



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA**

### **ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**

“Diseño de tanques de agua con capacidad hasta 1200 m<sup>3</sup> con techo cónico  
bajo norma API 650 con Excel y SolidWorks”

### **TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE Ingeniero Mecánico Electricista**

AUTOR:

YUL ERNESTO SALDAÑA DELGADO (ORCID: 0000-0002-6137-4327)

ASESOR:

ING. JORGE ANTONIO INCISO VÁSQUEZ (ORCID: 0000-0001-8798-1283)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Modelamiento y simulación de sistemas electromecánicos

TRUJILLO – PERÚ

2020

## **DEDICATORIA**

A mi Dios incomparable, que por su gracia y favor tengo vida para compartir con mi familia y por lograr mis sueños.

Por lo importante que son en mi vida y la fortaleza que me han brindado en tiempo de dificultad, a ustedes mi preciosa familia les dedico este logro, mi tesis de grado. Les agradezco por todo, no me alcanzan las palabras para expresar el orgullo y lo bien que me siento por tener una familia tan asombrosa.

A mis padres por su amor y apoyo incondicional en todo momento de la vida y por ser ese pilar fundamental en mi formación como persona y profesional.

EL AUTOR

## **AGRADECIMIENTO**

El presente trabajo de tesis primeramente me gustaría agradecerle a ti Dios por bendecirme para llegar hasta donde he llegado, porque hiciste realidad este sueño anhelado.

Agradezco a mi familia por su comprensión, fuerza y apoyo en cada proyecto que juntos emprendemos, de ustedes siempre agradecido.

Gracias a mi asesor de tesis, Ing. Jorge Inciso Vásquez por su esfuerzo y dedicación, quien, con sus conocimientos, su experiencia, su paciencia y su motivación ha logrado en mí que pueda terminar mis estudios con éxito. También quedo agradecido en gran manera de mi profesor Javier León Lescano que durante toda mi carrera profesional compartió sus conocimientos y experiencias que contribuyeron a mi formación profesional como ingeniero.

## **PÁGINA DEL JURADO**

## DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo Yul Ernesto Saldaña Delgado con DNI N° 40252973, a efecto de cumplir con las disposiciones vigentes consideradas en el reglamento de grados y títulos de la universidad Cesar Vallejo , Facultad de Ingenierí , Escuela de Ingeniería Mecánica, auténtica.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas de la Universidad Cesar Vallejo.

Trujillo, 09 de Enero del 2020



DNI: 40252973  
FECHA: 09/01/2020

## ÍNDICE

<b>DEDICATORIA</b>	<b>ii</b>
<b>AGRADECIMIENTO</b>	<b>iii</b>
<b>PÁGINA DEL JURADO</b>	<b>iv</b>
<b>DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD</b>	<b>v</b>
<b>ÍNDICE</b>	<b>vi</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	<b>viii</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	<b>x</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>xi</b>
<b>Abstract</b>	<b>xiii</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>1.1. Realidad problemática</b>	<b>1</b>
<b>1.2. Trabajos previos</b>	<b>2</b>
<b>1.3. Teorías relacionadas al tema</b>	<b>4</b>
1.3.1. Tipos de tanques	4
1.3.2. Tanque cilíndrico horizontal	4
1.3.3. Tanque cilíndrico vertical	5
1.3.3.1. Tanque cilíndrico vertical con techo fijo	6
1.3.3.2. Tanque cilíndrico vertical con techo flotante	7
1.3.3.3. Tanque cilíndrico vertical sin techo	7
1.3.4. Accesorios generales del tanque	8
1.3.5. Normas para diseño de tanques	9
1.3.6. Reglamento de seguridad para el almacenamiento de hidrocarburos	10
1.3.7. Fuerza sobre un área plana	10
1.3.8. Flujo másico	11
1.3.9. Flujo volumétrico	11
1.3.10. Capacidad (v)	11
1.3.11. Diámetro y altura	12
1.3.12. Espesor de la pared del tanque	14
1.3.13. Cálculo del techo	15
1.3.13.1. Carga viva y carga muerta en el techo	16
1.3.14. Fondo del tanque y terreno.	16
1.3.15. Peso del tanque	18
1.3.16. Perfil de coronamiento	18
1.3.17. Consideraciones sísmicas	19
1.3.18. Materiales a emplear en tanques de almacenamiento	23
1.3.19. Sobre Microsoft Excel	24

1.3.20. Sobre SolidWorks	26
<b>1.4. Formulación del problema:</b>	<b>31</b>
<b>1.5. Justificación</b>	<b>31</b>
1.5.1. Relevancia tecnológica	31
1.5.2. Relevancia económica	31
1.5.3. Relevancia social	32
1.5.4. Relevancia institucional	32
<b>1.6. Hipótesis</b>	<b>32</b>
<b>1.7. Objetivos</b>	<b>32</b>
<b>II. MÉTODO</b>	<b>33</b>
<b>2.1. Tipo y diseño de investigación</b>	<b>33</b>
<b>2.2. Variables y operacionalización.</b>	<b>36</b>
<b>2.3. Población y muestra</b>	<b>38</b>
<b>2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos</b>	<b>38</b>
<b>2.5. Procedimientos de recolección de datos</b>	<b>38</b>
<b>2.6. Métodos de análisis de datos</b>	<b>38</b>
<b>2.7. Aspectos éticos</b>	<b>38</b>
<b>III. RESULTADOS</b>	<b>39</b>
<b>3.1. Definición de algoritmo de cálculo y comprobación manual del diseño de tanques de almacenamiento de techo cónico fijo.</b>	<b>39</b>
<b>3.2. Programa en MS Excel el algoritmo de cálculo definido para tanques de almacenamiento de techo cónico fijo.</b>	<b>55</b>
<b>3.3. Dibujar en Solidworks desde el programa en Excel el tanque de almacenamiento de agua según capacidad máxima de 1200 m<sup>3</sup> en Solidworks.</b>	<b>59</b>
<b>3.4. Tabla de diseño en Solidworks y vinculación con el programa en Excel.</b>	<b>64</b>
<b>IV. DISCUSIÓN</b>	<b>67</b>
<b>V. CONCLUSIONES</b>	<b>68</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES</b>	<b>70</b>
<b>VII. REFERENCIAS</b>	<b>71</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>73</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1, Espesor de virolas en el cuerpo del tanque.	2
Tabla 2, Espesor del fondo del tanque, Apéndice E sección 4.4. (API, 2007)	17
Tabla 3, factor de zona sísmica en Perú. (E030, 2019)	21
Tabla 4, Factor de sitio Fa. (API, 2007)	21
Tabla 5, Factor de sitio Fv. (API, 2007)	22
Tabla 6, Factor de modificación de respuesta sísmica impulsiva y convectiva según el anclaje del tanque. (API, 2007)	22
Tabla 7, Operacionalización de la variable.	37
Tabla 8, Iteraciones para dimensiones con diferentes capacidades.	41
Tabla 9, Espesor de anillos para 12 m <sup>3</sup> .	42
Tabla 10, Espesor de anillos para 600 m <sup>3</sup> .	42
Tabla 11, Espesor de anillos para 1200 m <sup>3</sup> .	43
Tabla 12, Espesor mínimo requerido para el techo.	44
Tabla 13, Espesor de diseño y comercial del techo del tanque.	44
Tabla 14, Espesor mínimo de primer anillo.	46
Tabla 15, Parámetros de diseño del tanque.	48
Tabla 16, Parámetros sísmicos.	49
Tabla 17, coeficiente de sitio Fa.	49
Tabla 18, coeficiente de sitio Fv.	49
Tabla 19, Masa impulsiva y convectiva.	50
Tabla 20, Centros de volteo.	50
Tabla 21, Coeficiente de fuerza lateral sísmica.	53
Tabla 22, Momento de volteo efectivo	54
Tabla 23, compresión por sismo.	55
Tabla 24, Condiciones generales de operación.	59
Tabla 25, Condiciones del techo.	59
Tabla 26, Condiciones del fondo.	60
Tabla 27, Condiciones sísmicas.	60
Tabla 28, Características técnicas del techo.	60
Tabla 29, Características técnicas del fondo.	60
Tabla 30, Características técnicas del cuerpo.	61

Tabla 31, Condiciones generales de operación.	61
Tabla 32, Condiciones del techo.	62
Tabla 33, Condiciones del fondo.	62
Tabla 34, Condiciones sísmicas.	62
Tabla 35, Características técnicas del techo.	62
Tabla 36, Características técnicas del fondo	63
Tabla 37, Características técnicas del cuerpo.	63
Tabla 38, Cuadro de diseño para tanque con 1 anillo.	64
Tabla 39, Cuadro de diseño para tanques con 2 anillos.	64
Tabla 40, Cuadro de diseño para tanques con 3 anillos.	65
Tabla 41, Cuadro de diseño para tanques con 4 anillos.	66

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1, Tanque horizontal. (aaronequipment, 2015)	5
Figura 2, Tanque vertical. (tank connection, 2015)	5
Figura 3, clasificación general de techos de tanque.	6
Figura 4, Elementos de un tanque vertical techo cónico fijo. (Rodríguez de Vicente, 2010)	6
Figura 5, Tanque vertical con techo esférico fijo. (ceazul, 2013)	7
Figura 6, Tanque vertical con techo flotante. (Mesa ETP , 2008)	7
Figura 7, Capacidad del tanque. Cotas en metros. (Rodríguez de Vicente, 2010)	13
Figura 8, Capacidad de un cilindro.	13
Figura 9, longitud de proyección en milímetros del extremo del fondo. (Chávez, 2014)	17
Figura 10, Perfil de coronamiento. (API, 2007)	18
Figura 11, Entorno de trabajo de MS Excel.	24
Figura 12, Entorno de trabajo de SolidWorks.	27
Figura 13, Diseño de investigación (parte 1)	33
Figura 14, Diseño de investigación (parte 2)	34
Figura 15, Diseño de investigación (parte 3)	35
Figura 16, Área disponible en el dimensionamiento del tanque.	39
Figura 17, Coeficiente de periodo natural impulsivo.	51
Figura 18, Página 1 del programa en Excel.	56
Figura 19, Página 2 del programa en Excel.	57
Figura 20, Página 3 del programa en Excel.	57
Figura 21, Página 4 del programa en Excel.	58
Figura 22, Página 5 del programa en Excel.	58
Figura 23, Diseño de tanque de 12 m <sup>3</sup> en SolidWorks.	61
Figura 24, Diseño de tanque de 600 m <sup>3</sup> en solidworks.	63
Figura 25, Factor de zona sísmica en Perú. (E030, 2019)	73
Figura 26, Coeficiente Ci.	74
Figura 27, Entorno de trabajo en SolidWorks, tanque de 4 anillos.	74

## RESUMEN

En el presente estudio se realizó el diseño de tanques de almacenamiento de agua con techo cónico fijo bajo norma API 650 haciendo uso de Excel y Solidworks. El alcance que se logró con este trabajo, fue para diseñar tanques desde 12 hasta 1200 metros cúbicos de capacidad de almacenamiento de agua. Para dicho procedimiento, se utilizó la norma API 650, la cual es una guía para el diseño de tanques atmosféricos y se cita la norma E. 0.30 para algunas consideraciones de sismo-resistencia.

En el primer capítulo se explica cómo se identificó la necesidad de contar con una secuencia de cálculo en Excel que permita el diseño de tanques bajo norma API 650 para luego exportar un esquema general en SolidWorks. Se requirió abordar tanques desde una capacidad de 12 m<sup>3</sup> hasta 1200 m<sup>3</sup>, para lo cual se planteó definir el algoritmo de cálculo y programarlo en Excel, luego se procedió a dibujar en SolidWorks el modelo para luego vincularlo mediante una tabla de diseño al programa. El programa pudo determinar los espesores de cada nivel del tanque, del fondo y del techo, así mismo determina si es necesario anclaje mecánico o si se encuentra auto-anclado el tanque según los datos ingresados (capacidad de almacenamiento, temperatura de fluido, condiciones del terreno, altura del techo, etc.). El programa permite abrir desde Excel el diseño preliminar del tanque ya dimensionado de manera que se puede usar para acompañar la memoria de cálculo y/o la cotización como respuesta a la solicitud de algún cliente. Este diseño en SolidWorks si se desea se puede mejorar, pero guardando el archivo con nombre distinto y colocando todos los accesorios requeridos (boquillas, bridas, venteo, etc.).

Se diseñó tanques de 12, 600 y 1200 m<sup>3</sup> para comprobación del programa. Se seleccionó el diámetro de cada uno buscando que el diámetro sea mayor que la altura del tanque; así mismo, se optó por el acero ASTM A36 como material de las planchas seleccionadas para estos ejemplos; de este modo se obtuvo el número de anillos para cada capacidad, 1, 5 y 6 respectivamente. Los espesores varían según la profundidad, siendo mayor el espesor en los anillos más cercanos al fondo. El espesor del fondo se dimensionó a partir de la presión de prueba hidrostática, el espesor del anillo más cercano al fondo y una tabla de la norma API 650. El espesor de las planchas del techo, se definieron entre el espesor mínimo y máximo recomendados por la norma API 650, estos son 3/16'' y 1/2''.

Se logró comprobar los resultados del programa en Excel mediante cálculo manual de 3 tanques de almacenamiento de capacidades 12, 600 y 1200 metros cúbicos de agua. El tiempo que lleva calcular un tanque, ya sea a mano o en Excel y luego diseñarlo en SolidWorks, es mayor que realizarlo en el programa que se propone en esta tesis.

Palabras clave: Tanque, diseño, espesor.

## ABSTRACT

In the present study, the design of water storage tanks with fixed conical roof under API 650 standard was carried out using Excel and Solidworks. The scope achieved with this work was to design tanks from 12 to 1200 cubic meters of water storage capacity. For this procedure, the API 650 standard was used, which is a guide for the design of atmospheric tanks and the E. 0.30 standard is quoted for some earthquake-resistance considerations.

The first chapter explains how the need for a calculation sequence in Excel was identified that allows the design of tanks under API 650 to then export a general scheme in SolidWorks. It was required to approach tanks from a capacity of  $12 \text{ m}^3$  to  $1200 \text{ m}^3$ , for which it was proposed to define the calculation algorithm and program it in Excel, then the model was then drawn in SolidWorks and then linked through a design table to the program. The program was able to determine the thicknesses of each level of the tank, the bottom and the roof, and also determines if mechanical anchoring is necessary or if the tank is self-anchored according to the data entered (storage capacity, fluid temperature, water conditions terrain, ceiling height, etc.). The program allows to open from Excel the preliminary design of the tank already dimensioned so that it can be used to accompany the calculation memory and / or the quotation in response to a customer's request. This design in SolidWorks if desired can be improved, but by saving the file with a different name and placing all the required accessories (nozzles, flanges, venting, etc.).

Tanks of 12, 600 and 1200 m<sup>3</sup> were designed for program verification. The diameter of each one was selected looking for the diameter to be greater than the height of the tank; Likewise, ASTM A36 steel was chosen as the material of the plates selected for these examples; in this way the number of rings for each capacity, 1, 5 and 6 respectively, was obtained. The thicknesses vary according to the depth, the thickness being greater in the rings closest to the bottom. The thickness of the bottom was sized from the hydrostatic test pressure, the thickness of the ring closest to the bottom and a table of the API 650 standard. The thickness of the roof sheets was defined between the minimum and maximum thickness recommended by API 650 standard, these are 3/16 " and 1/2 ".

It was possible to check the results of the program in Excel by manual calculation of 3 storage tanks with capacities of 12, 600 and 1200 cubic meters of water. The time it takes to calculate a tank, either by hand or in Excel and then design it in SolidWorks, is longer than doing it in the program proposed in this thesis.

Keywords: tank, design, thickness.

## **I. INTRODUCCIÓN**

### **1.1. Realidad problemática**

Las empresas que brindan servicios de diseño y fabricación en el rubro metalmecánico encuentran la necesidad de contar con herramientas computacionales que puedan dotarles de capacidad tecnológica para analizar problemas y dar soluciones óptimas con rapidez de modo que puedan satisfacer las exigencias de calidad y tiempo de entrega de los clientes. Es por eso que en la actualidad se cuentan con diferentes softwares que nos permiten realizar cálculos como MS Excel. Así mismo, como programa para el diseño mecánico está SolidWorks.

Usualmente SolidWorks y Excel se les da un uso por separado, muchas veces por desconocimiento o porque no encuentran necesario su uso combinado; para lo cual las empresas pasan a realizar cálculos manuales que llevan horas realizar.

Un caso particular y que es frecuentado por las empresas metalmecánicas del Perú, es el diseño de tanques de almacenamiento verticales bajo norma API 650, para lo cual se necesita programas computacionales tanto en etapa de cálculo como en fabricación; esto es de lo que se mencionaba en el párrafo anterior y que toma mayor relevancia cuando existe competencia por ser la mejor propuesta para el potencial cliente. Es por eso que algunas empresas con cierta cobertura económica, sin excluir otros factores, tiene mayores posibilidades de ganar un proyecto y poder ejecutarlo.

Por otra parte, las pequeñas empresas no cuentan o no conocen de este software específico para diseño de tanques que realizan el análisis y diseño con mayor rapidez; es ahí cuando se debe considerar el hecho de que un ingeniero mecánico con los conocimientos adquiridos a lo largo de su trayectoria universitaria debe tener la capacidad de proponer soluciones a las empresas en las que se insertarán al empezar su vida laboral.

En La Libertad, las empresas como Casa Grande S.A.A, Cartavio S.A.A, Trupal S.A, Laredo S.A.A, etc. requieren tanques de almacenamiento de agua con techo cónico auto-soportado y soportados por estructuras; para lo cual se necesitan programas aplicativos que puedan calcular y diseñar estos tanques, de modo que el cliente pueda tener diferentes opciones para diseñar según su necesidad.

Según Osinergmin, todo tanque que no esté sometido a presiones altas y contenga líquidos con poca cantidad de vapores (que no exige techo flotante), es recomendable usar tanques atmosféricos con techo cónico fijo. Esto quiere decir que los tanques de agua utilizan techo cónico fijo por su menor costo y por qué no representan un peligro; e inclusive algunos tanques que almacenan diésel residual usan este tipo de techo.

## 1.2. Trabajos previos

**Rodríguez (2010)**, en su tesis dimensionó y diseñó la parte estructural de un tanque de almacenamiento de agua desmineralizada para una central térmica de ciclo combinado.

Concluyo que, de acuerdo a los criterios de elección, se optó por diseñar un tanque de 12m de altura y 26, de diámetro. Se consideró como material de fabricación el acero inoxidable A240 Tp 304L, por lo que el tanque se instalará cercano al mar; por ello no se considera el sobre espesor de corrosión para el cálculo. La tensión admisible de diseño es de 117 MPa y la tensión admisible en prueba hidrostática 145 MPa. Los espesores calculados se muestran en la tabla 1.1 (Rodríguez de Vicente, 2010)

**Tabla 1**, *Espesor de virolas en el cuerpo del tanque.*

Virola	Altura al suelo de virola (m)	Espesor comercial (mm)
1	12	16
2	10	14
3	8	11
4	6	9
5	4	6
6	2	6

Se adopta un espesor de 6 mm para el techo y para el fondo. Para este diámetro de tanque se consideró el techo en forma de cono auto-soportado. Se proyectó un tiempo de ejecución de 3 meses y 3 semanas, el menor de entre las 3 alternativas. El coste es de 1.709.352 €, el más económico de las 3 alternativas contempladas. Por último, se calcularon las cargas que afectan al tanque seleccionado y aspectos específicos como la necesidad de anillos rigidizadores en el tanque. Realizar este proyecto ha contribuido a aumentar y enriquecer la formación técnica recibida en la Universidad con una visión real y práctica. El investigador indicó que trabajó con las normas americanas de diseño para resolver un problema real ofreciendo una solución eficiente, proceso englobado dentro de la empresa privada.

**Jiménez (2012)**, en su tesis diseñó un tanque de almacenamiento atmosférico de 20 000 lbs de capacidad.

Llegó a la conclusión que, relacionando, investigando y definiendo las principales características de los diferentes depósitos de almacenamiento que existen en la industria petrolera, se diseñó un tanque de almacenamiento de cúpula fija con las dimensiones que se necesitan para almacenar el producto, a través de esta propuesta el diseño se realizó con las normas API, las NRF de Petróleos Mexicanos y las de la comisión federal de electricidad. Siendo la API 650 la más utilizada por ser la norma que se utiliza para diseñar los tanques cilíndricos verticales. Se calculó un tanque de almacenamiento de cúpula fija, con techo tipo cónico, con una envolvente formada por 5 anillos de diferentes espesores que van desde 3/8 "hasta 1/4" y con capacidad de 20 000 Bls para adaptar la nafta. (Jiménez Antonio, 2012)

**Castillo y Ochoa (2000)**, en su investigación diseño y cálculo de un tanque de almacenamiento de querosene con diámetro de 80 ft 40 ft de altura bajo norma API 650.

Concluyeron que, el diseño y fabricación del tanque es totalmente factible, es decir, su construcción puede ser totalmente llevada a cabo en un plano físico por los resultados mostrados en los cálculos. Al trabajar el diseño del tanque bajo normas utilizadas en el país y en el extranjero, unificamos los resultados, colocando el tanque en competencia con cualquier otro diseño que compañías ya establecidas pudieran diseñar. Como propuesta de instrumentación se menciona un flotador de base sencilla en su medición. Con la posibilidad de ampliarse hasta flotadores que trabajan en compañía de software especializados. En este caso la compañía MAGNETROL presenta diferentes flotadores en su catálogo en línea. Presentando nosotros para un gasto menor el antes mencionado. (Castillo Elizarrarás & Ochoa Pozos, 2000)

**De León (2010)**, en su tesis planteo una guía para el diseño estructural de cimientos y anclajes de tanques de almacenamiento tipo API 650.

