



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL

**ESTANQUES DE ACERO INOXIDABLE DE LA INDUSTRIA VITIVINÍCOLA:
REVISIÓN DEL DISEÑO**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

DIEGO IGOR BARROS SAN MIGUEL

**PROFESOR GUÍA:
RAMÓN MONTECINOS CONCHA**

**MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
RICARDO HERRERA MARDONES
ALEJANDRO VERDUGO PALMA**

**SANTIAGO DE CHILE
MARZO 2007**

INDICE

Capítulo 1, Introducción	1
1.1. Introducción general	1
1.1.1. Marco histórico	1
1.1.2. Situación actual	2
1.1.3. Sismicidad de nuestro país	3
1.1.4. Distribución geográfica de las viñas en Chile	4
1.1.5. Distribución del capital de una viña durante el año	6
1.2. Objetivos	8
1.3. Descripción del trabajo	9
Capítulo 2, Introducción a estanques y al acero inoxidable	10
2.1. Introducción	10
2.2. Fluidos almacenados en estanques de acero	10
2.2.1. Gravedad específica y densidad	10
2.2.2. Presión de vapor	11
2.2.3. Presión	11
2.3. Clasificación de estanques	12
2.3.1. Estanques sobre y bajo tierra	12
2.3.2. Clasificación de estanques por el tipo de techo	13
2.3.3. Clasificación de estanques por tipo de fondo	16
2.3.4. Clasificación basada en la presión interna	18
2.3.5. Clasificación tentativa basada en el criterio de esbeltez	18
2.4. El acero inoxidable	21
2.4.1. Tipos de acero inoxidable	21
2.4.2. Propiedades mecánicas de la acero inoxidable	22
2.4.3. El acero inoxidable utilizado en la industria del vino	23
Capítulo 3, La realidad de la industria	24
3.1. Introducción	24
3.2. Clasificación general	25
3.2.1. Clasificación general por tipo de apoyo	26
3.3. Clasificación particular de estanques apoyados directamente al suelo	30
3.3.1. Clasificación de estanques apoyados directamente al suelo que cuentan con algún tipo de anclaje	30
3.3.2. Clasificación de estanques sólo apoyados directamente al suelo	34
3.4. Estadística de la realidad de la industria	37
3.4.1. Estadística genral	37
3.4.1.1. Estadística general por tipo de apoyo	37
3.4.1.2. Estadística general por volumen de cada estanque	37
3.4.2. Estadística particular de estanques apoyados directamente al suelo	39

3.4.2.1	Estadística particular de estanques apoyados directamente al suelo por tipo de apoyo	40
3.4.2.2.	Estadística particular de estanques apoyados directamente al suelo por esbeltez	41
3.4.2.3.	Estadística particular de estanques apoyados directamente al suelo por volumen de cada estanque	41
3.4.3.	Estadística de estanques apoyados directamente al suelo que cuentan con algún tipo de anclaje	43
3.4.3.1.	Estadística de estanques apoyados directamente en el suelo que cuentan con algún tipo de anclaje por tipo de apoyo y volumen	43
3.4.3.2.	Estadística de estanques apoyados directamente en el suelo que cuentan con algún tipo de anclaje por altura, diámetro y esbeltez	45
3.4.3.3.	Estadística de estanques apoyados directamente en el suelo que cuentan con algún tipo de anclaje, comparación de cantidades según tipo de anclaje	47
3.4.4.	Estadística de estanques sólo apoyados directamente en el suelo	48
3.4.4.1.	Estadística de estanques sólo apoyados directamente en el suelo por tipo de apoyo	49
3.4.4.2.	Estadística de estanques sólo apoyados directamente en el suelo por altura, diámetro y esbeltez	50
3.4.4.3.	Estadística de estanques sólo apoyados directamente en el suelo por volumen de cada estanque	52
3.5.	Falencias observadas en la industria	54
3.5.1.	Bajos Espesores	54
3.5.2.	Sistemas de apoyo y anclajes	57
3.5.2.1.	Estanques sobre patas	57
3.5.2.2.	Estanques apoyados	60
3.5.3.	Separación entre estanques	62
3.5.4.	Pasarelas	63
3.6.	Posibles consecuencias de las falencias observadas frente a un sismo de grandes dimensiones	66
Capítulo 4, Análisis de los Estanques		68
4.1.	Introducción	68
4.1.1.	Alcances del Trabajo	68
4.1.2.	Introducción a los criterios de diseño	69
4.1.3.	Alcances del capítulo	72
4.2.	Consideraciones complementarias a los criterios de diseño	72
4.3.	Análisis global, sin discriminar entre no anclados y anclados	73

4.3.1. Espesores requeridos del manto y del techo para la condición estática de servicio	73
4.3.2. Estabilidad de los estanques frente a los esfuerzos producidos por un sismo	75
4.4. Estabilidad de los estanques no anclados	77
4.4.1. Necesidad de ser anclados	77
4.4.2. Tensiones admisibles	79
4.5. Estabilidad de los estanques anclados	81
4.6. Resumen	81
Capítulo 5, Comentarios	83
5.1. Introducción	83
5.2. Comentarios en relación a la información para el diseño de los estanques manejada en el país	83
5.3. Comentarios al diseño de los estanques en la industria	83
5.3.1. Construcción y montaje	84
5.3.2. Anclajes y fundaciones	84
5.3.3. Espesores, Fondo, Manto y Techo	85
5.3.4. Medidas de los estanques	86
5.3.5. Tensiones	86
5.3.6. Resumen	87
Referencia	88
ANEXO A, Datos de los estanques de la industria	
ANEXO B, Detalle de los anclajes de los estanques	
ANEXO C, Obtención de los esfuerzos producidos por un sismo para los distintos criterios aplicados	
ANEXO D, Participación de las maestranzas en la industria del vino	
ANEXO E, Detalle de estanques de la industria vitivinícola	

Capítulo 1

Introducción

1.1. Introducción general

1.1.1. Marco histórico

La vid no crece en forma silvestre en América; sus habitantes autóctonos recién vinieron a probar el vino con la llegada de los españoles. La historia chilena del vino entonces comienza alrededor del siglo XVI, cuando los primeros conquistadores arribaron a estas tierras.

En 1554 comenzó la producción de tintos en el Valle de Maipú y a partir de eso la historia de nuestro vino no ofrece nuevas novedades, salvo que –luego de arrasar los poblados al sur del Bío Bío- los indígenas araucanos conocieron la uva y prontamente descubrieron cómo fermentaba: así nació la chicha. En 1654, para garantizar su monopolio comercial, el Rey de España prohibió la plantación de nuevos viñedos, orden que en Chile nadie tomó en serio.

En 1830, un profesor de la Universidad de Chile, el naturalista y científico Claudio Gay, fue quien trajo desde su natal Francia treinta especies de vitis vinífera para ser plantadas en los campos de experimentación agrícola de la Quinta Normal. Su idea sería pronto imitada, dando inicio a la historia moderna del vino en el país. La llegada de las nuevas cepas marca el inicio de la vitivinicultura seria en Chile, manifestada en la creación de sistemas de regadío y la importación de maquinaria especializada y la exportación a Francia de los primeros vinos producidos en el país a fines del siglo XIX

En 1900, las vides ya cubrían 40.000 hectáreas del territorio chileno.

La superficie destinada a la vitivinicultura continuó incrementándose hasta 1938, cuando era de 108.000 hectáreas.

