



Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Civil

## **PROCESO CONSTRUCTIVO DEL ANILLO DE CIMENTACIÓN, PARA TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE HIDROCARBUROS**

**Angel Alberto Filippi Arriaga**

Asesorado por el Ing. Guillermo Francisco Melini Salguero

Guatemala, octubre de 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROCESO CONSTRUCTIVO DEL ANILLO DE CIMENTACIÓN, PARA  
TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE HIDROCARBUROS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**ANGEL ALBERTO FILIPPI ARRIAGA**

ASESORADO POR EL ING. GUILLERMO FRANCISCO MELINI SALGUERO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO CIVIL**

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Muralles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Omar Enrique Medrano Pérez
EXAMINADOR	Ing. Alejandro Castañón López
EXAMINADOR	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### **PROCESO CONSTRUCTIVO DEL ANILLO DE CIMENTACIÓN, PARA TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE HIDROCARBUROS**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 18 de abril de 2012.



**Angel Alberto Filippi Arriaga**

# *Ing. Guillermo Francisco Melini Salguero*

Ingeniería Civil, Sanitaria y Ambiental. Avalúos

Colegiado 2548

29 de agosto de 2012

Ingeniero  
Hugo Leonel Montenegro Franco  
Director de la Escuela de Ingeniería Civil,  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala  
Presente

Señor Director:

Después de analizar y revisar el trabajo de graduación titulado "**PROCESO CONSTRUCTIVO DEL ANILLO DE CIMENTACIÓN, PARA TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE HIDROCARBUROS**", presentado por el estudiante universitario de la carrera de Ingeniería Civil, **ANGEL ALBERTO FILIPPI ARRIAGA**, quien se identifica con el carné No.: **200312495**, tengo a bien manifestar que dicho trabajo ha sido ejecutado conforme a los requisitos establecidos.

Por lo anterior en mi calidad de Asesor, me permito solicitar se proceda con los trámites respectivos para su aprobación.

Sin otro particular, me suscribo de usted, atentamente,

  
Ing. Civil, Guillermo Francisco Melini Salguero  
Asesor  
Guillermo Francisco Melini Salguero  
INGENIERO CIVIL  
C-2548



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
[www.ingenieria-usac.edu.gt](http://www.ingenieria-usac.edu.gt)



Guatemala,  
30 de agosto de 2012

Ingeniero  
Hugo Leonel Montenegro Franco  
Director Escuela Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos

Estimado Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **PROCESO CONSTRUCTIVO DEL ANILLO DE CIMENTACIÓN, PARA TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE HIDROCARBUROS** desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Angel Alberto Filippi Arriaga, quien contó con la asesoría del suscrito.

Considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte para la comunidad del área y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

  
Ing. Civil Guillermo Francisco Melini Salguero  
Coordinador del Área de Materiales y Construcciones Civiles



FACULTAD DE INGENIERIA  
AREA DE MATERIALES Y  
CONSTRUCCIONES CIVILES  
USAC

/bbdeb.




UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
[www.ingenieria-usac.edu.gt](http://www.ingenieria-usac.edu.gt)



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor y Coordinador del Área de Materiales y Construcciones Civiles, Ing. Guillermo Francisco Melini Salguero, al trabajo de graduación del estudiante Angel Alberto Filippi Arriaga, titulado **PROCESO CONSTRUCTIVO DEL ANILLO DE CIMENTACIÓN, PARA TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE HIDROCARBUROS**, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

  
Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, octubre de 2012.

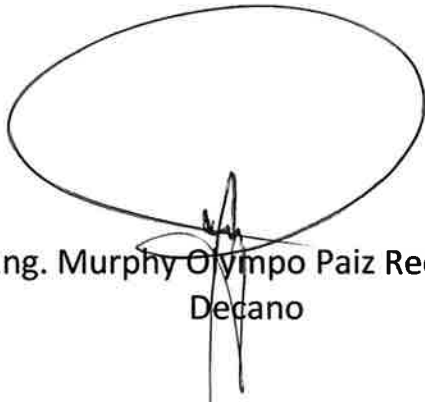
/bbdeb.



DTG. 514.2012

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al Trabajo de Graduación titulado: **PROCESO CONSTRUCTIVO DEL ANILLO DE CIMENTACIÓN, PARA TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE HIDROCARBUROS**, presentado por el estudiante universitario **Angel Alberto Filippi Arriaga**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

  
Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos  
Decano

Guatemala, 18 de octubre de 2012

/gdech





## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Por darme fortaleza y sabiduría para salir adelante diariamente.
<b>Mis padres</b>	Angel Filippi y Sandra Arriaga. Por su confianza y apoyo incondicional.
<b>Mis hermanos</b>	Roberto, Sophia e Isabella. Porque siempre puedo contar con ellos.
<b>Mis abuelos</b>	José Filippi, Gloria Galicia (q.e.p.d.), Héctor Arriaga (q.e.p.d.) e Iliana Fernández. Por sus consejos.
<b>Mi compañero de universidad</b>	Luis Eduardo Morales. Porque siempre me motivo a seguir adelante y entrar a clases (q.e.p.d.).

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>La Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Reconocimiento, a tan magna casa de estudios.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Como centro de enseñanza.
<b>Mis amigos de la facultad</b>	José Ovalle, Juan José Peña, Estuardo Chay, Alexis Castro, Luz Andrea Figueroa, Ligia Corado, Carlos Wock, Ricardo Aragón.
<b>Mis amigos</b>	Juan Pablo Murga, Leileing Ramírez, Marco Guillen, Antonio Castellanos, Emilio Ciudad Real, Elliott Morales, Kirtan López, Lucrecia María Galindo, Andrea García.
<b>Mi asesor</b>	Ing. Guillermo Francisco Melini.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	VII
GLOSARIO .....	IX
RESUMEN.....	XI
OBJETIVOS.....	XIII
INTRODUCCIÓN.....	XV
1. TANQUES.....	1
1.1. Dimensiones.....	2
1.2. Peso .....	4
1.3. Forma .....	4
1.3.1. Tanques empernados.....	5
1.3.2. Tanques soldados .....	6
1.3.3. Tanques cilíndricos.....	7
1.3.4. Tanques esféricos .....	10
1.4. Combustible.....	10
1.5. Materiales .....	11
2. EL SUELO.....	15
2.1. Estudios básicos.....	16
2.2. Cimentación.....	19
2.2.1. Diseño .....	19
2.2.1.1. Cimentación de tierra.....	19
2.2.1.2. Anillo de concreto .....	20
2.2.1.3. Anillo de grava triturada.....	21

	2.2.1.4.	Losa de cimentación .....	21
	2.2.2.	Forma.....	22
	2.2.3.	Materiales.....	26
3.	ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCIÓN DEL ANILLO DE CIMENTACIÓN DE CONCRETO ARMADO. ....		29
3.1.	Diseño estructural del anillo de concreto.....		30
	3.1.1.	Esfuerzos verticales .....	30
	3.1.2.	Esfuerzos horizontales .....	31
3.2.	Consideraciones generales para el anillo de concreto según el estándar API 650.....		34
3.3.	Armado.....		36
3.4.	Formaleta .....		38
3.5.	Fundición.....		42
	3.5.1.	Curado.....	42
3.6.	Desencofrado.....		43
3.7.	Acabados .....		44
4.	PROCESO CONSTRUCTIVO DE UN ANILLO DE CIMENTACIÓN.....		47
4.1.	Diseño del anillo .....		50
	4.1.1.	Sección transversal .....	51
	4.1.2.	Refuerzo del anillo.....	52
	4.1.2.1.	Acero longitudinal.....	53
	4.1.2.2.	Refuerzo transversal .....	54
4.2.	Trabajos preliminares.....		55
4.3.	Armadura .....		57
4.4.	La formaleta .....		58
4.5.	Vaciado del concreto.....		59
4.6.	Retirado de formaleta.....		60

CONCLUSIONES .....	63
RECOMENDACIONES.....	65
BIBLIOGRAFÍA.....	67
ANEXOS.....	69



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Tanque empernado .....	5
2.	Tanque soldado .....	6
3.	Tanque soldado 2 .....	7
4.	Tanque cilíndrico .....	8
5.	Tanque cilíndrico 2 .....	9
6.	Tanque esférico .....	10
7.	Cimentación de tierra .....	22
8.	Anillo de concreto .....	23
9.	Anillo de piedra triturada .....	24
10.	Losa de cimentación .....	25
11.	Sección típica .....	30
12.	Diagrama de esfuerzos verticales y horizontales .....	33
13.	Planta del cimientto anular .....	35
14.	Refuerzo transversal .....	37
15.	Longitud de desarrollo .....	38
16.	Sección transversal .....	39
17.	Formaleta de madera 1 .....	40
18.	Formaleta de madera 2 .....	41
19.	Formaleta metálica del anillo .....	41
20.	Vista aérea de un anillo de cimentación .....	46
21.	Vista lateral del anillo de cimentación .....	46
22.	Dimensiones .....	52
23.	Sección transversal .....	55

## TABLAS

I.	Tipo de material para la construcción de tanques .....	13
II.	Capacidad de carga del suelo (arcilla).....	15
III.	Capacidad en arenas.....	16
IV.	Tiempo recomendado de desencofrado .....	44
V.	Materiales .....	47
VI.	Dimensiones .....	48
VII.	Peso del tanque.....	49
VIII.	Renglones de trabajo.....	61



## LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
@	A cada
H	Altura de operación del líquido almacenado en pies
H <sub>r</sub>	Altura total de la pared del tanque en pies
A	Área
atm	Atmosfera, unidad de presión
K <sub>a</sub>	Coeficiente de presión activa
D	Diámetro de tanque en pies
d <sub>v</sub>	Diámetro de varilla corrugada
σ <sub>P</sub>	Fuerza de tensión en libras por pie lineal
F <sub>t</sub>	Fuerza total de tensión en lb
°C	Grados Celsius o centígrados
psi	Libras fuerza por pulgada cuadrada
MPa	Mil newton por metro cuadrado (Mega pascales)
mm	Milímetros
d	Peralte de cimientto
P <sub>tanque</sub>	Perímetro del tanque
W <sub>pared</sub>	Peso de pared
γ <sub>s</sub>	Peso específico del suelo
W <sub>techo</sub>	Peso de techo
W'	Peso distribuido sobre cimientto por pie lineal
P	Presión de diseño en pulgadas de columna de agua
plg <sup>2</sup>	Pulgadas cuadradas
plg <sup>3</sup>	Pulgadas cúbicas

%

Tanto porciento

## **GLOSARIO**

<b>ACI 318</b>	Norma del American Concrete Institute (Instituto Americano de Concreto).
<b>Adherencia</b>	Unión, pegar, atracción molecular entre las superficies de dos cuerpos heterogéneos puesto en contacto.
<b>API 650</b>	Norma Estándar del Instituto Americano de Petróleo.
<b>Capacidad de soporte</b>	Propiedad que posee el suelo para poder resistir las cargas externas a la cual estará sometida.
<b>Compresión</b>	Acción o efecto de oprimir o apretar.
<b>Concreto</b>	Mezcla formada por piedras menudas y mortero de arena y cemento, cohesión mediante un aglutinante hidráulico.
<b>Curado</b>	Endurecido, seco fortalecido.
<b>Diseño</b>	Boceto, bosquejo o esquema que se realiza, ya sea mentalmente o en un soporte material, antes de concretar la producción de algo.

