado en la figura 1.7 se debió al plegado del cuerpo debido a vientos débiles. La razón fundamental fue la falta de soldadura en la base. Esto era posible prevenirlo con un correcto diseño de la junta e inspecciones periódicas



Figura 1.8 Fallo por dimensionamiento incorrecto. (Fuente: González Dorta, Davinia, 2018)

El fallo del tanque presentado en la figura 1.8 sucedió por el pandeo del depósito y rotura con expulsión de producto. La razón fundamental fue un dimensionamiento de cargas incorrecto. Esto se podía evitar si se hubiera propuesto un correcto cálculo del diseño



Figura 1.9 Fallo por pequeños movimientos de tierra. (Fuente: González Dorta, Davinia, 2018)

La estructura presentó fallos en grietas con filtrado de líquidos. La razón fundamental por la que ocurrió esto fue por pequeños movimientos de tierra. Para prevenir esto se debían revisar las grietas periódicamente y sellarlas forrando el tanque interiormente



Figura 1.10 Fallo por corrosión. (Fuente: González Dorta, Davinia, 2018)

Este tanque presentó fallo en la evacuación del producto la razón que ocasionó la misma fue la corrosión esta se podía haber evitado con la eliminación del área corroída y elegir un material adecuado para el producto contenido



Figura 1.11 Fallo por terremoto. (Fuente: González Dorta, Davinia, 2018)

Esta estructura de tanque falló por elevamiento de la base la razón fue un terremoto. Para prevenir el mismo se debió realizar un correcto cálculo del diseño

1.6 Ventajas de los tanques elevados

Los tanques de agua elevados, al estar elevados brindan presión al agua. La gravedad permite al agua para que salga con presión a través de las tuberías. De esta forma el agua puede recorrer el sistema a alta velocidad y le dé la fuerza suficiente para que el agua llegue a los hogares, aunque estén a varios kilómetros de distancia. Los tanques elevados de agua son más seguros ya que es más difícil llegar a ellos si están altos. Esto evita que alguien pueda contaminarlos. Suspender los tanques previene ciertos riesgos como el que un automóvil o camión puedan embestirlos directamente. Los tanques elevados de agua al tener su propia presión ahorran energía ya que no es necesario bombear el agua del tanque hacia los hogares. Solo es necesario bombear el agua al tanque únicamente permitiendo esto un ahorro considerable de energía comparado con otro sistema de almacenamiento de agua que este al ras del suelo.



1.7 Ventajas y desventajas de los tanques cilíndricos.

Tienen la ventaja estructural que las paredes están sometidas a esfuerzos de tensión simple, por lo cual requieren menores espesores, pero tienen la desventaja de costos elevados de encofrado. Las losas de fondo y tapa, las cuales pueden ser planas o en forma de cúpula, se articulan a las paredes. Esta es la forma más recomendable para los reservorios en las zonas rurales, presentándose dos casos: - Si la capacidad del reservorio es menor o igual a $50m^3$, es recomendable que la tapa y losa de fondo sean planas. - Para una capacidad mayor a $50m^3$, debido a un mejor comportamiento estructural, es recomendable que la tapa y la losa sean semiesféricas

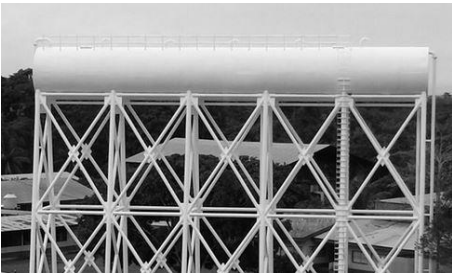


Figura 1.12 Tanque cilíndrico. . (Fuente: Pérez Arbella, O. 2018)

1.8 Diseño de tanques elevados de acero.

En el diseño de tanques elevados que generalmente son de acero debe considerarse lo siguiente.

- El nivel mínimo de agua en el tanque debe ser capaz de lograr presiones adecuadas en la red de distribución.
- Se debe emplear la misma tubería de entrada y salida del agua, en el caso que el sistema fuese del tipo fuente-red-tanque.
- La tubería de rebose descargara libremente sobre una plancha de concreto para evitar la erosión del suelo.
- Se instalarán válvulas de compuertas en todas las tuberías, exceptuando la de rebose y se recomienda que todas las válvulas y accesorios sean tipo brida.

- Debe considerarse los demás accesorios como: escaleras, dispositivos de ventilación, acceso con su tapadera, indicador de niveles y en casos especiales una luz roja para prevenir accidentes aéreos en vuelos nocturnos.
- Las escaleras exteriores deben tener protección adecuada y se diseñan dispositivos que permitan controlar el nivel máximo y mínimo del agua en el tanque.

1.9. Instalación de un tanque elevado según las condiciones del terreno.

Para determinar qué tipo y sitio del tanque de almacenamiento que se tiene que construir debemos tomar en cuenta la disponibilidad de materiales en la zona, las condiciones de topografía y de geotecnia, la disponibilidad del terreno y las líneas de conducción y redes de distribución, tanto existentes como de proyecto. Es muy importante tomar esto en cuenta porque de ello dependerá la funcionalidad operativa del mismo y la inversión que se debe poner para su construcción.

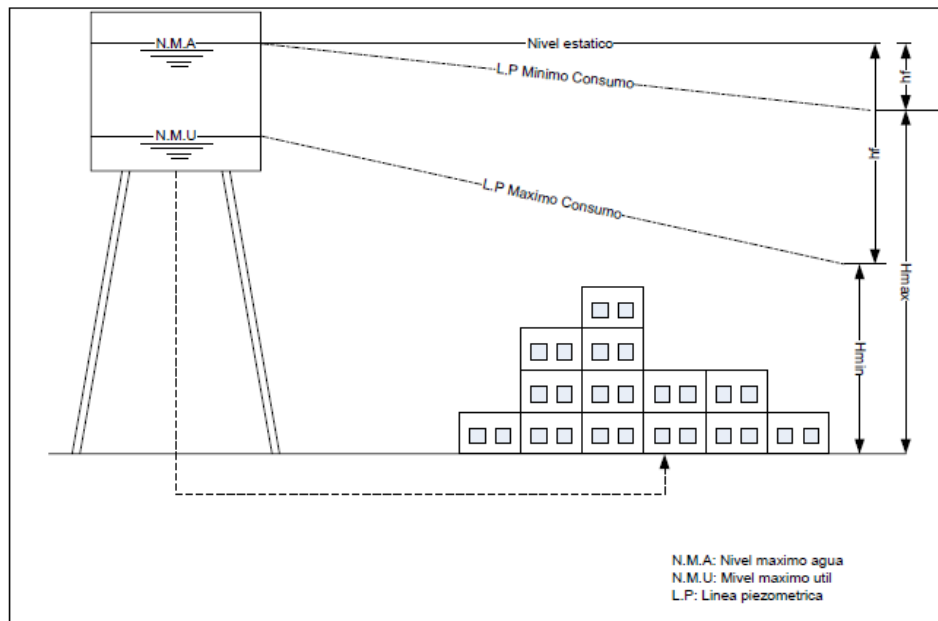


Figura 1.13. Instalación de un tanque elevado según las condiciones del terreno. Diseño de tanques elevados basado en la guía para el diseño de reservorios elevados de agua potable, Organización Panamericana para la salud (Fuente: Paniagua Martín, 2009)

1.10. Método de los Elementos Finitos.

El Método de los Elementos Finitos ha demostrado las amplias posibilidades que posee como herramienta para la solución de problemas de ingeniería y para el análisis de problemas de investigación. Como resultado de ello su empleo tiene una gran difusión en la comunidad de ingenieros, tanto en centros de estudio como en centros de investigación y en empresas de producción, (Pérez, 2018).

Esta circunstancia obligaba a realizar prototipos, ensayarlos e ir realizando mejoras de forma iterativa, lo que traía consigo un elevado coste tanto económico como en tiempo de desarrollo.

El MEF permite realizar un modelo matemático de cálculo del sistema real, más fácil y económico de modificar que un prototipo. Sin embargo, no deja de ser un método aproximado de cálculo debido a las hipótesis básicas del método. Los prototipos, por lo tanto, siguen siendo necesarios, pero en menor número, ya que el primero puede acercarse bastante al diseño óptimo. El método de los elementos finitos como formulación matemática es relativamente nuevo, aunque su estructura básica es conocida desde hace bastante tiempo, en los últimos años ha sufrido un gran desarrollo debido a los avances informáticos.

Para entender la esencia del Método de Elementos Finitos, debemos comprender que vivimos en una realidad con medios continuos en tres dimensiones.

El principal objetivo de un ingeniero es siempre analizar la realidad para extraer la información más relevante y crear un modelo de cálculo que le permita trabajar. Todo modelo de cálculo se basa en una serie de hipótesis que permiten simplificar el objeto de estudio sin alejarse excesivamente de la realidad. Hasta hace relativamente pocos años, estábamos limitados por el número de variables y elementos que podíamos incluir en un modelo porque no disponíamos de las herramientas de cálculo necesarias. Con la llegada de los ordenadores esto cambió.

El principal inconveniente de los modelos con elementos discretos es la limitación en la representación de la realidad. El MEF es una herramienta de cálculo que permite representar la totalidad de un medio continuo, agrupando partes con propiedades y



características similares en elementos de tamaño variable. Este incremento de elementos representados en el modelo, y la variabilidad de su tamaño, permite el uso de ecuaciones diferenciales asociadas al problema en cuestión, reduciendo en gran medida la pérdida de información al generar el modelo de cálculo. Es por esto que podemos afirmar que el método de los elementos finitos ha significado un gran avance en el mundo de la ingeniería. (Fuente: Portabella, 2014)

1.10.1 Etapas básicas del análisis de una estructura por el MEF.

El cálculo de una estructura por el método de los elementos finitos sigue las siguientes etapas:

Etapá 1: Selección de un modelo matemático apropiado y definición de las propiedades mecánicas.

Etapá 2: Preproceso, discretización de la estructura en elementos finitos y representación gráfica de la malla.

Etapá 3: Obtención de las matrices de rigidez $K^{(e)}$ y vectores de cargas $f^{(e)}$ para cada elemento.

Etapá 4: Ensamblaje de las matrices de rigidez y vectores de cargas elementales en la matriz de rigidez global K y el vector de cargas f , respectivamente.

Etapá 5: Resolución del sistema de ecuaciones $K \cdot a = f$. Se puede utilizar cualquier método para obtener los desplazamientos en todos los nodos (a).

Etapá 6: Cálculo de deformaciones y tensiones en cada elemento, y obtención de las reacciones en los nodos con prescripción de movimientos.

Etapá 7: Implementación en ordenador del MEF. Las etapas 3 a 6 requieren una herramienta de cálculo potente.

Etapá 8: Postproceso, interpretación y presentación de los resultados.

Etapá 9: Estudio de los resultados y modificaciones al respecto. Si, una vez terminado el proceso, el analista cree que alguno de las etapas anteriores tiene algún error, ya sea por mala elección de la teoría de cálculo, una malla inapropiada o



cualquier otro aspecto, éste puede hacer las modificaciones pertinentes y repetir los pasos que sigan hasta regresar a la etapa final.