La historia del vino chileno en el siglo XX no fue fácil. Una ley de alcoholes virtualmente prohibió la plantación de viñedos y los trasplantes de viñas, mientras que la Segunda Guerra Mundial cerraba la puerta de las importaciones, incluyendo las de maquinaria vitivinícola.

La ley que restringía los viñedos fue derogada en 1974. A partir de 1980 la liberalización normativa y la apertura económica del país detonan una revolución. El sector vitivinícola se armó de maquinaria moderna, mejoró la tecnología de riego y plantación, incorporó cubas de acero inoxidable y barricas de roble francés y comenzó a utilizar botellas de mejor calidad.

Entre 1982 y 1983 se alcanzó la producción más alta, coincidiendo con una importante reducción en el consumo local. Ambos elementos provocaron una crisis de proporciones, con caída de precios y reemplazo de cultivos. Fue justamente en esta época cuando el esquema de familias tradicionales propietarias de grandes viñas comenzó a ser reemplazado por el de grupos económicos o sociedades

anónimas, incluso con participación internacional, lo que impulsó definitivamente la modernización del negocio.

En los años noventa los vinos chilenos consolidaron definitivamente su presencia en el mercado internacional, con excelentes resultados y un prestigio bien ganado. Las exportaciones a Europa, Estados Unidos y principalmente Asia, han crecido cada año reportando en 2002 un total de US\$ 601,6 millones (referencia 1). Actualmente los vinos chilenos se exportan a más de 100 países en cinco continentes.

Quizás nada refleja mejor la madurez alcanzada por la industria que el incesante intercambio de los productores chilenos con sus pares mundiales. En un par de décadas Chile ha visto surgir una industria de prestigio mundial, que ha sabido consolidarse en un mercado muy competitivo y que estimula el fecundo trabajo de las nuevas generaciones.

Este contacto directo con los líderes de la producción mundial ha servido para afianzar una cultura de la innovación. El vino en Chile es una industria notablemente joven, que se ha desarrollado explosivamente.

1.1.2. Situación actual

Con sobre 400 viñas, la industria del vino en Chile el año 2004, sólo por concepto de exportaciones de vino, generó un impacto sobre la economía de nuestro país de 900 millones de dólares. Sobre 700 millones de litros son producidos cada año en nuestro país, lo que equivale al 5,46% de la producción mundial de vino. Las plantaciones de viñas cubren nuestra tierra desde la IV a la IX región y utilizan una superficie total de 175000 ha (referencia 2). La industria provee miles de trabajos de forma directa e indirecta a lo largo de todo el país, partiendo de los temporeros que podan las vides a los vendedores en botillerías especializadas que día a día es más común ver en los centros comerciales de nuestro país. La industria ha estado creciendo a pasos agigantados: desde el año 1990 hasta el actual se ha producido un crecimiento promedio del 24% anual (referencia 1), alimentado cada vez más por la creciente llegada de turistas los cuales gastan una cantidad no despreciable de dólares por visitar nuestras viñas.

Un sismo de gran magnitud podría quebrar la estabilidad económica de esta frágil industria, dando por resultado un impacto a largo plazo sobre la emergente industria del turismo y los ingresos generados por la industria agrícola. Es por este motivo que es necesario hacer una revisión de los distintos criterios utilizados en el diseño y la fabricación de los estanques de acero inoxidable de la industria del vino, los cuáles son el pilar de la producción del vino en Chile y cuya la falla acarrearía pérdidas insostenibles a la industria.

1.1.3 Sismicidad de nuestro país

La gran actividad sísmica que afecta al territorio nacional es consecuencia de su ubicación sobre la zona de contacto principalmente entre dos placas del sistema tectónico global. Frente a la costa chilena la Placa de Nazca se sumerge bajo la Placa Sudamericana. Esta zona de subducción concentra una gran actividad sísmica y da origen al volcanismo superficial cordillerano, haciendo que Chile sea una de las regiones sísmicas más activas del mundo. Por esta razón, nuestro país ha sido históricamente afectado por grandes terremotos, trayendo como consecuencia pérdidas de vidas humanas y daños materiales, lo cual ha afectado considerablemente la economía del país y la calidad de vida de las personas (referencia 3).

Ante esto, es necesario que las estructuras y los elementos que contienen (estanques, prensas, etc.), no solo se diseñen para resistir las cargas de servicio, sino también para que sean capaces de soportar los esfuerzos producidos por un sismo (referencia 3).

El diseño sismorresistente de las estructuras y de los elementos estructurales se realiza en los diferentes países de acuerdo a un conjunto de disposiciones que reciben el nombre de "normas", las cuales son redactadas por los profesionales que entienden del tema (referencia 3).

El objetivo fundamental de una norma es estandarizar las metodologías y procedimientos, de modo que todos los usuarios de los productos de las normas dispongan de una garantía que ellos pueden ser usados en forma confiable. Las normas de diseño sísmico por las que se rige en la actualidad nuestro país, están en un nivel de desarrollo semejante al que ofrecen los países más avanzados en esta materia. Cuentan además con la ventaja de haber sido probadas por sismos severos, como el ocurrido en Marzo de 1985, y por otros sismos de menor severidad. Las normas son redactadas a través de un proceso de discusión y análisis administrado por el Instituto Nacional de Normalización, dependiente del Ministerio de Economía. En este proceso pueden participar todos los profesionales interesados en el tema específico de la norma, sus usuarios y los proveedores de los materiales. Al término de su discusión las normas son oficializadas por la Contraloría General de la República, después de un informe favorable del Ministerio respectivo (referencia 3).

La norma que controla el diseño sísmico de las estructuras e instalaciones industriales es la norma NCh2369 (referencia 4). Esta norma se basa en la experiencia predominantemente chilena que se ha obtenido del comportamiento de las estructuras y equipos industriales durante los sismos destructivos de 1960 en la zona de Concepción y Talcahuano, y de 1985 en la zona central del país. La norma NCh2369 (referencia 4) tiene disposiciones que implican una mayor seguridad sísmica que su par utilizada para edificios. Esto se debe a dos razones principales: la primera es la magnitud de las pérdidas económicas que pueden eventualmente producirse en una industria debido a la interrupción o suspensión del proceso productivo debido a los daños producidos por el sismo en la estructura o en los equipos; la segunda es el menor costo relativo de la estructura sismorresistente de una obra industrial en comparación con el costo de los equipos que alberga. Es

interesante hacer notar que por ahora no se encuentran en el mundo normas sísmicas como esta, de tipo general, que se refieran específicamente a las instalaciones industriales (referencia 3).

Entre sus características más relevantes están la zonificación sísmica del país. Esta separa al país en 3 zonas, 1, 2 y 3.

Una zona sísmica se define como el área geográfica delimitada dentro de una región sísmica, en la cual la amenaza y el riesgo sísmico son similares y los requerimientos para el diseño sismorresistente son iguales.

1.1.4. Distribución geográfica de las viñas en Chile

En nuestro país hay 13 zonas vitivinícolas reconocidas, a las cuáles se le denominan valles debido a que se ubican en estos lugares. El mayor porcentaje de estos están localizados, según la norma sísmica chilena NCh2369 (referencia 4) en la zona tipo 2.