Llegó a la conclusión que, la utilización de anclajes asegura la permanencia estable del tanque de almacenamiento con el cemento, y reduce la posibilidad de volteo del tanque debido a la presencia de sismos y vientos. 3. Existen varios tipos de cimentación para tanques superficiales API 650, la selección de ellos depende de las condiciones del suelo y de los requerimientos del cliente, pero sin duda alguna la mejor forma de cimentación es la del

anillo anular de concreto, ya que distribuye de forma eficiente el peso de las paredes y el techo. Siempre que se haga un buen tratamiento de suelo. (De León Arreaga, 2010)

### **1.3. Teorías relacionadas al tema**

#### **1.3.1. Tipos de tanques**

Existen diferentes tipos de tanques, si se considera según cuál será su función, su clasificación puede ser: tanques de almacenamiento y de proceso. Otro modo es según la forma final que este tendrá, en los cuales tenemos: cilíndricos y esféricos. A su vez los tanques cilíndricos se pueden clasificar en verticales u horizontales, según requerimientos de almacenamiento específicos, tales como tanques fijos o móviles (tanques cisterna para transporte de combustible).

Según su uso los recipientes de almacenamiento nos sirven únicamente para almacenar fluidos, y de acuerdo con su servicio son conocidos como tanques de almacenamiento, tanques diarios, tanques acumuladores, etc. Los recipientes a presión de proceso tienen múltiples y muy variados usos, entre ellos podemos citar los cambiadores de calor, reactores, torres fraccionadoras, torres de destilación, etc.

Según su forma, los recipientes a presión, pueden ser cilíndricos o esféricos. Los primeros pueden ser horizontales o verticales, y pueden tener, en algunos casos, chaquetas para incrementar o decrecer la temperatura de los fluidos según el caso. Los recipientes esféricos se utilizan generalmente como tanques de almacenamiento, y se recomiendan para almacenar grandes volúmenes a altas presiones. Puesto que la forma esférica es la forma “natural” que toman los cuerpos al ser sometidos a presión interna, ésta sería la forma más económica para almacenar fluidos a presión, sin embargo, la fabricación de este tipo de recipientes es mucho más cara en comparación con los recipientes cilíndricos.

#### **1.3.2. Tanque cilíndrico horizontal**

Los tanques cilíndricos horizontales, generalmente son de Volúmenes relativamente bajos, debido a que presentan problemas por fallas de corte y de flexión. Se usan por lo general, para almacenar volúmenes pequeños. En centrales termoeléctricas se suelen utilizar como tanques de condensado, es por ello que en la figura 1 se puede observar que está cubierto con aislante.



*Figura 1, Tanque horizontal. (aaronequipment, 2015)*

### **1.3.3. Tanque cilíndrico vertical**

Los tanques cilíndricos verticales de fondo plano nos permiten almacenar grandes cantidades volumétricas con un costo bajo. Con una limitante que restringe su uso a presión atmosférica o presiones internas relativamente pequeñas. Un tanque vertical cuando se trata de almacenar agua, es usualmente usado como tanque diario de agua en una central termoeléctrica, como tanque de agua contra incendios, como reservorio para agua para proceso, como tanque de agua de enfriamiento para foco frío en una central térmica, etc.



*Figura 2, Tanque vertical. (tank connection, 2015)*

Este tipo de tanque se clasifica en:

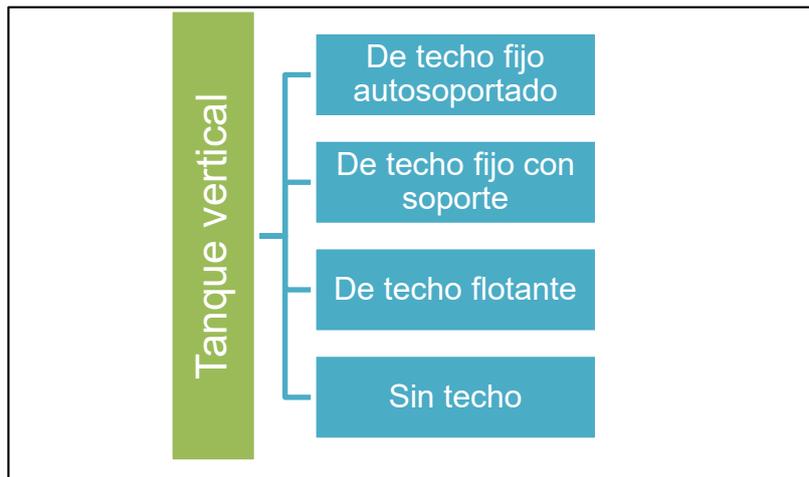


Figura 3, clasificación general de techos de tanque.

### 1.3.3.1. Tanque cilíndrico vertical con techo fijo

Se emplean para contener productos no volátiles o debajo contenido de ligeros (no inflamables) como son: agua, diésel, asfalto, petróleo crudo, etc. Debido a que, al disminuir la columna del fluido, se va generando una cámara de aire que facilita la evaporación del fluido, lo que es altamente peligroso. Los techos fijos se clasifican en:

- Techos auto-soportados.
- Techos soportados.

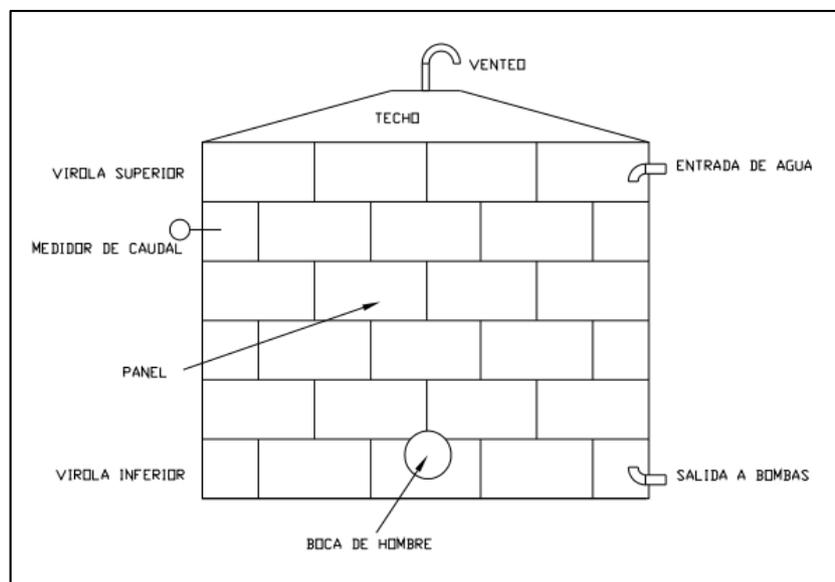


Figura 4, Elementos de un tanque vertical techo cónico fijo. (Rodríguez de Vicente, 2010)

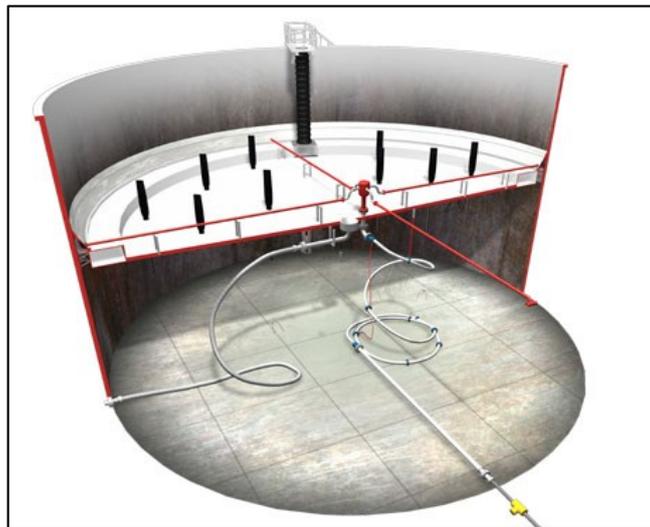
Según la norma API 650 existe un diámetro máximo hasta el cual un tanque puede diseñarse con techo auto-soportado, esto también depende del ángulo de inclinación del techo. En la figura a continuación se muestra las partes de un tanque vertical de techo fijo. (API, 2007)



*Figura 5, Tanque vertical con techo esférico fijo. (ceazul, 2013)*

### **1.3.3.2. Tanque cilíndrico vertical con techo flotante**

Se emplea para almacenar productos con alto contenido de volátiles como son: alcohol, gasolinas y combustibles en general. Este tipo de techo fue desarrollado para reducir o anular la cámara de aire, o espacio libre entre el espejo del líquido y el techo, además de proporcionar un medio aislante para la superficie del líquido, reducir la velocidad de transferencia de calor al producto almacenado durante los periodos en que la temperatura ambiental es alta, evitando así la formación de gases (su evaporación), y consecuentemente, la contaminación del ambiente y, al mismo tiempo se reducen los riesgos al almacenar productos inflamables. (API, 2007)



*Figura 6, Tanque vertical con techo flotante. (Mesa ETP , 2008)*

### **1.3.3.3. Tanque cilíndrico vertical sin techo**

Se usan para almacenar productos en los cuales no es importante que éste se contamine o que se evapore a la atmósfera como el caso del agua cruda, residual, contra incendios, etc.

El diseño de este tipo de tanques requiere de un cálculo especial del anillo de coronamiento, debido a que no hay aporte de área por parte del techo para asegurar la rigidez del cuerpo en la parte más alta del tanque.

#### **1.3.4. Accesorios generales del tanque**

Un tanque de almacenamiento debe llevar instalado una serie de accesorios para cumplir con su función; estos son necesarios para evitar un llenado excesivo del contenido, realizar inspección o mantenimiento en el interior del tanque y para su llenado y vaciado.

La **boquilla** de entrada y de salida, están fabricadas en un tramo de longitud corta de tubería de acero, usualmente cedula 40 con bridas para su empalme con el sistema al que pertenecerá. Al colocar la boquilla se retira material, debilitando el cuerpo por lo que se debe colocar un refuerzo para evitar se generen fallas localizadas en las aberturas de las boquillas. El material del cual se fabricará la boquilla, deberá ser compatible con el material del cuerpo, por ejemplo, si el cuerpo es fabricado en ASTM A36 el tubo para la boquilla podría ser un tubo SCH 40 ASTM A53 grado B sin costura.

El **venteo**, es un elemento que sirve para liberar gases o vapores generados por cambios en la temperatura del fluido almacenado por efecto de cambios en su entorno de manera que se mantenga la presión sin variaciones considerables que puedan sobrecargar las partes del tanque superando las condiciones para las que fue diseñado. El material de fabricación de este elemento debe ser compatible con el material del techo para poder soldar sin dificultad; generalmente se fabrica de un tubo rolado 180° para evitar que ingresen partículas del entorno, lluvia o nieve (según la región donde se encuentre instalado el tanque).

El **acceso de hombre** o manhole como su nombre lo indica permiten el ingreso al interior del tanque de una persona para poder realizar labores de limpieza, mantenimiento o inspección. La norma API 650 muestra medidas estándar para su fabricación. Cuando se instala también se requiere un refuerzo para compensar el área de sección transversal removida.

El **medidor de nivel** es necesario para saber hasta que altura está lleno el tanque para alertar que este sobrepase su altura máxima y se produzca un accidente y el colapso del tanque. Su uso exclusivamente es para prevención de sobre llenado sin embargo no evitan, quien lo evita es el operario o el accesorio al que este medidor de nivel envía la señal on/off.

### **1.3.5. Normas para diseño de tanques**

En los Estados Unidos de Norteamérica y en muchos otros países del mundo, el diseño y cálculo de tanques de almacenamiento, se basa en la publicación que realiza el “Instituto Americano del Petróleo”, al que esta institución designa como “ESTÁNDAR A.P.I. 650”, para tanques de almacenamiento a presión atmosférica y “ESTÁNDAR A.P.I. 620”, para tanques de almacenamiento sometidos a presiones internas cercanas a  $1 \text{ Kg/cm}^2$ .

Este estándar establece lineamientos sobre materiales, diseño y ejecución del proyecto, fabricación, montaje y pruebas para tanques cilíndricos verticales situados encima del suelo, con techo o abiertos, de acero soldado, en diferentes tamaños y capacidades, para presiones internas aproximadamente iguales a la atmosférica, excepto para casos cuando los requisitos adicionales del apéndice F (estándar API 650) son atendidos (admite presiones internas más altas que la atmosférica). Este estándar se basa en el conocimiento adquirido a través de la experiencia de los clientes y fabricantes de tanques de acero, de diferentes tamaños y capacidades. La intención de este estándar es dar especificaciones para el comprador y así facilitar la manufactura y obtención del tanque de almacenamiento para la industria del petróleo. Si se compran los tanques de acuerdo con este estándar, se necesita que el comprador especifique ciertos requisitos básicos indicados por el estándar.

API 650, cubre la construcción de tanques metálicos soldados para el almacenamiento de petróleo. La presión interna a la que pueden llegar a estar sometidos es de 15 psig, y una temperatura máxima de  $90 \text{ }^\circ\text{C}$ . Con estas características, son aptos para almacenar a la mayoría de los productos producidos en una refinería. Hay otras además de esta (API 620, API 12B, etc.) Para productos que deban estar a mayor presión (ej. LPG) hay otras normas que rigen su construcción. En aplicaciones especiales, se utilizan tanques criogénicos (ej. Almacenamiento de gas natural licuado), que se rigen por una norma específica que no se de interés en esta tesis. Algunos lineamientos según la norma API para el diseño de un tanque de almacenamiento:

- a) Hay tanques con techo que flota sobre la superficie del líquido, eliminándose el espacio para los vapores. Los principales tipos de techo flotante son: Techos de cubierta simple con pontones, techos de cubierta doble con pontones, y techos flotantes internos que a su vez puede diferenciarse en techos flotantes internos rígidos y en sábanas flotantes (OSINERGMIN, 2014). Los tanques atmosféricos de techo flotante aplican para:

- Almacenamiento de líquidos con Presión de Vapor Reid mayor a 0.281 Kg/cm<sup>2</sup> abs (4 psia).
- Cuando el líquido es almacenado a temperaturas cercanas en 8.3 o C (15 o F) a su punto de inflamación o a temperaturas mayores.
- En tanques cuyo diámetro excede los 45.0 metros y sean destinados a almacenar líquidos de bajo punto de inflamación.
- Almacenamiento de líquidos con alta presión de vapor que son sensitivos a degradación por oxígeno.

b) Los tanques atmosféricos de techo fijo, pueden tener techo auto-soportado o soportado por columnas, la superficie del techo puede tener forma de domo o cono, este último es el ampliamente usado para almacenamiento de agua.

### **1.3.6. Reglamento de seguridad para el almacenamiento de hidrocarburos**

Según el reglamento de seguridad para el almacenamiento de hidrocarburos, DS-052-93-EM (OSINERGMIN, 2014), OSINERGMIN indica que los líquidos pueden ser almacenados en sistemas convencionales y en no convencionales, para este último se debe presentar un proyecto detallando la investigación realizada que prueba que el método a usar es factible; sin embargo, de los sistemas convencionales se despliega una serie de tipos de maneras de almacenar líquidos, de los cuales se ha optado por el tanque atmosférico.

### **1.3.7. Fuerza sobre un área plana**

La fuerza ejercida por un líquido sobre un área plana  $A$  es igual al producto del peso específico  $\gamma$  del líquido a la presión en el centro de la gravedad.

$$F = \gamma * h_{cg} * A \quad (1)$$

Se observa que el producto del peso específico  $\gamma$  por la profundidad del centro de gravedad de la superficie es igual a la presión en el centro de la gravedad del área. (Giles, 1994)

Calculando la fuerza que el fluido ejerce por el peso de la masa de agua sobre el área lateral de un cilindro se puede determinar el espesor de la pared para poder mantener en equilibrio el sistema.

### 1.3.8. Flujo másico

Es la velocidad a la que la masa de una sustancia pasa a través de una superficie coplanar al plano de una sección transversal. De igual forma, el flujo volumétrico o caudal es la velocidad a la que el volumen de un líquido pasa a través de una superficie dada. Este parámetro se utiliza ampliamente en el diseño de sistemas de tuberías para bombeo de agua y que finalmente se puede usar en el diseño de tanques, ya que según el tiempo de vaciado se puede definir cuál debe ser el área de la base (diámetro interior) y la altura. Así como también los diámetros de las boquillas de entrada y salida.

Cantidad de material expresado en unidades de masa, que atraviesa una sección transversal de área en un ducto por unidad de tiempo (ejemplo, kg/min).

$$\dot{m} = \vec{v} * A_{sc} * \rho \quad (2)$$

Donde:

$\vec{v}$  : Velocidad del flujo de fluido

$A_{sc}$  : Área de sección transversal

$\rho$  : Densidad del fluido.

### 1.3.9. Flujo volumétrico

El flujo volumétrico o tasa de flujo de fluidos es el volumen de fluido que pasa por una superficie dada en un tiempo determinado. Usualmente es representado con la letra Q mayúscula. Algunos ejemplos de medidas de flujo volumétrico son: los metros cúbicos por segundo ( $m^3/s$ ), en unidades básicas del Sistema Internacional) y el pie cúbico por segundo ( $ft^3/s$  en el sistema inglés de medidas).

$$\dot{V} = \frac{\dot{m}}{\rho} = \vec{v} * A_{sc} \quad (3)$$

### 1.3.10. Capacidad (v)

La capacidad del tanque se puede definir desde diferentes puntos de vista, uno de ellos es el caudal de entrada y según la necesidad o lo que requiera el cliente, esto quiere decir que existirá un factor de capacidad en esta etapa de la definición de parámetros la cual representa el tiempo de estadía del fluido en el tanque.

$$V = f(\dot{V}) = (1 \dots n) * \dot{V} \quad (4)$$

Es recomendable usar un factor de capacidad igual a 3, sin embargo, esto puede definirse a solicitud del cliente, al espacio disponible o al criterio de ingeniería.

Usualmente, el cliente solicita un tanque para una capacidad determinada de almacenamiento de agua, es por ello que este parámetro es fundamental a la hora de dar inicio al diseño de un tanque de agua; además de este depende el diámetro, otro parámetro muy importante a considerar.

La capacidad del tanque debe asegurar un suministro continuo o según sea necesario en operación, sin ninguna interrupción. Si un tanque no cuenta con la capacidad adecuada se tendrá un paro en la producción o en el sistema al que está conectado; en casos extremos podría llegar a causar grandes daños a los equipos conectados o que dependen del fluido almacenado por el tanque.

#### **1.3.11. Diámetro y altura**

Se considera buena práctica de diseño que el diámetro del tanque sea mayor o igual a la altura. La altura del tanque es la altura con plancha comercial. La altura de diseño es la altura que define el volumen útil de fluido que puede contener este tanque el cual se mide desde la línea de centro de la tubería de entrada del agua hasta la línea de centro de la tubería de descarga.

La relación altura diámetro, debe ser menor a la unidad para asegurar estabilidad en el tanque diseñado. A su vez es probable que según las dimensiones y las condiciones de sitio el tanque no requiera anclaje mecánico; sin embargo, este es un tema que se aborda más adelante. La geometría del tanque depende del volumen que se desea contener y esta a su vez depende del área disponible para montar el tanque, los equipos y accesorios necesarios para el correcto funcionamiento del tanque.

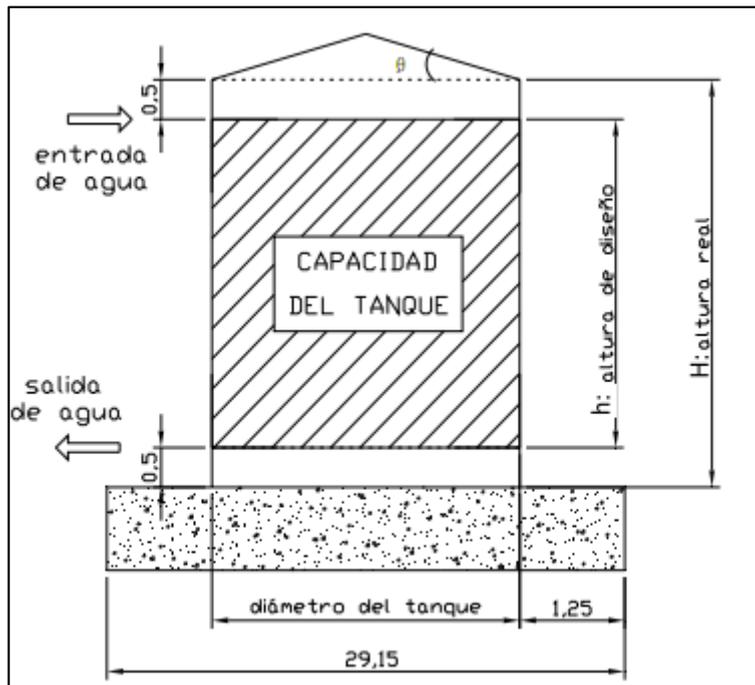


Figura 7, Capacidad del tanque. Cotas en metros. (Rodríguez de Vicente, 2010)

El diámetro del tanque se calcula mediante relaciones básicas de geometría espacial, tales como, la fórmula de volumen de un cilindro y el área de la circunferencia.

$$V = H * A_c \quad (5)$$

$$A_c = \pi * R^2 = \frac{\pi * D^2}{4} \quad (6)$$

Como referencia se considera la figura 8.

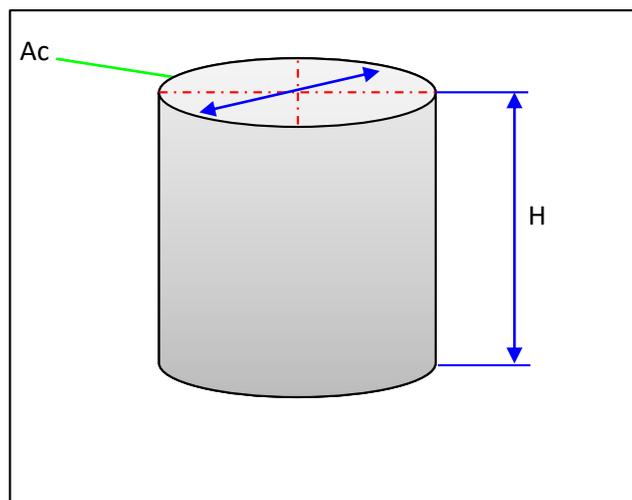


Figura 8, Capacidad de un cilindro.

Sin embargo, esto permite calcular el volumen útil de almacenamiento (de diseño); y para dimensionar el tanque se requiere considerar la altura que existe entre el fondo y el eje de la boquilla de salida, y entre la boquilla de entrada y la parte más alta del cuerpo del tanque. Tal y como se muestra en la figura 1.7. esto lo definen los accesorios o se puede considerar 0.5 m desde el eje de la boquilla E/S hacia arriba y hacia abajo.