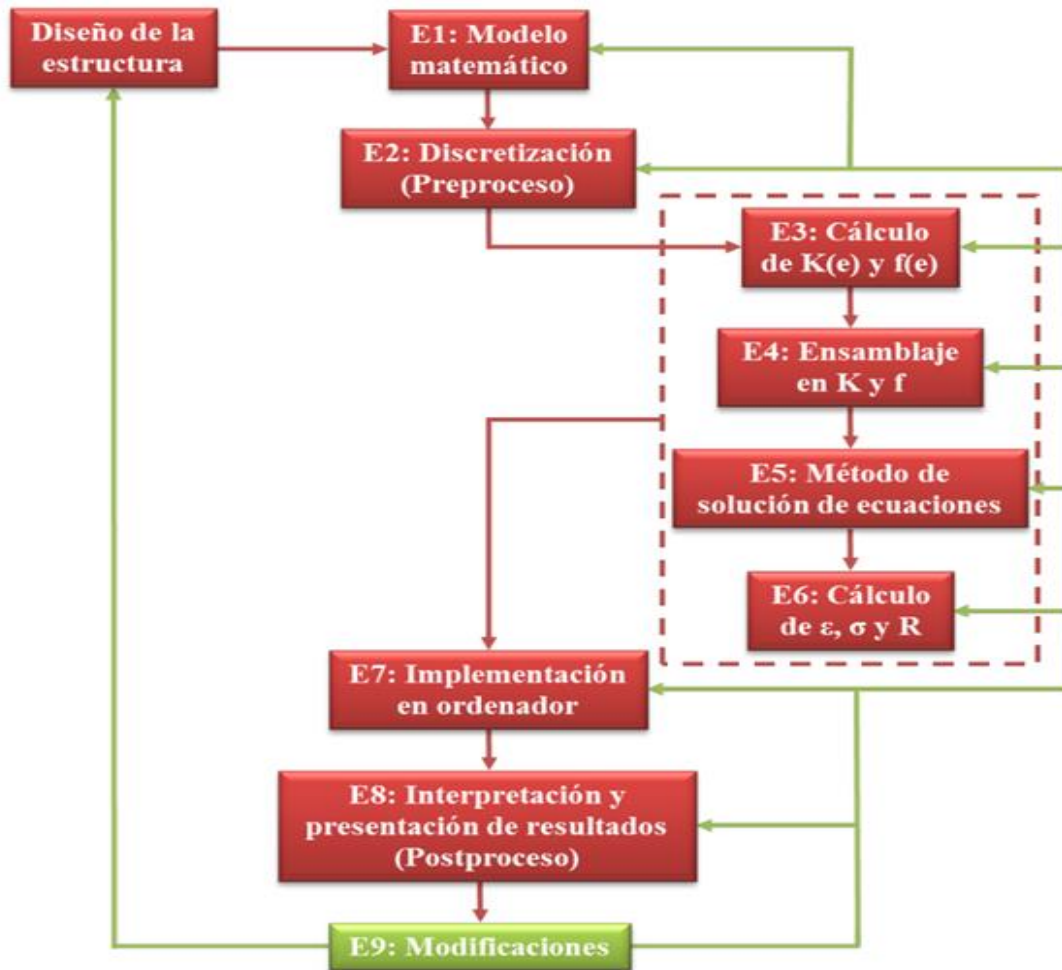


Figura 1.14 Organigrama del análisis de una estructura por el método de elementos finitos. (Portabella ,2014)

1.10.2 El método de los Elementos Finitos aplicado al análisis estructural.

La ingeniería estudia muchos fenómenos físicos que pueden ser modelados matemáticamente con relativa precisión mediante el uso de ecuaciones diferenciales. Éstas, por lo general, son de difícil solución analítica mediante los métodos clásicos. El MEF permite una evaluación aproximada de las ecuaciones diferenciales que modelan cualquier fenómeno físico (Chandrupatla, Tirupathi, 1999; Angulo, A, 2011). Algunos de los problemas que abarcan el método, están relacionados con el análisis

de esfuerzos, flujos de materia, transferencia de calor y dinámica aplicada, entre otras áreas.

La solución de problemas de sistemas estructurales es la aplicación más común hoy en día, en el mercado existen varios software especializados íntegramente en este campo. Con el uso de estos, el diseñador puede reducir significativamente el tiempo que invierte en el análisis, además de optimizar los resultados finales.

La característica principal del MEF es que descompone la región de análisis (aquella donde se cumplen las ecuaciones diferenciales) en partes pequeñas de determinada geometría, denominadas elementos finitos, de manera que la precisión del método depende directamente del número de elementos. La agrupación de todos los elementos de una región es denominada 'malla'. La aproximación de cada elemento es usualmente polinomial (lineal, cuadrática, cúbica, etc.), esto depende de cómo cambie la variable en estudio. Por ejemplo, para un problema de transferencia de calor, la variable es la temperatura. Por lo tanto, esta aproximación es un tipo de interpolación sobre cada elemento, donde se asume que la variable es conocida en determinados puntos de éste, denominados 'nodos', localizados en la periferia del elemento (Chandrupatla, Tirupathi, 1999; Angulo, 2011). Finalmente, todos los fenómenos físicos son sistemas continuos, es decir, poseen un número infinito de soluciones, en contraste a uno discreto que tiene un número finito de soluciones. Precisamente, el objetivo del uso del método es llegar a conocer la respuesta o el comportamiento de un sistema continuo a partir de la discretización de éste, con cierta aproximación. Las tecnologías de simulación numéricas son hoy día un complemento indispensable ya que permiten minimizar actividades costosas en tiempo y dinero, disminuir el riesgo de las decisiones tempranas y explorar un amplio campo de posibles soluciones (González, Fernández, V.; Rodríguez, Madrigal, M.; Veliz, Marrero, L. M.; Delvía, Jiménez, C.; Delgado, Peña, Y, 2005).

1.10.3 Aplicaciones del método de los Elementos Finitos en el análisis estructural.

Uno de los eventos más tristemente recordado fue el Huracán Michelle que cruzó la isla de Cuba en el mes de noviembre de 2001, azotando con vientos de gran fuerza



de hasta 225 kilómetros. Entre las mayores afectaciones que se produjeron fue la caída de la torre de 75 metros de altura y 15 toneladas de peso que transmite la señal de televisión nacional, radio y teléfonos desde Matanzas hasta Guantánamo, el golpe llegó a otras nueve torres de transmisión de señales. Se interrumpieron casi 13 000 teléfonos y aproximadamente 1 500 postes se destruyeron y otra cantidad se doblaron. Esta ha sido la mayor afectación en Cuba en la historia de las telecomunicaciones. En el trabajo presentado por Luisa María Véliz Marrero en la 16 Convención Científica de Ingeniería y Arquitectura, en La Habana se evalúa de forma cuantitativa la vulnerabilidad estructural de dos torres de telecomunicaciones para todas las categorías de eventos que, como resultado de un análisis de peligros se determina que pueden afectarlas, independientemente de las condiciones de diseño establecidas. Esta evaluación se realiza por el Método de los Elementos Finitos y se dan criterios para el reforzamiento, de sus elementos o la sustitución de la instalación por otras que resistan al menos la presión básica para la zona del país donde están ubicadas y posibilite el cumplimiento de la función para lo cual se diseñaron (Véliz, Marrero, 2012).

En el 7º Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica en México, se presentó un trabajo relacionado con el análisis de una torre de telecomunicaciones con sus antenas (parábolas), utilizándose el MEF. La propuesta de este estudio es simular las condiciones de trabajo particulares de estructuras metálicas en forma de torres de comunicaciones, para entonces predecir su comportamiento para condiciones límites de carga de acuerdo con la zona en que se encuentra ubicada dicha estructura. El análisis se lleva a cabo a partir del conocimiento de las fuerzas que genera un evento meteorológico para una torre de dimensiones, material y aditamentos conocidos, la cual fue modelada con el software de diseño en 3D SolidWorks, analizándose con el Método de los Elementos Finitos (Campos R. Rolando, 2005).

Otra de las aplicaciones del MEF, pero dirigida al análisis de frecuencia se muestran en un trabajo del 7º Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica en México, donde se estudiaron los primeros cuatro modos transversales naturales de vibración de una viga de perfil tipo I sometida a diferentes condiciones de empotramiento. Los resultados se obtuvieron analíticamente, experimentalmente y numéricamente, esto



último con paquetes comerciales de elemento finito (Patran™ y Abaqus™). Se hizo una comparación de las diferentes técnicas empleadas, y un análisis de las ventajas del MEF (Campos R. Rolando, 2005).

En la 16 Convención Científica de Ingeniería y Arquitectura de La Habana se analizaron las torres de transmisión eléctrica de estructuras de acero, que se utilizan para dar soporte a los cables conductores y protectores de la red de energía eléctrica nacional. En Cuba los fallos en esta tipología estructural son frecuentes debido a la incidencia de fuertes vientos huracanados. La investigación realizada traslada su atención, al tema del análisis estructural de las torres de celosías tipo SS1 de 39 metros de altura y sección rectangular de las líneas de transmisión eléctrica de 220 kV, bajo la acción de vientos huracanados utilizando como técnica de análisis el programa de análisis estructural SAP 2000 (Carrasco, Luzardo, Abel; Elena, Parnás, Vivian B, 2012).

1.11. Diseño.

Diseñar es formular un plan para satisfacer una necesidad específica o resolver un problema. Si el plan resulta en la creación de algo físicamente real, entonces el producto debe ser funcional, seguro, confiable, competitivo, útil, que pueda fabricarse y comercializarse.

El diseño es un proceso innovador y altamente iterativo. También es un proceso de toma de decisiones. Algunas veces éstas deben tomarse con muy poca información, en otras con apenas la cantidad adecuada y en ocasiones con un exceso de información parcialmente contradictoria. Algunas veces las decisiones se toman de manera tentativa, por lo cual es conveniente reservarse el derecho de hacer ajustes a medida que se obtengan más datos. Lo importante es que el diseñador en ingeniería debe sentirse personalmente cómodo cuando ejerce la función de toma de decisiones y de resolución de problemas.

El diseño es una actividad de intensa comunicación en la cual se usan tanto palabras como imágenes y se emplean las formas escritas y orales. Los ingenieros deben comunicarse en forma eficaz y trabajar con gente de muchas disciplinas. Éstas son habilidades importantes y el éxito de un ingeniero depende de ellas.



Las fuentes personales de creatividad de un diseñador, la habilidad para comunicarse y la destreza para resolver problemas están entrelazadas con el conocimiento de la tecnología y sus principios fundamentales. Las herramientas de la ingeniería (como las matemáticas, la estadística, la computación, las gráficas y el lenguaje) se combinan para producir un plan, que cuando se lleva a cabo crea un producto funcional, seguro, confiable, competitivo, útil, que se puede fabricar y comercializar, sin importar quién lo construya o lo use.

1.11.1 Diseño en la ingeniería mecánica.

El diseño mecánico es el diseño de objetos y sistemas de naturaleza mecánica: máquinas, aparatos, estructuras, dispositivos e instrumentos. En su mayor parte, el diseño mecánico hace uso de las matemáticas, la ciencia de los materiales y la ciencia mecánica aplicada. El diseño en ingeniería mecánica incluye el diseño mecánico, pero es un estudio de mayor amplitud que abarca todas las disciplinas de la ingeniería mecánica, incluso las ciencias térmicas y de los fluidos. Aparte de las ciencias fundamentales que se requieren, las bases del diseño en ingeniería mecánica son las mismas que las del diseño mecánico.

1.11.2 Consideraciones del diseño.

A veces la resistencia de un elemento en un sistema es un asunto muy importante para determinar la configuración geométrica y las dimensiones que tendrá dicho elemento. En tal caso se dice que la resistencia es un factor importante de diseño. Cuando se usa la expresión consideración de diseño se está refiriendo a una característica que influye en el diseño de un elemento o, quizá, en todo el sistema. Generalmente se tienen que tomar en cuenta, varios de estos factores en un caso de diseño determinado.

Las cargas aplicadas a las piezas de máquinas y las tensiones en ellas, como es sabido, pueden ser continuas y variables en el tiempo. Los cálculos de resistencia se llevan a cabo partiendo de las tensiones nominales admisibles, de los coeficientes de seguridad o bien por la probabilidad de funcionamiento sin fallos. Los cálculos por las tensiones nominales son los más simples y cómodos para generalizar las experiencias de diseño, mediante la acumulación de los datos sobre las tensiones en



las construcciones. Los cálculos según los coeficientes de seguridad tienen en consideración algunos factores que afectan a la resistencia, estos son: concentración de tensiones, dimensiones de las piezas, endurecimientos por deformación plástica y por eso dichos cálculos son más precisos.

La rigidez es decir la capacidad de las piezas de resistir deformación por la acción de fuerzas, es igual que la resistencia a uno de los criterios más importantes de la capacidad de trabajo de las máquinas. En muchas piezas de máquinas, las tensiones son considerablemente inferiores que los límites, por ejemplo, en las bancadas de las máquinas herramientas son varias decenas de kilogramos por centímetro cuadrado, y las dimensiones de estos elementos son dictados precisamente por las condiciones de rigidez.

1.11.3 Diseño asistido por computadora (CAD).

Los fabricantes del sector del **diseño asistido por computadoras** (CAD) siempre han sido punteros en aprovechar la tecnología informática más avanzada. El diseño con modelos 3D, técnicas de diseño vectorial, la medición automatizada, el trabajo directo con objetos y procedimientos, la organización en capas de los proyectos o la ampliación de los programas con extensiones especializadas, tienen su origen en aplicaciones de CAD, aunque actualmente se pueden encontrar en otros tipos de programas.

Los avances en el sector informático siempre han estado muy relacionados con el desarrollo y evolución de las aplicaciones CAD. El génesis de los programas de diseño asistido por computadora lo podemos situar al final del periodo de los ordenadores de primera generación, pero adquiere su completo desarrollo a partir de la aparición de los ordenadores de cuarta generación, en que nacen los circuitos de alta escala de integración LSI (Large Scale Integration) y ya están desarrollados en su totalidad los lenguajes de alto nivel. Se encuentran desarrolladas: la segmentación con el propósito de permitir la ejecución simultánea de muchas partes del programa, la memoria virtual utilizando sistemas de memoria jerárquicamente estructurados y la multiprogramación.



A destacar el gran impacto en la productividad que supone para las empresas el emplear técnicas de CAD. Desde el inicio, las grandes empresas han apostado por el CAD y ello supone importantes inversiones que, como es lógico, potencian y convierten el CAD en un producto estratégico con un gran mercado.