<b>Esfuerzo</b>	Es la relación de una fuerza por unidad de área, esta puede ser provocada por una fuerza de tensión o compresión.
<b>Impermeable</b>	Que no puede ser atravesado por agua u otro líquido.
<b>Mampostería</b>	Obra de albañilería a base de piedras o elementos unidos con mezcla.
<b>Mortero</b>	Mezcla que se emplea en obras de albañilería.
<b>Peralte</b>	Profundidad o dimensión del cimiento.
<b>Peso específico</b>	Propiedad física que posee cualquier material este resulta de su peso por unidad de volumen.
<b>Pilote</b>	Estructura de madera o concreto, que se hinca o se funde en la tierra para consolidar un cimiento .
<b>Proceso</b>	Conjunto de acciones o actividades sistematizadas que se realizan o tienen lugar con un fin.
<b>Sección Transversal</b>	Área o superficie perpendicular a la dirección del elemento estructural analizado.
<b>Tensión</b>	Acción o efecto de un cuerpo sometido a la acción de fuerzas opuestas que lo atraen

## **RESUMEN**

Actualmente en la industria, se está aplicando el uso de tanques de acero para el almacenamiento de diferentes productos, como hidrocarburos, petróleo y combustibles, debido a la gran demanda de este tipo de elementos, es necesario disponer de guías de diseño para tanques de almacenamiento y para el tipo de cimentación que se utiliza en estos elementos, para ello existen normas y códigos, que rigen los métodos de construcción y las calidades de los materiales para la elaboración, el API 650 es una de ellas.

A continuación se presenta una guía práctica para el proceso constructivo de una cimentación para tanques de almacenamiento de hidrocarburos, basados en las normas API 650, así como también una breve descripción de los diferentes tipos de tanques utilizados y los análisis previos a realizar en el tipo de suelo en donde se efectuara la construcción de un elemento de este tipo.

Con los parámetros que se incluyen en esta guía práctica, será posible identificar todas las variables que deben considerarse al momento de efectuarse tanto el diseño como en el proceso constructivo de un anillo de cimentación.



## **OBJETIVOS**

### **General**

Proporcionar información de manera que el lector pueda analizar y evaluar el proceso constructivo de un anillo de cimentación así como optimizar la ejecución.

### **Específicos**

1. Conocer las consideraciones generales que deben tomarse al momento de realizar un proyecto de cimentación.
2. Que el personal sea capacitado para economizar y maximizar el rendimiento durante el proceso constructivo del anillo de cimentación.
3. Conocer las diferentes normas que rigen los procesos constructivos de cimentación para tanques de hidrocarburos.





## INTRODUCCIÓN

Actualmente en la industria petroquímica se requiere construir cimentaciones que sustenten grandes tanques de almacenamiento los cuales contienen diferentes tipos de líquidos. Estos tanques son de forma cilíndrica y pueden ser de diferentes tamaños y capacidades. Siendo una de las estructuras más importantes que se construyen en el sector industrial. Los recipientes son destinados al almacenamiento de agua, petróleo, combustible y derivados.

El suelo en las zonas donde se construirán dichos tanques suelen ser variados entre muy blando y medianamente aceptables, esto da como resultado una variedad de cimentaciones. Al disponer de una guía para el proceso constructivo de las cimentaciones, permitirá ahorrar recursos humanos, económicos, tecnológicos y de materiales.

En el presente documento inicia con una breve descripción de los tipos de tanques de almacenamiento de hidrocarburos, un punto importante es el análisis básico del suelo que debe realizarse previamente para construir un anillo de cimentación, al mismo tiempo se realiza una guía con el proceso constructivo de dicho elemento.



## **1. TANQUES**

Los tanques de almacenamiento son la principal manera de almacenar cantidades grandes de productos líquidos, fluidos y gaseosos. Algunos de estos productos pueden ser inestables, corrosivos e inflamables haciendo necesario que se tomen precauciones especiales para su almacenamiento y uso.

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

Debido a su tamaño usualmente son diseñados para contener el líquido a una presión ligeramente mayor que la atmosférica. Las normas empleadas por la industria petrolera son originadas en el American Petroleum Institute A.P.I., utilizándose principalmente el código API

Se definen como objetos generalmente metálicos capaces de almacenar fluidos eficientemente. Dependiendo del diseño y la construcción de estos, sus características físicas y químicas de los hidrocarburos por almacenar se clasifican de la siguiente manera:

- Por su construcción: empernados y soldados
- Por su forma: cilíndricos y esféricos

El objetivo de un almacenamiento satisfactorio es asegurarse que los productos se puedan conservar de una manera práctica, económica y ambientalmente segura.

El diseño y fabricación de tanques de almacenamiento para el petróleo, algunos derivados de petróleo y otros líquidos están normados bajo el estándar API 650. En él se establecen los requisitos mínimos de diseño, fabricación, materiales y montaje.

El API 650 cubre también con la seguridad adecuada y económicamente razonable para la construcción de este tipo de tanques de almacenamiento, así como las pruebas para tanques cilíndricos verticales situados por encima del suelo, techados o abiertos para los diferentes tamaños y capacidades.

Este estándar se basa en la experiencia adquirida por fabricantes y compradores de tanques de almacenamiento. Esta norma no se basa en los tamaños, tampoco cubre los tanques que se rigen en zonas sujetas a regulaciones más estrictas que las que se incluyen en la norma API 650.

Esta norma está destinada a ayudar a los compradores y fabricantes que basan sus pedidos en el tamaño del tanque para suplir sus necesidades. El estándar API 650 se enfoca en tanques que son sometidos a una presión atmosférica.

### **1.1. Dimensiones**

La configuración teórica más conveniente para este tipo de tanques es la geometría cilíndrica. Sin embargo, pueden existir otras razones que obliguen una planta rectangular o cuadrada.

En la industria petroquímica los recipientes cilíndricos son destinados para el almacenamiento de agua, petróleo, combustible y todo tipo de derivados. Las capacidades de almacenamiento de los tanques comprenden una amplia gama siendo los más comunes:

100 000; 50 000; 25 000; 10 000 y 5 000 barriles (1m<sup>3</sup>=6,29 barriles).

Específicamente para tanques de tipo cilíndricos verticales, sobre tierra, no refrigerados de tope abierto o cerrado, contruidos con planchas de acero soldadas, para almacenar crudos y sus derivados, donde la temperatura no excede 500 F (260 C°) y de presión manométrica de 2,5 psi (1700 mm de agua), dichos tanques cubren los requisitos mínimos, para diseño, fabricación, materiales e inspección en fin cumplen con la mayoría de requisitos del estándar de tanques de acero soldados para almacenamiento de petróleo API 650.

Los tanques poseen una capacidad de 1 000 y 1 500 barriles (1,5960 y 2,385 metros cúbicos), estos poseen una altura de 12,2 metros y un diámetro comprendido entre 1,8 y 15,85 metros.

Espesor mínimo de las chapas para la pared del tanque.

$$T = [2,6 * D * (H - 1) * G] / (0,85 * 21,000)$$

Dónde:

T = Grosor mínimo, en pulgadas.

D = Diámetro nominal de tanque, en pies.

H = Altura, en pies, desde la base de la fila en cuestión a la parte más alta del tanque.

$G$  = peso específico del líquido contenido, asignando en cualquier caso un valor no menor que 1,0.

El espesor nominal máximo de las chapas es de 1½"

La anchura de las chapas será de un mínimo de 72 pulgadas (182,88cm)

El dimensionamiento del techo del tanque se toma como una carga uniforme de 25 libras por pie cuadrado (122,06kg/m<sup>2</sup>) según las especificaciones de la norma API 650.

## **1.2.      Peso**

El peso en los tanques de almacenamiento está ligado directamente con el tamaño del mismo, así como el tipo de combustible. Es necesario establecer el tipo de combustible desde el inicio de la construcción del tanque, para poder analizar si el suelo soportará la presión ejercida por el mismo.

Es importante subrayar que no todos los combustibles poseen el mismo peso específico, por lo mismo no ejercerán la misma presión sobre el suelo.

## **1.3.      Forma**

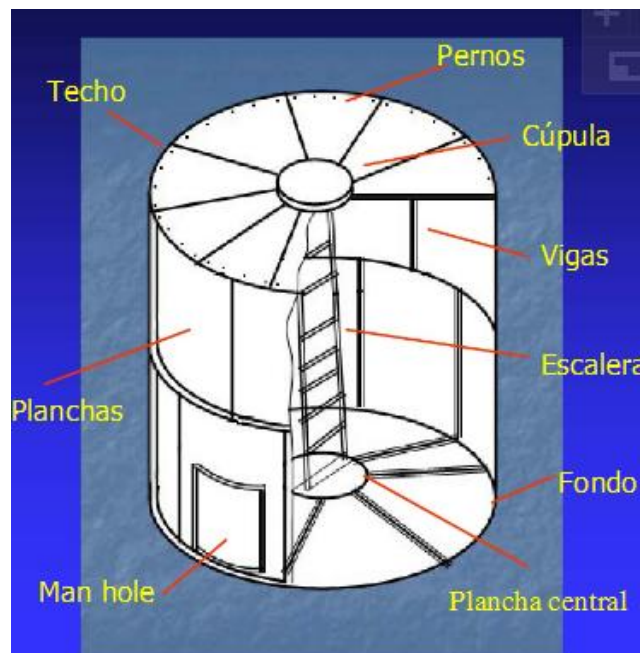
Es importante tomarse el tiempo en determinar la forma que se utilizan los tanques de almacenamiento para combustibles. La geometría tiene que ver con el material con el cual se vaya a construir el tanque, los tanques circulares soportan la presión del líquido a través de la tensión anular, misma que en los depósitos de concreto reforzado resiste el acero de refuerzo.

En los tanques de mampostería no existe este refuerzo y por lo tanto, la presión del líquido agrietaría las juntas de mortero de la mampostería, que son incapaces de soportar esfuerzos de tensión. Por esta razón, los depósitos de geometría cilíndrica, por lo general, son de concreto reforzado o pre forzado o bien, metálicos.

### 1.3.1. Tanques empernados

Son contruidos para patios de tanques de pequeña capacidad o plantas de producción cuya operación se estima sea temporal, siendo su erección o desmantelamiento fácil al no requerir personal especializado.

Figura 1. **Tanque empernado**



Fuente: Tanques de almacenamiento de hidrocarburos. p 3.

### 1.3.2. Tanques soldados

Son tanques construidos generalmente para capacidades mayores a los 3000 barriles. Para su construcción en el campo es necesario contar con personal especializado para los trabajos de soldadura.

Tienen la ventaja respecto a los empernados que las juntas de unión de las planchas son permanentes evitando así las fugas que regularmente se presentan después de un tiempo de servicio en los tanques empernados.

Figura 2. Tanque soldado



Fuente: Tanques de almacenamiento de hidrocarburos. p 5



Figura 3. **Tanque soldado 2**



Fuente: URREA S.A.

### **1.3.3. Tanques cilíndricos**

Básicamente son tanques utilizados para el almacenaje de productos como el petróleo que se recolecta a presiones cercanas a la presión atmosférica ( $1\text{atm} = 14,69\text{ PSI}$ ).

Figura 4. **Tanque cilíndrico**



Fuente: Tanques de almacenamiento de hidrocarburos. p 8

Figura 5. **Tanque cilíndrico 2**



Fuente: URREA S.A.

#### **1.3.4. Tanques esféricos**

Este tipo de tanques en forma de una esfera gigante se usan para almacenar productos ligeros como la gasolina, el gas propano, el gas butano etc. Su forma facilita el soporte de presiones mayores a los 25 psi.

Figura 6. **Tanque esférico**



Fuente: Tanques de almacenamiento de hidrocarburos. p 9

#### **1.4. Combustible**

El combustible es la parte más importante del proceso constructivo de un tanque, pues es el material el cual se almacenará en el mismo, existe diversidad de tipos de hidrocarburos y de la misma manera los tanques deben de cumplir con los requerimientos para el tipo de material que se almacenara.

Los diferentes tipos de presiones con las cuales se trabaja hacen que cada tipo de tanque sea de diferente tipo de material o diferente forma para optimizar el almacenamiento del combustible.