### 1.3.12. Espesor de la pared del tanque

La fuerza sobre la pared de cilindro más baja (cerca al fondo) como resultado de la presión hidrostática, depende de la altura del fluido, por lo tanto, existirá un gradiente de presión que hará que exista diferentes espesores de mayor a menor desde el fondo. Según la norma API-650, para tanques:

- Se considera 6 mm en los anillos del cuerpo del tanque.
- Se considera 4.76 mm en el techo del tanque.
- Se debe considerar 4.76 mm en el fondo del tanque más el espesor de corrosión,

$$t_d = \frac{4.9 * D * (H' - 0.3) * G}{(S_d) * E} + CA \quad (7)$$

$$t_t = \frac{4.9 * D * (H' - 0.3)}{(S_d) * E} \quad (8)$$

Dónde:

$t_d$  es el espesor de diseño de plancha (mm).

$t_t$  es el espesor de la plancha para prueba hidrostática (mm).

$S_d$  es la tensión máxima permitida en condiciones de diseño (MPa)

$s_t$  es la tensión máxima permitida en condiciones de prueba hidrostática (MPa)

$D$  es el diámetro nominal del tanque (m).

$H'$  es el nivel de diseño del líquido (m).

$E$  es el coeficiente de eficacia de soldadura.

$G$  es el peso específico del líquido a almacenar  $\left(\frac{m^3}{Kg}\right)$

$CA$  es el sobre espesor de corrosión (mm).

Posteriormente se debe efectuar una comprobación con la presión de diseño, que será de 0,02/-0,02 bar.

$$t_d = \frac{4.9 * D * (H' + 0.2) * G}{(S_d) * E} + CA \quad (9)$$

De entre estas tres expresiones se escoge el resultado más desfavorable, es decir, el que exija un espesor mayor.

### 1.3.13. Cálculo del techo

El techo del tanque no debe ser pesado y para esto la norma API 650 indica los espesores mínimos y máximos en el diseño de tanques auto-soportados, además detalla que existen cuatro tipos de techos para tanques, estos son:

- Techo cónico soportado por vigas y columnas.
- Techo cónico auto soportado solo en su periferia.
- Techo esférico auto soportado solo en su periferia.
- Techo sombrilla auto soportado solo en la periferia.

La norma API 650 (5.10.2.6) indica que se cumpla lo siguiente:

- Tanques de diámetro mayor a 15 m. (50 ft)
- Pendiente: entre el 16% (9.5°) y 75% (37°). En la localización del tanque no hay cargas de nieve, por lo que no se optará por pendientes pronunciadas. Se escogerá la mínima posible.
- El espesor mínimo del techo, debe ser:

$$t_{\text{mínimo}} = \frac{D}{4.8 * \sin \theta} \geq 4.76 \text{ mm} \quad (10)$$

- El espesor máximo del techo:

$$t_{\text{máximo}} = 12.5 \text{ mm}$$

El área que soportará al techo debe ser menor que el área que existe en la virola más cercana al techo del tanque, de tal forma que aquel esté auto soportado. Esto se calcula mediante la expresión 1.11.

$$A_{\text{mín}} = \frac{D^2}{0.432 * \sin \theta} \text{ (m}^2\text{)} \quad (11)$$

Para lo siguiente se calcula el área que forma el espesor de la última virola alrededor de toda su circunferencia.

$$A = \pi * D * t \text{ (m}^2\text{)} \quad (12)$$

#### **1.3.13.1. Carga viva y carga muerta en el techo**

Las cargas vivas son aquellas debidas a la ocupación del techo del tanque, incluyen personas, objetos o divisiones que puedan cambiar de sitio. Generalmente actúan durante períodos cortos de la vida de la estructura. También incluyen el factor de amplificación por el impacto.

Las cargas muertas o permanentes son aquellas cargas que actúan durante toda la vida útil de la estructura. Incluye accesorios tales como: venteo, boquillas, instrumentación, manhole, etc.

Estas cargas intervienen en la determinación del espesor del techo del tanque mediante un factor:

$$\sqrt{\frac{C_d + C_l}{220}} \quad (13)$$

#### **1.3.14. Fondo del tanque y terreno.**

El fondo del tanque es generalmente fabricado con placas traslapadas, para evitar las deformaciones que se pueda presentarse en la cimentación. La norma especifica que si el tanque lleva placas anulares en todo el perímetro sea de un espesor de 3/8 in como mínimo, o también se puede tomar el valor del espesor de la virola más cercana al fondo.

La norma API 650, indica que el espesor del fondo del tanque puede ser igual al espesor de la virola del cuerpo más cercana al fondo. El diámetro del fondo, incluye la anchura radial que se proyecta desde la parte externa del tanque hacia a fuera como se muestra en la figura. Según la norma API el ancho a proyectar hacia a fuera del tanque no debe ser menor a 50 mm (2 pulgadas), entonces:

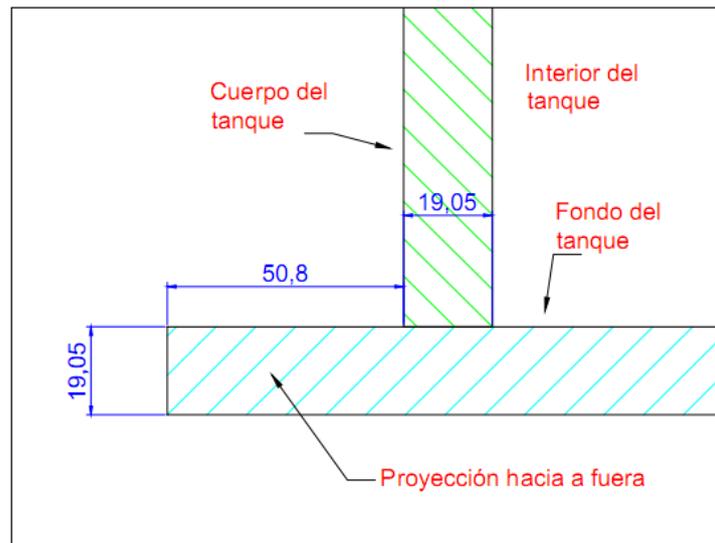


Figura 9, longitud de proyección en milímetros del extremo del fondo. (Chávez, 2014)

Sin embargo, el espesor del tanque se puede calcular en función del esfuerzo en la plancha del fondo del tanque generado por la altura de la masa de líquido sobre esta. Se calcula usando la ecuación de espesor por prueba hidrostática.

Tabla 2, Espesor del fondo del tanque, Apéndice E sección 4.4. (API, 2007)

Espesor mínimo (mm) del primer anillo del cuerpo	Esfuerzo calculado para prueba hidrostática en el primer anillo del cuerpo (MPa)			
	<	<	<	<
	195.05	206.82	227.51	248.11
$t < 9,05$	6,35	6,35	7,14	8,73
$9,05 < t < 25,40$	6,35	7,14	9,52	11,11
$25,40 < t < 31,75$	6,35	8,73	11,91	14,28
$31,75 < t < 38,10$	7,93	11,11	14,28	17,46
$38,10 < t < 44,45$	8,73	12,70	15,87	19,05

Ahora el área a cubrir con placas es:

$$A_{fondo} = \frac{\pi * D_{fondo}^2}{4} \quad (14)$$

De donde:

$D_{fondo}$  = diámetro del fondo del tanque.

$A_{fondo}$  = Área del fondo.

### 1.3.15. Peso del tanque

El peso del tanque depende de la cantidad de placas a usar en su construcción y en la densidad del material que se usará, usualmente los tanques se fabrican en acero ASTM A-36, el cual tiene una densidad promedio de  $7850 \text{ kg/m}^3$ .

El peso del tanque se puede calcular por partes:

- Peso del fondo
- Peso del cuerpo
- Peso del techo
- Peso de accesorios

El peso del tanque también debe contemplar el peso por la soldadura.

### 1.3.16. Perfil de coronamiento

El perfil de coronamiento se usa para evitar deformaciones en las partes superiores del tanque como ovalamiento que alteren el funcionamiento de este o que genere inestabilidad, se debe instalar un elemento que rigidice el tanque y que además sirva como sello entre el techo y el cuerpo. Además, la sección del cuerpo puede necesitar un área mayor para poder soportar el techo.

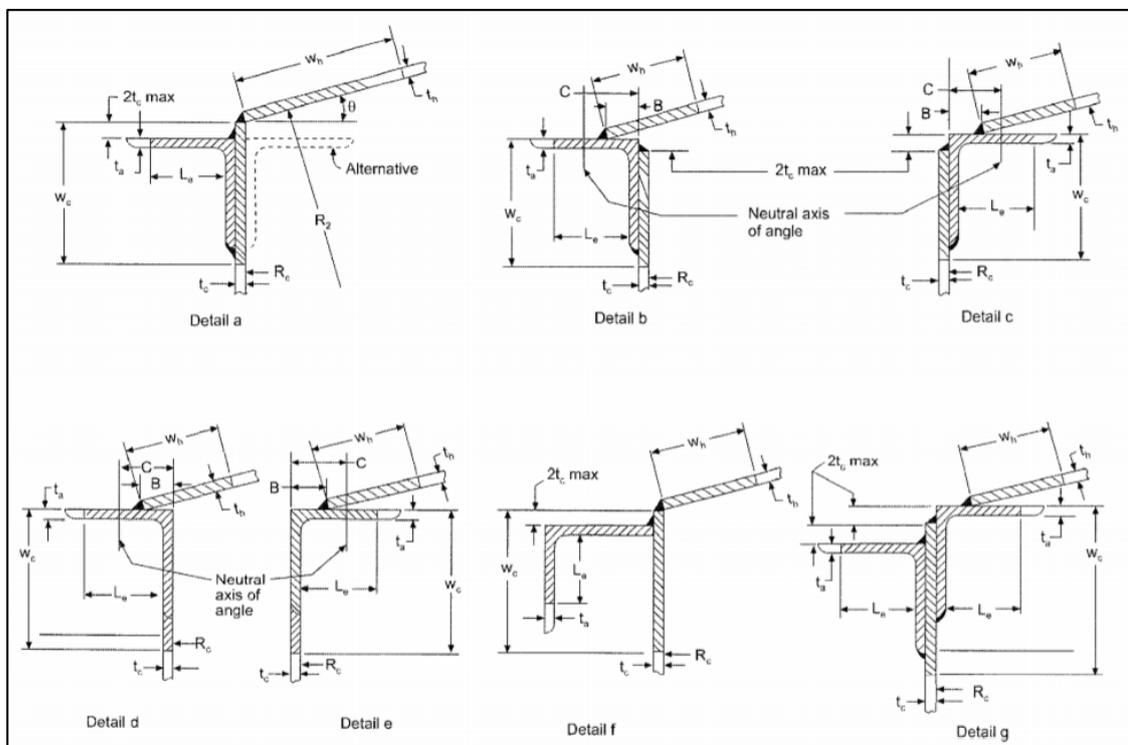


Figura 10, Perfil de coronamiento. (API, 2007)

### 1.3.17. Consideraciones sísmicas

En el diseño de tanques verticales de almacenamiento, sobre todo en zonas con un alto grado de sismicidad como en Perú. Estos movimientos telúricos provocan dos tipos de reacciones sobre el tanque, las cuales son:

- a) Cuando la alta frecuencia relativa amplificada provoca un movimiento lateral del terreno sobre el que está situado el tanque, posteriormente la cantidad de líquido que el recipiente contiene, se mueve al unísono con el cuerpo del tanque.
- b) Cuando la baja frecuencia relativa amplificada provoca un movimiento de la masa del líquido contenido, ocasionando oleaje dentro del tanque.

El movimiento lateral de las masas, genera fuerzas que actúan en el centro de gravedad del tanque, ocasionando la inestabilidad del conjunto, que multiplicado por el brazo de palanca respecto del fondo, originan un momento de volcadura, produciendo una compresión longitudinal, provocando la deformación del cuerpo. Por lo que el tanque será diseñado para resistir este fenómeno.

Para determinar el momento de volteo se debe antes calcular los siguientes valores:

- Relación altura - diámetro (H/D): Esta relación nos permitirá definir indirectamente la estabilidad del tanque bajo condiciones sísmicas y con presencia de vientos con velocidades considerables que pueden ocasionar el volteo del tanque.
- Peso del fluido: Está relacionado directamente con la capacidad de almacenamiento e indirectamente con la estabilidad del tanque, debido que según el nivel del agua en el tanque este aportará cierto momento en contra del volteo.

$$W_{fluido} = \frac{\pi * d^2 * h * \rho_{fluido}}{4} \quad (15)$$

- Peso efectivo impulsivo (Wi)

Cuando  $D/H \geq 1.33$

$$W_i = \frac{\tanh\left(0.866 * \frac{D}{H}\right)}{0.866 * \frac{D}{H}} * W_{fluido} \quad (16)$$

Cuando  $D/H < 1.33$

$$W_i = \left(1.0 - 0.218 * \frac{D}{H}\right) * W_{fluido} \quad (17)$$

- Peso efectivo convectivo ( $W_c$ )

$$W_c = 0.230 * \frac{D}{H} * \tanh\left(3.67 * \frac{H}{D}\right) * W_{fluido} \quad (18)$$

- Peso total del techo (Peso del techo + Carga viva + carga muerta)

$$W_{techo,total} = W_{techo,libre} + C_v + C_m \quad (19)$$

- Centroide de la fuerza sísmica ( $x_i, y_c$ )

Cuando  $D/H \geq 1.33$

$$X_i = 0.375 * H \quad (20)$$

Cuando  $D/H < 1.33$

$$X_i = \left(0.5 - 0.094 * \frac{D}{H}\right) * H \quad (21)$$

- Coeficiente del periodo impulsivo ( $C_i$ )

$$X_c = \left[1.0 - \frac{\cosh\left(3.67 * \frac{H}{D}\right) - 1}{\frac{3.67 * H}{D} * \sinh\left(3.67 * \frac{H}{D}\right)}\right] \quad (22)$$

- Periodo natural impulsivo ( $T_i$ )

$$T_i = \left(\frac{1}{\sqrt{200}}\right) * \left(\frac{C_i * H}{\sqrt{\frac{t_u}{D}}}\right) * \left(\frac{\rho}{E}\right) \quad (23)$$

- Factor de zona ( $z$ ), según Norma sismo-resistente E. 030, La zonificación propuesta se basa en la distribución espacial de la sismicidad observada, las características generales de los movimientos sísmicos y la atenuación de éstos con la distancia epicentral, así como en información geotectónica. Véase la tabla 3 donde indica los factores de zona  $Z$  según la norma peruana vigente para el diseño sismo-resistente.

**Tabla 3, factor de zona sísmica en Perú. (E030, 2019)**

<b>Tabla N° 1 FACTORES DE ZONA "Z"</b>	
ZONA	Z
4	0,45
3	0,35
2	0,25
1	0,10

- Coeficiente del periodo de oleaje ( $K_s$ )

$$K_s = \frac{0.578}{\sqrt{\tanh\left(\frac{3.68 * H}{D}\right)}} \quad (24)$$

- Periodo natural convectivo ( $T_c$ )

$$T_c = 1.8 * K_s * \sqrt{D} \quad (25)$$

- Factor de micro-zonificación  $S_{D1}$ , El diseño, 5% de amortiguamiento, parámetro de aceleración de respuesta espectral en un segundo basado en la ASCE 7, es igual a  $Q, F_v, S1, \% g$ .
- Factor de micro-zonificación  $S_{DS}$ : El diseño, 5% de amortiguamiento. parámetro de aceleración de respuesta espectral en periodos cortos ( $t = 0,2$  segundos) basado en ASCE 7, es igual a  $Q, F_a, S_s, \% g$ .
- Factor de sitio ( $F_a$ ), sobre la base de la clase de sitio y respuesta espectral en periodos cortos. En la tabla 4 se muestran estos factores extraídos del apéndice E en la sección 4.4 de la norma internacional API 650 – 2007.

**Tabla 4, Factor de sitio  $F_a$ . (API, 2007)**

Clase de sitio	Descripción	Mapeado espectral de respuesta de aceleración en				
		$S_s \leq$	$S_s =$	$S_s =$	$S_s =$	$S_s \geq$
		0.25	0.50	0.75	1.00	1.25
A	Hard Rock	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	Moderate Rock	1	1	1	1	1
C	Dense Soil, Soft Rock	1.2	1.2	1.1	1	1
D	Stiff soil	1.6	1.4	1.2	1.1	1
E	Soft Soil, Clay	2.5	1.7	1.2	0.9	
F	fill and Other					

- Factor de sitio ( $F_v$ ), sobre la base de la clase de sitio y respuesta espectral en periodos cortos. En la tabla 5 se observa que este factor depende de las condiciones del suelo, lo cual indica que se requiere un estudio de suelos.

**Tabla 5, Factor de sitio  $F_v$ . (API, 2007)**

Clase de sitio	Descripción	Mapeado espectral de respuesta de aceleración en				
		$S1 \leq$	$S1 =$	$S1 =$	$S1 =$	$S1 \geq$
		0.10	0.20	0.30	0.40	0.50
A	Hard Rock	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	Moderate Rock	1	1	1	1	1
C	Dense Soil, Soft Rock	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
D	Stiff soil	2.4	2	1.8	1.6	1.5
E	Soft Soil, Clay	3.5	3.2	2.8	2.4	
F	fill and Other					

- Factor de modificación de respuesta sísmica

**Tabla 6, Factor de modificación de respuesta sísmica impulsiva y convectiva según el anclaje del tanque. (API, 2007)**

Anchorage system	Impulsivo	Convectivo
	$R_{wi}$	$R_{wc}$
Auto anclado	3.5	2
Anclado mecánico	4	2

- Aceleración espectral impulsiva y convectiva

$$A_i = S_{DS} * \left(\frac{I}{R_{wi}}\right) \text{ o } A_i \geq 0.5 * S_1 * \left(\frac{I}{R_{wi}}\right) \quad (26)$$

Si  $T_c \leq T_L$

$$A_c = K * S_{D1} * \left(\frac{1}{T_c}\right) * \left(\frac{I}{R_{wc}}\right) \quad (1.27)$$

Si  $T_c > T_L$

$$A_c = K * S_{D1} * \left(\frac{T_L}{T_c^2}\right) * \left(\frac{I}{R_{wc}}\right) \quad (1.28)$$

- Momento de volteo, se calcula basado en el cuerpo del tanque, multiplicando las componentes impulsivas y convectivas con sus respectivos centros sísmicos.

$$M_{rw} = \sqrt{[A_i * (W_i * X_i + W_s * X_s + W_r * X_r)]^2 + [A_c * (W_c * X_c)]^2} \quad (1.29)$$

### **1.3.18. Materiales a emplear en tanques de almacenamiento**

Para un diseño adecuado, cálculo y fabricación de un tanque de almacenamiento es importante seleccionar correctamente el material dentro de una gama de aceros disponibles en el mercado, por lo que a continuación listamos los materiales usados, según Standard A.S.T.M. (American society for testing and materials).

#### **A-36.- Acero estructural**

Sólo para espesores iguales o menores de 38 mm. (1 1/2 pulg.). Este material es aceptable y usado en los perfiles, ya sean comerciales o ensamblados de los elementos estructurales del tanque.

#### **A-131.- Acero estructural**

**Grado A** para espesor menor o igual a 12.7 mm (1/2 pulg.)

**Grado B** para espesor menor o igual a 25.4 mm. (1 pulg.)

**Grado C** para espesores iguales o menores a 38 mm. (1-1/2 pulg.)

**Grado EH36** para espesores iguales o menores a 44.5 mm. (1-3/4 pulg.)

#### **A-283.- Placas de acero al carbón con medio y bajo esfuerzo a la tensión**

**Grado C** Para espesores iguales o menores a 25 mm. (1 pulg.). Este material es el más socorrido, porque se puede emplear tanto para perfiles estructurales como para la pared, techo, fondo y accesorios del tanque.

#### **A-285.- Placa de acero al carbón con medio y bajo esfuerzo a la tensión**

**Grado C** Para espesores iguales o menores de 25.4 mm. (1 pulg.). Es el material recomendable para la construcción del tanque (cuerpo, fondo, techo y accesorios principales), el cual no es recomendable para elementos estructurales debido a que tiene un costo relativamente alto comparado con los anteriores.

#### **A-516.- Placa de acero al carbón para temperaturas de servicio moderado**

**Grado 55, 60, 65 y 70.** Para espesores iguales o menores a 38mm. (1-1/2 pulg.). Este material es de alta calidad y, consecuentemente, de un costo elevado, por lo que se recomienda su uso en casos en que se requiera de un esfuerzo a la tensión alta, que justifique el costo.

### 1.3.19. Sobre Microsoft Excel

Microsoft Excel es una aplicación distribuida por Microsoft Office. Este programa es desarrollado y distribuido por Microsoft, y usualmente se usa en tareas financieras y contable sin embargo también es muy bien adaptado a ingeniería. En la figura N°1.8, se muestra parte del entorno de trabajo de esta aplicación.

Excel permite que los usuarios puedan elaborar tablas y formatos que incluyan cálculos matemáticos mediante fórmulas; las cuales pueden usar operadores matemáticos como son: suma, resta, multiplicación, división, potenciación; además de poder utilizar elementos denominados funciones (especie de fórmulas, pre-configuradas) como, por ejemplo: suma, promedio, buscar, etc. En la figura 11 se muestra un programa en Excel para diseño.