1.12. Clasificación de los aceros.

Existe una gran variedad en la forma de identificar y clasificar a los aceros. Sin embargo, la mayoría de los aceros utilizados industrialmente presentan una designación normalizada expresada por medio de cifras, letras y signos. Hay dos tipos de designaciones para cada tipo de material, una simbólica y otra numérica.

La designación simbólica expresa normalmente las características físicas, químicas o tecnológicas del material y, en muchos casos, otras características suplementarias que permitan su identificación de una forma más precisa.

Por otro lado, la designación numérica expresa una codificación alfanumérica que tiene un sentido de orden o de clasificación de elementos en grupos para facilitar su identificación. En este caso, la designación no tiene un sentido descriptivo de características del material.

En general, cuando se acomete el tema de hacer una clasificación de los aceros, ésta dará resultados diferentes según el enfoque que se siga. Así, se puede realizar una clasificación según la composición química de los aceros, o bien, según su calidad. También se pueden clasificar los aceros atendiendo al uso a que estén destinados, o si se quiere, atendiendo al grado de soldabilidad que presenten.

La alta variedad de aceros ha hecho surgir una alta gama de normatividad que puede cambiar de un país a otro algunas de estas son:

ANSI – (American National Standards Institute)

ACI – (American National Standards Institute)

AWS – (American Welding Society)

ASME – (American Society of Mechanical Engineers)

CENIM – (Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas).



1.12.1. Ventajas del acero como material estructural.

El acero presenta las siguientes ventajas como material estructural:

Alta resistencia: La alta resistencia de acero por unidad de peso, permite estructuras relativamente livianas, lo cual es de gran importancia en la construcción de puentes, edificios altos y estructuras cimentadas en suelos blandos.

Homogeneidad: Las propiedades del acero no se alteran con el tiempo, ni varían con la localización en los elementos estructurales.

Elasticidad: El acero es el material que as se acerca a un comportamiento linealmente elástico (Ley de Hooke) hasta alcanzar esfuerzos considerables.

Precisión dimensional: Los perfiles laminados están fabricados bajos estándares que permiten establecer de manera muy precisa las propiedades geométricas de la sección.

Ductilidad: El acero permite soportar grandes deformaciones sin falla, alcanzando altos esfuerzo en tensión, ayudando a que las fallas sean evidentes.

Tenacidad: El acero tiene la capacidad de absorber grandes cantidades de energía en deformación.

Facilidad de unión con otros miembros.

1.13. La presión hidrostática de fluidos.

1.13.1 Definición de fluido.

Es una sustancia que se deforma continuamente bajo la acción de una fuerza, aún cuando se trate de tensiones muy pequeñas. En consecuencia, con el estado físico de la materia, los fluidos están comprendidos por líquidos y gases.

La diferencia entre un líquido y un sólido se basa, en primer lugar, que el sólido tiene una forma definida, mientras que el líquido toma la forma del recipiente que lo contiene; por otra parte, un sólido es una sustancia que se deforma hasta un límite cuando a éste se le aplica una tensión, o se rompe completamente; el líquido se deforma continuamente.



En la ilustración que aparece en muchos textos (Shames, 1984) En la Fig. 1.14.1 (a) una fuerza cortante se aplica al cuerpo sólido ubicado entre dos planos: uno fijo inferior y uno móvil superior.



Figura 1.15 Fuerza cortante aplicada a un cuerpo solido ubicado en dos planos

Fuente: (Mora Aguilera, Jorge A 2013)



Figura 1.16 Fluido. Fuente: (Mora Aguilera, Jorge A 2013)

El cuerpo sólido de la Fig. 1.15 varía su forma desplazándose según una deformación caracterizada por el ángulo $\Delta\alpha$, cuando está sometido a una tensión cortante. Al someter de igual manera un elemento fluido, Fig. 1.16, el ángulo $\Delta\alpha$ no se mantiene constante, ni aún cuando la tensión cortante fuera mínima. En su lugar, persistirá una deformación continuada en tanto se aplique la tensión cortante. De aquí que definimos un fluido como una sustancia que no puede sostener una tensión cortante cuando está en reposo.

Desde el punto de vista de la estructura molecular los fluidos están compuestos de moléculas en movimiento constante, pero en la mayoría de las aplicaciones interesa más bien su totalidad o promedio, tratando así virtualmente un fluido como la sustancia infinitamente divisible, es decir, como un continuo.

1.13.2 Presión. Definición y propiedades. Instrumentos de medición de presión.

La presión es la magnitud física que expresa la fuerza ejercida por un cuerpo sobre la unidad de superficie:

$$p = \frac{F}{A} \quad \text{N/m}^2 \quad \text{o} \quad \text{(Pa)} \quad (1.1)$$



- **Presión Atmosférica**

El valor normal de la presión que ejerce la atmósfera, al nivel del mar sobre todos los objetos inmersos en ella, es de 760 mm Hg (1013 mbar). Ello es producto a que vivimos en un gran conducto, rodeados por una vasta capa de aire con una densidad promedio de 1,23 kg/m³, cuya fuerza sobre cada metro cuadrado de superficie, es de aproximadamente 100 000 Newton.

1.13.3 Tipos de presión.

- **Presión Absoluta.**

Es la presión de un fluido medido con referencia al vacío perfecto (o cero absoluto). La cual es cero únicamente cuando no existe choque entre las moléculas, lo que indica que la proporción de moléculas en estado gaseoso o la velocidad molecular es muy pequeña. Este término se creó debido a que la presión atmosférica varía con la altitud y muchas veces los diseños se hacen en otros países a diferentes altitudes sobre el nivel del mar, por lo que un término absoluto unifica criterios.

- **Presión Manométrica. (Excedente o relativa)**

Es la presión medida a partir de la presión atmosférica

En los procesos industriales, químicos, mecánicos, de generación de electricidad, investigativos, etc., suelen emplearse reservorios cerrados, sistemas hidráulicos, tuberías, bombas, compresores, turbinas, calderas, etc., donde se manejan presiones excesivas (superiores a la atmosférica) que deben ser controladas, pues de no ser así puede ocasionarse mal funcionamiento de los sistemas, daños, averías o destrucciones de equipos, instalaciones adyacente y poner en peligro al personal que opera las mismas.

Las presiones manométricas son normalmente presiones superiores a la atmosférica, que se miden por medio de un manómetro que marca la diferencia entre la presión desconocida y la atmosférica local. El valor absoluto de la presión puede abstenerse adicionando el valor real de la presión atmosférica a la lectura del manómetro (Presión Absoluta = Presión Manométrica + Presión Atmosférica).



- **Presión Vacuométrica.**

Se dice de las presiones menores que la atmosférica, que normalmente se miden por diferencia entre el valor desconocido y la presión atmosférica existente.

1.13.4. Instrumentos para la medición de presión. Manómetros.

Los instrumentos empleados para medir la presión manométrica se denominan Manómetros.

- ✓ **Manómetro diferencial.**

Mide pequeñas diferencias de presión. Consiste en un tubo en forma de U con un extremo conectado al recipiente que contiene el fluido y el otro extremo abierto a la atmósfera. El líquido manométrico puede ser agua, aceite o mercurio, y la diferencia entre los niveles del líquido en ambas ramas indica la diferencia entre la presión del recipiente y la presión atmosférica local.

- ✓ **Manómetro mecánico o de Bourdon.**

Mide diferencias mayores de presión (en los procesos de ingeniería). Su nombre es en honor al inventor francés. Está formado por un tubo hueco de sección ovalada curvado en forma de gancho. Los manómetros empleados para registrar fluctuaciones rápidas de presión suelen utilizar sensores piezoeléctricos o electrostáticos que proporcionan una respuesta instantánea.

A continuación se dan detalles de los diferentes tipos de manómetros de uso común:

Propiedades de la presión hidrostática.

Dentro de los líquidos en reposo, solamente es posible una forma de tensión, la de compresión, es decir, la presión hidrostática, de la que se derivan las siguientes propiedades:

- **Primera propiedad de la presión hidrostática.**

En un fluido en reposo, la presión en un punto cualquiera es normal a la superficie sobre la cual se ejerce.



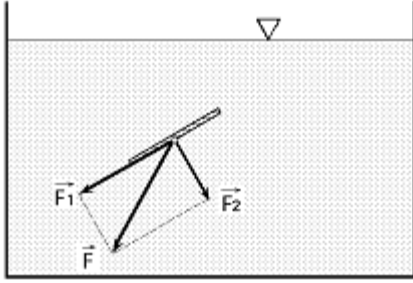


Figura 1.17 Presión en un fluido confinado. Fuente: (Mora Aguilera, Jorge A 2013)

De ser incierto esto, entonces la fuerza F (Figura 1.7) debería aparecer con una dirección cualquiera como se muestra en la figura; descomponiendo F en sus dos componentes, F_1 paralela a la superficie y F_2 normal, de existir F_1 , provocaría que las capas de fluido se deslizaran unas sobre otras, (fuerzas de viscosidad), en contra del principio de que en **Hidrostática la viscosidad es nula**. Por tanto, $F_1 = 0$, quedando que $F = F_2$ que es una fuerza normal a dicha superficie.

De aquí que **la fuerza por unidad de superficie** (presión) que el fluido ejerce contra las paredes de un recipiente, cualquiera sea su forma, **es perpendicular a la pared en cada uno de sus puntos**. Esto es un principio que tiene aplicaciones muy importantes en hidráulica.

- **Segunda propiedad de la presión hidrostática.**

En un fluido en reposo, la presión en un punto cualquiera es la misma sobre todo los elementos de superficie, es decir, la presión no depende del ángulo de inclinación de la superficie sobre la que actúa.

- **Principio de Pascal.**

Si sobre la porción plana de la superficie libre de un líquido, se ejerce una cierta presión, esta se transmite íntegra y por igual en todas direcciones. En efecto, supongamos los puntos de la masa de un líquido A y B, para los que se cumple:

$$P_B - P_A = \gamma h$$

A su vez, los puntos A y B habrán experimentado cambios en su presión, de forma que ésta se incrementa en ΔP_B y ΔP_A ; así se tiene:

$$(P_b + \Delta P_B) - (P_A + \Delta P_A) = \gamma h$$

$$p_B - p_A + \Delta p_B - \Delta p_A = \gamma h \rightarrow \gamma h + \Delta p_B - \Delta p_A = \gamma h \rightarrow \Delta p_B = \Delta p_A$$



Por lo tanto, si la presión de un punto A se incrementa en un cierto valor, la presión de otro punto B quedará asimismo incrementada en el mismo valor.

En una prensa hidráulica, Figura 1.8, se cumple:

$$p_1 = \frac{F_1}{S_1} ; p_2 = \frac{F_2}{S_2}$$

Y como:

$$\Delta p_1 = \Delta p_2$$

Resulta:

$$\frac{F_1}{S_1} = \frac{F_2}{S_2}$$

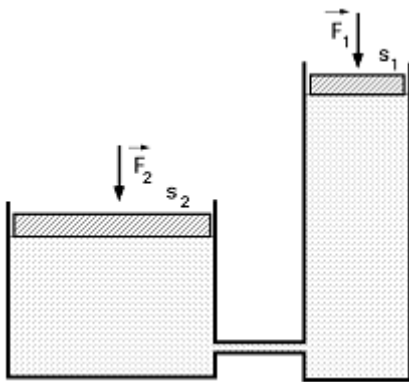


Figura 1.18 Prensa Hidráulica. Fuente: (Mora Aguilera, Jorge A 2013)

que es la relación existente entre las fuerzas aplicadas y las secciones de los émbolos correspondientes.

Ecuación Fundamental de la Hidrostática (EFH).

La presión atmosférica disminuye con la altura, por lo que es de esperar que la presión en el interior de un líquido aumente con la profundidad. Observe que el elemento fluido marcado en la figura está en equilibrio sometido a fuerzas externas verticales debidas a las presiones en 1 y 2 y a su peso (W); la condición de equilibrio quedará reflejada por la siguiente relación:



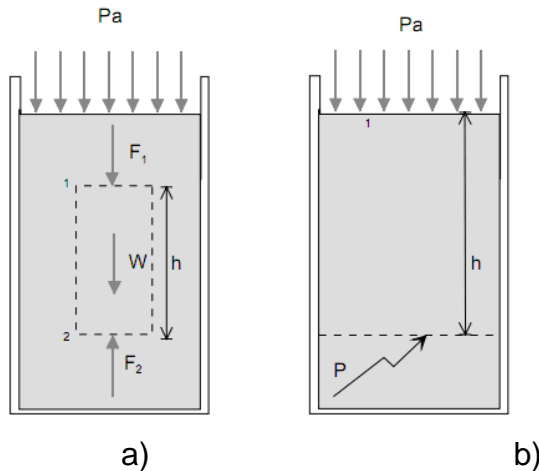


Figura 1.19 a) Sector cilíndrico de fluido dentro de un recipiente, b) presión en el punto P considerando la altura desde la superficie libre del líquido y la presión atmosférica actuando sobre la misma. Fuente: (Mora Aguilera, Jorge A 2013)

$$F_2 - F_1 - W = 0$$

Sustituyendo las fuerzas por el producto de la presión y el área de la sección transversal en 1 y 2 y pasando para la derecha de la igualdad el peso del sector de líquido marcado en función de la densidad, la gravedad y el volumen:

$$p_1 A_1 - p_2 A_2 = \rho g V$$

Como $V=A$ de la sección por la altura h ($V=Ah$):

$$p_1 A_1 - p_2 A_2 = \rho g A h$$

Cancelando las áreas A por ser iguales:

$$p_1 - p_2 = \rho g h = p_1 - p_2 = \gamma h$$

$$p_2 = p_1 + \gamma h$$

Que es la expresión general para la Ecuación Fundamental de la Hidrostática (EFH), donde γ es el peso específico del fluido.