## **1.5. Materiales**

Para el mejor diseño, cálculo y manufactura de tanques de almacenamiento es importante seleccionar el material adecuado dentro de la variedad de aceros existentes en el mercado, por ello se listan algunos tipos.

Acero estructural A-36.

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.

Acero estructural A-31.

- Grado A para espesor menor o igual a 12,7 mm (1/2 plg.)
- Grado B para espesor menor o igual a 25,4 mm. (1 plg.)
- Grado C para espesores iguales o menores a 38 mm. (1-1/2 plg.)
- Grado C Para espesores iguales o menores a 25 mm. (1 pulg.).
- Grado EH36 para espesores iguales o menores a 44,5 mm. (1-3/4 plg.)
- Placas de acero al carbón con medio y bajo esfuerzo a la tensión A-283.

Este material es el más socorrido, porque se puede emplear tanto para perfiles estructurales como para la pared, techo, fondo y accesorios del tanque.

Grado C Para espesores iguales o menores de 25,4 mm. (1 plg.).

Es material propuesto 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.

Placa de acero al carbón para temperaturas de servicio moderado A-516. Grados 55, 60, 65 y 70. Para espesores iguales o menores a 38mm.(1-1/2 plg.).

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.

También podrán ser usados los materiales que sean recomendados por otros estándares, códigos o normas como: los descritos en la sección 2 del estándar API para tanques de almacenamiento.

Cualquier otro tipo de material que no figure entre la lista, se podrá utilizar siempre y cuando el material este certificado para cumplir con los requerimientos y exigencias necesarias a las cuales será sometido. La propuesta del fabricante deberá identificar las especificaciones de los materiales a utilizar.

Todos los materiales que no estén en la sección 2 deben cumplir con los ensayos prescritos en el apéndice N del estándar API 650.

Tabla I. **Tipo de material para la construcción de tanques**

Grupo 1 Rolado semicalmado		Grupo 2 Rolado calmado y semicalmado		Grupo 3 Rolado y calmado Grano fino	
Material	Notas	Material	Notas	Material	Notas
A-283-C	2	A-31-B	7	A-573-58	
A-285-C	2	A-36	2 y 6	A-516-55	
A-131-A	2	A-422-55		A-516-60	
A-36	2 y 3	A-422-60		G40.21-260W	9
Fe-42-B	4	G-40.21-260W		Fe-42-D	4 y 9
Gdo. 37	3 y 5	Fe-42-C	4	Gdo.41	5 y 9
Gdo.41	6	Gdo.41	5 y 8		
Grupo 3A Normalizado, Calmado, Grano fino		Grupo 4 Rolado Calmado, Rolado fino		Grupo 4A Rolado y Calmado, Grano fino	
Material	Notas	Material	Notas	Material	Notas
A-131-CS		A-573-65		A-662-C	
A-573-58	10	A-573-70		A-573-70	11
A-516-55	10	A-516-65		G40.21-300W	9,11
A-516-60	10	A-516-70		G40.21-350W	9,11
G40.20-260W	9 y 10	A-662-B			
Fe-42-D	4, 9 y 10	G40.21-300W	9		
Gdo.41	5, 9 y 10	G40.21350W	9		
		Fe-44-B,C,D	4 y 9		
		Fe-52-C,D	9		
		Gdo.44	5 y 9		
Grupo 5 Normalizado, Calmado, Grano fino		Grupo 6 Normalizado, Reducido, Calmado por Temperatura, Grano fino y Reducción al carbón			
Material	Notas	Material		Notas	
A-573-70	10	A-131-EH,36			
A-516-65	10	A-663-C			
A-516-70	10	A-537-I		9	
G40.21-300W	9 y 10	A-537-II		4 y 9	
G40.21-350W	10 y 10	A-678-A			
		A-678-B		5 y 9	
		A-737-B			

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 1 se puede encontrar un resumen de los materiales más usados en la construcción de tanques de almacenamiento



## 2. EL SUELO

El tipo de suelo en el cual se vaya a construir el tanque determinara el tipo de cimentación más adecuado para el mismo, un estudio detallado y especializado de mecánica de suelos, puede determinar las características tanto físicas como químicas del suelo, así como sus propiedades mecánicas del terreno.

Tabla II. **Capacidad de carga del suelo (arcilla)**

Tipo de suelo: Arcilla	q adm ( kg/cm <sup>2</sup> )
Duro	2,50
Compacto	1,50
Blando	0,50
Muy Blando	0,25

Fuente: elaboración propia.

El conocimiento del área en estudio, la naturaleza de la estratigrafía del suelo y las condiciones del agua subterránea son muy necesarios. Entre

algunas capacidades admisibles de carga del suelo son 0,25 [kg/cm<sup>2</sup>], 0,5 [kg/cm<sup>2</sup>], 1,5[kg/cm<sup>2</sup>] y 2,5 [kg/cm<sup>2</sup>].

Tabla III. **Capacidad en arenas**

Tipo de suelo: Arena	Compacidad relativa
Muy floja	7%
Floja	25%
Media	50%

Fuente: elaboración propia.

Estos tipos de suelo son clasificados según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS). Y se basa en los ensayos hechos en el campo y en laboratorios en arcilla. Dependiendo de la zona en la cual se construirá el cimiento para el recipiente cilíndrico así serán los ensayos requeridos para el tipo de suelo específico.

## **2.1. Estudios básicos**

Las condiciones del subsuelo para cualquier tanque en cualquier sitio deben ser conocidas para calcular y poder establecer la capacidad soportante del terreno. Normalmente toda esta información generalmente se obtiene a partir de la realización de perforaciones del suelo, pruebas de carga, muestreo,

pruebas de laboratorio y análisis de un ingeniero geotécnico que este experimentado o familiarizado con estructuras similares.

La subrasante debe ser capaz de soportar la carga del tanque y a su vez el contenido del mismo. El acomodo total no debe forzar las conexiones de las tuberías o podría producir errores de aforo. Dicho acomodo podrá estar dentro de las tolerancias aceptables para el cuerpo de la cisterna y la parte inferior.

La investigación del suelo, debe basarse en factores como la geometría de la estructura, la carga, los asentamientos que se permiten, los tipos de estratos del suelo, la uniformidad de los estratos y la uniformidad de las propiedades de los estratos.

Se deben considerar las estructuras adyacentes así como las características topográficas que podrían afectar al diseño o la factibilidad de construcción de la estructura y anticipar el conocimiento general geotécnico de la zona. Una serie de pruebas de penetración de cono, para cubrir el área en cuestión deben ser hechas.

Una zona con estratos uniformes requerirá una menor investigación del subsuelo que un subsuelo desconocido o variable. Normalmente se hacen las perforaciones donde se ubicará el cuerpo de la cisterna y se erigirá el centro del tanque.

Por lo general la profundidad a la que deben llegar las investigaciones del suelo es a donde las cargas verticales impuestas sobre el suelo no produzca un fallo local o general en el mismo; esto sería en general igual a la profundidad donde el aumento de tensión vertical debido a la carga es menos del 10% del esfuerzo de sobrecarga activa.

Si el tanque será construido en una ubicación de la cual no se conozca información previa del subsuelo, el ingeniero geotécnico o supervisor responsable del proyecto podrá utilizar otro tipo de factores de seguridad a su criterio.

Se puede mencionar algunos sitios en los cuales se requiera este tipo de consideraciones especiales como por ejemplo los sitios en laderas en donde arte del tanque pueda estar sobre terreno sin perturbaciones y la otra parte en un tipo de relleno; los sitios pantanosos donde las capas de lodo o vegetación están por debajo de la superficie, sitios donde el tanque está expuesto a inundaciones o sitios arcillosos blandos directamente abajo del tanque que puedan causar problemas de estabilidad.

Se podría dar el caso en el que el subsuelo sea insuficiente para soportar la carga total del tanque lleno, cuando esto sucede debemos mejorar las condiciones de apoyo; para esto contamos con varios métodos de los cuales podemos mencionar algunos:

- Extracción del material objetable y reemplazarlo con material adecuado.
- Compactar el material mediante la precarga de la zona
- Estabilización del material por medio de métodos químicos o lechada de cemento.
- La transferencia de carga a un material más estable por debajo de la subrasante a través de pilotes.

El estudio previo al suelo indicará que tipo de método será el más efectivo dependiendo de los requerimientos de la zona. En el caso del material de relleno debe ser bien graduado granular, libre de vegetación y materia orgánica, cenizas terrones de arcilla plásticos etc., cualquier material que pueda producir corrosión en la parte inferior del tanque.

## **2.2. Cimentación**

Cuando se habla de cimientos para tanques existen muchos diseños satisfactorios, pero son posibles cuando se utiliza un juicio de ingeniería de sonido utilizada en su desarrollo. Se hace mención de tres diseños en base a su satisfactorio rendimiento a largo plazo.

### **2.2.1. Diseño**

El diseño de la cimentación debe de ser la más adecuada de acuerdo al tipo de tanque, capacidad económica y ubicación en donde que se vaya a construir.

Para un tanque pequeño la cimentación puede consistir de piedra machacada, compactada, proyecciones de grava fina.

#### **2.2.1.1. Cimentación de tierra**

Cuando una evaluación técnica realizada al subsuelo certifica que el suelo es capaz de soportar las cargas que se le apicarán, entonces es aceptable una cimentación de tierra. Una cimentación de tierra debe cumplir el rendimiento al igual que lo haría una cimentación en concreto.

La cimentación de tierra debe cumplir con lo siguiente:

- Proporcionar un plano estable de apoyo para el tanque
- Proveer un drenaje adecuado
- No asentarse excesivamente en el perímetro debido al peso de la pared del deposito

#### **2.2.1.2. Anillo de concreto**

Cuando se habla de grandes depósitos, o cuando no se tiene la certeza de que el subsuelo sea capaz de soportar el tanque se puede realizar una cimentación de anillo de concreto, o una similar utilizando piedra triturada.

Ventajas de un anillo de concreto:

- Proporciona una mejor distribución de la carga concentrada
- Conserva su contorno durante la construcción del tanque
- Evita la pérdida del material de fondo reteniéndolo y evitando la erosión
- Es capaz de retener la humedad si se sella adecuadamente

Una desventaja de la cimentación de concreto es que esta no se puede ajustar al asentamiento que se dará en el fondo del tanque, esto generara esfuerzos mayores de flexión en las placas que están adyacentes al anillo. Para evitar este tipo de situaciones es necesario instalar el relleno interior y

compactarlo correctamente para que el asentamiento no sea excesivo y se corra el riesgo de una falla local.

#### **2.2.1.3. Anillo de grava triturada.**

Si la cimentación será de piedra triturada esta será capaz de soportar esfuerzos mayores. Las ventajas son las siguientes:

- Proporciona una mejor distribución de la carga concentrada de la cubierta para producir una carga del suelo más uniforme bajo el depósito.
- Retiene y evita la pérdida del material por la erosión
- Se conserva el contorno durante su construcción
- Se puede acomodar fácilmente a los asentamientos diferenciales debido a su flexibilidad.

La desventaja con los anillos de grava triturada, es que son más difíciles de construir y lograr un plano liso para construir el cuerpo de la cisterna. La grava debe ser seleccionada cuidadosamente para asegurar un rendimiento satisfactorio.