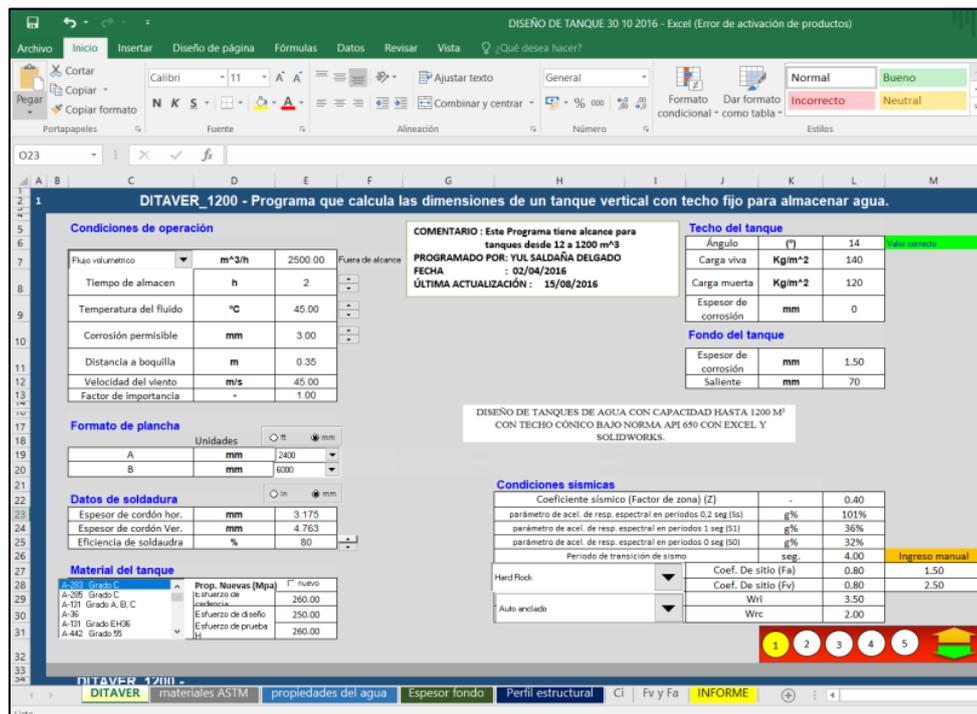


Figura 11, Entorno de trabajo de MS Excel.

#### 1.3.19.1. Vinculación de celdas

Cuando vinculas una celda en Excel a una celda de otra hoja de cálculo, la celda que contiene el enlace muestra la misma información que la celda de la otra hoja. Se debe tener cuidado

a la hora que se genera la ruta de vinculación, ya que podría cambiarse de carpetas el archivo vinculado y como consecuencia pierde la vinculación. La celda que contiene el enlace se denomina celda dependiente. La celda en la otra hoja de cálculo que contiene los datos a los cuales referencia el enlace es llamada celda precedente. Se puede llevar a cabo vinculación de múltiples celdas de otra hoja de cálculo, para ello se usa una función matricial, que permite vincular un rango de celdas con una fórmula determinada.

La vinculación de celdas forma parte de una herramienta muy importante en la programación en Excel, ya que como se abordará en el desarrollo del proyecto, la tabla de diseño que Solidworks ofrece en formato Excel se vinculará con nuestra hoja de cálculo de tanques de almacenamiento.

### **1.3.19.2. Función SI (if)**

Esta función es un condicional para bifurcar una opción según dos circunstancias (si o no) (Verdadero o falso), una de las funciones lógicas, para devolver un valor si una condición es verdadera y otro si es falsa.

La sintaxis de la función en Excel, es:

SI (prueba\_lógica; [valor\_si\_verdadero]; [valor\_si\_falso])

Por ejemplo:

=SI(A2>B2,"Presupuesto excedido";"Correcto")

=SI(A4=500,B4-A4,"")

### **1.3.19.3. Función BUSCARV**

La función BUSCARV, es una de las funciones para llevar a cabo la búsqueda y referencia de algo específico considerando un valor o carácter de comparación, cuando se requiera encontrar elementos en una tabla o en un rango por filas.

La clave para poder usar de manera correcta y eficiente la función BUSCARV es organizar los datos de manera que al usar la función no cause confusión o nos arroje un valor errado.

La sintaxis para programar esta función, es:

BUSCARV (valor\_buscado, matriz\_buscar\_en, indicador\_columnas, [ordenado])

Por ejemplo:

=BUSCARV(105,A2:C7,2,VERDADERO)

=BUSCARV("López",B2:E7,2,FALSO)

#### **1.3.19.4. Función REDONDEAR.MAS**

Redondea un número hacia arriba, en dirección contraria a cero, es decir números reales positivos.

La sintaxis de programación se realiza de la siguiente forma:

REDONDEAR.MAS (número; núm\_decimales)

La sintaxis de la función REDONDEAR.MAS tiene los siguientes argumentos:

Número Obligatorio. Cualquier número real que se desea redondear hacia arriba.

Núm\_decimales Obligatorio. El número de dígitos al que se desea redondear el número.

La función REDONDEAR.MAS es similar a la función REDONDEAR, excepto que siempre redondea al número superior más próximo, alejándolo de cero.

Si el argumento núm\_decimales es mayor que 0 (cero), el número se redondea al valor superior (inferior para los números negativos) más próximo que contenga el número de lugares decimales especificado.

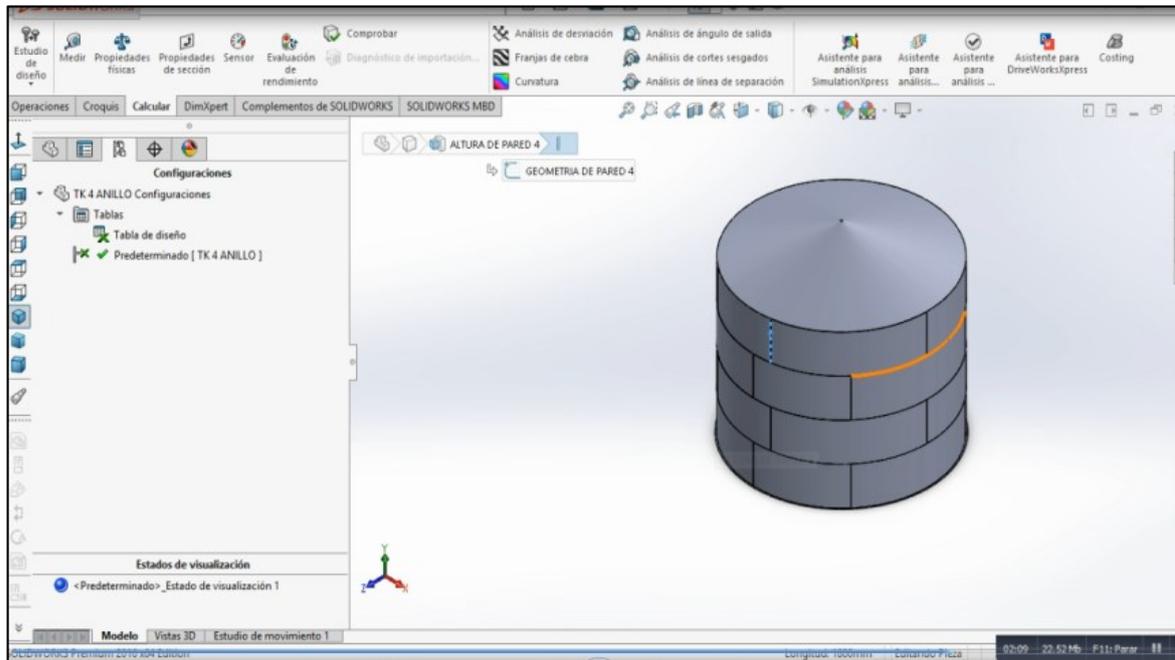
Si núm\_decimales es 0, número se redondeará hacia arriba al entero más próximo.

De ser el argumento núm\_decimales es menor que 0, el número se redondea al valor superior (inferior si es negativo) más próximo a partir de la izquierda de la coma decimal.

#### **1.3.20. Sobre SolidWorks**

Es un software de ingeniería para diseño asistido por computadora que desde 1995 se lanzó al mercado para que sea más accesible. Esta herramienta computacional sirve para modelado en 3 dimensiones de piezas o conjuntos de estas, que finalmente se puede obtener sus planos

técnicos. Las piezas cuentan con un conjunto de dimensiones asignadas por el usuario, así como también propiedades mecánicas como resultado de seleccionar el tipo de material necesario. (SolidWorksEducations, 2019)



*Figura 12, Entorno de trabajo de SolidWorks.*

Este programa permite modelar piezas mediante un croquis en 2 o 3 dimensiones, para luego mediante una operación el bosquejo se modele como una pieza sólida isotrópica. Estas se pueden variar a lo largo del diseño de un componente o máquina, sin embargo, se crean relaciones automáticas que forman una cadena de dependencia entre operaciones consecutivas; por lo tanto, quien diseña debe tener en cuenta esta característica de SolidWorks para realizar sus diseños puedan ser flexibles a cambios sin alterar todo su trabajo y evitar la aparición de constantes errores que pueden afectar todo el diseño. Finalmente, todas las extracciones para planos y selección de formato de hoja son muy rápidas y automatizadas.

### **1.3.20.1. Tabla de diseño en SolidWorks**

Como se indicó en líneas anteriores, los bosquejos o piezas en 3 dimensiones pueden ser modificados por el usuario de manera directa, pero SolidWorks pone a mano del usuario una opción adicional para modificar una pieza previamente modelada en Solidworks, y este es

la tabla de diseño. Esta permite construir múltiples configuraciones de piezas o ensamblajes especificando parámetros en una hoja de cálculo de Microsoft Excel incrustada.

#### **1.3.20.2. Tabla de diseño de Solidworks**

1. En el archivo de una pieza o de ensamblaje se debe hacer clic en la opción Tabla de diseño en la barra Herramientas, o en Insertar, Tabla de diseño.
2. En el administrador de propiedades, en Origen, se debe seleccionar la opción Creación automática.
3. Se debe configurar las secciones Editar control y Opciones, como desee.
4. Se hace clic en Aceptar.

Solidworks permite seleccionar configuraciones, es probable que se encuentre un cuadro de diálogo preguntando que cotas o parámetros desea agregar en la tabla de diseño.

Aparece una hoja de cálculo incrustada en la ventana y las barras de herramientas de Excel reemplazan a las barras de herramientas de Solidworks.

La celda A1 identifica la hoja de cálculo como Tabla de diseño para: *<nombre\_de\_modelo>*.

5. Se hace clic en cualquier lugar fuera de la hoja de cálculo (pero dentro de la zona de gráficos) para cerrar la tabla de diseño. De este modo también se actualiza el diseño y se modifican las cotas seleccionadas previamente en función de los valores modificados en la tabla de diseño. Además, es posible cambiar el nombre de la operación de Solidworks en sí mismo y la tabla también presentará estos nombres, por ejemplo, si dibujo en un croquis una circunferencia con un diámetro cualquiera, el nombre del croquis será el que aparezca por defecto, sin embargo, se puede cambiar el nombre y asignar el deseado por el ingeniero (usuario).

#### **1.3.20.3. Tabla de diseño en blanco**

1. Para obtener una tabla de diseño en blanco se debe abrir un documento de pieza o de ensamblaje, se hace clic en Tabla de diseño que se encuentra ubicado en la barra Herramientas, o también en Insertar, Tabla de diseño.
2. En el administrador de propiedades, en Origen, se debe hacer clic en En blanco.

3. Configure las secciones Editar control y Opciones, como desee.
4. Hacer clic en Aceptar.

Solidworks permite seleccionar configuraciones, es probable que se encuentre un cuadro de diálogo preguntando que cotas o parámetros desea agregar en la tabla de diseño.

Aparece una hoja de cálculo incrustada en la ventana y las barras de herramientas de Excel reemplazan a las barras de herramientas de Solidworks.

La celda A1 identifica la hoja de cálculo como Tabla de diseño para: *<nombre\_de\_modelo>*. La celda A3 contiene el nombre predeterminado para la primera configuración nueva, Primera instancia.

5. En la fila 2, se debe escribir los parámetros que se desee controlar. Deje la celda A2 en blanco. Se Observa que la celda B2 está activada.

También puede introducir parámetros haciendo doble clic en la operación o en la cota en la zona de gráficos o en el gestor de diseño del FeatureManager. Al hacer doble clic en una operación o en una cota, su valor asociado aparece en la fila Predeterminado.

6. En la columna A (celdas A3, A4, etc.), se debe digitar los nombres para las configuraciones que se desee crear. Los nombres pueden contener caracteres numéricos, pero no deben contener barras inclinadas (/) ni arrobas (@).

Se puede cambiar el nombre de la configuración en la celda A3 (Predeterminado), si se desea.

7. Se debe digitar los valores de los parámetros en las celdas de la hoja de cálculo.
8. Cuando se ha logrado agregar información necesaria a la hoja de cálculo, se debe hacer clic fuera de la tabla para cerrarla.

Un mensaje enumera las configuraciones que se crearon de manera automática.

9. Hacer clic en Aceptar.

La tabla de diseño se inserta en el modelo y aparece Tabla de diseño en el gestor de diseño del FeatureManager.

#### 1.3.20.4. Archivo externo de MS Excel como tabla de diseño

1. En un documento de pieza o de ensamblaje, se debe hacer clic en Tabla de diseño en la barra Herramientas, o en la opción Insertar, Tabla de diseño.

Aparece el administrador de propiedades de Tabla de diseño.

2. En Origen:

- Se debe hacer clic en Desde archivo y, a enseguida, en Examinar para localizar el archivo de Excel.
- Luego se debe vincular la tabla de diseño a al modelo en Solidworks para ello se activa la casilla Vincular a archivo. Una tabla de diseño vinculada lee toda su información desde un archivo de Excel externo.

NOTA: Si se actualiza una tabla de diseño vinculada en Microsoft Excel y después se abre el modelo de Solidworks, se podrá optar por actualizar:

- i. el modelo con los valores de la tabla de diseño
- ii. La tabla de diseño con los valores del modelo

Se pueden configurar las opciones de actualización en Herramientas, Opciones, Opciones de sistema, Referencias externas. Configure Actualizar tablas de diseño vinculadas desfasadas a en Modelo, archivo de Excel o Avisar.

C) Configure las secciones Editar control y Opciones, como desee.

D) Hacer clic en Aceptar.

Aparece una hoja de cálculo incrustada en la ventana y las barras de herramientas de Excel reemplazan a las barras de herramientas de Solidworks.

Se debe hacer clic en cualquier lugar fuera de la hoja de cálculo (pero dentro de la zona de gráficos) para cerrar la tabla de diseño.

Para cualquiera de los métodos se obtendrá los mismos resultados, queda a conveniencia del usuario el optar por la vía más adecuada para solucionar los problemas de diseño a partir de una hoja de cálculo en Excel. Cada ingeniero a su criterio y pensando en las modificaciones que se harán a futuro del diseño, debe considerar criterios propios para reducir la cantidad de errores en el archivo.

El archivo Excel de la tabla de diseño, se puede guardar con un nombre diferente si se desea exportar. Los archivos vinculados de preferencia deben encontrarse en una misma carpeta para evitar que las rutas de vinculación no se modifiquen y dañen el diseño.

Con el ánimo de hacer la interacción entre hombre y software más amigable, a la tabla de diseño se le puede asignar el formato que el usuario desee, esto es, cambiar la fuente del fondo o de las letras, siempre y cuando no altere la estructura de la tabla.

#### **1.4. Formulación del problema:**

¿Es posible diseñar un programa interactivo para calcular y dibujar simultáneamente tanques verticales de almacenamiento de agua con capacidad entre  $12 \text{ m}^3$  y  $1200 \text{ m}^3$  con techo cónico fijo bajo norma API 650?

#### **1.5. Justificación**

Se debe usar MS Excel para programar un algoritmo de cálculo que nos permite diseñar un tanque de almacenamiento vertical de techo fijo además de comandar las operaciones en Solidworks para su respectivo dibujo en 3 dimensiones, porque de esta forma se está aplicando los conocimientos de diseño en ingeniería y de herramientas computacionales adquiridos a lo largo de los estudios universitarios.

##### **1.5.1. Relevancia tecnológica**

Las empresas con este programa se presentarán como una mejor opción para sus clientes dando muestra que están preparados con tecnología para diseñar tanques de almacenamiento de agua bajo norma API 650; además de poder entregar respuestas rápidas y para diferentes demandas de capacidad de almacenamiento.

##### **1.5.2. Relevancia económica**

Es de carácter imperativo la filosofía de una empresa que está en la búsqueda continua de la excelencia en sus servicios y sus productos, el contar con tecnología que le pueda generar calidad y un retorno económico a corto plazo, esto último porque el tiempo altera el valor del dinero.

La empresa que pueda adquirir este programa para el diseño de tanques de almacenamiento, conseguirá un alivio económico al contratar un solo profesional para realizar estas actividades, en vez de dos o tres.

### **1.5.3. Relevancia social**

El diseñar un tanque y dibujarlo, significa que, al ser aprobado la propuesta por el cliente, se tendrá que fabricar y es en esta instancia es donde la población se ve beneficiada, ya que se requerirá mano de obra que pueda ejecutar la fabricación de estos productos.

### **1.5.4. Relevancia institucional**

La universidad Cesar Vallejo de Trujillo, formará parte del desarrollo de las empresas metalmecánicas de la Libertad, al proponer este software diseñado por un ingeniero egresado de su institución. Además, se fomentará en sus alumnos la aplicación de los conocimientos en programas de diseño en ingeniería y de hojas de cálculo de manera vinculada para obtener un diseño eficiente y eficaz.

## **1.6. Hipótesis**

El diseño de un programa para calcular y comandar las operaciones de dibujo de tanques verticales de almacenamiento de agua con capacidad entre  $12 \text{ m}^3$  y  $1200 \text{ m}^3$  con techo cónico fijo bajo norma API 650 es posible de realizar usando Excel y Solidworks.

## **1.7. Objetivos**

### **1.7.1. Objetivo general:**

Desarrollar un programa en Excel para diseñar tanques verticales de almacenamiento de agua con capacidad entre  $12 \text{ m}^3$  y  $1200 \text{ m}^3$  con techo cónico fijo bajo norma API 650 además de comandar las operaciones de dibujo de Solidworks.

### **1.7.2. Objetivos específicos:**

- Definir el algoritmo de cálculo necesario para el diseño de tanques de almacenamiento de techo cónico fijo.
- Programar en MS Excel el algoritmo de cálculo definido para tanques de almacenamiento de techo cónico fijo.
- Dibujar en Solidworks desde el programa en Excel el tanque de almacenamiento de agua según capacidad máxima de  $1200 \text{ m}^3$  en Solidworks.
- Crear tabla de diseño en Solidworks y vincularla con el programa en Excel antes mencionado.

## II. MÉTODO

### 2.1. Tipo y diseño de investigación

Tipo:

Aplicada

Diseño:

Pre-experimental y documental, porque se hace uso de las teorías y normas existentes de diseño de tanques de techo fijo, para programarlo en un software de cálculo y diseño.

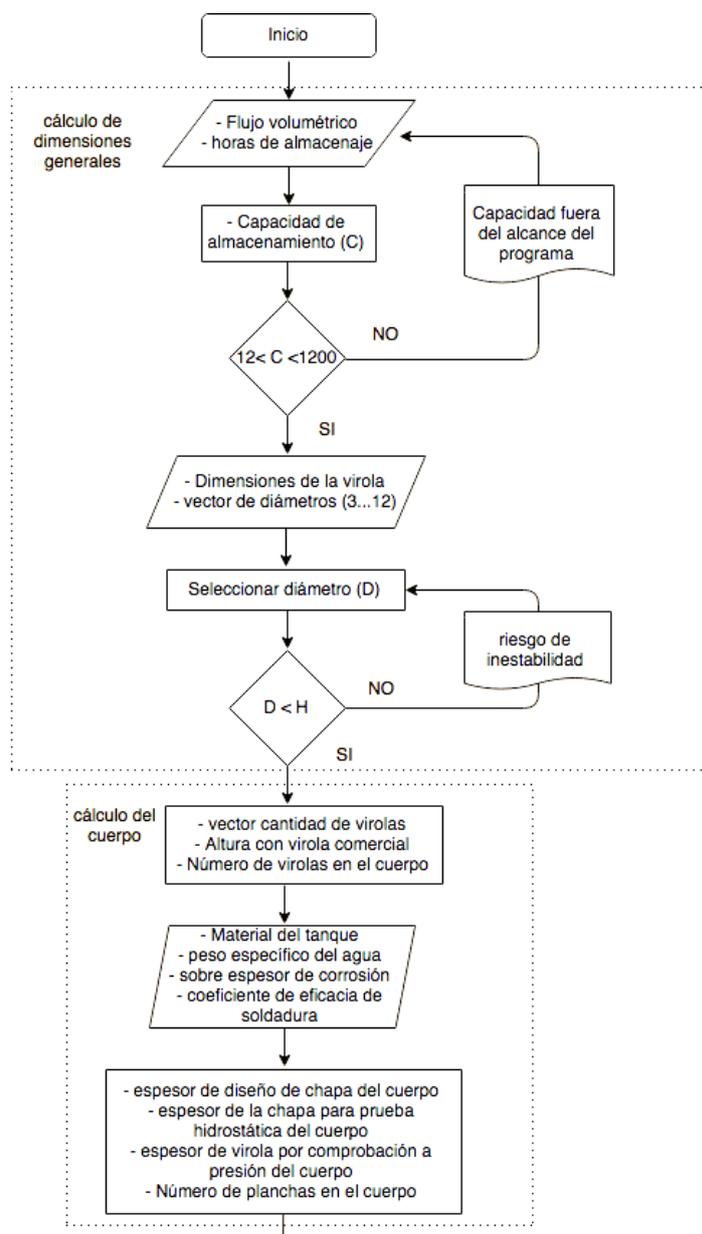


Figura 13, Diseño de investigación (parte 1)