Aplicando la EFH en b):

$$P = p_{atm} + \gamma h$$

Por ejemplo, conociendo que la $p_{atm} = 1.033 \cdot 10^4 \text{ kgf/m}^2$ y suponiendo un valor de $h=1\text{m}$, para el agua próxima a los 4°C ($\gamma = 1000 \text{ kgf/m}^3$), tenemos la presión en el punto P:

$$P = 1.033 \cdot 10^4 + 1000 \text{ kgf/m}^3 \cdot 1\text{m}$$

$$P = 113\,300 \text{ Pa}$$



CAPÍTULO 2. PROPUESTA DE DISEÑO DE UN TANQUE ELEVADO PARA AGUA EN LA LOCALIDAD DE CRISTINO NARANJO

2.1 Introducción al capítulo

En ese capítulo se realiza una propuesta de diseño de un tanque elevado para agua. Además, se cita el material a utilizar en el diseño del tanque elevado con algunas de sus propiedades. Se simuló la presión de trabajo mediante la programación de la ecuación fundamental de la hidrostática. Se obtuvieron las dimensiones para el funcionamiento de forma segura del elemento.

2.2. Diagnóstico del estado actual del tanque elevado para agua

Un representante de la empresa RAUDAL se acercó al centro de estudios CAD/CAM para solicitar el cálculo de la estructura portante para un tanque elevado de agua en la localidad de Cristino Naranjo. Este se aborda en trabajos anteriores (Pérez, 2018). En este trabajo no se realizó el cálculo ni la propuesta del diseño del tanque como tal.

2.3. Clasificación de los aceros según la norma AISI-SAE

La Norma AISI-SAE es una normativa para la clasificación de los materiales ingenieriles. AISI es el acrónimo en inglés de American Iron and Steel Institute (Instituto americano del hierro y el acero), mientras que SAE es el acrónimo en inglés de Society of Automotive Engineers (Sociedad de Ingenieros Automotores) esta utiliza un esquema general para realizar la clasificación de los aceros de 4 dígitos (Y Z XX).

También pueden incluir un prefijo mediante letras para indicar el tipo de proceso de manufactura.

XX: Nos indica el porcentaje (%) contenido de carbono multiplicado por 100.

Z: Para aceros de aleación simple indica el porcentaje aproximado del elemento predominante de aleación.



Y: Nos indica el tipo de acero o de la aleación y puede tomar valores de 1 a 8 para designar tipo de aceros o aleación a continuación veremos según el *número que significa*.

Y=1: aceros al Carbono (corriente u ordinario);

Y=2: aceros al Níquel;

Y=3: aceros al Níquel-Cromo;

Y=4: aceros al Molibdeno, Cr-Mo, Ni-Mo, Ni-Cr-Mo;

Y=5: aceros al Cromo;

Y=6: aceros al Cromo-Vanadio;

Y=7: esta numeración indica que son aceros resistentes al calor, pero estos no se fabrican habitualmente.

Y=8: al Ni-Cr-Mo;

2.3.1. Acero utilizado en la construcción del tanque para agua.

El acero utilizado es SAE 1020 que es un acero de bajo carbono, blando, responde bien al trabajo en frío y al tratamiento térmico de cementación. Tiene un alto índice de soldabilidad, y por su alta tenacidad y baja resistencia mecánica es adecuado para elementos de maquinaria y usos convencionales de baja exigencia.

Se utiliza en estructuras, ejes, cadenas, remaches, tornillos, pernos, sujetadores, engranajes, piñones, piezas de maquinaria, pasadores de baja resistencia, prensas y levas.



Tabla 2.1. Propiedades mecánicas

Propiedades mecánicas	Laminado en caliente
Resistencia a la tracción	420 MPa
Límite de fluencia	352 MPa
Módulo de elasticidad	200 GPa
Coefficiente de Poisson	0,29
Elongación	20%
Reducción de área	50%

Caracterización del material de aporte

Al consultar catálogos sobre electrodos para soldadura manual por arco eléctrico (Catálogo UTP, 2002) se seleccionó para realizar la soldadura el electrodo UTP 610, o según la norma AWS A5.1, referida en esa misma fuente bibliográfica, es el E6013. En lo adelante nos referiremos a él empleando solo el segundo término. Este es un electrodo para soldar aceros de construcción.

Para realizar estas uniones soldadas se empleó el electrodo E6013 de fabricación cubana, por ser este el material de aporte que se está empleando en la construcción de elementos estructurales en nuestro país. En el anexo 2 se muestra una imagen con el envase de los electrodos usados, de donde se puede tomar las propiedades mecánicas del mismo, proporcionadas por el fabricante, en este caso la empresa ACINOX Camagüey.

Las tablas 2.2 y 2.3 muestran las propiedades mecánicas y la composición química del depósito. Las propiedades mecánicas mostradas se obtuvieron de los datos proporcionados por el fabricante en el envase de los electrodos. Como se aprecia en la primera de ellas, la resistencia mecánica de este material de aporte es algo superior que la del material base, referida en la tabla 2.1, por lo tanto la selección de este electrodo es posible.

Tabla 2.2. Propiedades mecánicas del depósito. Fuente: Datos del fabricante.

Electrodo	Propiedades
-----------	-------------



E6013	σ_B (MPa)	σ_f (MPa) 0,2%	δ (%)	ψ (%)	Resiliencia mínima (MPa)
	431 – 510	392	20 - 28	35 - 60	0,92

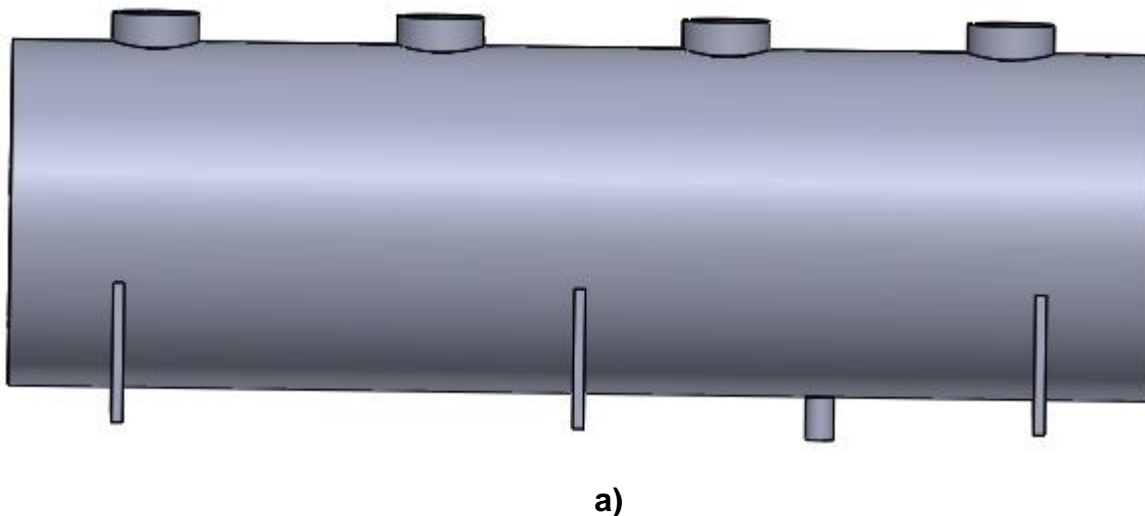
Tabla 2.3. Composición química del depósito. Fuente Torres, 2003.

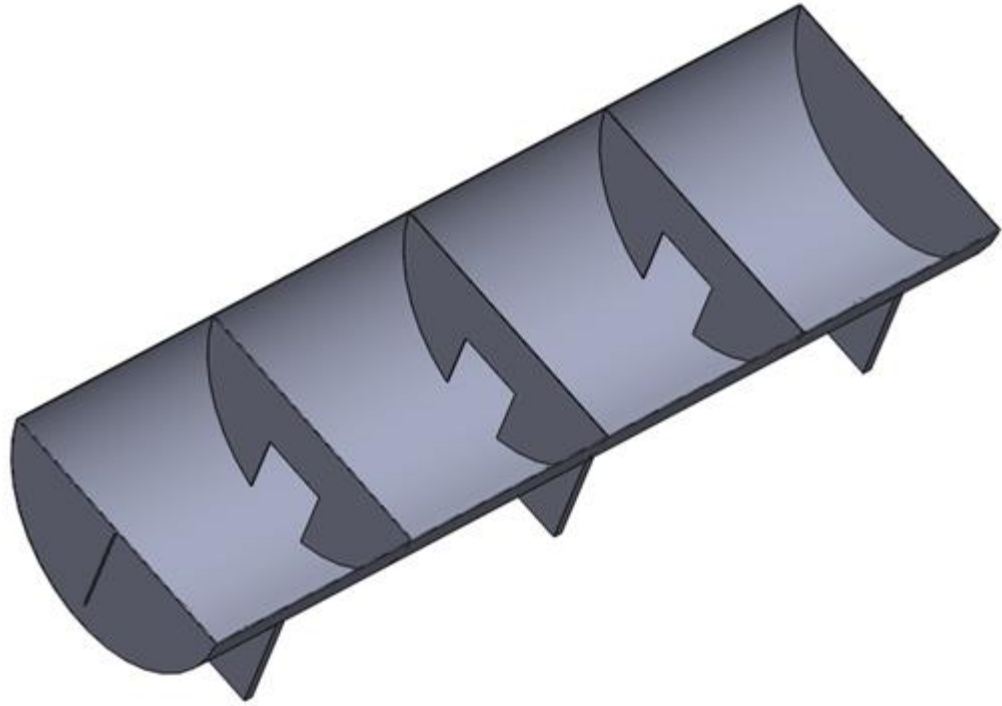
Electrodo	Elementos		
	% C	% Mn	% Si
E6013	0,07	0,5	0,35

2.4. Propuestas de diseño de un tanque elevado para agua.

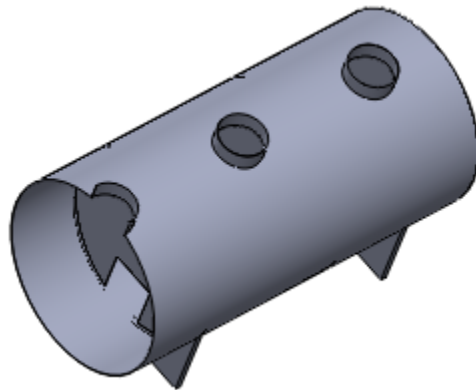
2.4.1 Modelo geométrico.

Para realizar el modelo geométrico del tanque se utilizó el *SolidWorks* 2016. Este programa permite realizar el diseño de los elementos que componen el tanque para luego realizar el ensamble del mismo en la estructura final presentada por Pérez Arbella (2018). El modelo obtenido se muestra en la figura 2.1. Los planos constructivos se encuentran en los anexos.