#### **2.2.1.4. Losa de cimentación**

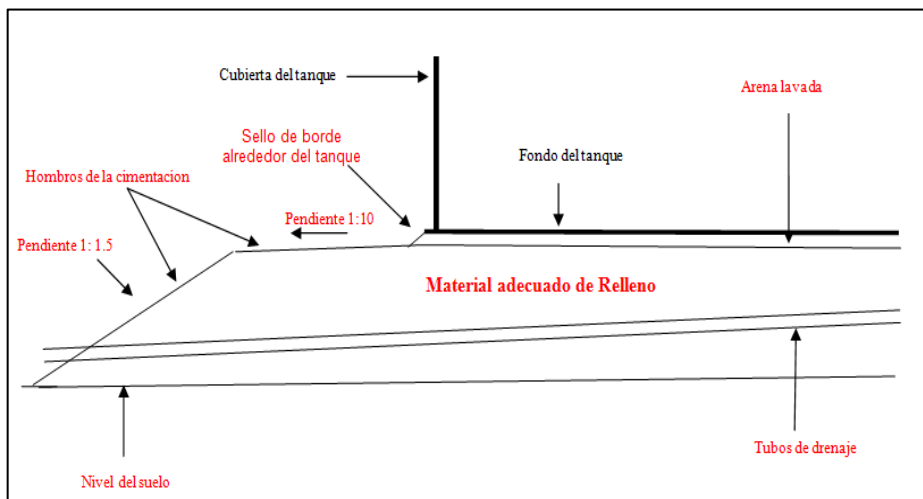
Cuando se utilizan tanques pequeños q no sobre pasen los 30 pies de diámetro, también es posible colocar una losa de cimentación que a menudo será más económica que construir un anillo de cimentación; Quizá sea necesario utilizar pilotes debajo de la losa como soporte adecuado para el tanque

Las especificaciones adecuadas y requisitos de refuerzo de construcción para una losa están descritos en el ACI 318.

### 2.2.2. Forma

De acuerdo al tipo de diseño que se haya establecido para realizarse, así será la forma que la cimentación tenga, se ejemplifica el esquema de los diseños previamente presentados:

Figura 7. Cimentación de tierra



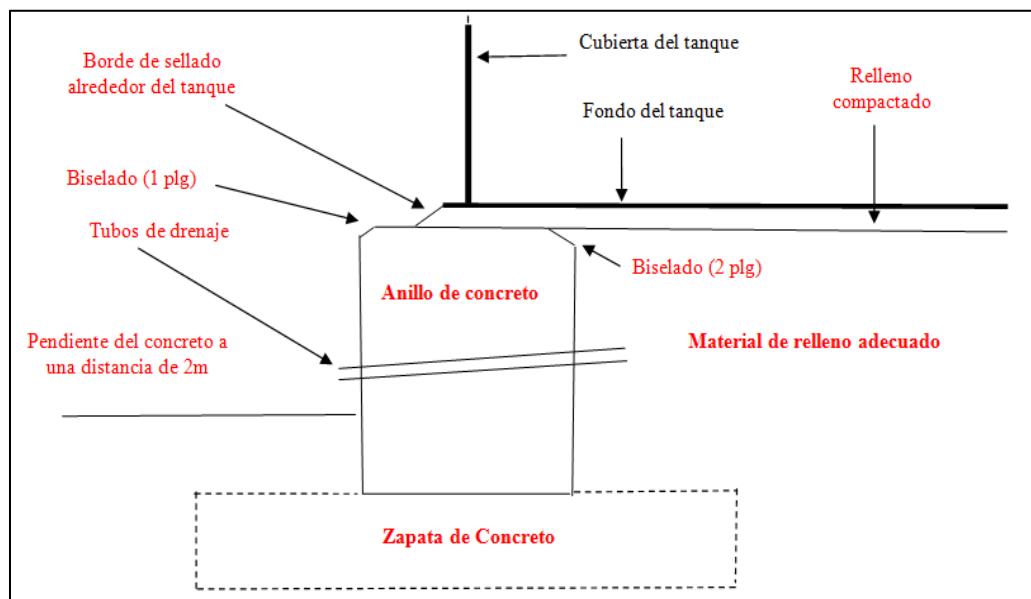
Fuente: API 650 apéndice B. p 8.

En la figura 7 se puede observar las partes en las que se conforma la cimentación hecha a base de tierra, así como su forma geométrica. Se ve claramente como el drenaje pasa a través del relleno de base y como no hay ningún elemento que contenga material, dejando que actúe solo la fuerza de cohesión entre sus partículas para que mantenga su forma.



A diferencia de esta cimentación, en un anillo de concreto, el cual es una especie de muro en el cual descansa el perímetro del tanque, el relleno para el fondo del mismo tiene una mejor retención. Este muro descansa sobre una zapata también de concreto como se observa en la figura 8.

Figura 8. **Anillo de concreto**

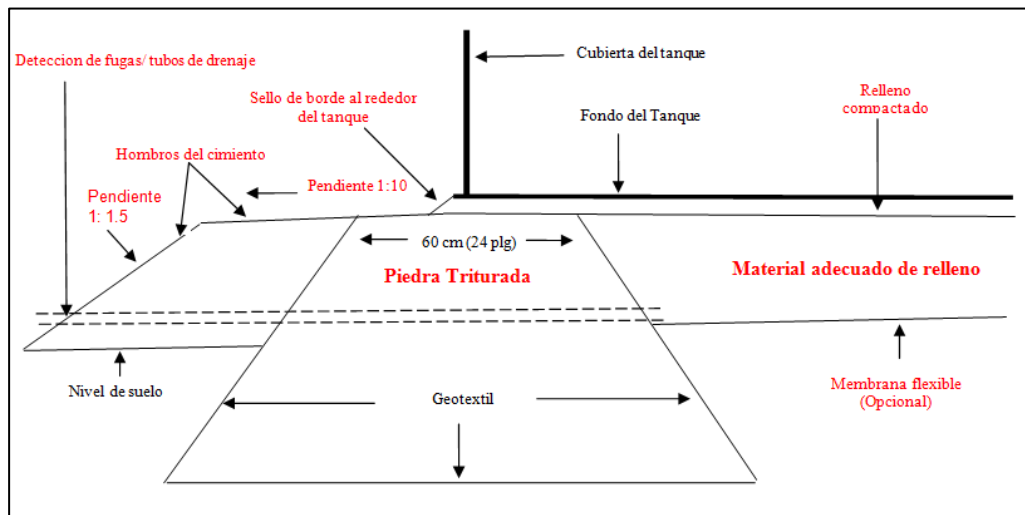


Fuente: API 650 apéndice B. p 11.

El diseño del anillo lo realizará un experto en el área de cimentaciones, la parte superior de este debe de ser lisa y nivelada la resistencia del concreto será de al menos 20Mpa (3 000 PSI) después de 28 días; el anillo no debe exceder las 12 pulgadas de ancho, si es mayor se refuerza con acero en ambas caras.

La zapata es necesaria cuando se ha evaluado el terreno y se obtiene que es un terreno blando, una vez construido el anillo se debe retirar el material inadecuado en el interior y proceder al relleno compactado.

Figura 9. **Anillo de piedra triturada**



Fuente: API 650 apéndice B. 13.

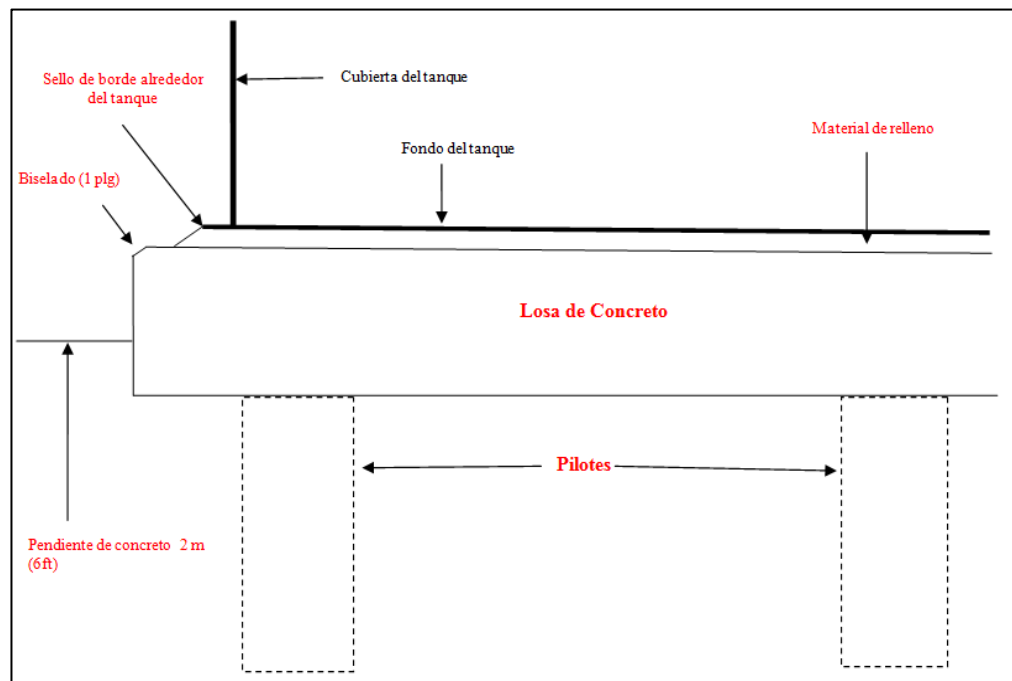
En la figura número 9 se puede observar el esquema de lo que es un anillo pero en este caso de piedra triturada, se ve claramente que posee una forma trapezoidal con ancho 60 cm. Hombros con una pendiente y material geotextil para el contorno del anillo de la roca triturada.

La altura recomendada por encima de la cimentación que rodea la tierra es un mínimo de 18plg o 45 cm; se puede utilizar una mezcla caliente de arena betún, u otro método para proteger el hombro y evitar la erosión (1plg).

Por último se tiene el esquema en la figura 10, de una losa de cimentación utilizada por economía o cuando el tanque es pequeño. La losa tiene que estar completamente lisa y nivelada en la parte superior.

La losa debe de cumplir con los requisitos de una cimentación de anillo de concreto los primeros 30 cm de la base (anchura del anillo anular), medida desde el exterior del tanque radialmente hacia el centro. El resto de la base debe estar dentro del nivel de tolerancia en API 650 5.5.2.c

Figura 10. **Losa de cimentación**



Fuente: API 650 apéndice B. p 15.

### **2.3. Materiales**

Para una buena estructura se debe de tener la mejor calidad posible en lo que se refiere a materiales es necesario asegurarse de haber retirado toda la materia orgánica del subsuelo, para evitar asentamientos no deseados debido a la descomposición de este tipo de elementos.

Entre los materiales que se utilizan para la construcción de este tipo de estructuras se tiene:

Betún de arena: se utiliza para el relleno en la parte inferior del tanque con un espesor de 2plg.

Arena: ésta debe ser arena bien lavada para retirar todo el material que pueda producir corrosión. Pruebas al azar de la arena debe llevarse a cabo para determinar si la resistividad eléctrica y propiedades químicas están en niveles aceptables.

Muestras de arena utilizados para determinar las propiedades del material debe ser tomado a partir del material real que se va a utilizar durante la construcción.

Piedra caliza: también puede ser utilizada para el fondo del tanque.

Concreto armado: el material a utilizar en el anillo por ser altamente resistente a la compresión y a la tensión gracias a la estructura de acero que lleva en su interior.

El Acero: éste debe de ser de grado 40 o 50 y tiene que ser de alta calidad, para garantizar su efectividad. Cemento 3 000 PSI de resistencia.



### **3. ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCIÓN DEL ANILLO DE CIMENTACIÓN DE CONCRETO ARMADO**

El proceso constructivo del anillo de cimentación, se refiere a los pasos a seguir para completar el armado de la estructura que soportará el tanque de combustible. El anillo será de concreto armado utilizando acero estructural y se utiliza para mantener el material de fondo del tanque confinado y evitar que el mismo se desborde por las orillas.