Los valles son:

- Valle del Elquí (IV Región)
- Valle del Limarí (IV Región)
- Valle del Aconcagua (V Región)
- Valle de Casablanca (V Región)
- Valle de San Antonio (V Región)
- Valle del Maipú (RM)
- Valle del Cachapoal (VI Región)
- Valle de Colchagua (VI Región)
- Valle de Curicó (VI Región)
- Valle del Maule (VII Región)
- Valle del Itata (VIII Región)
- Valle del Bío-Bío (VIII Región)
- Valle del Malleco (IX Región)

A continuación se presenta la figura 1.1, que muestra la ubicación de estos valles en nuestro país



Figura 1.1: Ubicación de los valles vitivinícolas en Chile (referencia 5)

1.1.5. Distribución del capital de una viña durante el año

Los elementos utilizados en el proceso de la producción del vino son bastante frágiles, por lo tanto las mayores pérdidas económicas que una viña podría tener debido a algún evento sísmico de gran magnitud recae en su inventario y producción. Esto último hace que la pérdida de los elementos del proceso productivo y de la producción en sí sea determinante en la supervivencia de la viña.

El valor de los elementos no estructurales y la cantidad de vino que la viña contenga sumado al valor de las barricas de roble, llenas y vacías, estanques de acero inoxidable, llenos y vacíos, los racks para las barricas, la maquinaria necesaria para embotellar, los sistemas de cañerías, las pasarelas, las distintas máquinas utilizadas para prensar, bombas, etc. equivale a por lo menos 50 veces el valor de la estructura que lo contiene.

Para poder dimensionar las pérdidas que tendría una viña ante un sismo de grandes dimensiones y además para poder caracterizar la temporada del año donde la ocurrencia de este sería más catastrófica para la industria se muestran algunos valores promedios de los elementos y productos del proceso productivo del vino de una viña típica. Una barrica de roble de 225 [lt] cuesta entre 500 a 750 mil pesos (entre US\$ 1000-1300), cada rack de soporte de barricas cuesta alrededor de 20 mil pesos (US\$ 40), dependiendo de la configuración, fabricante y terminado. Los estanques de acero inoxidable cuestan entre 1 y 60 millones de pesos (entre US\$ 1800-115000), dependiendo del volumen, si cuentan con sistema de refrigeración o no, si tienen sistemas automáticos o no, del espesor del acero, etc. El valor de mercado de una caja de botellas de vino (6 botellas) cuesta aproximadamente entre 6 a 240 mil pesos (entre US\$ 12- 450), dependiendo de la calidad final del producto.

Cabe destacar que todos los valores dados anteriormente corresponde al año 2006.

La producción de vino se realiza sólo una vez al año en un período denominado vendimia. Esta dura alrededor de 3 ó 4 meses y comienza en los primeros días de Febrero para terminar a finales del mes de Abril. Durante este proceso la mayor cantidad de vino se ubica en los estanques de acero inoxidable, debido a que el proceso de fermentación y la preparación necesaria del vino antes de su traspaso a las barricas de roble para su guarda se realiza en este tipo de elemento, (solo los que entran en la categoría de "Vinos Premium" se fermentan en barricas de roble).

Debido a la existencia de estos dos períodos en el proceso productivo del vino, podemos decir que este, dependiendo de la calidad y temporada del año, se mueve físicamente dentro de las instalaciones de una viña, por lo tanto el capital de ésta, durante la vendimia, pasa de concentrarse en el vino contenido en los estanques de acero inoxidable a concentrarse, el resto del año, de forma equitativa entre las

barricas de roble y estanques de acero inoxidable, para el caso de la una viña boutique y a concentrarse en alrededor del 25% del vino producido en estanques de acero inoxidable y 8% en barricas de roble para el caso de una viña mediana.

Las figuras 1.2 y 1.3 muestran la distribución del capital en una viña boutique durante el año. Cabe destacar que una viña boutique produce alrededor de 3 millones de litros de vino, donde la totalidad de este es exportado a mercados extranjeros, mientras que una viña mediana produce alrededor de 6 a 8 millones de litros. Una viña boutique cuenta con cerca de 3.000 barricas de roble, 60 – 120 estanques de acero inoxidable, alrededor de 200.000 botellas de vino envasadas y listas para su despacho y finalmente con una no despreciable cantidad de máquinas especializadas necesarias para la producción de vino. En el caso de una viña mediana la cantidad de estanques crece a alrededor de 150, pero cabe destacar que los tamaños de estos aumentan considerablemente, la cantidad de barricas es de cerca de 2.500 y cuenta con alrededor de 800.000 botellas de vino envasadas y listas para su despacho.

La figura 1.2 muestra la distribución del capital durante la vendimia (referencia 8). En este período de tiempo (1/3 del año) la mayor cantidad del vino es contenido en los estanques de acero inoxidable. Por consiguiente, ante la eventualidad de un sismo de grandes dimensiones que ocurra en esta temporada la mayoría de los posibles daños y pérdidas que podrían ocurrir recaería en los estanques de acero inoxidable.

La figura 1.3 muestra la distribución del capital durante el resto del año. En las viñas de nuestro país la mayor cantidad del vino se sigue almacenando en cubas de acero inoxidable, aunque la cantidad de vino en estos se reduce un 40%. Lo anterior se explica porque el costo del 60% del vino en estanques sigue siendo mucho mayor que el vino almacenado en barricas, aunque en este período la cantidad de barricas llenas aumenta levemente. Por consiguiente ante la eventualidad de un sismo de grandes dimensiones que ocurra en este período de tiempo (2/3 del año) la mayoría de los posibles daños y pérdidas que podrían ocurrir seguirían recayendo sobre los estanques de acero inoxidable.