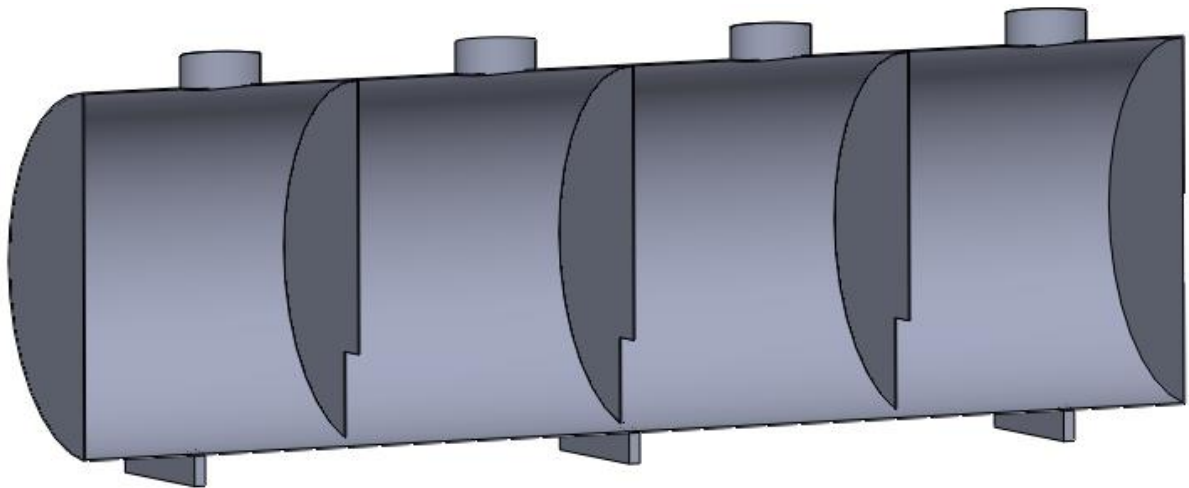


b)

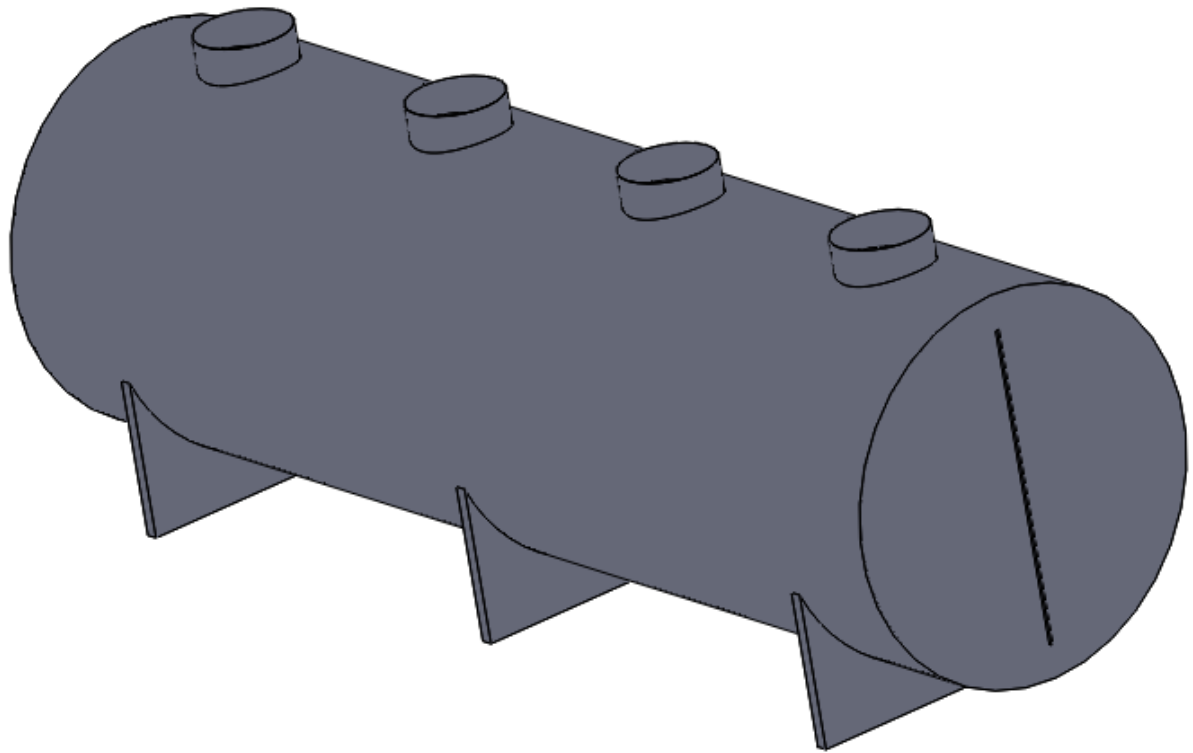


c)





d)



e)

Figura 2.1 Modelo geométrico. a) Vista frontal del tanque. b) Corte desde la vista superior. c) Detalle de vista lateral d) Corte de vista frontal. e) Isométrico.

2.4.2. Cargas y restricciones.

La carga utilizada para calcular la estructura portante es de 218 kN, producto al peso del tanque de agua.

Las restricciones fijas en tres puntos de apoyo que se corresponden a la unión de los soportes del tanque con la estructura, como se muestra en la (figura 2.2).

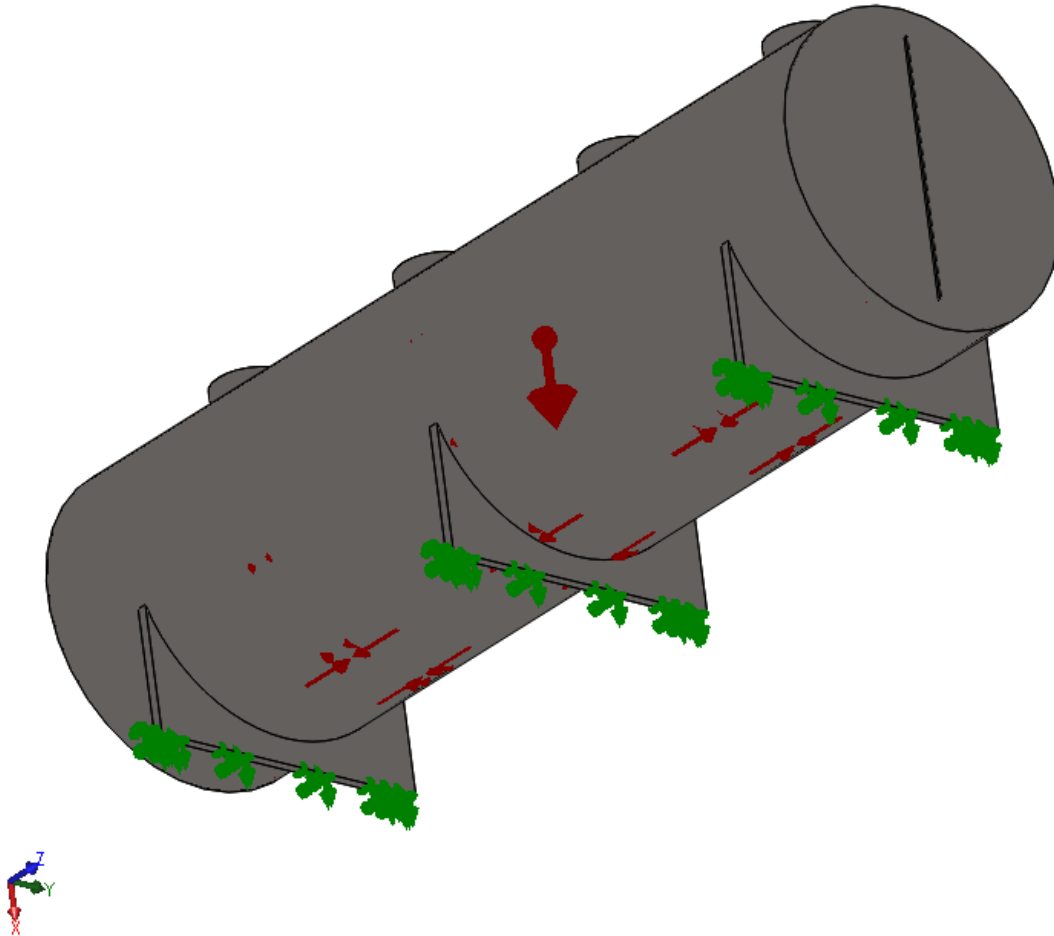


Figura 2.2. Cargas y restricciones. Fuente: SolidWorks 2016.

La figura 2.3 expone la definición del peso propio de la estructura como una carga mecánica. Esto se realizó teniendo en cuenta las dimensiones del tanque.

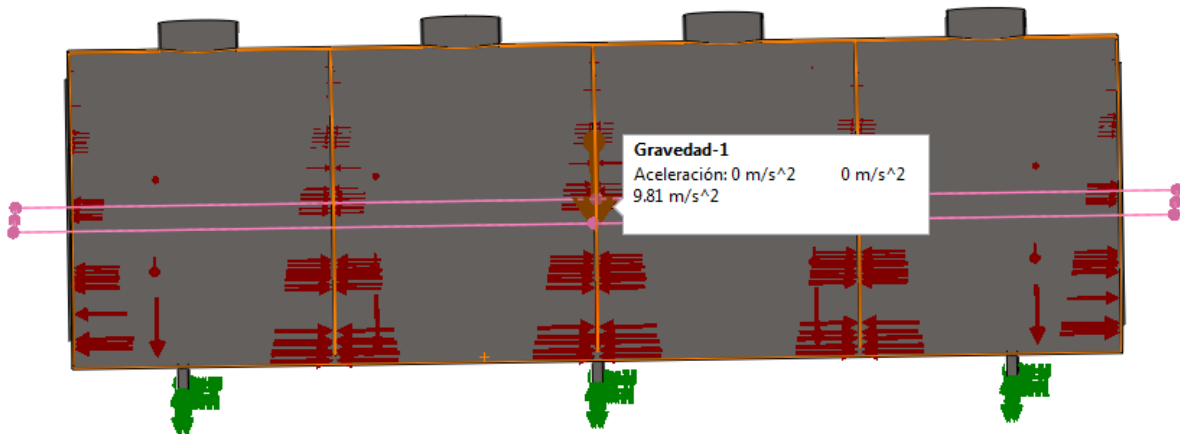


Figura 2.3. Definición del peso propio del tanque. Fuente: SolidWorks 2016.

En la figura 2.4 se muestra la programación de la ecuación fundamental de la hidrostática para simular la variación de la presión con la altura del tanque. Para ello se ubicó un origen de coordenadas en la parte superior del tanque. Este origen se definió como la coordenada cero para la altura de la columna de líquido. Para programar la ecuación se utilizó el editor presente en el complemento *Simulation*, que está a la derecha de la figura 2.4. La distribución final de la presión así obtenida se expone en la figura 2.5.

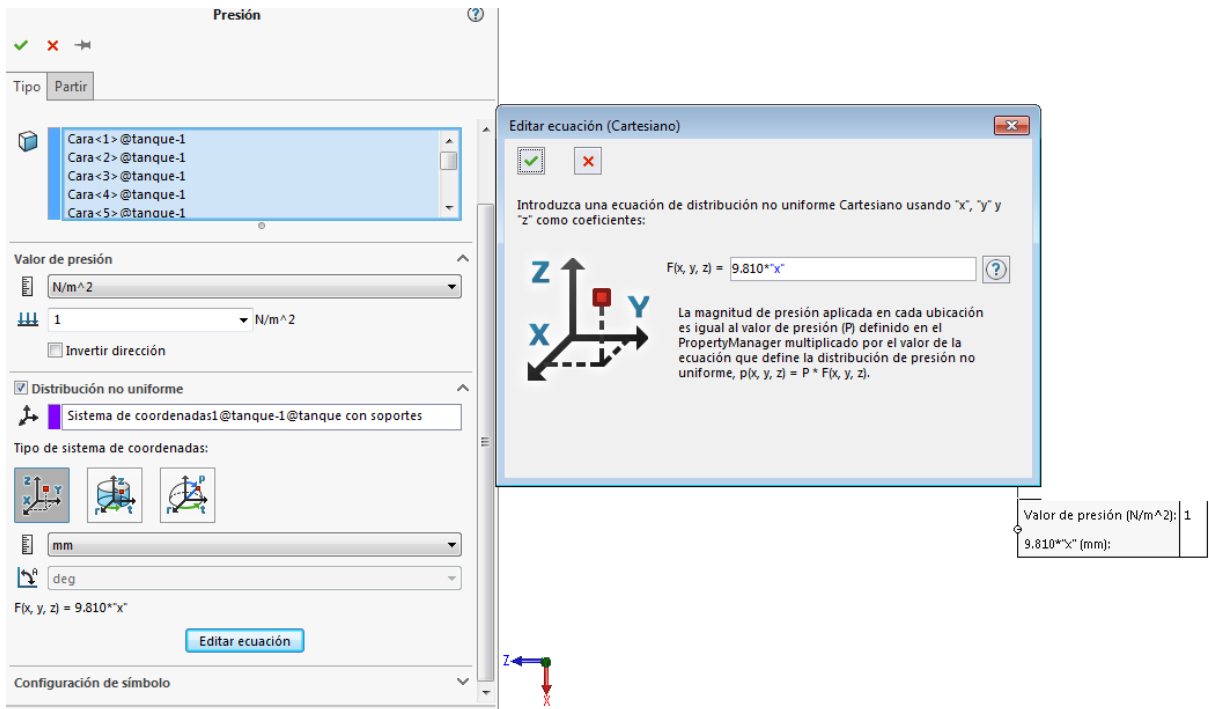


Figura 2.4. Programación de la ecuación fundamental de la hidrostática para simular la variación de la presión con la altura del tanque. Fuente: SolidWorks 2016.