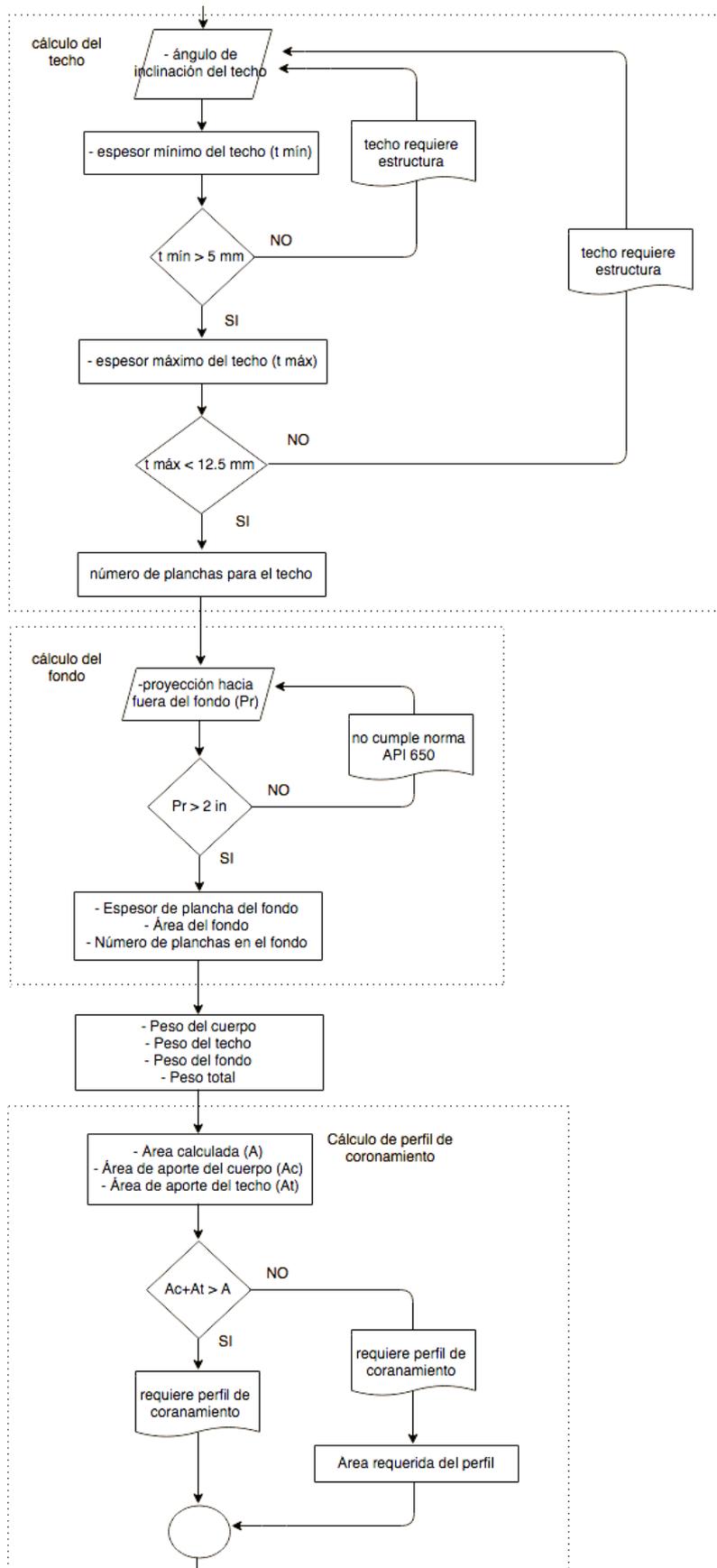


Figura 14, Diseño de investigación (parte 2)

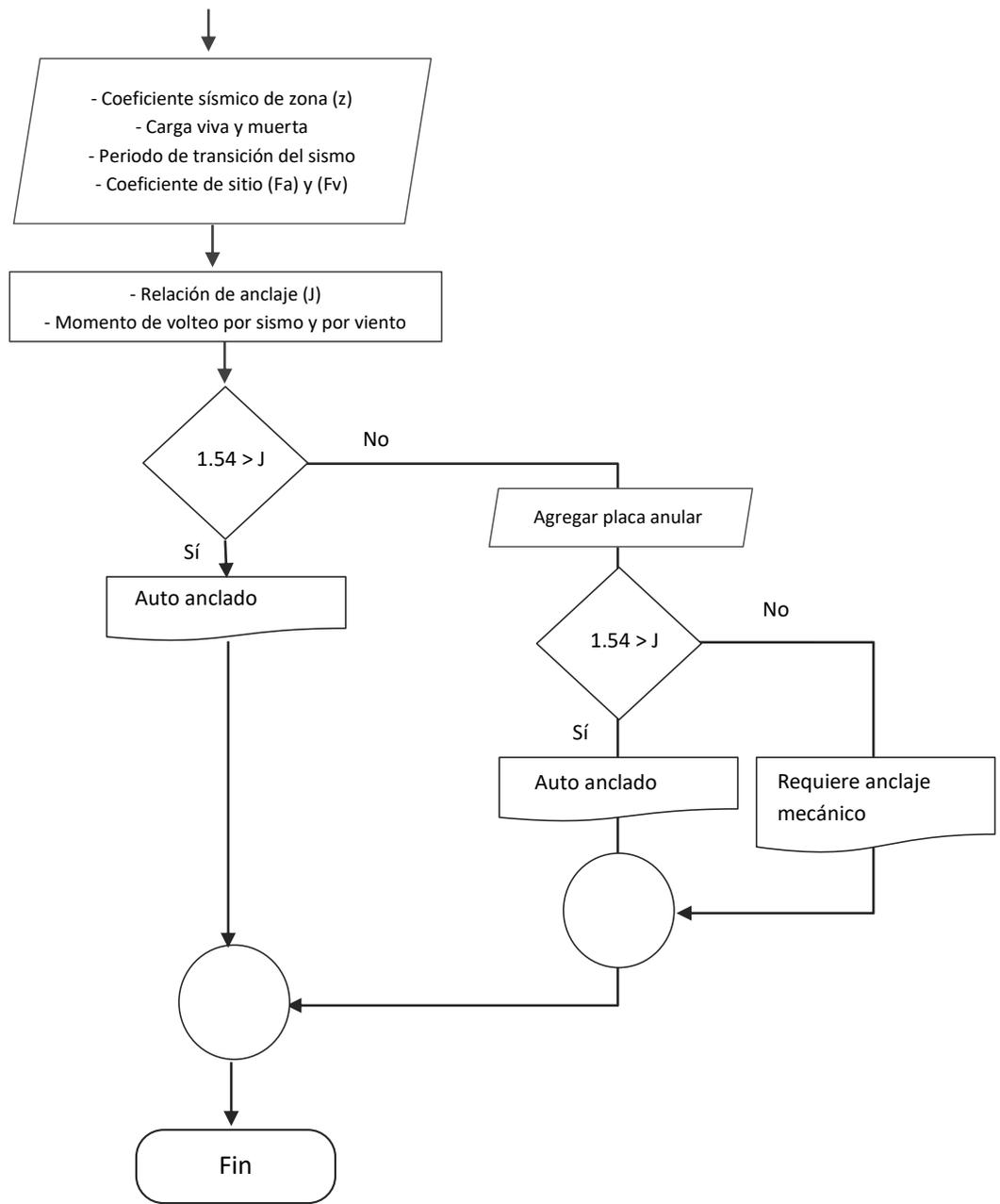


Figura 15, Diseño de investigación (parte 3)

## 2.2. Variables y operacionalización.

### Variables independientes

- Flujo volumétrico ( $\dot{V}$ ) o Capacidad del tanque de almacenamiento (V)
- Horas de almacenamiento ( $n$ )
- Dimensiones de la virola ( $x, y, z$ )
- Material de fabricación del tanque
- Peso específico del agua( $\gamma$ )
- Ángulo de inclinación del techo( $\theta$ )
- Norma A.P.I. 650
- Temperatura del fluido
- Carga viva sobre el techo
- Carga muerta sobre el techo

### Variables dependientes

- Diámetro del tanque de almacenamiento
- Altura del tanque de almacenamiento
- Tensión
- Espesores de plancha de las virolas
- Espesor de plancha del techo
- Espesor de plancha del fondo
- Momento de volteo
- Operaciones de SolidWorks.

### Variables intervinientes

- Espesor de corrosión
- Condiciones sísmicas
- Velocidad del viento

## 2.2.1. Operacionalización de la Variable

Tabla 7, Operacionalización de la variable.

Variabes	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala
Capacidad del tanque	Medidas del espacio de tres dimensiones ocupado por un tanque.	Es la cantidad de fluido que puede contener el tanque.	Espacio disponible.	Diámetro del tanque (m)	3 – 12.5
			Altura disponible.	Altura del tanque (m)	$1 > \text{Altura} / \text{diámetro}$
Tiempo de almacenamiento	Intervalo entre dos sucesos.	Es el tiempo en el que permanece el fluido en el tanque.	Flujo volumétrico de agua.	Tiempo (h)	1 - 6
Dimensiones de virola	Dimensiones del formato de plancha.	Dimensiones de fabricación de la plancha.	Geometría de la plancha de acero que formará parte del tanque.	Ancho (m)	1.2 – 2.4
				Largo (m)	2.4 – 6.0
				Espesor (mm)	3.175 – 25.4
Propiedades mecánicas del material	Comportamiento o mecánico del material.	Esfuerzo máximo que puede resistir el material.	Propiedad mecánica en condición de diseño.	Tensión máxima permitida en condiciones de diseño (Kg/cm <sup>2</sup> )	1200 – 2250
			Propiedad mecánica en condición de prueba hidrostática.	Tensión máxima permitida para prueba hidrostática (Kg/cm <sup>2</sup> )	1580 – 2410
Operaciones de SolidWorks	Son comandos que dan forma a un dibujo en SolidWorks	Operaciones de SolidWorks que permitirán modelar un tanque según una tabla de diseño comandada por el programa en Excel.	Operación de extrusión.	Distancia de extrusión. (mm)	Según Excel
			Operación de corte.	Distancia de corte. (mm)	
			Operación de revolución.	Angulo de barrido. (°)	
Ángulo de inclinación del techo	Porción de plano limitada por dos líneas que parten de un mismo punto o por dos planos que parten de una misma línea y cuya abertura puede medirse en grados.	Ángulo que define la geometría del techo y que según este valor se calcula el peso del techo.	Altura del techo	Angulo de inclinación (°)	9 - 37

## **2.3. Población y muestra**

### **2.3.1. Población**

Tanques de almacenamiento de agua con techo cónico fijo autoportado.

### **2.3.2. Muestra**

Tanques de almacenamiento de agua con techo cónico fijo autoportado con capacidad de 12 m<sup>3</sup> hasta 1200 m<sup>3</sup>.

## **2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

Analítica: Ecuaciones matemáticas y de diseño.

Fuentes: Libros de mecánica de fluidos, Normas internacionales, tesis de ingeniería que compartan el mismo tema de investigación.

## **2.5. Procedimientos de recolección de datos**

- A) Realización del algoritmo de cálculo y programarlo en Microsoft Excel.
- B) Usar datos obtenidos en investigaciones sobre el diseño de tanques de almacenamiento bajo norma A.P.I.
- C) Uso del diagrama de flujo del diseño de la metodología expuesta en la sección 2.1.

## **2.6. Métodos de análisis de datos**

Desarrollo de programa y presentación de resultados en MS Excel, visualización de los resultados en SolidWorks.

Validación del algoritmo programado, mediante cálculo manual.

## **2.7. Aspectos éticos**

Todo lo copiado de otra investigación se encuentra referenciado y lo que es aporte mío está referenciado como mi autoría.

### III. RESULTADOS

#### 3.1. Definición de algoritmo de cálculo y comprobación manual del diseño de tanques de almacenamiento de techo cónico fijo.

##### 3.1.1. Dimensionamiento del tanque

En un inicio se debe definir la capacidad solicitada y el área disponible donde se ubicará, o si en todo caso es área libre, lo que nos permite definir diámetro y altura. Se asume 2 capacidades del tanque para evaluar, para lo cual se sabe que existirá la limitante área disponible. En la figura 16 se muestra en el eje “x” e “y” el lado “a” y “b” del área disponible respectivamente.

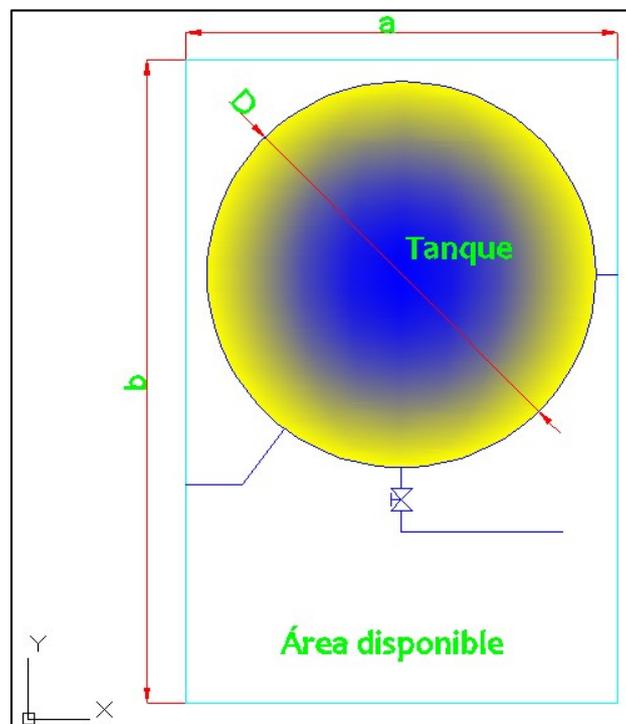


Figura 16, Área disponible en el dimensionamiento del tanque.

Para una capacidad de:

$$V = 12 \text{ m}^3$$

Y un área disponible de

$$A_d = a * b = 4.2 * 5 = 21 \text{ m}^2$$

Esto indica que el diámetro puede ser hasta 4 metros, pero asumiendo como la altura no está acotada, pues se decide por 3 metros:

$$D = 3 \text{ m}$$

Entonces se tiene una altura neta de:

$$h = \frac{4V}{\pi D^2} = \frac{4 * 12}{\pi * 3^2} = 1.70 \text{ m}$$

Se puede notar que esta es la altura para el volumen útil, la cual no considera la dimensión de las conexiones que es criterio del ingeniero que fabrica el equipo y que en la práctica se suele considerar 0.5 metros del eje de la conexión hasta el fondo y del mismo modo para las conexiones a 0.5 metros del techo. Por tanto, la altura del tanque sería:

$$h = 2.70 \text{ m}$$

Además, se sabe que las planchas tienen diferentes alturas ya estandarizadas, como: 1.52 m y 2.40 m; lo que nos con lleva a decidir por altura de plancha igual 1.52 m.

Se observa que se tendrá que realizar un corte perimetral de la virola superior del tanque que demandaría un aumento de los costos de fabricación, por lo que se considera una altura de 3.04 m y se procede a recalcular el diámetro del tanque, el cual sería:

$$h = 3.04 \quad y \quad D = 2.74 \text{ m}$$

Si bien es cierto el diámetro está dentro de las dimensiones del área disponible, cabe resaltar que de existir alguna limitante en el eje “z” (altura), esta no podría ser una opción acertada.

Al considerar un diámetro de 4 metros se obtiene la siguiente altura:

$$h = \frac{4V}{\pi D^2} = \frac{4 * 12}{\pi * 4^2} + 1 = 1.95 \text{ m}$$

Se puede usar el formato de plancha en 2.40 m y para esto no se necesitaría realizar el corte perimetral, entonces el recalcular del diámetro es:

$$h = 2.40 \quad y \quad D = 3.30 \text{ m}$$

Estos valores se muestran más acertados. De este modo se muestra la tabla resumen 8, con 3 iteraciones para diferentes capacidades y por ende diferente área disponible para la instalación del tanque de almacenamiento.

**Tabla 8,** *Iteraciones para dimensiones con diferentes capacidades.*

ITEM	Capacidad	Diámetro	Altura	Altura real	Altura con plancha comercial	Diámetro recalculado	Altura de plancha
	(m <sup>3</sup> )	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
1	12	4	0.95	1.95	2.40	3.30	2.40
2	600	10	7.64	8.34	9.00	9.78	1.80
3	1200	12.50	9.78	10.48	10.80	12.30	1.80

### 3.1.2. Espesor de anillos

Con los valores calculados en la sección anterior se procede a realizar el estudio hidrostático que para ello la norma API 650 proporciona las ecuaciones para el espesor de anillo en función de la altura del tanque. El método a utilizar es el 1 pie, el cual calcula el espesor requerido en el punto característico a 0.30 m por encima del fondo de cada cordón. Los valores mínimos permisibles son:

- De 6 mm en el cuerpo del tanque.
- De 4.76 mm en el techo del tanque.
- De 4.76 mm en el fondo del tanque más el espesor de corrosión,

$$t_d = \frac{4.9 * D * (H' - 0.3) * G}{(S_d) * E} + CA \quad (5)$$

$$t_t = \frac{4.9 * D * (H' - 0.3)}{(S_d) * E} \quad (6)$$

Donde:

$t_d$  es el espesor de diseño de plancha (mm).

$t_t$  es el espesor de la plancha para prueba hidrostática (mm).

$S_d$  es la tensión máxima permitida en condiciones de diseño (MPa)

$s_t$  es la tensión máxima permitida en condiciones de prueba hidrostática (MPa)

$D$  es el diámetro nominal del tanque (m).

$H'$  es el nivel de diseño del líquido (m).

$E$  es el coeficiente de eficacia de soldadura.

$G$  es el peso específico del líquido a almacenar  $\left(\frac{m^3}{Kg}\right)$

$CA$  es el sobre espesor de corrosión (mm).

Posteriormente se debe efectuar una comprobación con la presión de diseño, que será de 0,02/-0,02 bar.

$$t_d = \frac{4.9 * D * (H' + 0.2) * G}{(S_d) * E} + CA \quad (7)$$

De entre estas tres expresiones se escoge el resultado más desfavorable, es decir, el que exija un mayor espesor. Para nuestro caso aplicaremos la última ecuación, según la capacidad se obtienen las siguientes tablas:

**Tabla 9, Espesor de anillos para 12 m<sup>3</sup>.**

Anillo nivel	Altura de cada anillo (m)	Altura del cuerpo (m)	Espesor de cálculo (mm)	Espesor comercial (in)
1	2.4	2.4	4.34	3/16

**Tabla 10, Espesor de anillos para 600 m<sup>3</sup>.**

Anillo nivel	Altura de cada anillo (m)	Altura del cuerpo (m)	Espesor de cálculo (mm)	Espesor comercial (in)
1	1.8	9.00	7.32	5/16
2	1.8	7.20	6.67	5/16
3	1.8	5.40	6.02	1/4
4	1.8	3.60	5.37	1/4
5	1.8	1.80	4.72	3/16

**Tabla 11, Espesor de anillos para 1200 m<sup>3</sup>.**

Anillo nivel	Altura de cada anillo	Altura del cuerpo	Espesor de cálculo	Espesor comercial
	(m)	(m)	(mm)	(in)
1	1.8	10.80	9.21	0.375
2	1.8	9.00	8.36	0.375
3	1.8	7.20	7.50	0.313
4	1.8	5.40	6.65	0.313
5	1.8	3.60	5.80	0.250
6	1.8	1.80	4.95	0.250

El espesor del techo cónico auto-soportado no debe sobrepasar 12.5 mm y tampoco debe estar por debajo de 4.76 mm. (ecuación 8)

Para: 12 m<sup>3</sup>

$$t_{\text{mínimo}} = \frac{3.30}{4.8 * \sin 14} = 2.84 \text{ mm} \dots \text{¡no conforme!}$$

$$t_{\text{mínimo}} = 4.76 \text{ mm}$$

Para: 600 m<sup>3</sup>

$$t_{\text{mínimo}} = \frac{9.78}{4.8 * \sin 14} = 8.42 \text{ mm} \dots \text{¡conforme!}$$

Para: 1200 m<sup>3</sup>

$$t_{\text{mínimo}} = \frac{12.30}{4.8 * \sin 21} \geq 7.15 \text{ mm}$$

**Tabla 12, Espesor mínimo requerido para el techo.**

Parámetro	Unidades	Capacidad (m <sup>3</sup> )		
		12	600	1200
Altura del techo	m	0.41	1.22	2.36
Espesor mínimo calculado	mm	2.84	8.42	7.15

Considerando el incremento por carga viva y muerta (Ecuación 11), el espesor aumenta, a continuación, se muestra la tabla con los espesores comerciales requeridos:

Para: 12 m<sup>3</sup>

$$\sqrt{\frac{C_d + C_l}{220}} = \sqrt{\frac{120 + 100}{220}} = 1 \dots \text{¡no hay incremento!}$$

Para: 600 m<sup>3</sup>

$$\sqrt{\frac{C_d + C_l}{220}} = \sqrt{\frac{160 + 120}{220}} = 1.13 \dots \text{¡Hay incremento!}$$

Para: 1200 m<sup>3</sup>

$$\sqrt{\frac{C_d + C_l}{220}} = \sqrt{\frac{240 + 140}{220}} = 1.31 \dots \text{¡Hay incremento!}$$

**Tabla 13, Espesor de diseño y comercial del techo del tanque.**

Parámetro	Unidades	Capacidad (m <sup>3</sup> )		
		12	600	1200
Incremento por cargas	%	1.00	1.13	1.31
Espesor de diseño	mm	2.84	9.49	9.40
Espesor comercial	in	3/16	3/8	3/8

Para determinar el espesor de la plancha que constituye el fondo del tanque de almacenamiento, se calculó primero el esfuerzo por efecto hidrostático y luego se usó la tabla 2.

Para: 12 m<sup>3</sup>

$$\text{Esfuerzo por prueba hidrastática} = \frac{4.9 * 3.30 * (1.90 - 0.3)}{4.76 * 0.80} = 6.78 \text{ MPa}$$

Según tabla 2, el espesor mínimo del fondo debe ser 6.35 mm. Agregando el espesor de corrosión al espesor mínimo, el espesor de diseño es:

$$t_{\text{diseño}} = t_{\text{mínimo}} + CA = 6.35 + 1.00 = 7.35$$

$$t_{\text{comercial}} = \frac{5}{16} \text{ in}$$

Para: 600 m<sup>3</sup>

$$\text{Esfuerzo por prueba hidrastática} = \frac{4.9 * 9.77 * (8.50 - 0.3)}{7.94 * 0.80} = 61.82 \text{ MPa}$$

Según tabla 2

$$t_{\text{diseño}} = t_{\text{mínimo}} + CA = 6.35 + 1.50 = 7.85$$

$$t_{\text{comercial}} = \frac{5}{16} \text{ in}$$

Para: 1200 m<sup>3</sup>

$$\text{Esfuerzo por prueba hidrastática} = \frac{4.9 * 12.30 * (10.45 - 0.3)}{9.53 * 0.80} = 80.24 \text{ MPa}$$

$$t_{\text{diseño}} = t_{\text{mínimo}} + CA = 6.35 + 1.50 = 7.85$$

$$t_{\text{comercial}} = \frac{5}{16} \text{ in}$$

**Tabla 14.** *Espesor mínimo de primer anillo.*

Espesor mínimo (mm) del primer anillo del cuerpo	Esfuerzo calculado para prueba hidrostática en el primer anillo del cuerpo (MPa)			
	<	<	<	<
	195.05	206.82	227.51	248.11
t < 9,05	6,35	6,35	7,14	8,73
9,05 < t < 25,40	6,35	7,14	9,52	11,11
25,40 < t < 31,75	6,35	8,73	11,91	14,28
31,75 < t < 38,10	7,93	11,11	14,28	17,46
38,10 < t < 44,45	8,73	12,70	15,87	19,05

El cálculo del momento de volteo por viento se realizó empezando por la determinación de la presión del viento. El diseño del tanque debe garantizar que tendrá estabilidad frente a la acción del viento sobre las superficies del cuerpo y el techo. La presión de viento mínima en las áreas proyectadas de las superficies del cilindro deberá ser 88 Kg/m<sup>2</sup>, considerando una velocidad de viento de 44.72 m/s. Si en caso la zona tiene vientos mayores, se deberá multiplicar el siguiente factor por la presión mínima:

$$\left( \frac{v \left( \frac{m}{s} \right)}{44.72} \right)^2$$

Este valor entonces depende de la naturaleza de la zona, por lo que se deberá usar un anemómetro para conocer este dato.