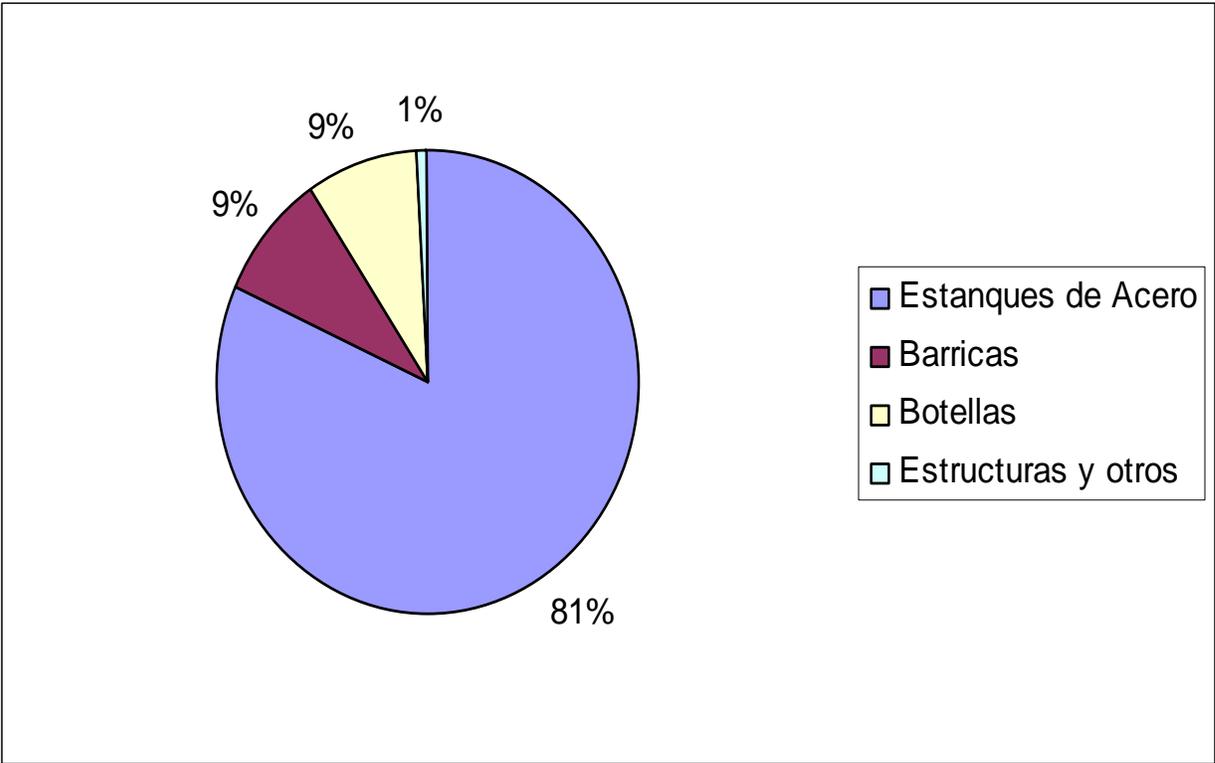


Figura 1.2 : Distribución del capital en la vendimia

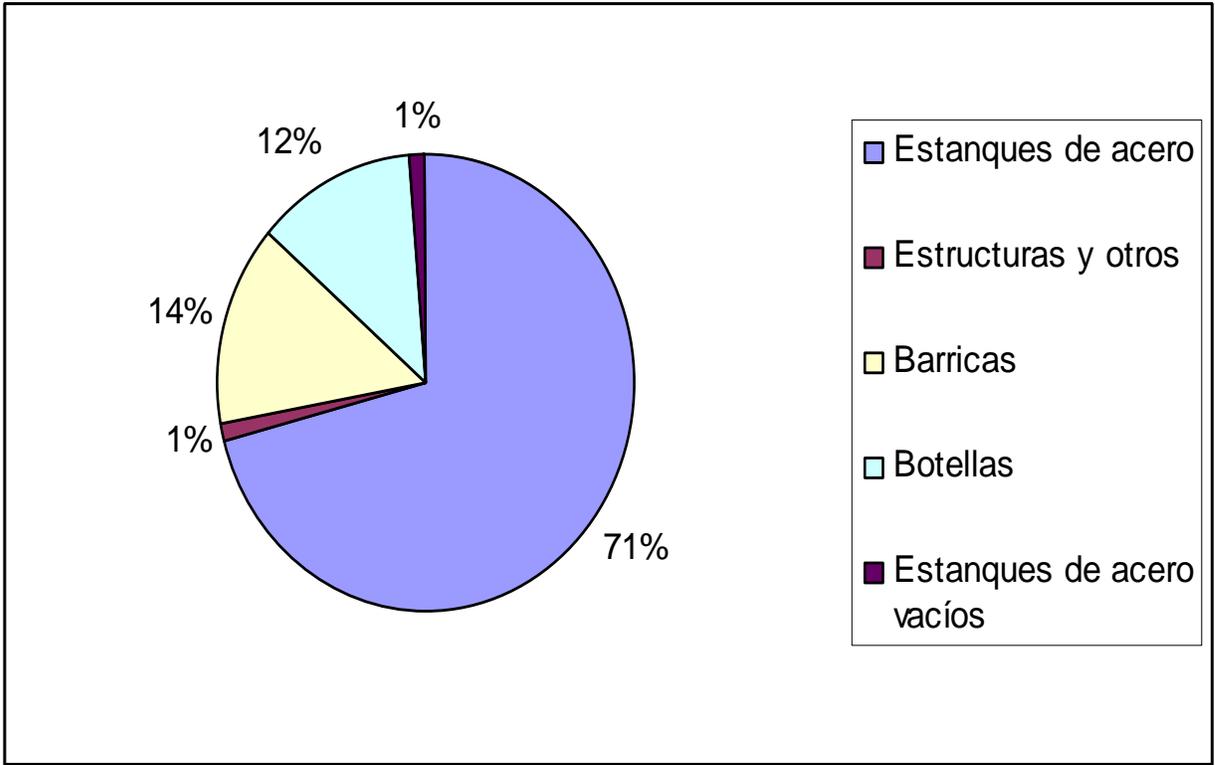


Figura 1.3: Distribución del capital resto del año

Como se dijo en un principio, los elementos del proceso productivo y fundamentalmente el vino producido es determinante en la supervivencia de la industria, por lo tanto si hubiera un sismo de grandes dimensiones que dañara el 40% de los estanques de acero inoxidable e hiciera colapsar un 20% de estos, las pérdidas serían del orden de miles de millones de pesos para cada viña, sin importar el tipo de viña o la temporada del año cuando el sismo ocurra. Es por esto que es necesario que los elementos en los cuáles se almacena el vino no colapsen o sufran daños que impliquen su reemplazo.

1.2. Objetivos

El presente trabajo tiene como objetivo principal hacer una revisión de los criterios de diseño utilizados actualmente en la fabricación de estanques de acero inoxidable utilizados en la industria del vino, haciendo un fuerte hincapié a los criterios del tipo sísmico, ya que esta es la peor condición a los que estos estanques se ven sometidos. Todo esto con el fin de sugerir mejoras e incrementar la seguridad de la producción de esta, además de dejar sentadas las bases necesarias para poder, en futuras investigaciones, mejorar la calibración de la norma sísmica vigente NCh2369 Of2003 (referencia 4), utilizada en el diseño sísmico de estos elementos.

1.3. Descripción del trabajo

Para poder realizar este trabajo se realizó una encuesta a las viñas.

Esta encuesta fue realizada para obtener un panorama real y actualizado de la industria del vino, todo esto con el objetivo de que el estudio fuera algo que diera una respuesta a las necesidades y problemáticas reales de la industria.

Posterior a la encuesta se procedió a analizar la información obtenida, primero realizando una clasificación para poder manejar de una mejor forma la información. Luego, a través de criterios de diseño ya establecidos para el diseño de estanques, se calcularon los requerimientos de cada estanque y finalmente se analizaron los resultados obtenidos.

Capítulo 2

Introducción a estanques y al acero inoxidable

2.1. Introducción

Un estanque es un recipiente, fabricado en hormigón, madera, acero ó fibra de vidrio, que puede ser usado tanto como un receptor, es decir, un elemento por el medio del cuál escurre una sustancia una cantidad limitada de tiempo, como un contenedor, en otras palabras, como un elemento en el que se almacena algo o simplemente como un reactor, un elemento en el que ocurre un proceso que implica la modificación química o física de lo que contiene.

El diseño final de un estanque depende de múltiples factores, entre los cuáles podemos nombrar el uso, el líquido que contenido, la ubicación final etc. A partir de estos factores se determina el tipo de estanque, el material a usar, sus dimensiones, etc.

El presente capítulo da una vista general acerca de los estanques apoyados con su fondo sobre el piso, con un especial hincapié en los estanques de acero inoxidable, identificando las propiedades físicas de los líquidos que afectan el diseño de estos elementos, las formas más generales de clasificación de estanques y una reseña de las principales características del acero inoxidable.

2.2. Fluidos almacenados en estanques de acero

Un estanque puede estar lleno o vacío al momento de pasar por un evento natural de grandes dimensiones que lo podría llevar al colapso, por lo tanto, conocer el líquido que contendrá el estanque en su vida útil es fundamental para el diseño; dependiendo de las propiedades del líquido y la cantidad que el estanque contenga se pueden estimar las dimensiones necesarias de los elementos que componen el estanque de forma tal que se evite su colapso.