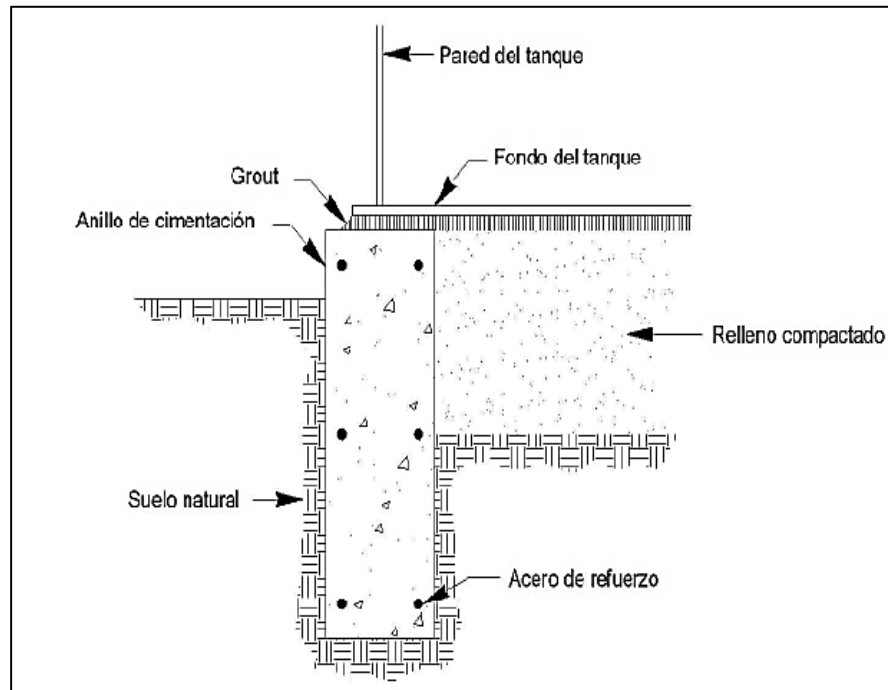
El material confinado dentro del anillo forma una base sólida en estado triaxial capaz de soportar el peso del combustible, se puede utilizar este tipo de cimienta cuando el suelo no es capaz de dar un soporte adecuado a las paredes del tanque.

El anillo de concreto sigue todo el perímetro del tanque proporcionando una buena distribución de las cargas que transmiten las paredes del tanque, como también una superficie sólida y nivelada que no se moverá durante la erección del tanque.

Cuando se construyen tanques de un diámetro grande, en especial aquellos que tienen techos que son autos soportantes tienden a acumular cargas en las paredes lo que puede hacer que el suelo no pueda soportar la pared solo por contacto directo, esto se evita gracias al cimienta anular.

El confinamiento evita que el material de relleno se erosione así como también la humedad contenida por debajo del mismo

Figura 11. **Sección típica**



Fuente: API 650 apéndice B. p 15.

### 3.1. **Diseño estructural del anillo de concreto**

El anillo de concreto estará sujeto a esfuerzos tanto verticales como horizontales, los esfuerzos verticales son soportados por el concreto y los esfuerzos horizontales serán soportados por el acero de refuerzo los cuales se pueden calcular mediante el siguiente método.

#### 3.1.1. **Esfuerzos verticales**

Estos son los esfuerzos producidos por el tanque en sí, y caen directamente en el anillo de concreto, se toma en cuenta la pared del tanque y



el techo del mismo, el área de contacto del anillo se prevé para que la presión de los materiales sea mucho menor que la capacidad soporte del suelo.

Las siguientes ecuaciones se utilizan para determinar las dimensiones del anillo:

$$W' = \frac{W_{techo} + W_{pared}}{P_{tanque}}$$

$$b = \frac{24W'}{H\gamma L - 80hs}$$

En donde:

$W_{techo}$  = Peso de techo en lb.

$W_{pared}$  = Peso de pared del tanque en lb.

$P_{tanque}$  = Perímetro del tanque en pies.

$W'$  = Peso distribuido sobre el cimiento en lb/pie lineal.

$H$  = Altura de operación del líquido almacenado en pies.

$\gamma$   $L$  = Peso Específico del líquido almacenado en lb/pie<sup>3</sup>.

$hs$  = Peralte del cimiento en pies.

$b$  = Espesor del cimiento en plg.

### 3.1.2. Esfuerzos horizontales

Estos esfuerzos son provocados por la presión activa en el suelo que es provocada por el peso del líquido que se almacenara en el tanque, sin olvidar sus sobrecargas (ver figura). Para poder calcular este esfuerzo, tenemos que tener la presión del líquido en columna de agua lo cual se puede hacer con la siguiente expresión:

$$PL = H \times \gamma L$$

Dónde:

$P_L$  = Presión sobre el suelo producida por el líquido en lb/pie<sup>2</sup>.

H = Altura de operación del líquido en pies.

$\gamma L$  = Peso específico del producto en lb/pie<sup>3</sup> .

Teniendo ya la presión en columna de agua, procedemos a encontrar el esfuerzo de tensión el cual es soportado únicamente por el acero de refuerzo, por lo que es necesario conocer el área de acero del anillo de cimentación.

Para encontrar el esfuerzo de tensión utilizamos la siguiente expresión:

$$\sigma P = \frac{K a \times \gamma s \times h s^2}{2}$$

Dónde:

Hs = Peralte del cimiento en pies.

P= Presión sobre el suelo en lb/pie<sup>2</sup>.

$\gamma s$  = Peso del suelo en lb.

Ka = Coeficiente de presión activa.

$\sigma P$  = Fuerza de tensión en lb/pie lineal.

Ahora se procede a encontrar el área de acero requerida para el anillo, encontramos primero la fuerza total de tensión mediante la siguiente expresión:

$$F_t = \frac{D \times \sigma P}{2}$$

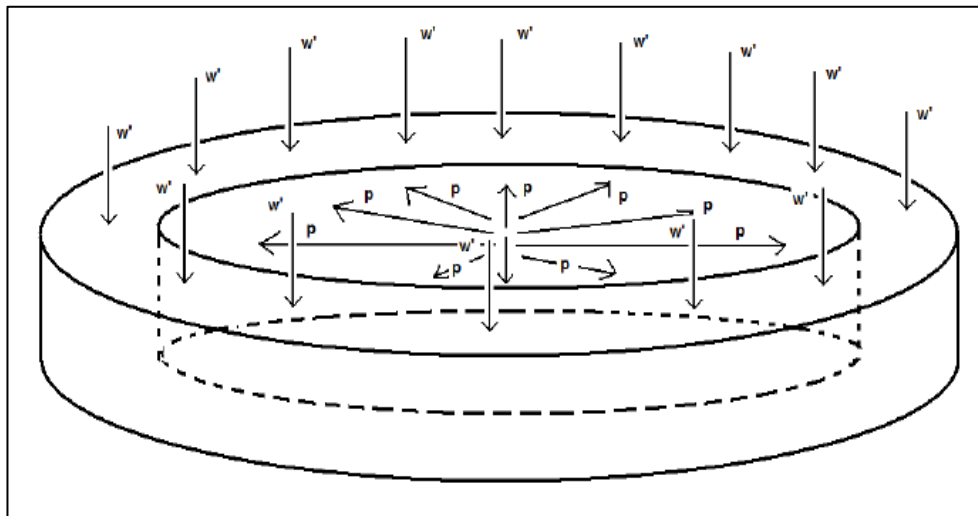
Dónde:

$\sigma P$  = Fuerza de tensión por pie lineal en lb

D= Diámetro del tanque en pies

Ft = Fuerza total de tensión en lb

Figura 12. **Diagrama de esfuerzos verticales y horizontales**



Fuente: API 650 apéndice B. p 16.

La norma ACI 318 requiere que el esfuerzo permisible para el refuerzo con una tensión de fluencia de 420 Mpa (60 000 psi) bajo condiciones de servicio sea de 24 000lb/pul<sup>2</sup>, teniendo esto en cuenta el refuerzo requerido para la fuerza total en tensión y el esfuerzo permisible se calcula con la siguiente expresión:

$$A = \frac{Ft}{\sigma t}$$

Dónde:

Ft = Fuerza total de tensión.

$\sigma_t$  = Esfuerzo permisible de refuerzo de acero en lb/pul<sup>2</sup>.

A = Área de refuerzo en plg<sup>2</sup>.

También es necesario colocar acero transversal para los esfuerzos de corte, para el cual se utiliza la siguiente expresión para su cálculo:

$$A = Rd \times Ka \times \frac{62H - \gamma Sd \div 2}{f_s}$$

Dónde:

Ka = Coeficiente activo del suelo.

Fs= Esfuerzo de tensión con cargas de servicio.

$\gamma S$  = Peso específico del suelo en lb/pie<sup>3</sup> .

H = Altura del líquido de operación en pies.

D = Peralte del cimientto en pies.

R = Radio del tanque en pies.

A = Área de refuerzo transversal en plg<sup>2</sup>.

### **3.2. Consideraciones generales para el anillo de concreto según el estándar API 650**

En la sección B.4 del apéndice B en la norma del estándar API 650 se especifica un tipo de cimentación típico en el cual hace referencia a un anillo de concreto. Dicho anillo debe de cumplir con ciertas especificaciones.

El espesor debe de ser como mínimo de 12 plg.

El lugar de contacto entre el tanque y el suelo debe de ser material que esté perfectamente compactado y libre de materiales como arena.

La pared del tanque debe descansar sobre el cimiento de forma concéntrica.

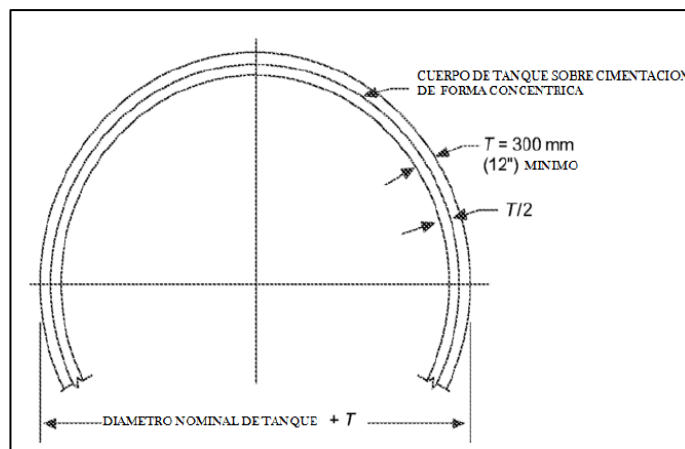
Los bordes superiores del anillo deben de tener pendientes de 100 y 50% respectivamente.

Debe de existir una diferencia de nivel entre la parte superior del anillo y el nivel del suelo igual a 1 pie.

Se debe colocar una pendiente alrededor del tanque para poder drenar el agua producto de lluvia u otras causas.

En la siguiente figura se puede observar estos requerimientos con detalle:

Figura 13. **Planta del cimiento anular**



Fuente: API 650 sección B. p 19.

Cuando el concreto esté expuesto contra el suelo se debe dar un recubrimiento de 3 pulgadas como mínimo al refuerzo para protegerlo de cualquier corrosión.