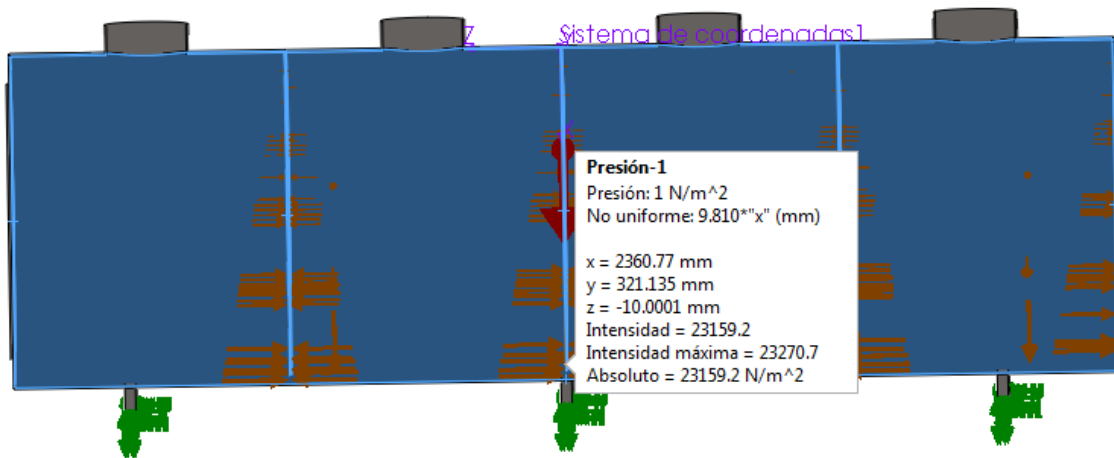


Figura 2.5. Variación de la presión con la altura del tanque. Fuente: SolidWorks 2016.

2.4.3. Mallado.

El mallado de la estructura es importante, para ella se utilizó una malla sólida, con elementos cuadráticos de alto orden de un tamaño máximo de 50 mm, con un número total de elementos de 218239, una tolerancia de 2,5; 4 puntos jacobianos, un número total de nodos de 429607. El Cociente de aspecto máximo es de 46,544; el porcentaje de elementos con cociente de aspecto menor que 3 igual a 79,1 y el porcentaje de elementos con cociente de aspecto mayor que 10 igual a 1,14 como se muestra en la (figura 2.7).

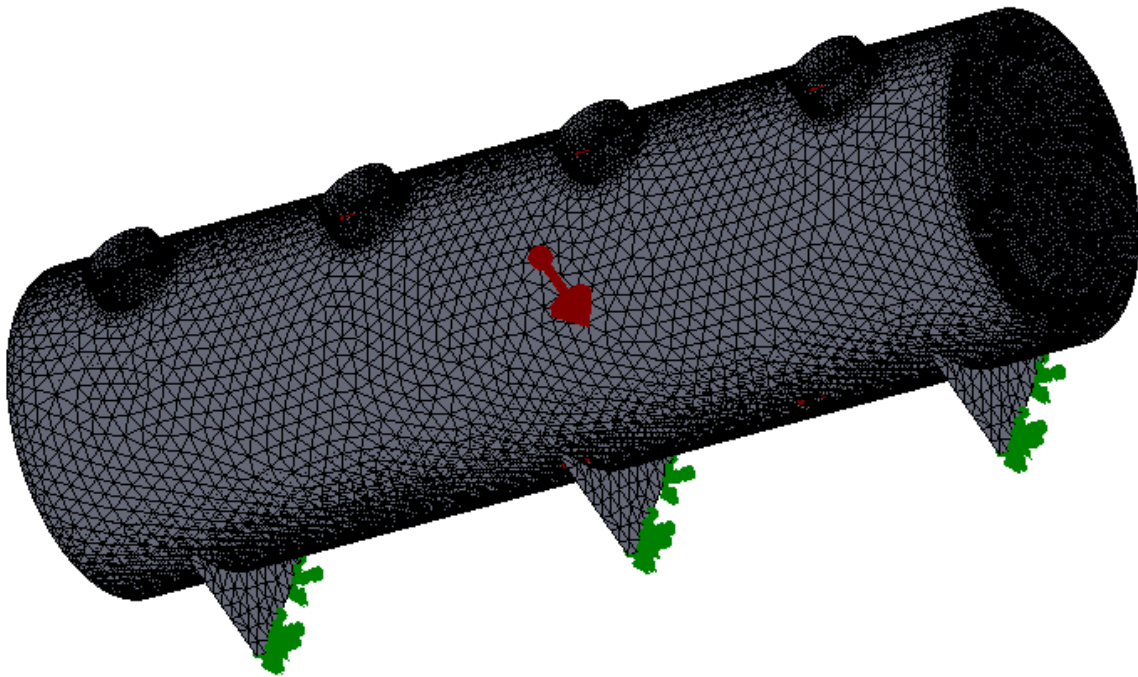


Figura 2.7. Mallado global del modelo. Fuente: SolidWorks 2016.

En las figuras de la 2.8 a la 2.10 se muestran detalles del mallado en diferentes zonas del tanque, en los cuáles se realizaron controles del mallado.

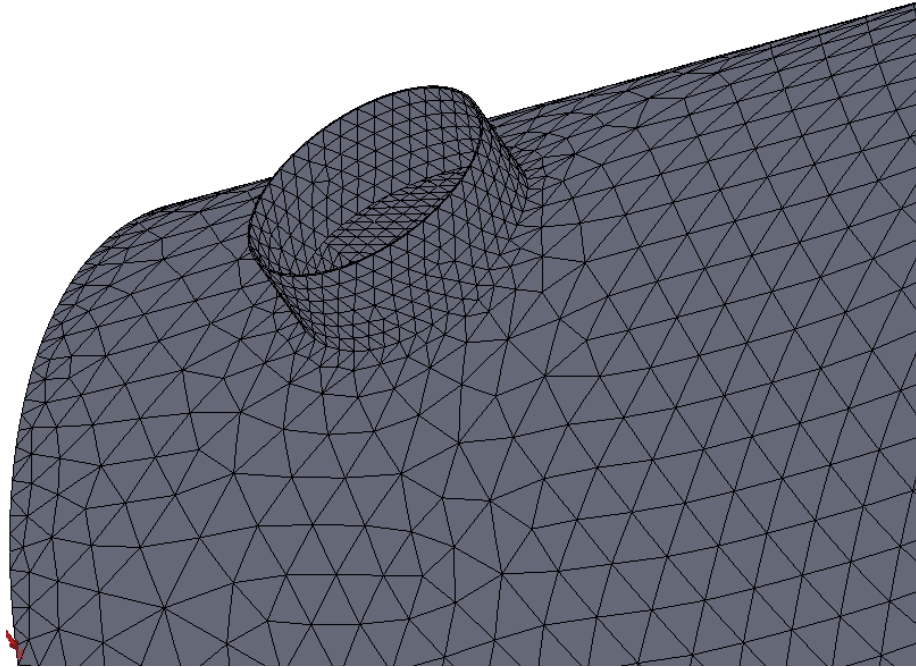


Figura 2.8. Detalle del mallado alrededor de la entrada de agua. Fuente: SolidWorks 2016.

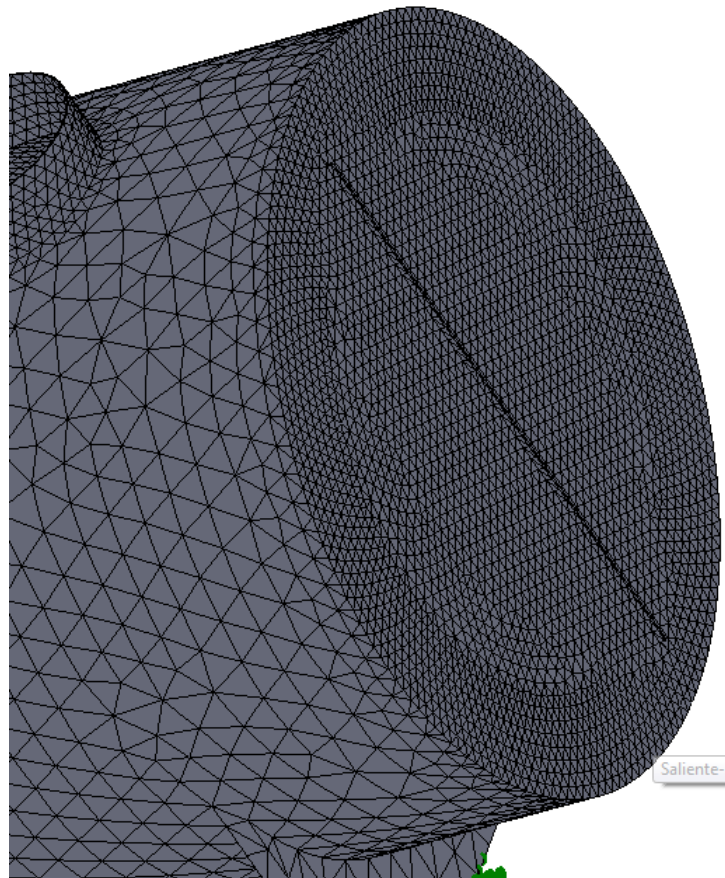


Figura 2.9. Detalle del mallado en las tapas laterales. Fuente: SolidWorks 2016.

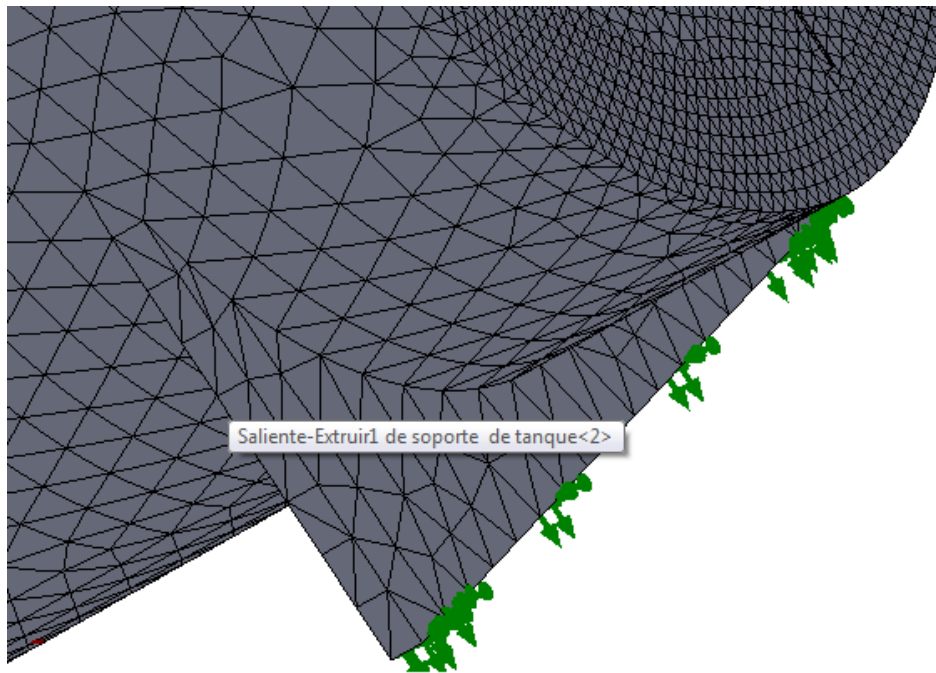


Figura 2.10. Mallado en los apoyos. Fuente: SolidWorks 2016.

2.4.4 Análisis de los resultados.

Una vez que se han situado las cargas y restricciones, se le ha asignado el material al modelo propuesto y se ha corrido el mallado se pasa a ejecutar el estudio estático. Los desplazamientos que ocurren en la estructura se muestran en la (figura 2.11). Los desplazamientos mayores ocurren en las paredes laterales del tanque, con un valor de 21 mm, pero debido a las dimensiones globales del tanque se consideró que estos no afectan el funcionamiento del mismo.

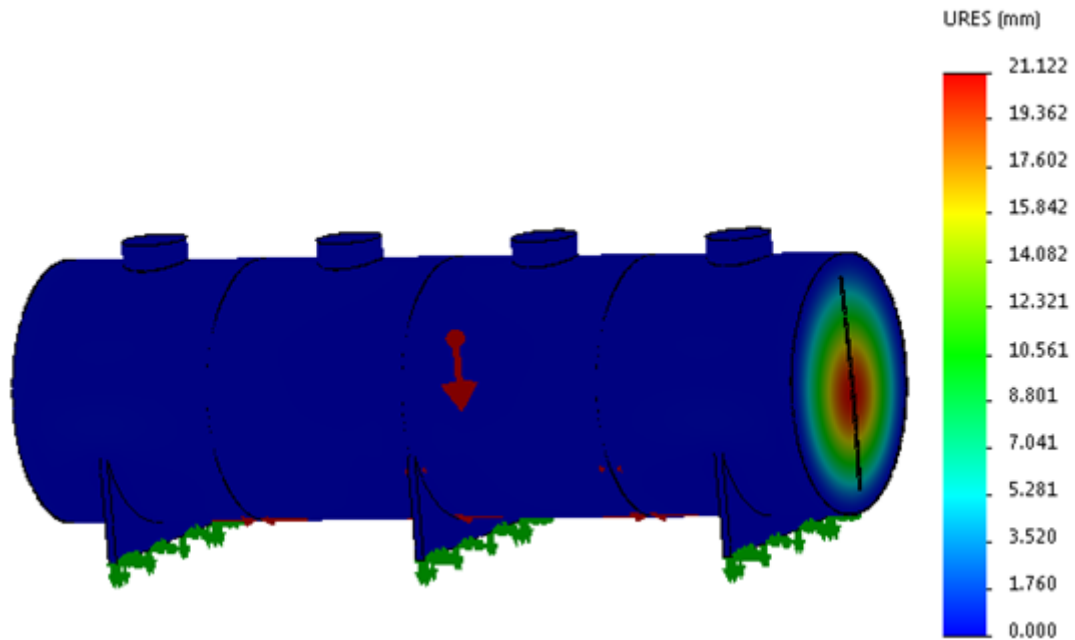


Figura 2.11. Desplazamientos. Fuente: SolidWorks 2016.