Las propiedades que se necesita conocer al momento de diseñar un estanque son:

2.2.1. Gravedad específica y densidad:

La densidad del líquido es la masa por unidad de volumen. Esta propiedad juega un rol importante en el diseño de un estanque, porque densidades mayores requieren espesores más grandes de las planchas de acero a utilizar. La gravedad específica es una comparación de la densidad de una sustancia con la densidad del agua, este es un valor adimensional y numéricamente coincide con la densidad. Se define como el peso unitario del material dividido por el peso unitario del agua destilada a 4 grados centígrados.

2.2.2. Presión de vapor:

La presión de vapor es la presión que ejerce el vapor en equilibrio con el líquido o el sólido que lo origina a determinada temperatura, esta aumenta con el aumento de la temperatura. Es una consideración muy importante al momento de escoger el tipo de estanque según su techo.

2.2.3. Presión:

La presión se define como la fuerza por unidad de área. Según esta presión el diseñador determinará los esfuerzos y en base a estos el espesor de las paredes, techo y fondo del estanque. Para los mantos cilíndricos y esféricos, la parte más compleja del diseño es la unión entre el techo y el cilindro, ya que esta podría someterse a esfuerzos que llevan a deformar el techo junto con el manto o que llevan a separar el techo del manto. Esta zona es la primera en mostrar algún tipo de daño. Las presiones generadas por vientos, presiones internas negativas y en especial las generadas por un sismo pueden generar un daño similar o peor al indicado anteriormente.

La diferencia de presión entre el interior del estanque y la presión atmosférica es denominada presión interna. Cuando esta presión es negativa, es denominada presión de vacío. Para medir esta presión es necesario medirla en la superficie del líquido que el estanque contiene, esto debido a que el líquido por sí mismo ejerce presión hidrostática, la cuál aumenta a medida que nos acercamos al fondo del estanque.

Una presión externa implica que la presión ejercida sobre la parte exterior del manto de un estanque es mayor que la interior, como por ejemplo la presión generada por vientos huracanados. En el caso de un sismo se generan los dos tipos de presiones, por un lado del estanque se produce una presión interna que empuja hacia fuera su pared, mientras que por el otro lado se produce una presión de vacío. Para un estanque a presión atmosférica, el desarrollo de una presión de vacío en el interior se puede modelar como una presión externa.

Tanto las presiones externas o internas pueden ser extremadamente dañinas en los estanques, debido a que estas se aplican sobre áreas de grandes dimensiones y por ende se crean fuerzas de gran tamaño. Una fuerza externa o interna excesiva puede resultar la deformación del manto o en el colapso total del estanque.

En los estanques utilizados en las viñas es común observar los techos y la parte superior del manto de estos elementos completamente deformados, como resultado de presiones de vacío, generalmente ocasionadas por un vaciado no controlado del estanque.

2.3. Clasificación de estanques

Existen muchas maneras de clasificar los estanques de almacenamiento: de acuerdo al material que los conforma, por el tipo de apoyo, la forma del techo, el uso que se les dará, etc. Lo anterior genera una gran variedad de estanques, incluso para un mismo uso, por lo tanto antes de realizar cualquier análisis es importante saber diferenciarlos para poder entender su comportamiento ante las cargas de servicio y los esfuerzos producidos por un sismo severo.

2.3.1. Estanques sobre y bajo tierra

La forma más general de clasificar los estanques es esta, ya que solo basta con observar el estanque para poder saber de que tipo es.

Los estanques bajo tierra son aquellos donde la mayor parte de su estructura esta bajo tierra, son muy poco comunes en nuestro país y llegan a tener capacidades máximas de hasta 45.000 [It]. Estos estanques almacenan principalmente combustibles y productos químicos.



Figura 2.1: Estanques bajo tierra

Los estanques sobre tierra son aquellos que tienen casi toda su estructura expuesta. El fondo del estanque es ubicado directamente sobre el suelo, sobre patas o sobre una fundación de hormigón armado. Dentro de estos últimos están los estanques anclados a la fundación, los no anclados o los estanques apoyados sobre una falda.

La falda es un anillo de acero, que generalmente es del mismo espesor que el manto, sobre la cuál se apoya el cuerpo superior del estanque por medio de soldadura.

Entre las ventajas de los estanques sobre tierra podemos nombrar que son muy fáciles de construir, pueden construirse estanques de mucha mas capacidad que los bajo tierra y por último que el costo es mucho menor que el de estos últimos. Otro tipo de estanque sobre tierra y que es muy usado por las compañías de agua potable, son los estanques elevados, estos estanques están ubicados a una gran altura y son soportados por columnas de hormigón o estructuras de acero.

En el caso de industria vitivinícola son contados los casos donde éstas contaban con estanques bajo tierra. En todos esos casos los estanques son de hormigón armado y tienen, aproximadamente, más de 25 años de antigüedad.



Figura 2.2: Estanque sobre el suelo

2.3.2. Clasificación de estanques por el tipo de techo

Clasificar los estanques por el tipo de techo es muy práctico, ya que sólo basta una rápida inspección visual para poder hacerlo.

Dentro de los distintos tipos de techo hay dos clasificaciones generales, los con techo fijo y los con techo flotante. Los estanques con techo fijo son aquellos donde el techo sella el estanque. El techo fijo más usado es el cónico, estos techos son un cono, el cuál para grandes diámetros, es soportado por columnas internas que depositan las cargas sobre el fondo del estanque, o vigas. Para pequeños diámetros el cono es soportado íntegramente por el manto del estanque. Otro tipo de techo fijo es el techo tipo paraguas, estos son muy similares a los cónicos. Usualmente estos techos se usan en estanques de hasta 20m de diámetro y no son soportados por columnas internas. Por último están los techos tipo domo, la forma de estos techos es muy similar a los techos tipo paraguas, salvo que el domo se aproxima mucho más a una esfera.

Los estanques con techo flotante son aquellos que tienen una cubierta que flota sobre el líquido que este contiene. La cubierta flotante o techo es un disco que tiene la masa para asegurar que el techo siempre flotará en todas las condiciones de diseño esperadas, incluso si se llegan a desarrollar filtraciones en el techo. Dentro de los techos flotantes hay dos categorías, los con un techo flotante externo y los internos. Si existe un techo fijo en la parte superior del estanque que cubre al techo flotante, este es un techo flotante interno, si no ocurre lo anterior, es un techo flotante externo.

En el caso de industria vitivinícola los estanques más comunes son los de techo cónico auto-soportante, aunque existe una cantidad no despreciable de estanques con techo flotante, pero son estanques con capacidades de hasta los 15.000 [It].



Figura 2.3: Estanque con techo cónico de la industria vitivinícola



Figura 2.4: Estanque con techo tipo paraguas



Figura 2.5: Estanque con techo flotante

2.3.3. Clasificación de estanques por tipo de fondo

Otra forma de clasificar estanques es por la forma del fondo que estos tienen. En el análisis los estanques son usualmente modelados como fijos al suelo, por lo tanto no es un problema conocer exactamente la forma del fondo, pero para el diseñador este aspecto es muy importante debido a que hay distintas condiciones a las que el fondo del estanque podría estar expuesto.

Una forma general para clasificar los estanques son aquellos con un fondo plano y aquellos con un fondo cónico.