Para: 12 m<sup>3</sup>

$$p_{viento} = 88 \frac{Kg}{m^2}$$

Para: 600 m<sup>3</sup>

$$p_{viento} = 88 * \left( \frac{47}{44.72} \right)^2 = 97.20 \frac{Kg}{m^2}$$

Para: 1200 m<sup>3</sup>

$$p_{viento} = 88 * \left( \frac{47}{44.72} \right)^2 = 97.20 \frac{Kg}{m^2}$$

El momento de volteo por efecto del viento, es:

$$M_{volteo} = \frac{P_{viento} * D_{m\acute{a}x} * H_t^2}{2}$$

Para: 12 m<sup>3</sup>

$$M_{volteo} = \frac{88 * 3.44 * 2.2.46^2}{2} = 915.97 \text{ Kg} - m$$

Para: 600 m<sup>3</sup>

$$M_{volteo} = \frac{97.20 * 9.91 * 9.87^2}{2} = 46918.51 \text{ Kg} - m$$

Para: 1200 m<sup>3</sup>

$$M_{volteo} = \frac{97.20 * 12.45 * 12.81^2}{2} = 99289.63 \text{ Kg} - m$$

Este valor se compara con la resistencia al volteo del tanque por el peso del cuerpo:

$$M_{resistencia} = \left(\frac{2}{3}\right) * \left(W_{tanque} * \frac{D_{fondo}}{2}\right)$$

Para: 12 m<sup>3</sup>

$$M_{resistencia} = \left(\frac{2}{3}\right) * \left((460.00 + 581.24 + 329.38) * \frac{3.44}{2}\right) = 1571.64 \text{ Kg} - m$$

Para: 600 m<sup>3</sup>

$$M_{resistencia} = \left(\frac{2}{3}\right) * \left((7230.91 + 4815.80 + 5779.52) * \frac{9.92}{2}\right) = 58945.40 \text{ Kg} - m$$

Para: 1200 m<sup>3</sup>

$$\begin{aligned} M_{resistencia} &= \left(\frac{2}{3}\right) * \left((13004.00 + 7584.70 + 9515.74) * \frac{12.45}{2}\right) \\ &= 124933.43 \text{ Kg} - m \end{aligned}$$

La relación de anclaje “J”, es:

$$J = \frac{M_{\text{volteo}}}{M_{\text{resistencia}}} \geq 1 \text{ requiere anclaje}$$

Para: 12 m<sup>3</sup>

$$J = \frac{915.97}{1571.64} = 0.58 \dots \text{ ¡ Autoanclado!}$$

Para: 600 m<sup>3</sup>

$$J = \frac{46918.51}{58945.40} = 0.80 \dots \text{ ¡ Autoanclado!}$$

Para: 1200 m<sup>3</sup>

$$J = \frac{99289.63}{124933.43} = 0.79 \dots \text{ ¡ Autoanclado!}$$

Por lo tanto, el tanque de almacenamiento de 12 m<sup>3</sup> deberá contar con anclaje mecánico para evitar el volteo o de otro modo, si no representa problema el espacio disponible para instalar el tanque se puede aumentar el diámetro y el formato de plancha para disminuir la altura del tanque y obtener más radio del fondo, de modo que se haga posible el aumento del momento de resistencia al volteo.

Para determinar si el tanque es sismo-resistente o si requiere anclaje para dar estabilidad en presencia de estos movimientos telúricos, se determinan los siguientes parámetros descritos en las tablas 15 y 16.

**Tabla 15, Parámetros de diseño del tanque.**

Parámetro	Unidades	12 m3	600 m3	1200 m3
		Cantidad		
Diámetro nominal	m	3.30	9.77	12.30
Altura de diseño del líquido	m	2.05	8.65	10.45
Relación diámetro/altura	-	1.61	1.13	1.18
Peso del fluido en el tanque	Kg	17399.58	642405.23	1229441.47

Considerando las mismas condiciones sísmicas para los 3 tanques:

**Tabla 16, Parámetros sísmicos.**

Coefficiente sísmico (Factor de zona) (Z)	-	0.40
Parámetro de aceleración de respuesta espectral en periodos 0,2 seg. (Ss)	g%	101%
Parámetro de aceleración de respuesta espectral en periodos 1 seg. (S1)	g%	36%
Parámetro de aceleración de respuesta espectral en periodos 0 seg. (S0)	g%	32%
Periodo de transición de sismo	seg.	4.00

Según las condiciones de terreno y si se proyecta el tipo de anclaje del tanque se puede determinar los coeficientes de sitio con la siguiente tabla:

**Tabla 17, coeficiente de sitio Fa.**

Clase de sitio	Descripción	Mapeado espectral de respuesta de aceleración en periodos cortos				
		Ss<=	Ss=	Ss=	Ss=	Ss>=
		0.25	0.50	0.75	1.00	1.25
A	Hard Rock	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	Moderate Rock	1	1	1	1	1
C	Dense Soil, Soft Rock	1.2	1.2	1.1	1	1
D	Stiff soil	1.6	1.4	1.2	1.1	1
E	Soft Soil, Clay	2.5	1.7	1.2	0.9	
F	fill and Other					

**Tabla 18, coeficiente de sitio Fv.**

Clase de sitio	Descripción	Mapeado espectral de respuesta de aceleración en periodos cortos				
		S1<=	S1=	S1=	S1=	S1>=
		0.10	0.20	0.30	0.40	0.50
A	Hard Rock	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	Moderate Rock	1	1	1	1	1
C	Dense Soil, Soft Rock	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
D	Stiff soil	2.4	2	1.8	1.6	1.5
E	Soft Soil, Clay	3.5	3.2	2.8	2.4	
F	fill and Other					

Luego, se calcula la masa impulsiva y convectiva, ya que esta depende de la relación diámetro – altura:

Si:  $D/H \geq 1.33$

$$w_i = \frac{\tanh\left(0.866 * \frac{D}{H}\right)}{0.866 * \frac{D}{H}}$$

Si:  $D/H \geq 1.33$

$$w_i = 1 - 0.218 * \frac{D}{H}$$

Para ambos casos la masa efectiva permanece igual:

$$w_c = 0.23 * \frac{D}{H} * \tanh\left(3.67 * \frac{D}{H}\right)$$

**Tabla 19, Masa impulsiva y convectiva.**

Parámetro	Unidades	12 m3	600 m3	1200 m3
		Cantidad		
Masa efectiva impulsiva (Wi)	Kg	11026.432	484194.78	913989.633
Masa efectiva convectiva (Wc)	Kg	6314.797	166416.72	331516.007
Masa total del cuerpo	Kg	464.029	7230.91	13003.780

**Tabla 20, Centros de volteo.**

Centro	Unidades	12 m3	600 m3	1200 m3
		Cantidad		
Centro de volteo (Xi)	m	0.77	3.41	4.07
Centro de volteo (Xc)	m	1.32	6.19	7.38

Considerando una clase de sitio: Hard Rock.

Parámetro de aceleración de respuesta espectral en periodos cortos (T=0.2 segundos):

$$S_{DS} = Q * F_a * S_s = 0.4 * 0.8 * 101 = 32.32 \%$$

Parámetro de aceleración de respuesta espectral en 1 segundo basado en el método ASCE 7:

$$S_{D1} = Q * F_v * S_1 = 0.4 * 0.8 * 36 = 11.52 \%$$

Parámetro de aceleración de respuesta espectral en 0 segundos:

$$S_{D0} = Q * S_0 = 0.4 * 32 = 12.80 \%$$

Para determinar el coeficiente de periodo impulsivo se utiliza la siguiente curva del apéndice EC de la Norma API 650.

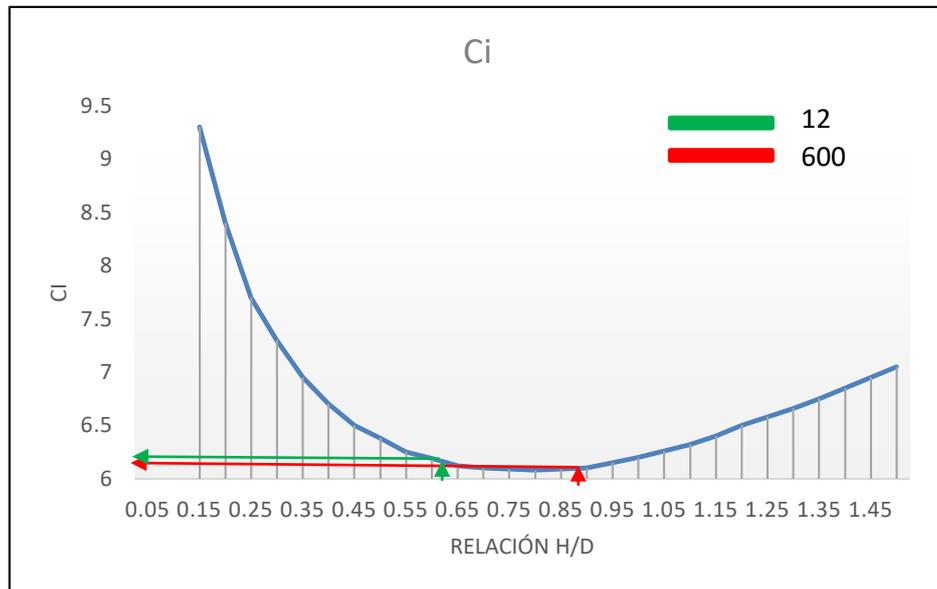


Figura 17, Coeficiente de periodo natural impulsivo.

Para: 12 m<sup>3</sup>

$$C_i = 6.10$$

Para: 600 m<sup>3</sup>

$$C_i = 6.12$$

Para: 1200 m<sup>3</sup>

$$C_i = 6.10$$

Periodo natural impulsivo:

$$T_i = \left( \frac{1}{\sqrt{2000}} \right) * \left( \frac{C_i * H}{\sqrt{\frac{t_u}{D}}} \right) * \left( \frac{\sqrt{\rho}}{\sqrt{E}} \right)$$

Debido a que este parámetro depende de la altura, el diámetro y el espesor uniforme equivalente del cuerpo, se procedió a calcular por separado para cada capacidad.

Para: 12 m<sup>3</sup> (Temperatura del agua 45 °C)

$$T_i = \left( \frac{1}{\sqrt{2000}} \right) * \left( \frac{6.12 * 2.05}{\sqrt{\frac{4.75}{3.30}}} \right) * \left( \frac{\sqrt{990.22}}{\sqrt{200000}} \right) = 0.016 \text{ seg.}$$

Para: 600 m<sup>3</sup> (Temperatura del agua 45 °C)

$$T_i = \left( \frac{1}{\sqrt{2000}} \right) * \left( \frac{6.10 * 8.65}{\sqrt{\frac{7.95}{9.77}}} \right) * \left( \frac{\sqrt{990.22}}{\sqrt{200000}} \right) = 0.092 \text{ seg.}$$

Para: 1200 m<sup>3</sup> (Temperatura del agua 45 °C)

$$T_i = \left( \frac{1}{\sqrt{2000}} \right) * \left( \frac{6.10 * 10.45}{\sqrt{\frac{9.53}{12.30}}} \right) * \left( \frac{\sqrt{990.22}}{\sqrt{200000}} \right) = 0.114 \text{ seg.}$$

El coeficiente del periodo de oleaje del fluido interno:

$$K_s = \frac{0.578}{\sqrt{\tanh\left(3.68 * \frac{H}{D}\right)}}$$

Como depende de parámetros geométricos este coeficiente será individual para cada tanque que se diseñe:

Para: 12 m<sup>3</sup>

$$K_s = \frac{0.578}{\sqrt{\tanh\left(3.68 * \frac{2.05}{3.30}\right)}} = 0.58$$

Para: 600 m<sup>3</sup>

$$K_s = \frac{0.578}{\sqrt{\tanh\left(3.68 * \frac{8.65}{9.77}\right)}} = 0.58$$

Para: 1200 m<sup>3</sup>

$$K_s = \frac{0.578}{\sqrt{\tanh\left(3.68 * \frac{10.45}{12.30}\right)}} = 0.58$$

Periodo natural convectivo para cada tanque es:

$$T_c = 1.8 * K_s * \sqrt{D}$$

Para: 12 m<sup>3</sup>

$$T_c = 1.8 * 0.58 * \sqrt{3.30} = 1.90 \text{ seg.}$$

Para: 600 m<sup>3</sup>

$$T_c = 1.8 * 0.58 * \sqrt{9.77} = 3.26 \text{ seg.}$$

Para: 1200 m<sup>3</sup>

$$T_c = 1.8 * 0.58 * \sqrt{12.30} = 3.66 \text{ seg.}$$

El Periodo Ts y T0, bajo las mismas condiciones de sitio, es el mismo para los 3 tanques que se han diseñado

$$T_s = \frac{SD1}{SDS} = \frac{11.52}{32.32} = 0.356$$

$$T_0 = 0.2 * T_s = 0.2 * 0.356 = 0.071$$

A continuación, se muestra la tabla 21 con el resumen de lo calculado.

**Tabla 21,** *Coficiente de fuerza lateral sísmica.*

Coficiente de fuerza lateral sísmica	Unidades	Capacidad (m3)		
		12	600	1200
Espesor uniforme equivalente del cuerpo (tu)	mm	4.75	7.95	9.53
Relación altura/diámetro	-	0.70	0.90	0.90
Coficiente para el periodo impulsivo (Ci)	-	6.10	6.10	6.10
Periodo natural impulsivo (Ti)	seg	0.016	0.092	0.114
Factor de zona (Z)	-	0.40	0.40	0.40
Coficiente del periodo de oleaje (Ks)	-	0.58	0.58	0.58
Periodo natural convectivo (Tc)	Seg	1.06	1.81	2.03
Parámetro de aceleración de respuesta espectral en periodos cortos (T=0.2 segundos) - SDS	%g	32.32%	32.32%	32.32%
Parámetro de aceleración de respuesta espectral en a segundo basado en el método ASCE 7 - SD1	%g	11.52%	11.52%	11.52%
Parámetro de aceleración de respuesta espectral en 0 segundos - SD0	%g	12.80%	12.80%	12.80%
Periodo Ts	seg	0.356	0.356	0.356
Periodo T0	seg	0.071	0.071	0.071
Coficiente de aceleración de diseño de respuesta espectral impulsivo Ai	-	0.092	0.092	0.092
Coficiente de aceleración de diseño de respuesta espectral convectivo Ac	-	0.082	0.048	0.043

Con todos los datos calculados, se procede determinar el momento de volteo efectivo mediante la siguiente ecuación (Ecuación 27)

$$M_{rw} = \sqrt{[A_i * (W_i * X_i + W_s * X_s + W_r * X_r)]^2 + [A_c(W_c * X_c)]^2}$$

**Tabla 22, Momento de volteo efectivo**

Parámetro	Unidades	Capacidad		
		12 m3	600 m3	1200 m3
Centro de masa (Xs)	m	1.20	4.50	5.40
Momento de volteo (Mrw)	Kg-m	1151.63	167589.33	374316.67
Esf. Cedencia del fondo (Fy)	Kg/cm^2	2530.00	2530.00	2530.00
Densidad relativa (G)	-	0.990	0.990	0.990
Resistencia a la volc. (wa)o(WL)	Kg-m	167.33	343.72	377.79
Valor de comparación	Kg-m	12.47	155.68	236.73
Peso distrib. del techo(wrs)	Kg/m	41.37	192.17	249.89
Peso distrib. del cuerpo (ws)	Kg/m	44.71	235.54	336.54
Carga de diseño de elev. (wt)	Kg/m	86.08	427.70	586.43
Carga hidrostática (wint)	Kg/m	195.59	279.01	267.80
Relación de anclaje (J)	-	0.60	2.66	2.89
Espesor de placa anular (tan)	mm	-----	-----	25.40
Longitud radial de placa anular	m	-----	-----	1.50

La relación de anclaje de los tanques es mayor que 1.54, indican que el tanque deberá contar con algún tipo de anclaje mecánico. Por lo tanto, para cada tanque diseñado según su capacidad, el anclaje requerido por efecto sísmico, es:

Para: 12 m<sup>3</sup>

*Autoanclado*

Para: 600 m<sup>3</sup>

*Anclaje mecánico*

Si se considera con placa anular de ¾ in, y de longitud radial de 1 m, la relación de anclaje es igual a 1.25; lo cual significa que el tanque estaría auto-anclado.

Para: 1200 m<sup>3</sup>

*Autoanclado con placa anular de 1 in y longitud radial 1 m.*

La compresión por sismo es muy importante para verificar que al darse el volteo no se exceda la resistencia de la placa del fondo o la placa anular.

**Tabla 23, compresión por sismo.**

Compresión por sismo	Unidades	Capacidad (m3)		
		12	600	1200
Condición de compresión (J)	-	0.60	2.66	1.47
Máxima compresión en el fondo (sigmac)	Mpa	0.50	3.52	11.05
Valor de comparación de comp	-	0.98	12.94	17.25
Compresión máx. perm. (Fc)	MPa	54.16	47.13	48.78
Factor de seguridad por compresión	-	108.35	13.37	4.42

La máxima compresión en el fondo del tanque por efectos sísmicos no supera la compresión permisible con un factor de seguridad por cada capacidad:

Para: 12 m<sup>3</sup>

$$\text{Factor de seguridad} = 108.35$$

Para: 600 m<sup>3</sup>

$$\text{Factor de seguridad} = 13.37$$

Pero si se opta por la opción de placa anular para evitar el anclaje mecánico, el factor de seguridad disminuye a 3.15.

Para: 1200 m<sup>3</sup>

$$\text{Factor de seguridad} = 4.42$$

### **3.2. Programa en MS Excel el algoritmo de cálculo definido para tanques de almacenamiento de techo cónico fijo.**

Todo programa tiene un encabezado, una breve descripción sobre el alcance del programa, fecha de creación y fecha de actualización. En principio se propone ingresar el caudal que recibirá el tanque y según ello se calcula su capacidad y tiempo de almacenamiento.

El programa debe contar con indicadores de color verde para mostrar que algo es correcto o está dentro de la capacidad del programa o de otro modo, debe presentar un aviso color rojo.

### 3.2.1. Programa en Excel para dimensionamiento del tanque

Para esto se debe seguir la siguiente sintaxis, basándonos en la metodología:

- Ingresar caudal (m<sup>3</sup>)
- Ingresar tiempo de almacenamiento (h)
- Definir la altura a ejes de boquillas de E/S.
- Calcular la capacidad de almacenamiento. Se debe mostrar si la capacidad está dentro del rango de alcance del programa.
- Calculo de la altura del tanque para 11 diámetros diferentes.
- Calculo de la altura real para 11 diámetros diferentes.
- Definir el ancho y largo de plancha, según formato comercial.
- Recalculo del diámetro y cálculo del número de planchas necesarias.
- Ingresar los parámetros sísmicos y de viento para definir si se requiere placa anular y anclaje mecánico.
- Verificar la compresión por sismo.

En la primera página se ingresan los parámetros de funcionamiento del tanque, incluyendo los factores externos que puedan afectar la función para la que se fabricó. El material se puede seleccionar o agregar un material nuevo.

**DITAVER\_1200 - Programa que calcula las dimensiones de un tanque vertical con techo fijo para almacenar agua.**

**Condiciones de operación**

Flujo volumetrico	m <sup>3</sup> /h	340.00	<input type="text"/>
Tiempo de almacen	h	2	<input type="text"/>
Temperatura del fluido	°C	90.00	<input type="text"/>
Corrosión permisible	mm	4.00	<input type="text"/>
Distancia a boquilla	m	0.50	<input type="text"/>
Velocidad del viento	m/s	35.00	<input type="text"/>
Factor de importancia	-	1.00	<input type="text"/>

**Formato de plancha**

Unidades:

A	mm	1800
B	mm	6000

**Datos de soldadura**

Espesor de cordón hor.	mm	3.175
Espesor de cordón Ver.	mm	4.763
Eficiencia de soldadura	%	80

**Material del tanque**

Prop. Nuevas (Mpa)  nuevo

A-283 Grado C	Esfuerzo de cedencia	260.00
A-285 Grado C	Esfuerzo de diseño	250.00
A-131 Grado A, B, C	Esfuerzo de prueba H	260.00
A-131 Grado EH36		
A-442 Grado 55		

**COMENTARIO :** Este Programa tiene alcance para tanques desde 12 a 1200 m<sup>3</sup>  
**PROGRAMADO POR:** YUL SALDAÑA DELGADO  
**FECHA :** 02/04/2016  
**ÚLTIMA ACTUALIZACIÓN :** 15/08/2016

**Techo del tanque**

Ángulo	(°)	14
Carga viva	Kg/m <sup>2</sup>	120
Carga muerta	Kg/m <sup>2</sup>	100
Espesor de corrosión	mm	0

**Fondo del tanque**

Espesor de corrosión	mm	1.50
Saliente	mm	70

**CONDICIONES SÍSMICAS**

Coefficiente sísmico (Factor de zona) (Z)	-	0.40
parámetro de acel. de resp. espectral en periodos 0,2 seg (S <sub>0.2</sub> )	g%	101%
parámetro de acel. de resp. espectral en periodos 1 seg (S <sub>1</sub> )	g%	36%
parámetro de acel. de resp. espectral en periodos 0 seg (S <sub>0</sub> )	g%	32%
Periodo de transición de sismo	seg.	4.00
Hard Rock	Coef. De sitio (Fa)	0.80
	Coef. De sitio (Fv)	0.80
Auto anclado	Wri	3.50
	Wrc	2.00

**DISEÑO DE UN PROGRAMA EN EXCEL PARA CALCULAR TANQUES VERTICALES DE ALMACENAMIENTO DE AGUA CON CAPACIDAD ENTRE 12 M3 Y 1200 M3 CON TECHO CÓNICO FIJO BAJO NORMA API 650 ADEMÁS DE COMANDAR LAS OPERACIONES DE DIBUJO DE SOLIDWORKS.**

**DISEÑO DE TANQUES DE AGUA CON CAPACIDAD HASTA 1200 M3 CON TECHO CÓNICO BAJO NORMA API 650 CON EX-SOLIDWORKS.**

**Ingreso manual**

1 2 3 4 5

Figura 18, Página 1 del programa en Excel.