El factor de seguridad mínimo obtenido fue de 1,27.

Se puede considerar que es correcto pues es mayor que uno y por tanto la estructura resiste las cargas actuantes. (Ver figura 2.12).

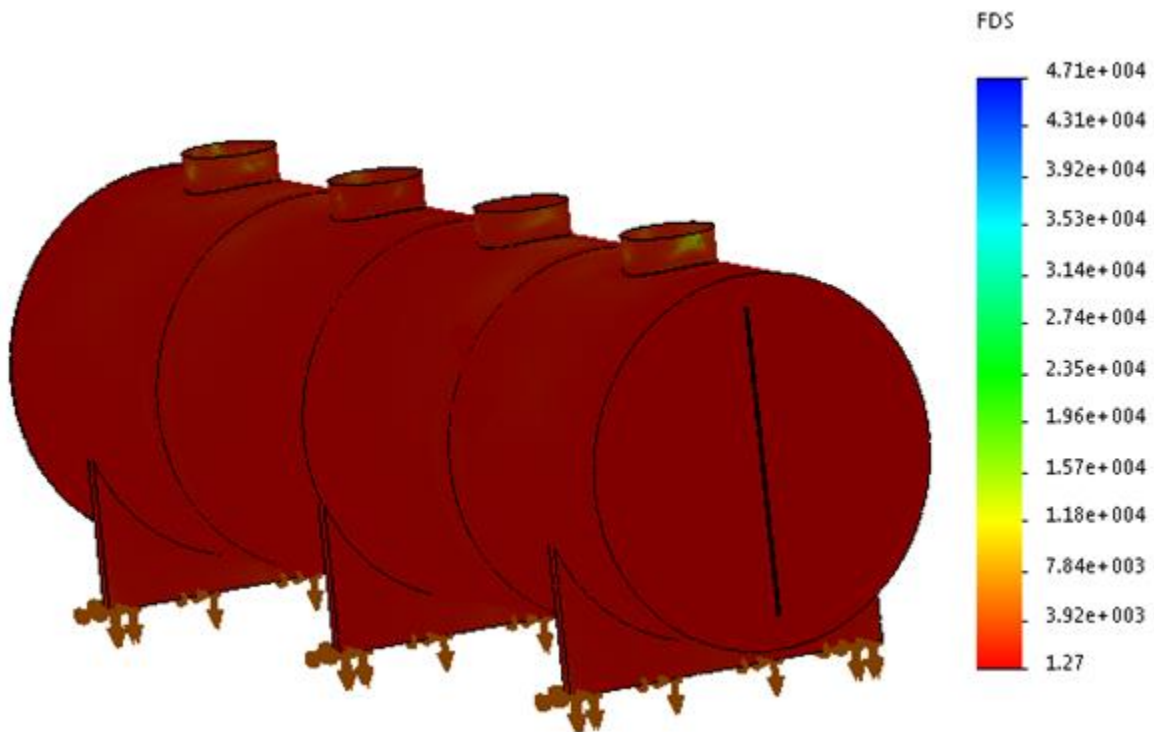


Figura 2.12. Factor de seguridad. Fuente: SolidWorks 2016.

Las tensiones máximas tienen lugar en la zona central de las paredes laterales, con un valor máximo de 276,465 MPa siendo inferiores al límite elástico del material utilizado que es de 352 MPa.

Por tanto se puede plantear que el tanque resiste las cargas aplicadas. (Ver figuras 2.13 y 2.14).

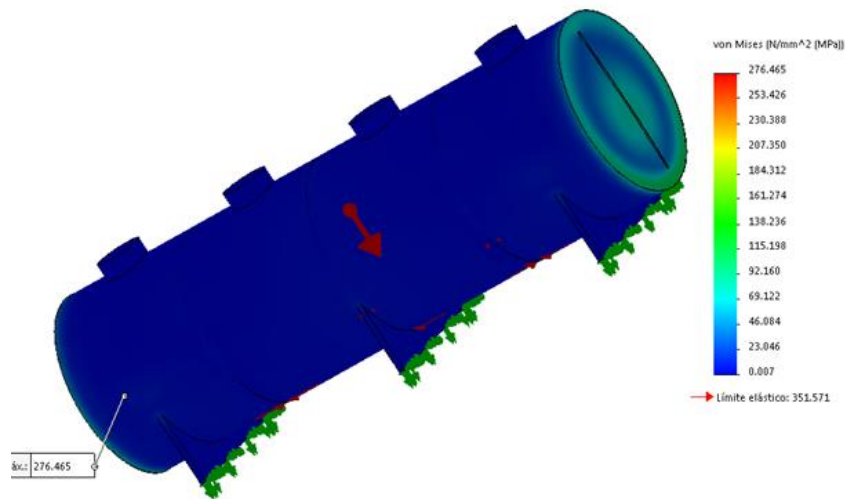


Figura 2.13. Tensiones actuantes. Fuente: SolidWorks 2016.

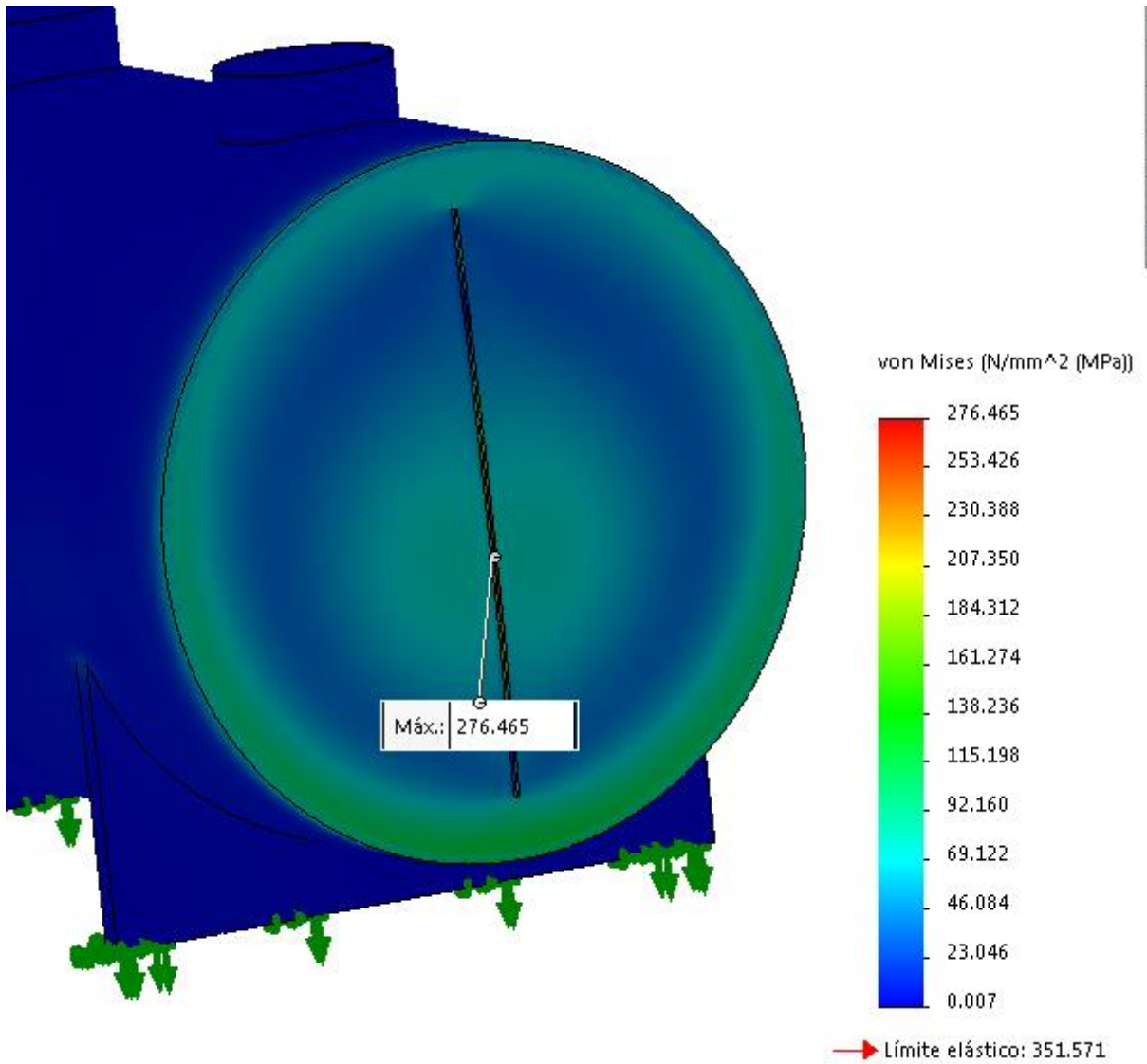


Figura 2.14. Ubicación de las tensiones máximas. Fuente: SolidWorks 2016.

CONCLUSIONES.

Después de realizada la presente investigación se arriba a las siguientes conclusiones:

1. Se caracterizaron variantes de diseño para el tanque para agua en la localidad de Cristino Naranjo.
2. Se realiza la propuesta de una variante de tanque elevado para agua de gran volumen ubicado en la localidad de Cristino Naranjo, calculándose las dimensiones seguras para el mismo.
3. La programación de la ecuación fundamental de la hidrostática para determinar la variación de la presión del agua con la altura de la columna de líquido permitió evaluar el estado tensional – deformacional del tanque con mejores aproximaciones.
4. Los resultados obtenidos utilizando el SolidWorks Simulation muestran que la variante propuesta resiste las cargas a las que está sometido.



RECOMENDACIONES.

Al concluir el Trabajo de Diploma se recomienda:

1. Para realizar la soldadura se recomienda utilizar especialistas A con vasta experiencia capaces de lograr cordones continuos, una vez realizada la soldadura se debe hacer la prueba del líquido penetrante para garantizar la no existencia de poros.
2. El llenado del tanque debe realizarse a un tercio de su capacidad observarse en 24 h y continuar la operación hasta su capacidad completa.
3. Realizar los cálculos de diseño de las estructuras de las escaleras y pasarelas de acceso y mantenimiento al tanque.
4. Implementar acciones de mantenimiento para garantizar un período largo de vida útil del tanque.



BIBLIOGRAFÍA

1. Angulo, A.: *Metodología para el Análisis Estático y Dinámico de Estructuras Metálicas Aplicando el Método de los Elementos Finitos*, 101pp., Trabajo de Diploma en opción al Título de Ingeniero Mecánico, Universidad Católica de Lima, Perú. 2011.
2. Búsqueda de Google.: " *Estructuras de acero.pdf*
3. Chandrupatla, Tirupathi.: *Introducción al estudio del Elemento Finito en Ingeniería*, Tesis en opción al grado de doctor en Ciencias Técnicas Universidad Central de Ciudad México, México, 1999.
4. Cingualbres, Estrada, Roberto.: *Análisis numérico de la estructura metálica del modelo de casa de cultivo española*, Universidad de Holguín, Cuba, 2007.
5. Diseño, construcción y operación de tanques de regulación para abastecimiento de agua potable. Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. México, 2007.
6. Echevarría, Ricardo. *Fractura de Materiales*. Universidad Nacional del COMAHUE. 1972.
7. El Agua. Importancia del agua para la humanidad. Disponible en: <http://elaguaesescencial.blogspot.com/p/importancia-del-agua-para-la-humanidad.html>. Revisado: 16 de marzo 2019.
8. *Elasticidad y resistencia de materiales*, pdf.
9. Estrada Cingualbres, Roberto. "Curso herramientas informáticas aplicadas al diseño mecánico avanzado". *Diseño Asistido por Computadora (CAD) Soliworks 2006*.
10. Estrada Cingualbres, Roberto. *Curso CW 2006.pdf. Análisis por Elementos Finitos (FEA). Cosmos Works 2006*.
11. Eugenio Vico, Patricia. "Diseño y construcción de un depósito para el almacenamiento de agua potable". Tesis para acceder al Título de graduada en Ingeniería Mecánica, Universidad de Cantabria, España, 2017.
12. Florez García, Luis Carlos, et.al. "Diseño de un tanque de temple directo por medio de simulaciones en elementos finitos en COSMOSFLOWORKS". *Scientia et Technica Año XIII, No 36, Septiembre 2007*. Universidad Tecnológica de Pereira. ISSN 0122-1701.