Los fondos planos son los más utilizados en la fabricación de estanques. Estos fondos parecen planos pero usualmente tienen una pequeña pendiente. Los fondos planos se pueden clasificar en planos, cono hacia arriba, cono hacia abajo y pendiente simple. Los planos, como su nombre bien lo dice, son aquellos que son completamente planos, los cono hacia arriba son aquellos donde el centro del fondo es un poco más alto que el resto, (generalmente la pendiente esta limitada al 1%). Los cono hacia abajo son aquellos donde el centro del fondo esta un poco mas abajo que el resto y por último están los con pendiente simple, estos fondos son planos pero tienen una pequeña pendiente, esta pendiente permite el vaciado completo del estanque en el punto mas bajo del perímetro.

Los fondos cónicos son aquellos donde el fondo es un cono con una gran pendiente. La fabricación de estos tipos de estanques es muy costosa y por eso esta limitada a estanques pequeños.

En el caso de industria vitivinícola los fondos planos son los más utilizados, indistintamente de la capacidad de los estanques.

Se observaron fondos cónicos, pero en estanques con capacidades de hasta los 25.000 [lt].



Figura 2.6: Estanque con fondo cónico de la industria vitivinícola



Foto 2.7: Estanque con fondo plano de la industria vitivinícola

2.3.4. Clasificación basada en la presión interna

Según la presión interna a la que el estanque se vea afectado durante su uso es posible clasificarlo en distintos niveles de presión. La magnitud de la presión afecta en forma directa en las dimensiones del estanque y en sus componentes.

Esta clasificación es comúnmente usada por códigos, estándares y regulaciones de todo el mundo.

Los estanques se pueden clasificar en estanques atmosféricos, de baja presión y de alta presión. Los estanques atmosféricos son los más utilizados y son aquellos donde la presión interna es muy cercana a la presión atmosférica. Los estanques de baja presión son aquellos donde la presión interna es un poco mayor que la atmosférica y son usados hasta presiones que están cerca de los 100kN/m^2 . Por último los estanques de alta presión son aquellos donde la presión interna supera los 100kN/m^2 .

En el caso de industria vitivinícola los estanques son en su mayoría de baja presión, ya que al producirse el proceso de fermentación el vino genera gases que elevan la presión del estanque por sobre la atmosférica.

2.3.5. Clasificación tentativa basada en el criterio de esbeltez

La esbeltez se define como el cociente entre la altura y el diámetro del estanque. Esta es una propiedad muy importante para el comportamiento sísmico de los estanques, debido a que los estanques con una baja esbeltez son más estables al volcamiento mientras que en los de una esbeltez alta los efectos asociados al momento de volcamiento son determinantes.

Según el parámetro de esbeltez los estanques se pueden clasificar en bajos, esbeltos y altos, de acuerdo a lo planteado por Nuñez (referencia 9).

Los estanque bajos son aquellos cuya esbeltez es menor que 2, los estanques esbeltos son aquellos cuya esbeltez es mayor que dos y menor que 10 y los estanques altos son aquellos cuya esbeltez es mayor que 10.



Figura 2.8: Estanque Alto



Figura 2.9: Estanque esbelto



Figura 2.10: Estanque bajo

2.4. El acero inoxidable

Los aceros son inoxidables cuando resisten la corrosión; ésto se logra disolviendo el suficiente cromo en el hierro para producir una película superficial pasivante de óxido de cromo, que se adhiere a la superficie y se autosella cuando se daña. La resistencia a la corrosión hace del acero inoxidable un material muy adecuado cuando el factor medioambiental es determinante en la elección del material ya que tiene un ciclo de vida mayor y requiere un menor mantenimiento que otros tipos de acero. Por este motivo el acero inoxidable es utilizado en un gran número de aplicaciones en el campo de la alimentación, la medicina, la aviación, la industria de procesos y la arquitectura.

El acero se vuelve inoxidable cuando la concentración de cromo excede el 12 %. Sin embargo, esta concentración no es suficiente para que el acero pueda resistir la corrosión en medios ácidos, tales como aquellos con una fuerte presencia de HCl o H₂SO₄. Concentraciones más altas de cromo y la adición de otros elementos al hierro, tales como molibdeno, níquel y nitrógeno, son necesarios para asegurar un material robusto, resistente a la corrosión.

2.4.1. Tipos de acero inoxidable

Fuera de la corrosión, existen otros requisitos que tienen que ser considerados en diseño de ingeniería. Es por esta razón que existe una variedad enorme de aleaciones disponibles. Estas aleaciones pueden ser agrupadas en cinco categorías principales

- Martensíticos
- Ferríticos
- Austeníticos
- Dúplex
- De endurecimiento por precipitación.

Cada uno de los grupos nombrados anteriormente presenta sus características propias, especialmente en cuanto a capacidad resistente, resistencia a la corrosión y facilidad de fabricación.

Actualmente existen más de 60 tipos de acero inoxidable pero, a pesar del gran número de aleaciones disponibles, sólo un número reducido de las mismas es adecuado para aplicaciones estructurales, especialmente cuando se plantea la necesidad de soldar. Los aceros inoxidables utilizados en tal caso son los austeníticos y los dúplex debido a su resistencia a la corrosión, sus propiedades mecánicas, su soldabilidad y trabajabilidad

Los tipos más usados son los aceros inoxidables austeníticos, denominados según norma americana, AISI 304, 304L, 316, 316L y Dúplex 2205. Los aceros 316 tienen molibdeno y un mayor contenido en cromo que los aceros 304, cosa que los hace más resistentes a la corrosión. La designación L indica un bajo contenido en carbono y por lo tanto una mejor soldabilidad. El acero Dúplex 2205 es el acero con mayor resistencia a la corrosión y con la mayor resistencia mecánica de los nombrados anteriormente.

2.4.2. Propiedades mecánicas del acero inoxidable

Las propiedades mecánicas del acero inoxidable son, en general, distintas a las del acero al carbono, si bien los parámetros que definen tales propiedades son similares para ambos tipos de acero. Por otra parte, las propiedades mecánicas de este material dependen del tipo de aleación y son función del proceso de fabricación y de los tratamientos superficiales a los que ha sido sometido.

La principal diferencia entre el acero inoxidable y el acero al carbono es la forma del diagrama tensión-deformación. Mientras que el acero al carbono tiene un comportamiento elástico lineal hasta el límite elástico y luego presenta, en la mayoría de los casos, un cambio de pendiente, la curva de acero inoxidable es claramente no lineal, sin límite elástico diferenciado (figura 2.11). Como consecuencia de este comportamiento no lineal del material, el acero inoxidable pierde rigidez a partir de bajos niveles de tensión. El límite elástico en acero inoxidable se define convencionalmente como la tensión correspondiente a un determinado valor de la deformación plástica remanente, generalmente del 0.2%.

Por otra parte, el acero inoxidable muestra un comportamiento anisótropo y asimétrico en tracción y compresión, dando lugar a la caracterización del material acero inoxidable mediante cuatro curvas de caracterización (figura 2.11)

El tipo de acabado superficial con operaciones de laminado en frío o en caliente y operaciones de reblandecimiento afecta al comportamiento tenso-deformacional del material. Como la dureza aumenta con el laminado en frío, se produce un incremento en la tensión última, con el correspondiente descenso de la ductilidad y aumento de la anisotropía.