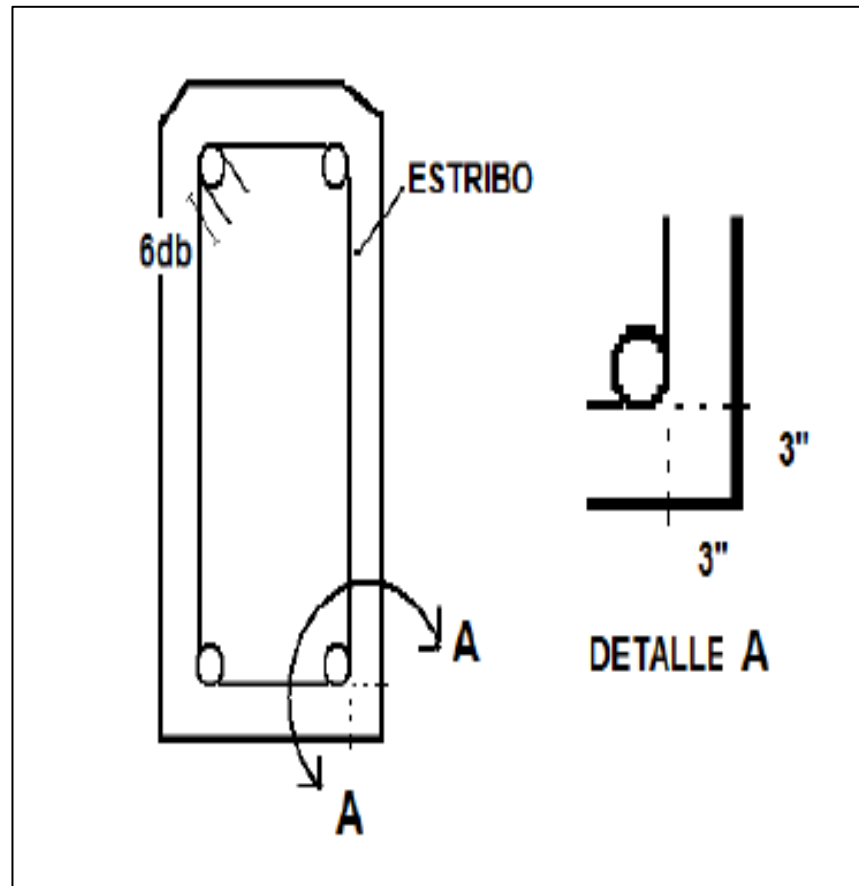
### **3.3. Armado**

El área de acero aro requerido para los cambios de temperatura y el encogimiento es 0,0025 veces la sección transversal vertical de la zona del anillo de acero o el refuerzo mínimo para las paredes se piden en ACI 318, Capítulo 14.

Para el armado del cimiento se utiliza el mismo diseño que un muro cuando el concreto está expuesto al contacto con el suelo se utilizarán barras longitudinales número 4 o número 5 según el código ACI 318.

Para el refuerzo transversal se utilizarán estribos numero 3 o numero 4 este debe de tener ganchos a 45 grados y una longitud de 6 veces su diámetro como se ve en la figura. El alambre de amarre a utilizar sera de MW200 o MD200.

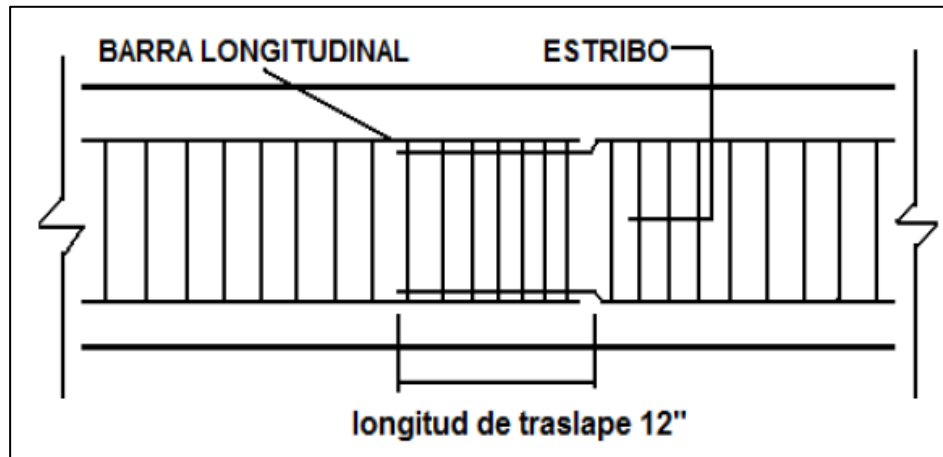
Figura 14. **Refuerzo transversal**



Fuente: API 650 sección B. p 20

El traslape mínimo a tracción para barras (corrugadas) longitudinales debe ser de 12 pulgadas como se muestra en la figura.

Figura 15. Longitud de desarrollo



Fuente: API 650 apéndice B. p 21.

### 3.4. Formaleta

La colocación de la formaleta, o el encofrado podrá ser de madera o acero, su función será contener la pasta para la fabricación del pequeño muro que formara el anillo de concreto del tanque. Para la fabricación del encofrado es necesario contar con la madera o acero adecuado para esta aplicación y darle un correcto soporte.

Durante el proceso de vaciado el concreto genera fuerzas de presión contra los elementos que lo confinan y si esta es mayor que la capacidad de estos o sus soportes, puede generar deformaciones en el encofrado que quedaran impresas en el muro o en casos extremos la destrucción del encofrado lo significaría la pérdida del concreto utilizado.

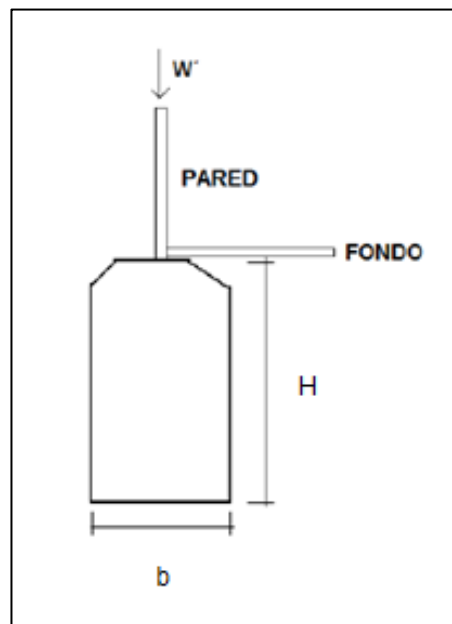
Para una correcta colocación de la armadura para el anillo de cimentación y para dejar los recubrimientos necesarios la canasta se debe separar de los



bordes y en inferior utilizar separadores de concreto (helados), estos son fabricados de concreto, normalmente extruidos por un tubo, no es conveniente utilizar madera, pedazos de bloques u otros elementos que pueden reducir la capacidad del concreto.

EL recubrimiento que se le dará al muro será un mínimo de 3 pulgadas, la base del muro se calcula con las ecuaciones anteriores y la altura se propone según el criterio del ingeniero supervisor normalmente de 30 cm (1 pie).

Figura 16. **Sección transversal**



Fuente: API 650. p 21.

Lo más usual es la utilización de formaleta de madera, pero se debe tener un estricto control en cuanto a la calidad, una pieza muy suave o muy rígida no es conveniente ya que nos puede dar problemas durante la colocación del concreto o cuando se retire el encofrado.

Además, en los casos que se reutilice la formaleta se debe tener mucho control de la limpieza de esta para eliminar rastros de concreto de choreas anteriores o cualquier tipo de suciedad que pueda contaminar la mezcla.

Además es conveniente mojar los encofrados de madera ya que estos tienden a absorber agua la cual es indispensable durante el proceso de fraguado.

Figura 17. **Formaleta de madera 1**



Fuente: CONCAPE. S.A

Figura 18. **Formaleta de madera 2**



Fuente: CONCAPE. S.A.

Figura 19. **Formaleta metálica del anillo**



Fuente: LURCA S. A.

Una vez terminados los trabajos preliminares del armado de refuerzo y la colocación de la formaleta adecuadamente, se procede a realizar la mezcla de concreto u hormigón que será la que soporte el peso del tanque.

### **3.5. Fundición**

El concreto a utilizar debe ser con una resistencia de 3 000 PSI según el apéndice B-2 de la norma API. El concreto puede ser mezclado mecánicamente en el sitio de las obra. Se puede hacer uso de mezcladoras mecánicas de tambor, con velocidad de giro de acuerdo con lo especificado por el fabricante. El contenido del mezclador se vaciará completamente antes de iniciar una nueva.

Es indispensable que la mezcla sea uniforme y cuidar la relación agua/cemento, pues de lo contrario no se llegara a la resistencia requerida. También es posible utilizar concreto mezclado en planta fuera de la obra, cumpliendo los requisitos que ésta exija, y corriendo por cuenta del contratista los mayores valores en que se incurran.

Entre los requisitos que deben cumplirse se encuentra la clase y la calidad de los materiales, la resistencia requerida, consistencia, impermeabilidad, manejabilidad, durabilidad y demás afines del concreto indicado en la norma API y ACI.

#### **3.5.1. Curado**

El concreto que no haya fraguado deberá protegerse cuidadosamente contra agua caliente, lluvias y vientos fuertes, tráfico de personas o de equipos y exposición directa a los rayos solares. El concreto deberá curarse por un

período menor de 10 días, inmediatamente después de terminar la colocación del mismo.

El curado puede hacerse cubriendo la parte del anillo que está expuesta con una tela de costal, permanentemente saturada con agua siempre y cuando esta sea totalmente libre de impurezas, es recomendable tener lista la manera en la cual se va a curar el concreto antes de iniciar la fundición.

### **3.6. Desencofrado**

Para llevar a cabo el desencofrado del anillo de concreto, se deben tomar precauciones las que debidamente observadas en su ejecución deben brindar un buen resultado; entre las precauciones a tomar están:

No desencofrar hasta que el concreto se haya endurecido lo suficiente, para que con las operaciones pertinentes no sufra desgarramientos en su estructura ni deformaciones permanentes.

Lo más conveniente es esperar la aprobación del ingeniero supervisor, debiendo quedar el tiempo necesario para que el concreto obtenga una dureza conveniente, a continuación se dan algunos tiempos útiles para el retiro de la formaleta:

Tabla IV. **Tiempo recomendado de desencofrado**

Tipo de Elemento	Tiempo Recomendado
Costado de zapatas y muros	24 horas
Costado de columnas y vigas	24 horas
Fondo de vigas	21 días
Fondo de vigas de luces cortas	16 días
Fondo de losas de luces cortas	10 días
Fondo de losas sin vigas	21 días
Ménsulas o voladizos pequeños	21 días

Fuente: elaboración propia.

### **3.7. Acabados**

El trabajo final del anillo de cimentación será un cernido vertical suave con una pendiente en la parte superior para evitar la concentración de agua sobre el muro. Para la aplicación primero se debe realizar un repello al muro de cimentación y éste procede de la manera siguiente:

Se inicia con la preparación de la pared o del anillo, la cual consiste en determinar las salientes de mortero que pudieran haber quedado, los cuales se quitarán, así también se va a determinar la verticalidad de las superficies, para que el repello quede lo más delgado posible.

Las salientes se determinan por medio de una regla de madera, que se coloca en dirección horizontal, vertical y oblicua. La superficie se deberá humedecer para así lograr un fraguado uniforme, ya que la sequedad de la superficie, absorbe el agua del mortero, que provoca un deficiente fraguado, lo que ocasiona diferente uniformidad al repello. Se colocará una capa de mortero en una proporción de: una parte de cal y tres partes de arena amarilla o arena de río cernida.

Este mortero debe ser de consistencia fluida, después de ocho horas de haber aplicado la primera capa, se procede a la aplicación de la segunda capa, la cual será de la misma proporción que la anterior, esta capa será aplicada una vez que hayan sido colocadas previamente las maestras.

Transcurrido dos días de haber aplicado la segunda capa de mortero y una vez que ésta se ha agrietado se procede a la aplicación de una tercera capa, que será el revestimiento final, el cual será el cernido vertical.

Para la aplicación del cernido se procede a humedecer la pared y aplicar la capa de mortero que contenga las proporciones siguientes: una parte de cemento, de media a dos partes de arena de río con un cernido fino, La aplicación de la capa de cernido se hace en lienzos completos entre aristas verticales y horizontales, de modo que no queden juntas intermedias.

Figura 20. **Vista aérea de un anillo de cimentación**



Fuente: URREA S.A.

Figura 21. **Vista lateral anillo de cimentación**



Fuente: URREA S.A.