13. Gillam Scott, R. Fundamento del diseño, 1969.
14. Giffuni Salazar, Pedro Fernando. “Diseño e implementación del software de control para un centro de mecanizado CNC”. Tesis presentada para optar al título de Ingeniero Mecánico. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería. Santafé de Bogotá, D.C 1996.
15. González Dorta, Davinia. “Diseño y cálculo de un tanque de almacenamiento de un fluido de alta de temperatura”. Trabajo de fin de grado, Madrid, julio 2018.
16. Guías para el diseño de reservorios elevados de agua potable, Lima, 2005.
17. Hantelmann, A., Curso Montaje, Mantenimiento y reparación de tanques verticales para el almacenamiento de combustible. Refinería —Camilo CienfuegosII, Cienfuegos, 2011.
18. Hernández Choc M. “Diseño de tanque de captación y tratamiento de agua, Casillas, Santa Rosa”. Tesis en opción al título de master, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala, 2017.
19. Importancia del agua para la humanidad. de Joanna Jaramillo en Prezi. Disponible en: <https://prezi.com/tziehk51zc--/importancia-del-agua-para-la-humanidad/>. Revisado: 16 de marzo 2019.
20. Jiménez Terán, José Manuel. “Manual para el diseño de sistemas de agua potable y alcantarillado sanitario”. Facultad de Ingeniería Civil, Campus Xalapa, Universidad Veracruzana, México, 2010.
21. MatWeb. Material Property Data. Consultado el 23 de mayo del 2018. Disponible en: <http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=de43b4a08633436da42bb959e4cfb15d&ckck=1>
22. Mantilla-López, Juan A. “Diseño de un tanque de almacenamiento de agua caliente sanitaria utilizando materiales de bajo costo”. Ingeniería Solidaria, vol. 12, n. o 19, pp. 7-18, abril 2016. doi: <http://dx.doi.org/10.16925/in.v12i19.1190>.
23. Morales Arbolaez, Dianeya. “Metodología para abastecimiento de agua en regiones rurales, dentro del proceso inversionista”. Tesis presentada en

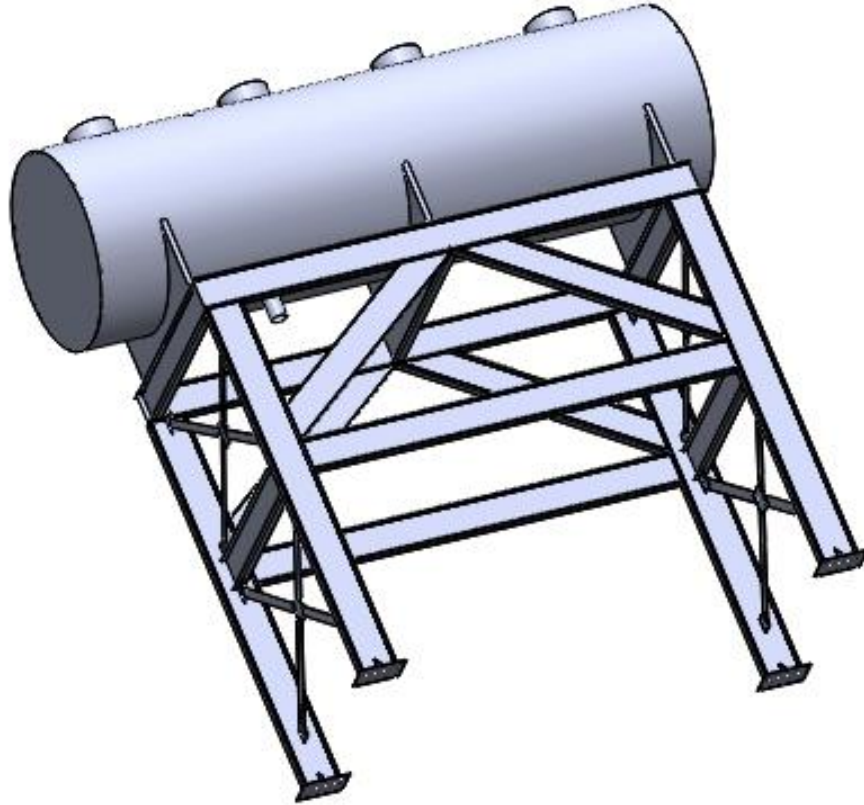


- opción al Título Académico de Master, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Cuba, 2008.
24. Onofre Ledesma, Eduardo Ulises. “Procedimiento constructivo de tanques rectos en la planta de tratamiento de aguas residuales atotonilco”. T e s i s para obtener el título de ingeniero civil, Universidad Nacional Autónoma de México, noviembre, 2014.
 25. Pavón Rodríguez, Víctor M. “Diseño y construcción de estructuras de concreto para contener líquidos”. 2015.
 26. Pérez Arbella, Omara. “Propuesta de diseño de la estructura portante de un tanque elevado para agua en la localidad de Cristino Naranjo”. Tesis presentada en opción del título de Ingeniera Mecánica, Universidad de Holguín, 2018.
 27. Rodríguez de Vicente, Alfredo. “Dimensionamiento y diseño estructural del tanque de almacenamiento de agua desmineralizada para una central térmica de ciclo combinado”. Tesis presentada en opción al título de Ingeniería Técnica Industrial – Especialidad Mecánica, Universidad Carlos III de Madrid, España, 2010.
 28. SolidWorks, recursos de SolidWorks, introducción a SolidWorks, pdf.
 29. Uhlig, H.H. “Corrosion Handbook”. John Wiley and Sons edition, 1963
 30. Uhlig, H.H., “Corrosion and Corrosion Control”. Revolucionaria ed: 1966.

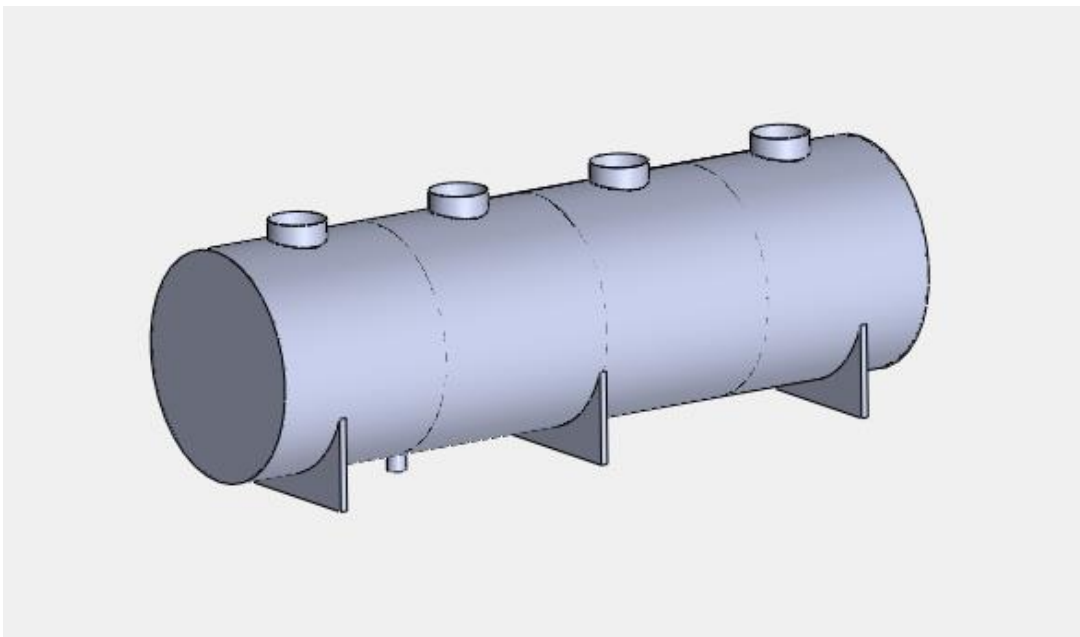


ANEXOS

Anexo 1. Tanque de almacenamiento y estructura portante.

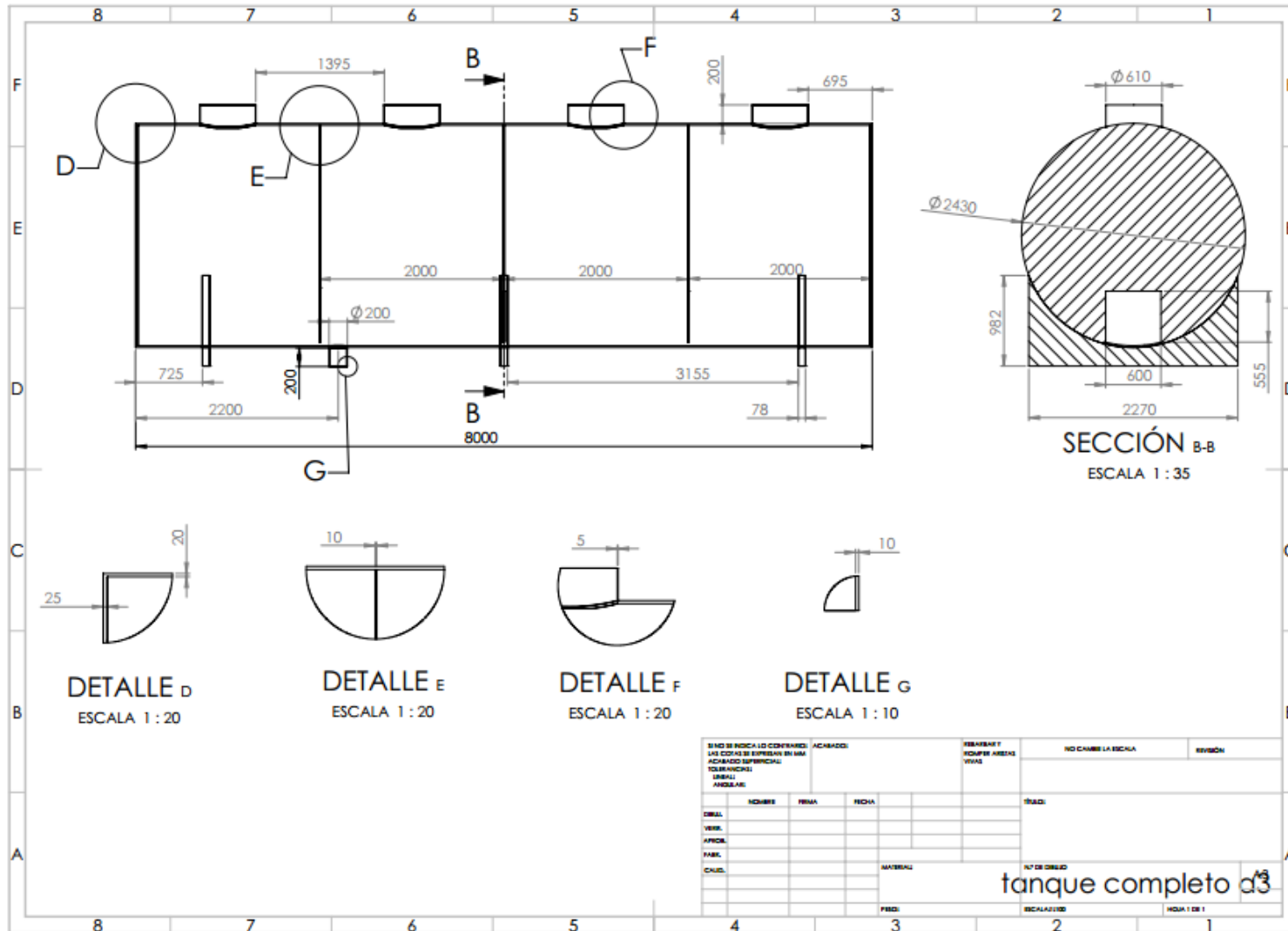


Anexo 2. Tanque de almacenamiento de agua con capacidad 37 m³.





Anexo 3. Plano constructivo.



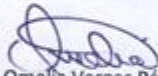
Anexo 4. Aval de la empresa RAUDAL.

Holguín, 2 de octubre de 2017.
"Año 59 de la Revolución"

A : Ing. Julio Cesar Borrero Neninguer
Decano Facultad de Ingeniería
Universidad de Holguín

Por este medio estamos haciéndole saber que el Ing. Pavel Almaguer Zaldivar trabajador de ese centro de estudios a petición del Ing. Majín A. Pupo Pupo, Proyectista Mecánico y trabajador de la Empresa de Investigaciones y proyectos Hidráulicos de Holguín, RAUDAL, realizó un trabajo de modelaje mediante el programa Solid Work de 2 variantes del Proyecto Estructura Metálica para la base de un tanque elevado de agua a ubicar en Cristino Naranjo, por lo que agradecemos al Ing. Almaguer por su colaboración técnica con nuestro proyecto.

Atentamente,



Ing. Omelia Verges Pérez
Directora UEBPI RAUDAL
Holguín.