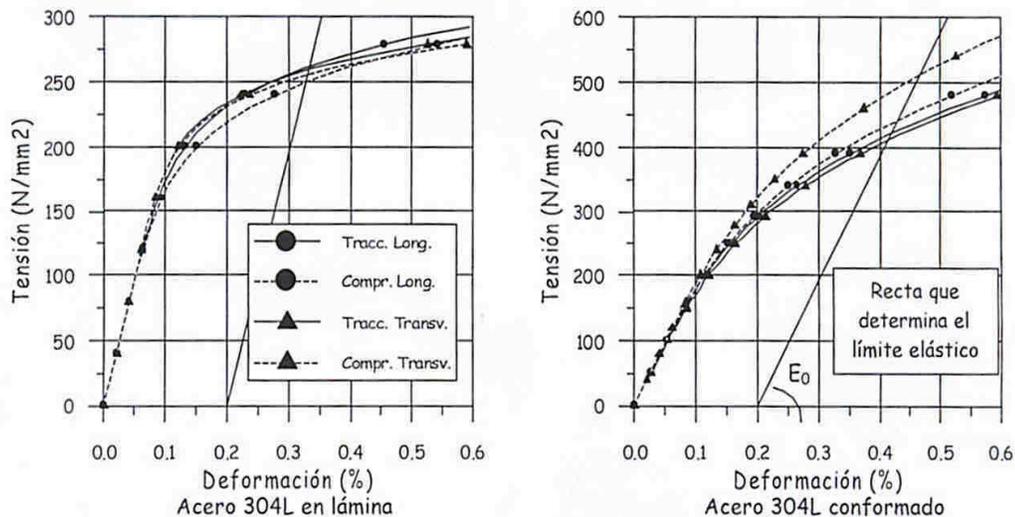


Figura 2.11: Curvas tensión deformación acero A304L

Las propiedades de asimetría, anisotropía y especialmente la no linealidad de las curvas tensión-deformación del acero inoxidable hacen que no sean directamente aplicables muchos de los procedimientos usuales clásicos de la resistencia de materiales y el cálculo de estructuras. La determinación de flechas y cargas críticas de pandeo que se han obtenido sobre la base de un módulo de elasticidad constante son un buen ejemplo. Las normativas actuales sobre aplicación estructural del acero inoxidable siguen las pautas de las de acero al carbono con ligeras modificaciones, resultando conservadoras, dada la falta de base experimental.

Las recomendaciones de diseño asumen en general que se pueden despreciar los efectos de la asimetría de comportamiento en tracción y compresión y de la anisotropía del material, siendo la no linealidad del comportamiento tenso-deformacional la característica principal que diferencia al acero inoxidable del acero al carbono.

2.4.3 Acero inoxidable utilizado en la industria del vino

Los aceros inoxidables preferentemente utilizados en los estanques de la industria vitivinícola son el 304L y el 316L.

El 304L se utiliza para fabricar el manto, mientras que el 316L para el techo.

El 304L es un acero inoxidable derivado del 304 con bajo contenido de carbono, lo que le permite tener mayor resistencia a la corrosión inter-granular.

El 304 es el acero inoxidable de mayor aplicación en el mercado. Contienen cromo y níquel, resiste muy bien a la acción de numerosos agentes corrosivos y por tener una gran ductilidad puede ser trabajado en frío por muy diversos procedimientos y obtenerse con él las formas y perfiles más variados. Es muy utilizado en la industria alimenticia, y tiene también aplicaciones en la industria química, textil, etc.

El 316L es un acero inoxidable derivado del 316 con bajo contenido de carbono, lo que permite tener una mayor resistencia a la corrosión inter-granular que el 316.

El 316 nace al agregar un 2% de molibdeno al acero tipo 304, esto mejora su resistencia a la corrosión, sobre todo en condiciones desfavorables, como en el caso de altas presiones o elevadas temperaturas de trabajo. Este acero se emplea mucho para elementos de maquinaria e instalaciones dedicadas a la industria de la pulpa y de papel y da muy buenos resultados en contacto de altas concentraciones de ácido acético, fosfórico, tartárico, y otros ácidos similares.

Capítulo 3

La realidad de la industria

3.1. Introducción

En el presente capítulo se muestra la información referente a los estanques de almacenamiento de vino, de ahora en adelante denominados de forma indistinta como cubas o estanques, obtenida mediante una encuesta realizada a las viñas.

La encuesta requería información con respecto al diseño estructural de las cubas, entre la que podemos mencionar: la capacidad, la altura, el diámetro, la cantidad de virolas, el espesor de éstas, tipos de apoyo, etc.

Esta encuesta se llevo a cabo utilizando la siguiente metodología, primero se contactaba a la viña, vía teléfono o visita in situ, previa aprobación de la viña se procedía a hacer una visita a terreno donde se obtenía la información necesaria para la realización de este trabajo.

La encuesta tuvo que realizarse directamente en terreno debido a varios motivos, entre los que podemos nombrar:

- La confidencialidad de la información, ya que es información clasificada para cada viña.
- Muchos detalles técnicos del diseño de los estanques no se podían enviar por e-mail tales como los diámetros, alturas de las virolas, sistemas de anclajes, separación de anclajes, etc. Los cuales son fundamentales para el desarrollo de este trabajo. Cabe destacar que esta información se midió en terreno o se obtuvo mediante una inspección visual.

La industria del vino en Chile la forman más de 400 viñas, de las cuáles se contactaron 40.

El total de las viñas contactadas aceptó someterse al estudio, sin embargo debido a problemas de tiempo y distancias se procedió a encuestar 17 viñas, todas pertenecientes a la sexta región, las cuales tienen una capacidad de producción de 87 millones de litros de vino, lo que equivale a alrededor del 20% de la capacidad nacional de la industria.

Las visitas mostraron la realidad de la industria, sus puntos fuertes y sus falencias, y como las cubas de acero inoxidable se han convertido en un elemento fundamental para el proceso de fabricación del vino en nuestro país.

La industria cuenta con un universo muy grande de estanques. Cada viña cuenta en promedio con 10 tipos distintos de estanques y con al menos 4 fabricantes distintos; por lo tanto, se puede observar que la cantidad de variables en el diseño presente en la industria es muy grande.

Ante esta cantidad de datos y variables se procedió a clasificar las cubas de lo general a lo particular, todo esto con el fin de mostrar con mayor claridad el panorama real de los estanques presentes en la industria.

Primero se realiza una clasificación general que define los distintos tipos de estanques utilizados en la industria. Luego se enseñan los datos estadísticos recopilados, y por último se procede a mostrar las falencias presentes y los posibles problemas generados por un sismo ante la presencia de estas falencias.

Es importante destacar que para resguardar la información se procedió a asignar un código a cada viña y a cada estanque para su identificación.

3.2. Clasificación general

Como se señaló anteriormente, se visitaron 17 viñas con una capacidad de procesamiento o almacenamiento de vino (CPA de ahora en adelante) de 80 millones de litros, de los cuáles 67 millones equivalen a un total de 1.414 estanques de acero inoxidable.

A modo de reseña y antes de comenzar con las clasificaciones de estos elementos hablaremos brevemente de las empresas que los proveen y del proceso de fabricación.

Los 1.414 estanques fueron diseñados, montados y fabricados por 14 empresas (en el anexo D se presenta la participación de estas en la CPA de vino), de las cuáles un alto porcentaje son pequeñas maestranzas que se han ido desarrollando en torno al negocio del vino y que han diseñado fabricado y montado las cubas en base a copias de otros estanques sin contar con el apoyo de ingeniería estructural.

La mayoría de las cubas son fabricadas in situ, siendo muy pocos los casos donde la maestranza envía el estanque por transporte terrestre al lugar de su disposición final.

Al tratarse de estanques livianos, su construcción in situ se realiza de la siguiente forma: primero se construye el techo y luego se van anexando las virolas superiores, hasta completar la altura requerida por el diseño. Posteriormente se anexa el fondo y se posiciona el estanque en su lugar de utilización mediante una grúa, el lugar generalmente es una base o una losa de hormigón, dependiendo de si este cuenta con patas o no. Finalmente se procede a pulir el estanque y las soldaduras, lo que es un requisito sanitario.