En la página 2 se presentan los resultados geométricos donde se puede seleccionar la relación altura – diámetro del tanque. Estos definirán lo siguiente en la página 3.

**DITAVER\_1200 - Dimensiones generales**

ENTRADA CAUDAL m <sup>3</sup> /h		340		DIAMETRO DEL TANQUE (mm)	7000
TIEMPO DE ALMACENAMIENTO		h	2	ANCHO DE VIROLA (mm)	1800
ALTURA A BOQUILLAS DE E/S		m	0.5	ALTURA DEL TANQUE (mm)	19800
CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO		m <sup>3</sup>	680	Espesor de soldadura vertical	3.175
				Espesor de soldadura Hor	4.763

se recomienda 3 Veces la capacidad

se recomienda 0.5 metros respecto al fondo y al techo.

Valor Correcto

**Dimensiones principales**

Diámetro (m)	Volumen (m <sup>3</sup> )	Altura (m)	Altura real (m)
3	680.00	96.20	97.20
4	680.00	54.11	55.11
5	680.00	34.63	35.63
6	680.00	24.05	25.05
7	680.00	17.67	18.67
8	680.00	13.53	14.53
9	680.00	10.69	11.69
10	680.00	8.66	9.66
11	680.00	7.16	8.16
12	680.00	6.01	7.01
12.5	680.00	5.54	6.54

Seleccionar se recomienda que la altura del tanque sea menor al diámetro.

Diámetro (mm)	7000
Volumen (m <sup>3</sup> )	680
Altura (mm)	17669.45
Altura real (mm)	18669.45
Alturac c/VC (mm)	19800.00
# de virolas	11
Diám. Recal. (mm)	6786.26

**SOBRE PLANCHAS DE ACERO**

ANCHO (mm)	1800
LARGO (mm)	6000
# PLANCHAS	3.60

1 2 3 4 5

Figura 19, Página 2 del programa en Excel.

La página 3, muestra una tabla de espesores de cada anillo que conforma el cuerpo del tanque.

**DITAVER\_1200 - Calculo de espesores del cuerpo.**

Diámetro (m)	7.00	Volumen (m <sup>3</sup> )	680.00	3.141592654
Volumen (m <sup>3</sup> )	680.00	Altura (m)	18.80	
Altura (m)	17.67	Diámetro (m)	6.7863	
Altura real (m)	18.67	Diam. Nominal	6.7910	
altura c/VC (m)	19.80			
Densidad del agua (Kg/m <sup>3</sup> )	965.06			
Densidad relativa	0.97			

El icono de color verde indica donde se debe hacer click para abrir.

$$t_d = \frac{4,9 \cdot D \cdot (H'+0,2) \cdot G}{(S_d) \cdot E} + CA$$

ESPESOR DE DISEÑO DE LA VIROLA t <sub>d</sub>					
Peso de cada anillo (Kg)	virola	Altura de cada anillo (m)	Altura del cuerpo (m)	Espesor de cálculo (mm)	Espesor comercial (in)
1433.68	1	1.8	19.80	9.02	0.375
1433.68	2	1.8	18.00	8.57	0.375
1433.68	3	1.8	16.20	8.11	0.375
1196.79	4	1.8	14.40	7.66	0.313
1196.79	5	1.8	12.60	7.21	0.313
1196.79	6	1.8	10.80	6.76	0.313
1196.79	7	1.8	9.00	6.39	0.313
956.01	8	1.8	7.20	5.92	0.250
956.01	9	1.8	5.40	5.46	0.250
956.01	10	1.8	3.60	4.99	0.250
715.18	11	1.8	1.80	4.52	0.187
0.00	12	1.8			0.000

**Esfuerzos permisibles condición de diseño (Mpa)**  
159.90

**coeficiente de eficacia de soldadura**  
0.80

9.525  
9.525  
9.525  
7.950  
7.950  
7.950  
7.950

1 2 3 4 5

Figura 20, Página 3 del programa en Excel.

Lo referente al techo y el fondo se muestran en la página 4. En esta se indica si requiere anillo de coronamiento y si el espesor tanto del techo como del fondo superan los espesores mínimos permisibles.

**DITAVER 1200 - Calculo del techo, fondo y perfil de coronamiento**

Diseño del techo			Perfil de coronamiento		
Altura del techo	m	0.85	Disposición	2	3
Espesor mínimo requerido	mm	5.84	Perfil estructural	1 1/2 x 1 1/2 x 3/32 1 1/2 x 1 1/2 x 1/8 1 1/2 x 1 1/2 x 3/16	AREA SC (m²) 0.527
Incremento por cargas	%	1.00			AREA SC (cm²) 3.40
Espesor de diseño	mm	5.84			
Espesor comercial	in	0.250			
Área del techo	m²	37.28			
Número de planchas	unidades	3.50			
Peso del techo libre	Kg	1858.19			
Peso del techo cargado	Kg	1958.19			
Área requerida	cm²	4.41			

Diseño del fondo			Perfiles de coronamiento		
Esposor del primer anillo	m	9.52500	Disposición 1	<input type="radio"/>	Disposición 2
Nivel de diseño del líquido	m	19.30	Disposición 2	<input checked="" type="radio"/>	Disposición 3
Esfuerzo de prueba hidrostática	Mpa	171.68	Disposición 4	<input type="radio"/>	Disposición 5
Esfuerzo calculado para prueba hidrostática en el primer anillo	Mpa	86.90	Disposición 5	<input type="radio"/>	Disposición 6
Esposor mínimo requerido	mm	6.350			
Esposor de diseño	mm	7.850			
Esposor comercial	in	0.313			
Diámetro del fondo	m	6.926			
Área del fondo	m²	37.68			
Número de planchas	unidades	3.50			
Peso del fondo	Kg	6014.89			
Con placa anular	m	1.00			

Propiedades de Placa Anular		
Wc	cm	7.62
Área del cuerpo	cm²	3.62
Wh	cm	8.95
Área del techo	cm²	5.69

Figura 21, Página 4 del programa en Excel.

La evaluación por efecto sísmico y por viento se muestra en la página 5 del programa, definiendo si es necesario anclaje mecánico y/o placa anular.

**DITAVER 1200 - Evaluación del efecto sísmico y viento**

Masa efectiva			Momento de volteo por efecto sísmico		
Diámetro nominal	m	6.79	Centro de masa (Xs)	m	9.90
Altura de diseño del líquido	m	19.30	Momento de volteo (Mrw)	Kg-m	535624.40
Relación diámetro/altura	-	0.35	Esf. Cedencia del fondo (Fy)	Kg/cm²	2530.00
Peso del fluido en el tanque	Kg	673694.01	Densidad relativa (G)	-	0.965
Peso efectivo impulsivo (Wl)	Kg	622053.272	Resistencia a la volc. (wa)l(WL)	Kg-m	1619.34
Peso efectivo convectivo (Wc)	Kg	54483.350	Valor de comparación	Kg-m	235.10
Peso del techo+%Cv+Cm (Wr)	Kg	1958.191	Peso distrib. del techo(wrs)	Kg/m	91.85
Peso total del cuerpo (Ws)	Kg	12671.401	Peso distrib. del cuerpo (ws)	Kg/m	594.35
			Carga de diseño de elev. (wt)	Kg/m	686.20
			Carga hidrostática (wint)	Kg/m	873.64
			Relación de andaje (I)	-	5.95
			Esposor de placa anular (tan)	mm	25.40
			Longitud radial de placa anular	m	1.60

Centroide de la fuerza sísmica			Compresión por sismo		
Centro de volteo (Xl)	m	9.01	Condición de compresión (J)	-	5.95
Centro de volteo (Xg)	m	17.45	Máxima compresión en el fondo (sigmad)	Mpa	16.85
			Valor de comparación de comp	-	9.45
			Compresión máx. perm. (Fc)	MPa	76.48
			Factor de seguridad por comp.	-	4.54

Coeficiente de fuerza lateral sísmica			Momento de volteo por presión de viento		
Esposor uniforme equivalente del cuerpo (tu)	mm	9.53	Altura total del tanque	m	20.15
Relación altura/diámetro	-	2.90	Factor de corrección	-	0.61
Coeficiente para el periodo impulsivo (Cj)	-	7.05	Momento por viento	Kg-m	75756.28
Periodo natural impulsivo (Ti)	seg	0.178	Resistencia al Volteo	Kg-m	28663.81
Factor de zona (Z)	-	0.40	Relación de andaje (Iv)	-	2.64
Coeficiente del periodo de oleaje (Ks)	-	0.58			
Periodo natural convectivo (Tc)	Seg	1.51			
SDS	%g	32.32%			
SD1	%g	11.52%			
SD0	%g	12.80%			
Ts	seg	0.356			
TD	seg	0.071			
AI	-	0.092			
Ac	-	0.057			

Figura 22, Página 5 del programa en Excel.

### 3.3. Dibujar en Solidworks desde el programa en Excel el tanque de almacenamiento de agua según capacidad máxima de 1200 m<sup>3</sup> en Solidworks.

Para contar con la opción de dibujo del tanque en SolidWorks, es necesario primero hacer una serie de modelos del tanque, los mismos que servirán para modificarse y adaptarse a los resultados de Excel. Se ha identificado que se debe dibujar 12 modelos cada uno con diferente cantidad de anillos; este número asegura contar con el rango de cálculo del programa en Excel, sea el formato de plancha o altura que se seleccione del tanque. Una vez se tienen los archivos de cada modelo, se vinculan a las celdas correspondientes, como se muestra en la figura 20, página 58. Este paso es único, solo para programar el Excel. Siguiendo con el proceso de cálculo se observa que al seleccionar el diámetro correcto ( $D > H$ ), En la página 3 del programa de Excel se resaltó un ícono de Solidworks con color verde, en este se debe hacer clic para que se abra el dibujo. Sin embargo, con ello no basta. Se abrió la tabla de diseño en una ventana a parte y luego se cerró. De este modo Solidworks actualiza la tabla de diseño. Solidworks recibió la información de la hoja de cálculo Excel para diseñar el tanque.

Para 12 m<sup>3</sup>

Solidworks recibirá la información de la hoja de cálculo Excel para diseñar el tanque.

**Tabla 24, Condiciones generales de operación.**

Capacidad	m <sup>3</sup>	12,00
Tiempo de almacen	h	2
Temperatura del fluido	°C	45,00
Corrosión permisible	mm	4,00
Distancia a boquilla	m	0,50
Velocidad del viento	m/s	44,72
Factor de importancia	-	1,00

**Tabla 25, Condiciones del techo.**

Ángulo	(°)	18
Carga viva	Kg/m <sup>2</sup>	160
Carga muerta	Kg/m <sup>2</sup>	120
Espesor de corrosión	mm	0

**Tabla 26, Condiciones del fondo.**

Espesor de corrosión	mm	1,50
Saliente	mm	70

**Tabla 27, Condiciones sísmicas.**

Coeficiente sísmico (Factor de zona) (Z)		-	0,40
parámetro de acel. de resp. espectral en períodos 0,2 seg (Ss)		g%	101%
parámetro de acel. de resp. espectral en períodos 1 seg (S1)		g%	36%
parámetro de acel. de resp. espectral en períodos 0 seg (S0)		g%	32%
Periodo de transición de sismo		seg.	4,00
Hard Rock	▼	Coef. De sitio (Fa)	0,80
		Coef. De sitio (Fv)	0,80
Auto anclado	▼	Wri	3,50
		Wrc	2,00

**Tabla 28, Características técnicas del techo.**

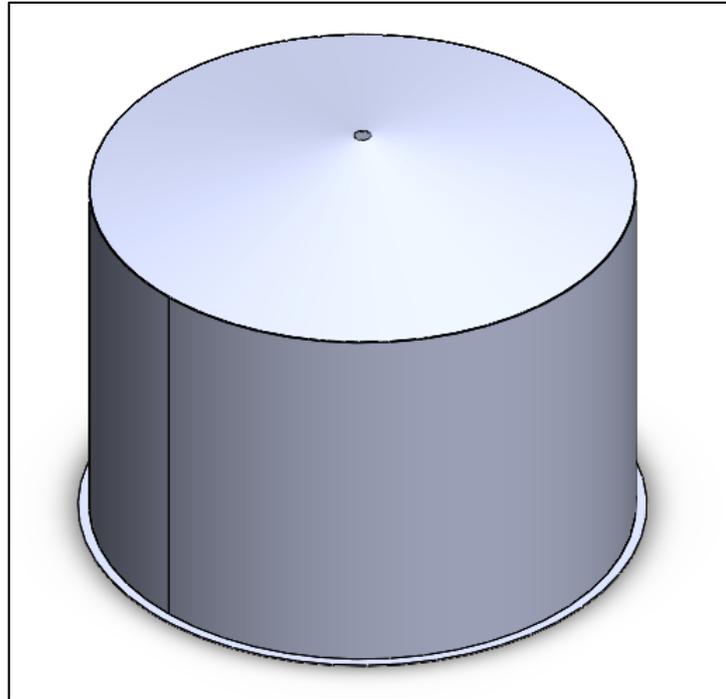
Altura del techo	m	0,54
Espesor mínimo requerido	mm	2,23
Incremento por cargas	%	1,13
Espesor de diseño	mm	2,51
Espesor comercial	in	0,187
Área del techo	m <sup>2</sup>	9,01
Número de planchas	unidades	0,70
Peso del techo libre	Kg	336,04
Peso del techo cargado	Kg	456,04
Área requerida	cm <sup>2</sup>	0,92

**Tabla 29, Características técnicas del fondo.**

<b>Espesor del primer anillo</b>	m	4,74980
<b>Nivel de diseño del líquido</b>	m	1,90
<b>Esfuerzo de prueba hidrostática</b>	Mpa	171,68
<b>Esfuerzo calculado para prueba hidrostática en el primer anillo</b>	Mpa	6,80
<b>Espesor mínimo requerido</b>	mm	6,350
<b>Espesor de diseño</b>	mm	7,850
<b>Espesor comercial</b>	in	0,313
<b>Diámetro del fondo</b>	m	3,444
<b>Área del fondo</b>	m <sup>2</sup>	9,31
<b>Número de planchas</b>	unidades	0,70
<b>Peso del fondo</b>	Kg	581,24
Sin placa anular ▼	in	1,00

**Tabla 30, Características técnicas del cuerpo.**

Peso de cada anillo (Kg)	virola	Altura de cada anillo (m)	Altura del cuerpo (m)	Espesor de cálculo (mm)	Espesor comercial (in)
464,03	1	2,4	2,40	4,33	0,187



*Figura 23, Diseño de tanque de 12 m<sup>3</sup> en SolidWorks.*

Como se puede apreciar en la figura 23 el diseño en SolidWorks es un trabajo preliminar el cual puede ser modificado; agregarle boquillas, manhole, venteo, etc.

Para 600 m<sup>3</sup>

**Tabla 31, Condiciones generales de operación.**

Capacidad	m <sup>3</sup>	600,00
Tiempo de almacen	h	2
Temperatura del fluido	°C	45,00
Corrosión permisible	mm	4,00
Distancia a boquilla	m	0,35
Velocidad del viento	m/s	44,72
Factor de importancia	-	1,00

**Tabla 32, Condiciones del techo.**

Ángulo	(°)	18
Carga viva	Kg/m <sup>2</sup>	160
Carga muerta	Kg/m <sup>2</sup>	120
Espesor de corrosión	mm	0

**Tabla 33, Condiciones del fondo.**

Espesor de corrosión	mm	1,50
Saliente	mm	70

**Tabla 34, Condiciones sísmicas.**

Coeficiente sísmico (Factor de zona) (Z)		-	0,40
parámetro de acel. de resp. espectral en períodos 0,2 seg (Ss)		g%	101%
parámetro de acel. de resp. espectral en períodos 1 seg (S1)		g%	36%
parámetro de acel. de resp. espectral en períodos 0 seg (S0)		g%	32%
Periodo de transición de sismo		seg.	4,00
Hard Rock	▼	Coef. De sitio (Fa)	0,80
		Coef. De sitio (Fv)	0,80
Auto anclado	▼	Wri	3,50
		Wrc	2,00

**Tabla 35, Características técnicas del techo.**

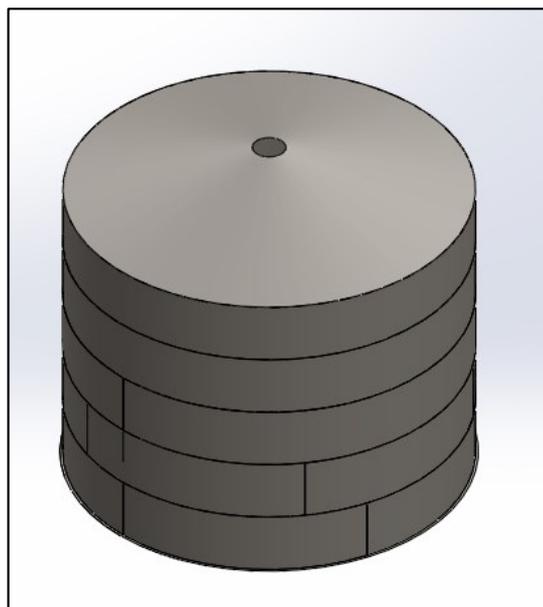
<b>Altura del techo</b>	m	1,56
<b>Espesor mínimo requerido</b>	mm	6,47
<b>Incremento por cargas</b>	%	1,13
<b>Espesor de diseño</b>	mm	7,30
<b>Espesor comercial</b>	in	0,313
<b>Área del techo</b>	m <sup>2</sup>	76,01
<b>Número de planchas</b>	unidades	7,10
<b>Peso del techo libre</b>	Kg	4743,67
<b>Peso del techo cargado</b>	Kg	4863,67
<b>Área requerida</b>	cm <sup>2</sup>	7,78

**Tabla 36, Características técnicas del fondo**

<b>Espesor del primer anillo</b>	m	7,95020
<b>Nivel de diseño del líquido</b>	m	8,65
<b>Esfuerzo de prueba hidrostática</b>	Mpa	171,68
<b>Esfuerzo calculado para prueba hidrostática en el primer anillo</b>	Mpa	61,69
<b>Espesor mínimo requerido</b>	mm	6,350
<b>Espesor de diseño</b>	mm	7,850
<b>Espesor comercial</b>	in	0,313
<b>Diámetro del fondo</b>	m	9,734
<b>Área del fondo</b>	m <sup>2</sup>	74,41
<b>Número de planchas</b>	unidades	6,90
<b>Peso del fondo</b>	Kg	4644,13
Sin placa anular	in	1,00

**Tabla 37, Características técnicas del cuerpo.**

Peso de cada anillo (Kg)	virola	Altura de cada anillo (m)	Altura del cuerpo (m)	Espesor de cálculo (mm)	Espesor comercial (in)
1692,20	1	1,8	<b>9,00</b>	<b>7,35</b>	<b>0,313</b>
1692,20	2	1,8	<b>7,20</b>	<b>6,69</b>	<b>0,313</b>
1351,71	3	1,8	<b>5,40</b>	<b>6,04</b>	<b>0,250</b>
1351,71	4	1,8	<b>3,60</b>	<b>5,38</b>	<b>0,250</b>
1011,16	5	1,8	<b>1,80</b>	<b>4,00</b>	<b>0,187</b>



*Figura 24, Diseño de tanque de 600 m3 en solidworks.*

### 3.4. Tabla de diseño en Solidworks y vinculación con el programa en Excel.

#### 3.4.1. Tabla de diseño para tanques con 1 anillo (TK = tanque)

Cuando el cálculo que se realizó en Excel, da como resultado un tanque de 1 solo anillo, la tabla de diseño correspondiente a este tipo de tanque contiene 15 columnas de operaciones, ver la tabla 38 donde se puede observar las operaciones de la tabla de SolidWorks.

Tabla 38, Cuadro de diseño para tanque con 1 anillo.

Tabla de diseño para: TK 1 ANILLO														
	D1@DIAMETRO FONDO	D1@ESPESOR FONDO	D1@DIAMETRO CUERPO	D2@DIAMETRO CUERPO	D1@ALTURA CUERPO	D1@JUNTA VERTICAL	D2@JUNTA VERTICAL	D1@LONGITUD DE JUNTA VERTICAL	D3@NUMERO DE JUNTAS	D1@NUMERO DE JUNTAS	D1@DIMENSIONES DEL TECHO	D3@DIMENSIONES DEL TECHO	D2@DIMENSIONES DEL TECHO	D1@BARRIDO TECHO
Predeterminado	3444	7.9502	3303.56	4.7498	2400	3.175	25.4	2400	208.12	2.00	4.7498	14	100	360

#### 3.4.2. Tabla de diseño para tanques con 2 anillos (TK = tanque)

Cuando el cálculo de Excel da como resultado un tanque con 2 anillos, la tabla de diseño de SolidWorks aumentará su cantidad de columnas a 24, para cubrir todas las operaciones del dibujo. En la tabla 39 se muestra el cuadro de diseño para tanques con 2 anillos.

Tabla 39, Cuadro de diseño para tanques con 2 anillos.