#### 4. PROCESO CONSTRUCTIVO DE UN ANILLO DE CIMENTACIÓN

En el siguiente capítulo, se realizara un ejemplo práctico del proceso constructivo, así como una guía para la realización de este tipo de elementos estructurales, comenzando con un simple diseño de la sección del anillo, trabajos preliminares etc., pero siempre enfocado como parte principal, la construcción del anillo.

Como un primer paso, se consideran datos arbitrarios de los análisis previos a la construcción del anillo, como por ejemplo el análisis de soporte del suelo, los materiales a utilizar, las condiciones de entorno, así como también el tipo y las dimensiones del tanque que se requiera y el tipo de contenido que será almacenado en el mismo.

En la siguiente tabla se encuentran estos datos suponiéndolos solo para fines didácticos, ya que el trabajo previo no es el fin principal de este proceso constructivo.

Tabla V. **Materiales**

MATERIALES		
Acero estructural A36M	grado 60	36 klb/plg <sup>2</sup>
Concreto		f'c 3 000psi
Acero de refuerzo	grado 60	fy 60 000 lb /plg <sup>2</sup>

Continuación de la tabla V.

Contenido del Tanque		
Petróleo		
Gravedad especifica	G.S	0.87
Peso específico	p.s.	54 lb/p <sup>3</sup>
Cantidad a almacenar		400 000 p <sup>3</sup>
El Suelo		
Condiciones del suelo	suelo denso y duro	
Capacidad de soporte	2 500 lb/p <sup>3</sup>	
Coeficiente Ka	0.4	

Fuente: elaboración propia.

Al tener estos datos previos, también se debe solicitar al fabricante del tanque, el tipo de tanque a utilizar, así como las dimensiones del mismo para continuar con los cálculos de los esfuerzos verticales y horizontales que actuaran en el anillo de concreto.

El diámetro y la altura del tanque se modulan de acuerdo a la plancha estructural que este poseerá, también tenemos que tener en cuenta que el nivel de operación del líquido que en este caso será petróleo, calcular la presión que ejerce sobre el suelo y que esta presión sea inferior al valor soporte del suelo.

Tabla VI. **Dimensiones**

Dimensiones	
Diámetro	127,00 pies

Continuación de la tabla VI.

Nivel del liquido	31 pies
Altura	38 pies
Altura de techo	5 pies

Fuente: elaboración propia.

Los cálculos para el dimensionamiento del tanque tanto de la altura del tanque, los espesores de las paredes, el fondo, los niveles de operación el diámetro, se pueden calcular de acuerdo a la norma API 650.

Una vez determinadas las dimensiones del tanque, se procede con el cálculo del peso total del tanque, esto incluye las paredes, el fondo y el techo, según las especificaciones previas del fabricante el peso viene distribuido de la siguiente manera:

Tabla VII. **Peso del tanque**

<b>Descripción</b>	<b>Peso en lb</b>
Techo	220 126,56
Paredes	116 693,92
Fondo	94 840,59
Total	431 661,07

Fuente: elaboración propia.

#### 4.1. Diseño del anillo

Se procede con un chequeo de la presión ejercida en el suelo debido al líquido en el tanque y el fondo del mismo.

Utilizando la siguiente expresión se puede chequear la presión fácilmente:

$$\sigma_c = \frac{Wl + W_{\text{fondo}}}{A}$$

Dónde:

Wl = Peso del líquido en pies

Wfondo= Peso de plancha de acero en pies

A= área en pies<sup>2</sup>

$\sigma_c$ = Esfuerzo de compresión sobre el suelo en lb/p<sup>2</sup>

$$Wl = \pi / 4 * 127,00^2 * 31 * 54 = 21.205\,708 \text{ lb}$$

$$Wl = \pi / 4 * 127,00^2 * 0.03167 \text{ pie} * 469,718 = 197\,459,55 \text{ lb}$$

$$A = \pi / 4 * 127,00^2 = 12\,731,60 \text{ p}^2$$

$$\sigma_c = \frac{21\,205\,708 + 197\,459,55}{12\,731,60}$$

Esta operación es igual 1 689,51 lb/p<sup>2</sup> por lo que es menor al valor soporte del suelo que es de 2 500lb/p<sup>2</sup>, así que el suelo resiste satisfactoriamente el peso del tanque.

#### 4.1.1. Sección transversal

$$W' = \frac{W_{techo} + W_{pared}}{P_{tanque}}$$

$$W' = \frac{220\,126,56 + 116\,693,92}{127 \times \pi}$$

$$W' = 844.62 \text{ lb/p}$$

$$b = \frac{24W'}{HyL - 80hs}$$

Considerar el nivel de operación del líquido de  $H = 31$  pies

El peso específico del líquido  $\gamma L = 54 \text{ lb/p}^3$

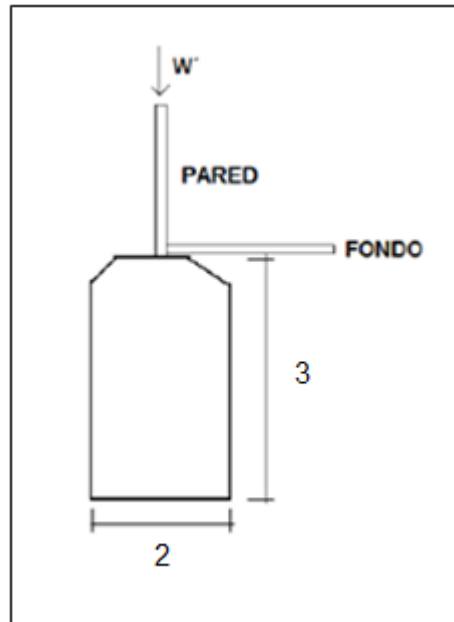
$$b = \frac{24 \times 844,62}{(31 \times 54) - 80 \times 3}$$

$$b = 14.13 \text{ plg} = 1.17 \text{ pies}$$

Es recomendable utilizar números redondos al momento de dimensionar, para su mejor ejecución, normalmente se redondea al entero más cercano, en este caso el entero más cercano es 1, pero restarían 0,17 pies por lo que se redondea al número superior 2 para que cumpla con lo solicitado.

Una vez teniendo claro esto, se tienen las dimensiones de la sección transversal del anillo de cimentación que se construirá.

Figura 22. **Dimensiones**



Fuente: elaboración propia.

#### 4.1.2. Refuerzo del anillo

Para poder calcular el acero de refuerzo a utilizar, es necesario encontrar los esfuerzos horizontales que ejerce el suelo sobre la estructura.

La presión del suelo se calcula con esta expresión:

$$PL = H \times \gamma L$$

$$PL = 31 \times 54$$

$$PL = 1\,674,00 \text{ lb/p}^2$$

Calculo de la fuerza de tensión:

$$\sigma P = \frac{K a \times \gamma_s \times h s^2}{2} + K a P h s$$

Constante Ka igual a 0.4

$$\sigma P = \frac{0,4 \times 54 \times 3^2}{2} + 0,4 \times 1\,674 \times 3$$

$$\sigma P = 2\,106 \text{ lb/pie}$$

Tensión total:

$$F_t = \frac{D \times \sigma P}{2}$$

$$F_t = \frac{127 \times 2\,106}{2}$$

$$F_t = 134\,067,96 \text{ lb}$$

#### 4.1.2.1. Acero longitudinal

Se requiere contrarrestar una fuerza de tensión de  $\sigma_t$  de 24 000 lb/p<sup>2</sup> con cargas de servicio por lo que:

$$A = \frac{F_t}{\sigma_t}$$

$$A = \frac{134\,067,96}{24\,000}$$

$$A = 5.59 \text{ plg}^2$$

Se puede utilizar barras corrugadas No. 8 sabiendo que el área de cada una es de 0,79 plg<sup>2</sup>, por lo que será un total de 6,32 plg<sup>2</sup> lo que cubre totalmente el área de acero requerida. Se utilizarán 8 barras longitudinales.

#### 4.1.2.2. Refuerzo transversal

$$A = R_d \times K_a \times \frac{62H - \gamma S_d \div 2}{f_s}$$

$$A = 63,66 \times 3 \times \frac{62,5 \times 31 + 1000 \times (3/2)}{24\,000}$$

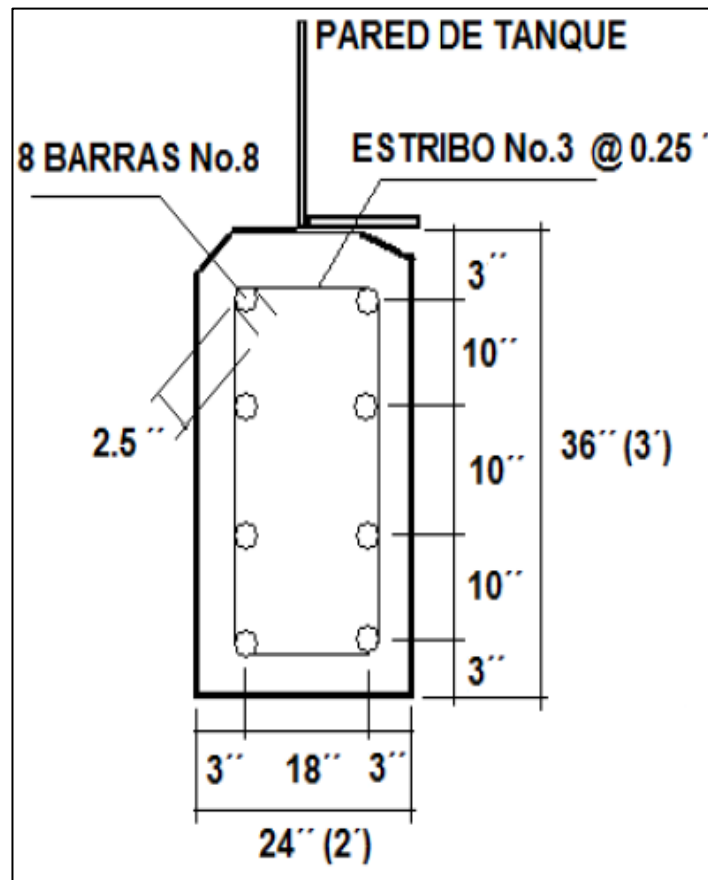
$$A = 10,94 \text{ plg}^2$$

Se utilizarán barras corrugadas No.3 las cuales su área es de 0,11 plg<sup>2</sup>, los estribos se colocaran a cada 0,60 pies y serán un total de 670 colocados a lo largo del perímetro.

Detalle:



Figura 23. **Sección transversal**



Fuente: elaboración propia.

Una vez teniendo todos lo necesario, se prosigue con el proceso de construcción, y la especificación de los renglones de trabajo.

#### 4.2. **Trabajos preliminares**

Son las actividades como por ejemplo, limpieza del terreno, nivelación, trazo y estaqueado, y obra falsa.

Los trabajos preliminares son el inicio de una construcción aunque se ve que son de mínima importancia, un error en los mismos puede traer, grandes consecuencias.

- Limpieza del terreno: sirve para remover toda la basura, arbustos, matas, raíces de árboles, restos de construcción, cimentaciones, restos que impidan el trazo y estaqueado del proyecto.
- Nivelación: es determinar, las distintas alturas, o cotas verticales de un terreno, para el buen diseño del mismo.

Los trabajos de limpieza a realizarse, deberán cubrir toda el área que acaparará el anillo de cimentación, debiendo asegurarse de no dejar restos, de árboles o raíces por debajo de la estructura, ya que estos al desintegrarse o pudrirse debilitaran el suelo, lo cual puede provocar hundimientos los cuales causarían fallas no deseadas.

Continuando con el ejemplo, se tiene que el diámetro (D) total del tanque es de 127 pies, por lo que procedemos a sacar su perímetro:

$$P = \pi \times 127p$$

Esta operación nos da como resultado un total de 398,99 pies, un aproximado de 400 pies lineales.

El área se calcula con:

$$A = \pi r^2$$

Y se tiene un área total de 12 731, 60 p<sup>2</sup>.