Tabla de diseño para: TK 2 ANILLO																							
	D1@DIAMETRO DEL FONDO	D1@ESPESOR DEL FONDO	D1@GEOMETRIA DE LA PARED 1	D2@GEOMETRIA DE LA PARED 1	D1@ALTURA DE LA PARED 1	D1@GEOMETRIA JUNTA VERTICAL 1	D2@GEOMETRIA JUNTA VERTICAL 1	D1@LONGITUD DE JUNTA VERTICAL 1	D3@NUMERO DE JUNTAS ANILLO 1	D1@NUMERO DE JUNTAS ANILLO 1	D1@ESPESOR DE JUNTA HORIZONTAL 1	D1@GEOMETRIA DE LA PARED 2	D1@ALTURA DE LA PARED 2	D1@GEOMETRIA JUNTA VERTICAL 2	D2@GEOMETRIA JUNTA VERTICAL 2	D3@GEOMETRIA JUNTA VERTICAL 2	D1@LONGITUD DE JUNTA VERTICAL 2	D3@NUMERO DE JUNTAS ANILLO 2	D1@NUMERO DE JUNTAS ANILLO 2	D2@GEOMETRIA DEL TECHO	D3@GEOMETRIA DEL TECHO	D1@GEOMETRIA DEL TECHO	D1@BARRIDO TECHO
Predeterminado	6655	7.9502	6514.70	4.7498	1220	3.175	25.4	1220	105.54	4.00	4.7625	4.7498	1220	3.175	25.4	104.06	1220	105.54	4.00	6.35	14	100	360

### 3.4.3. Tabla de diseño para tanques con 3 anillos (TK = tanque)

El cálculo de Excel permite también un tanque de 3 anillos, si este es el caso, la cantidad de columnas necesarias para todas las operaciones involucradas, son 32. La tabla 40 muestra este caso.

Tabla 40, Cuadro de diseño para tanques con 3 anillos.

Tabla de diseño para: TK 3 ANILLO												
		D1@DIAMETRO DEL FONDO	D1@ESPESOR DE FONDO	D1@GEOMETRIA DE PARED 1	D2@GEOMETRIA DE PARED 1	D1@ALTURA DE PARED 1	D1@GEOMETRIA DE JUNTA VERTICAL 1	D2@GEOMETRIA DE JUNTA VERTICAL 1	D1@LONGITUD DE JUNTA VERTICAL 1	D2@NUMERO DE JUNTAS DE PARED 1	D1@NUMERO DE JUNTAS DE PARED 1	D1@ESPESOR DE JUNTA HORIZONTAL 1
Predeterminado	4933	7.9502	4793.30	4.7498	1220	3.175	25.4	1220	143.44	3.00	4.763	

D1@GEOMETRIA DE PARED 2	D1@ALTURA DE PARED 2	D1@GEOMETRIA DE JUNTA VERTICAL 2	D2@GEOMETRIA DE JUNTA VERTICAL 2	D3@GEOMETRIA DE JUNTA VERTICAL 2	D1@LONGITUD DE JUNTA VERTICAL 2	D2@NUMERO DE JUNTAS DE PARED 2	D1@NUMERO DE JUNTAS DE PARED 2	D1@ESPESOR DE JUNTA HORIZONTAL 2	D1@GEOMETRIA DE PARED 3	D1@ALTURA DE PARED 3	D1@GEOMETRIA DE LA JUNTA 3	D2@GEOMETRIA DE LA JUNTA 3	D1@LONGITUD DE JUNTA VERTICAL 3	D2@NUMERO DE JUNTAS POR PARED 3	D1@NUMERO DE JUNTAS POR PARED 3	D1@GEOMETRIA DEL TECHO	D2@GEOMETRIA DEL TECHO	D3@GEOMETRIA DEL TECHO	D1@BARRIDO TECHO
4.7498	1220	3.175	25.4	104.06	2400	143.44	3.00	4.763	4.7498	1220	3.175	25.4	1220	143.44	3.00	4.7498	14	100	360

### 3.4.4. Tabla de diseño para tanques con 4 anillos (TK = tanque)

Tabla 41, Cuadro de diseño para tanques con 4 anillos.

Tabla de diseño para: TK 4 ANILLO	
Predefinido	
D1@DIAMETRO DEL FONDO	5264
D1@ESPESOR DEL FONDO	7.9502
D1@GEOMETRIA DE LA PARED 1	5123.71
D2@GEOMETRIA DE LA PARED 1	6.35
D1@ALTURA DE PARED 1	1220
D1@GEOMETRIA DE JUNTA VERTICAL 1	3.175
D2@GEOMETRIA DE JUNTA VERTICAL 1	25.4
D1@LONGITUD DE JUNTA VERTICAL 1	1220
D3@NUMERO DE JUNTAS VERTICALES EN PARED 1	134.19
D1@NUMERO DE JUNTAS VERTICALES EN PARED 1	3.00
D1@ESPESOR DE JUNTA HORIZONTAL 1	4.763
D1@GEOMETRIA DE PARED 2	6.35
D1@ALTURA DE PARED 2	1220
D1@GEOMETRIA DE JUNTA VERTICAL 2	3.175
D2@GEOMETRIA DE JUNTA VERTICAL 2	25.4
D3@GEOMETRIA DE JUNTA VERTICAL 2	67.095
D1@LONGITUD DE JUNTA VERTICAL 2	1220
D3@NUMERO DE JUNTAS VERTICALES EN PARED 2	134.19
D1@NUMERO DE JUNTAS VERTICALES EN PARED 2	3.00
D1@ESPESOR DE JUNTA HORIZONTAL 2	4.763
D1@GEOMETRIA DE PARED 3	4.7498
D1@ALTURA DE PARED 3	1220
D1@GEOMETRIA DE JUNTA VERTICAL 3	3.175
D2@GEOMETRIA DE JUNTA VERTICAL 3	25.4
D1@LONGITUD DE JUNTA VERTICAL 3	1220
D3@NUMERO DE JUNTAS VERTICALES EN PARED 3	134.19
D1@NUMERO DE JUNTAS VERTICALES EN PARED 3	3.00
D1@ESPESOR DE JUNTA HORIZONTAL 3	4.763
D1@GEOMETRIA DE PARED 4	4.7498
D1@ALTURA DE PARED 4	1220
D1@GEOMETRIA DE JUNTA VERTICAL 4	3.175
D2@GEOMETRIA DE JUNTA VERTICAL 4	25.4
D3@GEOMETRIA DE JUNTA VERTICAL 4	67.095
D1@LONGITUD DE JUNTA VERTICAL 4	1220
D3@NUMERO DE JUNTAS VERTICALES EN PARED 4	134.19
D1@NUMERO DE JUNTAS VERTICALES EN PARED 4	3.00
D1@GEOMETRIA DE TECHO	4.7498
D2@GEOMETRIA DE TECHO	14
D3@GEOMETRIA DE TECHO	100
D1@BARRIDO DE TECHO	360

#### IV. DISCUSIÓN

Se puede identificar que mientras la relación diámetro – altura decrece por debajo de la unidad, el tanque tiene mayor estabilidad tanto como respuesta al viento y a los sismos, sabiendo que nos encontramos en la zona con mayor riesgo de movimientos telúricos del Perú.

A diferencia del tanque diseñado por nuestro programa (material: A-36), en el diseño del tanque de Alfredo Rodríguez, está fabricado en otro material (A 240 tp 304L). Además debido a que el tanque del investigador de Universidad Carlos III de Madrid es de mayor capacidad tiene una altura de 12 metros que sobre pasa por aproximadamente 1.20 metros al tanque de 1200 metros cúbicos que se evaluó en esta tesis. De esta manera se pudo observar la diferencia entre los espesores del primer anillo del cuerpo. Rodríguez determina que el espesor del primer anillo debe ser 16 mm para la columna de agua de 12 metros de altura y para 10.80 metros de agua se calculó que es necesario una plancha de acero de 10 mm de espesor; esto puede ser por que el esfuerzo admisible del A-36 es mayor que el del A 240. En lo que se refiere a techo y fondo el autor Alfredo Rodriguez indica que estas partes del tanque de almacenamiento deben ser de 6 mm de espesor, lo que difiere con nuestros resultados, que considerando un ángulo de caída del techo de  $21^\circ$ , el espesor del techo es de 9.53 mm, y en el fondo de 7.94 mm; además el tanque de 1200 m<sup>3</sup> debe llevar anclaje mecánico o placa anular de 1 pulgada de espesor x 1 metro de longitud radial.

Bajo la norma API 650 se programó esta herramienta computacional para diseño de tanques y con algunos datos de la norma peruana para diseño sismo-resistente E 030; De igual modo Carlos Jiménez fundamento su diseño del tanque en la norma API 650 y con las consideraciones y normativas de México. Los techos esféricos para tanques atmosféricos no se abordaron en la presente tesis.

Las investigadoras Castillo y Ochoa diseñaron un tanque de 24.32 metros de diámetro lo cual es un tanque de techo soportado, lo cual cae fuera de los objetivos de esta tesis; sin embargo, se puede resaltar que al igual que en esta investigación y en la de Jiménez se fundamentaron en normas extranjeras y nacionales.

## V. CONCLUSIONES

Se desarrolló un programa en Excel para diseñar tanques verticales de almacenamiento de agua con capacidad entre  $12 \text{ m}^3$  y  $1200 \text{ m}^3$  con techo cónico fijo bajo norma API 650 además de comandar las operaciones de dibujo de SolidWorks. Según la norma techos con diámetros por debajo de 12.5 metros pueden diseñarse como auto-soportados. Las bases teóricas sobre el diseño de tanques de almacenamiento estacionarios de techo cónico fijo se extrajeron de la norma API 650 del año 2007 y de otros autores que en conclusión llevaron a entender como diseñar un tanque de techo cónico fijo auto-soportado.

5.1. Se definió el algoritmo de cálculo necesario para el diseño de tanques de almacenamiento de techo cónico fijo en un diagrama de flujo, esto ayudó a desarrollar el programa con mayor facilidad y orden.

5.2. Se desarrolló el programa en MS Excel donde se plasmó el algoritmo de cálculo mediante la sintaxis de programación de esta hoja de cálculo, fue necesario la utilización de su desarrollador para que se vuelva fácil la utilización del programa. El programa está compuesto de 5 hojas, donde en la primera se ingresa la información sobre las condiciones de operación y de sitio, materiales, espesor de corrosión, etc. Luego se encuentra los resultados geométricos, en la página 3 se encuentra los espesores de cada anillo que compone el cuerpo del tanque que se está diseñando. En la página cuatro del programa se calcularon los espesores del techo y del fondo. Finalmente, en la página 5 se realizó el estudio de estabilidad por viento y sismos.

5.3. Se logró que SolidWorks reciba la información desde el programa Excel para diseñar el tanque de almacenamiento de agua según las solicitudes de capacidad que tenga el potencial cliente. Para esto se hizo uso de las tablas de diseño que sirven como nexo entre los 2 programas.

Se exporta la tabla de diseño de SolidWorks y se vinculó cada celda de Excel con la tabla de manera que al cambiar un valor como por ejemplo de diámetro en la hoja de cálculo, se modifique en SolidWorks.

5.4. El programa ha comprobado que tiene los resultados correctos mediante calculo manual de 3 tanques, uno de 12 metros cúbicos y los otros de 600 y 1200 metros cúbicos. Los tanques

de mayor capacidad y bajo condiciones de viento de 47 m/s de velocidad y condiciones de rocas duras en sitio.

## **VI. RECOMENDACIONES**

- 6.1.** Se debe revisar y actualizar si es necesario el programa para cada versión de Excel con la ayuda del cálculo manual para los tres tanques, de manera que el programa pueda seguir siendo confiable.
- 6.2.** Es necesario redactar un manual de uso para que los resultados obtenidos por el programa sean correctos y el usuario debe tener conocimientos de la norma API 650 para poder interpretar correctamente los resultados.
- 6.3.** Cada diseño en Solidworks es preliminar y debe ser complementado por el especialista a cargo de la evaluación, esto es, realizar la ingeniería de detalle del tanque de almacenamiento.
- 6.4.** Se recomienda que se verifique siempre antes de diseñar, que el espacio disponible donde se pretende instalar el tanque permita que el diámetro sea mayor que la altura, de no ser así se sale de la cobertura de la norma API 650.
- 6.5.** Se recomienda por prevención utilizar un perfil de coronamiento para rigidizar la parte superior del tanque, sobre todo cuando se trata de un tanque de agua sin techo; así mismo como parte del peso total del tanque de agua sin techo; así mismo como parte del peso total del tanque es recomendable considerar una columna central de tubo sin costura sobre todo cuando el ángulo de inclinación del techo es menor de 14°.
- 6.6.** De tratarse de un tanque de almacenamiento de combustible se deberá dimensionar los sistemas de enfriamiento, y considerar la posibilidad de un tanque con techo flotante. El programa no cubre tanques de almacenamiento con techo flotante.
- 6.7.** Para un diseño confiable se deberá tomar la data directamente en el sitio de montaje del tanque de almacenamiento, data referente a velocidad del viento, temperatura ambiente, humedad que se puede obtener mediante el uso de un anemómetro calibrado y con su respectivo certificado de calidad correspondiente, además de un estudio de suelo por parte de un ingeniero civil colegiado para tomar las muestras del suelo y llevarlas a un laboratorio certificado por INACAL (Instituto Nacional de la Calidad) para determinar el tipo de suelo y su resistencia.

## VII. REFERENCIAS

- 7.1 aaronequipment. (2015). <http://www.aaronequipment.com/>. Obtenido de <http://www.aaronequipment.com/>.
- 7.2 API. (2007). *STANDAR A.P.I. 650*.
- 7.3 E.030. (2019). *Diseño sismo resistente*. Lima: El Peruano.
- 7.4 Castillo Elizarrarás, M. d., & Ochoa Pozos, N. (2000). *Diseño y cálculo de un tanque de almacenamiento de querosene con diámetro de 80 ft x 40 ft de altura bajo la norma API 650*. México: Instituto Politécnico Nacional.
- 7.5 ceazul. (2013). *Construcciones y Edificaciones Azul S.A de C.V.* Obtenido de <http://www.ceazul.com/206/7236/235/2012/2/13/06102011282.jpg>
- 7.6 CENGEL, Y. A. (2006). *MECÁNICA DE FLUIDOS*. México D.F.: Mc Graw Hill.
- 7.7 Chávez C., H. K. (2014). *Estudio de factibilidad técnico económica de instalación de una central termoeléctrica a vapor con turbina a condensación pura quemando carbón antracita en La Libertad*. Trujillo.
- 7.8 Correa Vigo, F. J. (2012). *Diseño Estructural de un auditorio de estructuras metálicas*. Piura.
- 7.9 Cruz Rovira, C. A., Figueroa Catalan, P. R., & Hernández Castillo, C. L. (2012). *Estructuras, análisis y diseño estructural de elementos de techo con perfiles metálicos utilizando el método LRFD*. El salvador.
- 7.10 De León Arreaga, J. P. (2010). *Guía para el diseño estructural de cimientos y anclajes de tanques de almacenamiento tipo API 650*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
- 7.11 Giles, R. V. (1994). *Mecánica de los fluidos e hidráulica*. Madrid: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA DE ESPAÑA S. A. U.
- 7.12 Jiménez Camacho, J. P. (2011). *Estimación del peso propio de cubiertas con teja de asbesto cemento a dos aguas para diferentes modulaciones en el área metropolitana de Bucaramanga*. Bucaramanga.
- 7.13 Jiménez Antonio, C. A. (2012). *Diseño de un tanque de almacenamiento atmosférico de 20 000 bls de capacidad*. Veracruz: Universidad Veracruzana.
- 7.14 Mesa ETP . (2008). *Mesa Engineered Tank Products*. Obtenido de <http://www.mesaetp.com/esp/THE-TANK-AC-sm.jpg>

- 7.15 MINEM. (1997). *http://www.minem.gob.pe/*. Obtenido de <http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/DGAAM/guias/ruidominera.pdf>
- 7.16 Nisbett, R. G. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. McGraw-Hill.
- 7.17 OSINERGMIN. (2014). *www.osinerg.gob.pe*. Obtenido de [www.osinerg.gob.pe](http://www.osinerg.gob.pe): [http://www.osinerg.gob.pe/newweb/pages/NormasFH/NormasFH\\_ind16\\_01.htm](http://www.osinerg.gob.pe/newweb/pages/NormasFH/NormasFH_ind16_01.htm)
- 7.18 Perez Rodríguez, M. (2009). *Diseño y cálculo de la estructura metálica y de la cimentación de una nave industrial*. Madrid.
- 7.19 Rodríguez de Vicente, A. (2010). *Dimensionamiento y diseño estructural del tanque de almacenamiento de agua desmineralizada para una central térmica de ciclo combinado*. Madrid: Universidad Carlos III de Madrid.
- 7.20 tank connection. (2015). *http://www.tankconnection.com.mx/*.

# ANEXOS

## Anexo 1.

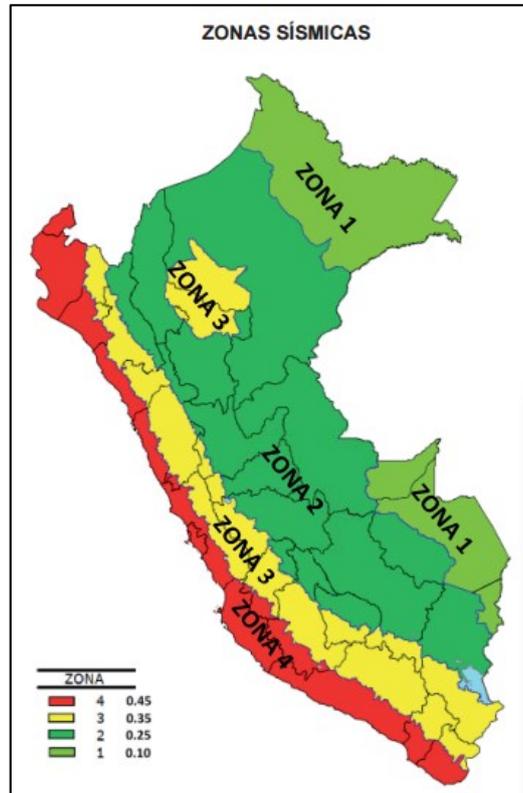


Figura 25, Factor de zona sísmica en Perú. (E030, 2019)

## Anexo 2.

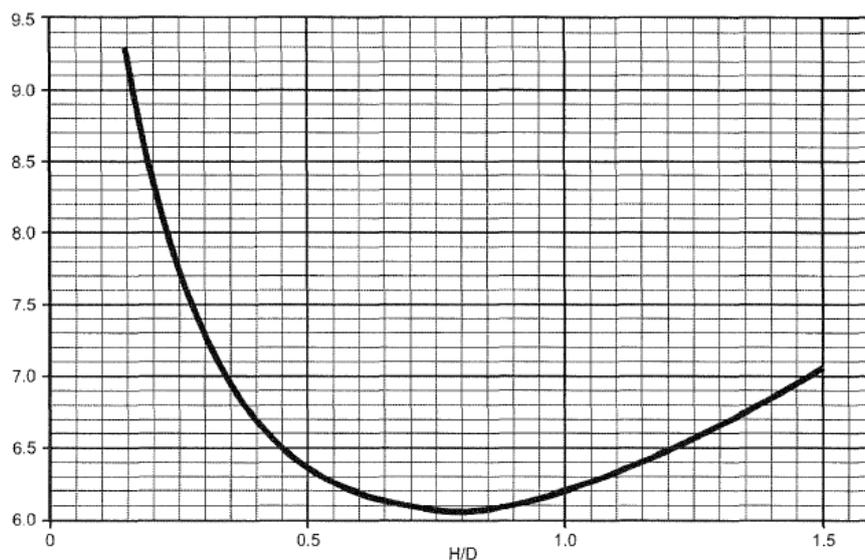


Figure E-1—Coefficient  $C_i$

Figura 26, Coeficiente Ci.

Anexo 3.

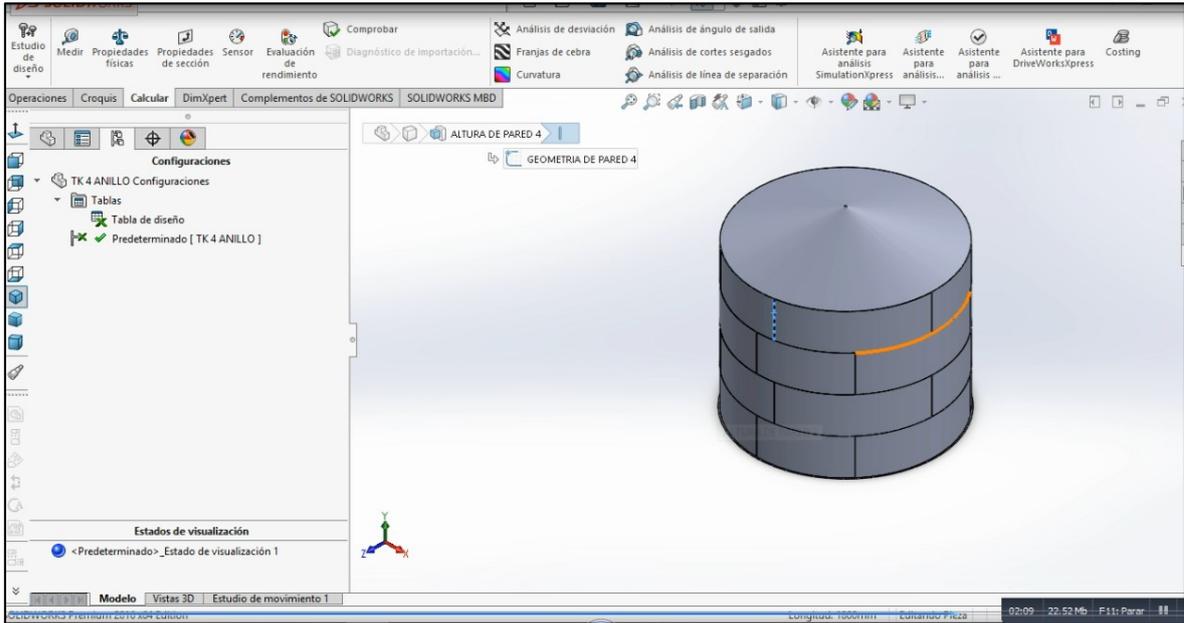


Figura 27, Entorno de trabajo en SolidWorks, tanque de 4 anillos.