Esta será el área mínima que deberá ser cubierta el renglón de trabajos preliminares.

#### **4.3. Armadura**

Terminada la realización de los trabajos preliminares, se preparará la armadura de acero que hará resistente y sólido el muro de cimentación. Esta armadura debe ser colocada antes del vaciado del concreto. Las varillas de acero no deben presentar fisuras. Las que ya se han doblado no deben enderezarse, por este motivo no es recomendable el uso de fierro obtenido de demoliciones.

Las varillas de refuerzo deben estar libres de óxido, de tierra, de aceites, de pintura, de grasa y de cualquier sustancia que pueda disminuir su adherencia al concreto. La armadura de acero se debe confeccionar de acuerdo a lo que se indica en los planos y se debe contar la cantidad requerida de refuerzos transversales, y considerar el largo de anclaje y de empalmes.

Luego del corte de las varillas, se procede al doblado y colocación de los refuerzos transversales. Las longitudes de anclaje, así como las de empalme de las varillas, se especifican en los planos del anillo de cimentación.

El acero de refuerzo debe colocarse en su posición final y para impedir su movimiento al momento del vaciado del concreto, se utilizan listones de madera de 2" x 2", así como templadores hechos con alambre N° 16, que van a ambos lados y se fijan a estacas. La armadura debe quedar bien fija, de manera que no se mueva al momento de vaciar la mezcla.

El perímetro total del anillo de cimentación es de 400 pies lineales aproximadamente. 8 varillas No. 8 para el refuerzo longitudinal

$$8 \times 400 = 3\,200\,p$$

Para saber el número de varillas a utilizar:

$$\frac{3200p}{19.68p} = 163\,varillas$$

El número de eslabones para el refuerzo transversal serán No 3 @ 0,60 pies y la longitud de los mismos será de 100", aproximadamente 8.33 pies lo que da un total de 670 eslabones.

$$8,33 \times 670 = 5\,583\,p$$

$$\frac{583}{19,68} = 284\,varillas$$

#### **4.4. La formaleta**

El encofrado del muro debe estar siempre vertical, lo que se puede verificar con el uso de una plomada. Además, debe ser lo suficientemente resistente para soportar la presión lateral del concreto durante el vaciado. Para un muro de hasta 1,0 m de altura, los encofrados se armarán con tablas de 1 1/2" de espesor por 8 a 10" de ancho, las que llevarán refuerzos de madera (montantes) de 2" x 3" cada 1.5 m como máximo.

Las puntales pueden ser de 2" x 3". Las estacas que resistirán las cargas del encofrado serán de madera de 3" x 3" x 50 cm y estarán enterrados

30 cm en el suelo. Los espaciadores de 2" x 3" servirán para mantener las dimensiones especificadas en los planos.

La altura del encofrado debe hacerse por paños completos, para poder vaciar el concreto de una sola vez y no debilitar el comportamiento del muro. Es decir, si el muro tiene 2 m de altura, no debe hacerse primero 1 m y el resto después, al ser un muro de 1 m aproximadamente, no se presentará este problema.

#### **4.5. Vaciado del concreto**

Para la preparación del concreto, se deberá utilizar de preferencia una mezcladora, pudiéndolo hacer también a mano en una zona plana y limpia de desperdicios. El concreto a usarse deberá ser de calidad. La resistencia debe ser  $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ , por lo que la mezcla se preparará usando arena de río y piedrín de cantera.

La proporción recomendable es de una bolsa de cemento, con 1 carreta de arena de río y 1 carreta de piedrín de cantera, además de una cantidad de agua que fluctúa entre 20 y 40 litros, de acuerdo a la humedad de los agregados. Antes de vaciar el concreto al interior del encofrado, debemos revisar que este espacio se encuentre limpio de desperdicios y proceder luego a humedecer el cimientto para evitar que absorba el agua de la mezcla.

Mientras se coloca el concreto, será necesario compactarlo con la ayuda de una vibradora. Si no se tuviese este equipo, se puede hacer con un pedazo de varilla de acero de tamaño manejable, introduciéndolo verticalmente a la mezcla y sacándolo repetidamente.

Total de concreto a utilizar:

$$3p \times 2p \times 400p = 2400p^3$$

#### **4.6. Retirado de formaleta**

A los cinco días siguientes del vaciado del concreto, el encofrado puede ser totalmente retirado. En ese momento, se debe inspeccionar que no exista ninguna ratonera de consideración. Si existiese alguna, habrá que proceder a repararla lo antes posible, pudiendo usar una mezcla de 1 volumen de cemento por 4 de arena de río.

Si la profundidad de la ratonera fuera tal que se viera el acero de refuerzo, la mezcla de reparación debe ser más rica en cemento, pudiendo usar una proporción de 1 por 3.

Una vez que se haya desencofrado, se debe mojar constantemente el anillo de cimentación o durante los primeros 7 días. Esto asegurará que el concreto alcance la resistencia que especifica el plano y ayudará a disminuir las grietas y rajaduras en la superficie.

Tabla VIII. **Renglones de trabajo**

No.	Reglón de trabajo	Unidad	Cantidad
1	Trabajos preliminares		
1.1	Limpieza y chapeo	p <sup>2</sup>	12 731, 60
1.2	Bodega y guardianía	p <sup>2</sup>	860,67
1.3	Compactación	pl	12 731, 60
2	Cimentación		
2.1	Acero longitudinal no 8	Unidades	163
2.2	Acero transversal no 3	Unidades	268
2.4	Concreto	p <sup>3</sup>	2 400

Fuente: elaboración propia.





## CONCLUSIONES

1. Se ha llegado a la conclusión de que el cimiento debe estar asentado en terreno firme, esto quiere decir que no se debe cimentar sobre suelos con excesiva materia orgánica (residuos de plantas o animales), desmonte o relleno, ya que a su vez no soportará el peso del muro de contención o el empuje del terreno, por lo tanto eso implicaría que si no está el suelo adecuadamente compactado, la falla sería directamente en la estructura causando grietas y hundimientos descontrolados.
2. Al momento de llegar a conocer la estructura de la guía en el proceso constructivo de anillo de cimentación de tanques que consiste en la construcción de un muro perimetral que sostiene un tanque o recipiente; los planificadores, diseñadores y constructores de la industria petroquímica podrán disponer de una guía para la planificación y a su vez ejecución de nuevos proyectos relacionados como por ejemplo (silos de granjas). Y así el uso consiente y adecuado permitirá ahorrar recursos humanos, económicos, tecnológicos y de materiales que ayudarán a los planificadores, diseñadores y constructores como se había mencionado anteriormente de una manera rápida y eficazmente de una manera sencilla y funcional.
3. Con la interpretación y aplicación adecuada del estándar API 650 que determina los requisitos para materiales, diseño y ejecución del proyecto, fabricación, montaje y pruebas para tanques cilíndricos verticales situados encima del suelo, techados o abiertos, de acero soldado, en varios tamaños y capacidades conduce a la realización de

buenos diseños, construcciones seguras y confiables, como resultado el diseño del tanque de petróleo ya que se debe a lo que el estándar API mencionado anteriormente exponía y a su vez conducía a la excelencia en los diseños y construcciones donde yo corroboro y aseguro la funcionalidad y calidad de esto.

## RECOMENDACIONES

1. Se debe observar y verificar cuáles son las condiciones del terreno en donde se realizará el proyecto. De esto depende definir y diseñar la mejor opción que se ajuste a las exigencias requeridas para brindar un servicio de alta calidad en la estructura, diseño, realización de acuerdo a las necesidades que el cliente solicita y así brindarle un mejor servicio y la correcta funcionalidad de la estructura.
2. Es de suma importancia solicitar al consultor encargado, de la realización del estudio de suelos que implica estudio de la capacidad de soporte del suelo, ensayo triaxial, cohesión de los suelos, consolidación. La elaboración de un prediseño que contemple varias alternativas de cimentación tales como cimentaciones de piedra, de pilotes, o una losa de cimentación. De esta manera se puede llegar a la decisión con el estudio previo que se hizo que es lo que conviene, ya que ahí se pudo observar las causas que podrían afectar o bien que es lo que más se ajusta para poder obtener la satisfacción total del cliente; pero antes hay que tomar en cuenta que para llegar a esto, se debe de llegar y evaluar los pros y contras del estudio.
3. Es de suma importancia verificar que al momento de revestir el anillo de concreto con el respectivo acabado, se debe evitar la aplicación de una capa gruesa, (no mayor de 1 centímetro) ya que de lo contrario existe la posibilidad de que se agriete el revestimiento y esto podría causar problemas como tales infiltración de agua y agrietamiento por el clima y podría afectar en la estructura del diseño y no llegaríamos al objetivo

que queremos alcanzar que siempre es que la estructura funcione para lo cual fue construida así como que cumpla con el tiempo de vida útil diseñado y así demostrar la excelencia en el trabajo.

## BIBLIOGRAFÍA

1. American Petroleum Institute. *Diseño y construcción de tanques de almacenamiento*: Norma Estándar API 650. 10a ed. EEUU: API, 2005. 70 p.
2. American Concrete Institute. *Requisitos para el concreto estructural y comentario* (ACI 318 -99). EEUU: ACI, 1999. 269 p.
3. SOWERS, George B.; SOWERS, George F. *Introducción a la mecánica de suelos y cimentaciones*. México: Limusa, 1978. 170 p.



## ANEXO1

### ÁREA NOMINAL DE BARRAS DE REFUERZO

#### BARRAS DE REFUERZO ESTÁNDAR DE LA ASTM

Barra No.*	Diámetro nominal, mm	Área nominal, mm <sup>2</sup>	Masa nominal, kg/m
10	9.5	71	0.560
13	12.7	129	0.994
16	15.9	199	1.552
19	19.1	284	2.235
22	22.2	387	3.042
25	25.4	510	3.973
29	28.7	645	5.060
32	32.3	819	6.404
36	35.8	1006	7.907
43	43.0	1452	11.38
57	57.3	2581	20.24

Fuente: código ACI 318 apéndice 3-

## ANEXO2

### FACTORES DE CONVERSIÓN AL SISTEMA INTERNACIONAL

#### Factores de conversión

geometría global		
luz	1pie	0.3048 m
desplazamientos	1pulg	25.4 mm
área superficial	1pie <sup>2</sup>	0.0929 m <sup>2</sup>
volumen	1yd <sup>3</sup>	0.765 m <sup>3</sup>
propiedades estructurales		
dimensiones de la sección transversal	1pulg	25.4 mm
área	1pulg <sup>2</sup>	645.2 mm <sup>2</sup>
modulo de la sección	1pulg <sup>3</sup>	16.39 *10
Momento de inercia	1pulg <sup>4</sup>	0.4162*106mm <sup>4</sup>
propiedades de los materiales		
densidad	1 lb/pie <sup>3</sup>	16.03 kN/m <sup>3</sup>
módulos y esfuerzos	1 lb/pulg <sup>2</sup>	0.006895 Mpa
	1 klb/pulg <sup>2</sup>	6.895 Mpa
cargas		
cargas concentradas	1lb	4.448 N
	1 Klb	4.448 kN
densidad	1lb/pie <sup>3</sup>	0.1571 KN/m <sup>3</sup>
cargas lineales	1klb/pie	0.1571 kN/m
cargas superficie	1lb/pie <sup>2</sup>	0.0479 kN/m <sup>2</sup>
	1 klb/pie <sup>2</sup>	47.9 kN/m <sup>2</sup>
esfuerzos y momentos		
esfuerzos	1 lb/pulg <sup>2</sup>	0.006895 Mpa
	1klb/pulg <sup>2</sup>	6.895 Mpa
momento flector o torsor	1 klb-pie	1.356 kN-m

Fuente: Arthur H. Nilson , Diseño de estructuras de concreto. Pág. 707-