Dependiendo de la maestranza que diseñó el estanque se utilizan anclajes, topes o simplemente se deja apoyado sobre la base o losa de hormigón.

La clasificación general de los estanques se hizo de acuerdo al tipo de apoyo que éstos cuentan.

3.2.1. Clasificación general por tipo de apoyo

Los estanques fueron clasificados en 2 grandes grupos: Estanques sobre patas y estanques apoyados directamente al suelo.

Los estanques sobre patas se pueden definir como aquellos que se apoyan en el suelo mediante patas que son parte de la estructura del estanque.

Este estudio no profundizará en los fenómenos asociados a este tipo de estanques, por lo que no se procedió a identificar los distintos tipos existentes.

Los estanques apoyados directamente al suelo se pueden definir como aquellos estanques que se apoyan en el suelo directamente con su fondo y manto.

Las siguientes fotos, 3.1 y 3.2 muestran distintos estanques sobre patas:



Figura 3.1: Cuba A23



Figura 3.2: Cuba A139

Las siguientes figuras, 3.3 y 3.4, muestran distintos estanques apoyados directamente al suelo:



Figura 3.3: Cuba A03, apoyado



Figura 3.4: Cuba A73, apoyado

3.3. Clasificación Particular de estanques apoyados directamente al suelo.

Los estanques apoyados directamente al suelo fueron a su vez clasificados en 2 grandes grupos:

- Estanques que cuentan con algún tipo de anclaje
- Estanques sólo apoyados en el suelo

Los estanques que cuentan con algún tipo de anclaje son aquellos que utilizan un sistema que permite que los esfuerzos de flexión del manto, generados por un sismo, sean traspasados a la fundación, evitando el volcamiento del estanque. Por otro lado, los sólo apoyados en el suelo son aquellos que no cuentan con ningún sistema que transmita estos esfuerzos de flexión del manto a la fundación.

Al existir en la industria distintos tipos de sistemas de anclaje y distintas formas de apoyar el estanque sin anclar, estos dos grandes grupos se sub-clasificaron en:

3.3.1. Clasificación de estanques apoyados directamente al suelo que cuentan con algún tipo de anclaje

Estos estanques se clasificaron en 2 tipos:

- Estanques anclados mediante un sistema de silla de anclaje
- Estanques anclados mediante un sistema de falda de anclaje

El sistema de silla de anclaje consta de varias placas de acero, generalmente de 30 [cm] de ancho por 25 [cm] de alto y 5 [mm] de espesor, que se sueldan a la virola inferior del estanque a una distancia similar entre ellas. Estas placas se unen al suelo mediante pernos.

La falda de anclaje es un sistema que consta de una virola que generalmente mide 20 cm de alto, cuyo espesor es igual al de la virola inferior del estanque. Esta virola se une en el punto donde la virola inferior se une al fondo del estanque y rodea a la fundación de hormigón en donde se apoya el fondo del estanque. La falda o virola añadida se procede a unir a la fundación mediante unas planchas de acero, generalmente de 10 cm de ancho por 30 cm de alto y 5 mm de espesor, que se sueldan a la falda y se unen, mediante pernos, a la fundación.

La estadística realizada a estos tipos de anclajes se presenta en detalle en el Anexo B de este trabajo. En ese anexo se muestran en detalle las medidas de todos los elementos que componen el anclaje y el tamaño del estanque al que están asociados.

A continuación las figuras 3.5, 3.6, 3.7, 3.8, 3.9 y 3.10 que muestran ejemplos de los anclajes anteriormente nombrados.



Figura 3.5: Cuba A131, anclado mediante silla de anclaje



figura 3.6: Cuba A62, anclado mediante silla de anclaje



Figura 3.7: Cuba A21, anclado mediante falda de anclaje



Figura 3.8: Cuba A91, anclado mediante falda de anclaje



Figura 3.9: Cuba A02, anclado mediante silla de anclaje



Figura 3.10: Cuba A75, falda de anclaje

3.3.2. Clasificación de estanques sólo apoyados directamente al suelo

Estos estanques se clasificaron en 4 tipos:

- Estanques simplemente apoyados
- Estanques apoyados y con un sistema de topes
- Estanques apoyados y con un sistema de falda
- Estanques apoyados y con un sistema de falda sobre una plataforma

Los estanques simplemente apoyados son aquellos que, como su nombre bien lo indica, están sólo apoyados sobre su fondo y no cuentan con ningún elemento adicional que evite al menos su desplazamiento lateral en caso de un sismo.

Los estanques apoyados y con un sistema de topes son aquellos que cuentan con topes laterales, los cuales son una especie de silla de anclaje pero que no están unidos a la virola inferior del estanque. Estos topes solo impiden los movimientos laterales del estanque generados por un sismo.

Los estanques apoyados con un sistema de falda son aquellos que cuentan con una falda, que es exactamente igual a la descrita en los estanques anclados, pero ésta no se une a la fundación; por lo tanto, al igual que el sistema de topes, la falda sólo impide los desplazamientos laterales generados por un sismo.

El caso de los estanques apoyados y con un sistema de falda sobre una plataforma es igual al nombrado anteriormente, con la diferencia que en vez de apoyarse sobre una fundación de hormigón, el estanque se apoya sobre una plataforma de acero compuesta de perfiles doble T y perfiles cajón. Esta clasificación se agregó, ya que la cantidad de estanques con este tipo de apoyo es significativa.

La estadística realizada a estos tipos de apoyos se presenta en detalle en el Anexo A de este trabajo. En ese anexo se muestran en detalle las medidas de todos los elementos que componen los topes, las faldas y el tamaño de estanque al que están asociados.

A continuación se presentan las figuras 3.11, 3.12, 3.13 y 3.14 que muestran los apoyos anteriormente nombrados.



Figura 3.11: Cuba A36, simplemente apoyado



Figura 3.12: Cuba A145, estanque apoyado con sistema de topes



Figura 3.13: Cuba A85, estanque apoyado con sistema de falda



Figura 3.14: Cuba A133, estanque apoyado con sistema de falda sobre plataforma de patas

3.4. Estadística de la realidad de la industria

A continuación se procede a mostrar la estadística conformada a partir de los datos obtenidos en las distintas visitas a terreno. Ésta hace un especial hincapié en los estanques apoyados directamente al suelo.

La forma de mostrar los datos es la misma que se usó para poder clasificarlos, partiendo de lo general a lo particular.

El detalle de toda la información se presentan en el Anexo A de esta memoria

3.4.1. Estadística general

Se muestra a continuación una estadística general de la CPA, primero por tipo de apoyo, luego por el volumen de cada estanque y finalmente se hace una comparación de los volúmenes de los estanques existentes, apoyados sobre patas y los apoyados directamente al suelo.

3.4.1.1. Estadística general por tipo de apoyo

El 18% de la CPA en inoxidable está en estanques sobre patas, lo que equivale a 509 estanques, y el 82% en estanques apoyados, lo que equivale a 905 estanques.

Cabe destacar que aunque la cantidad de estanques sobre patas no es despreciable en comparación con los estanques apoyados directamente al suelo, la CPA si lo es, y este es uno de los motivos por los cuales los estanques apoyados directamente al suelo son cruciales en la industria, en desmedro de los apoyados sobre patas.

En la siguiente figura se muestra lo anteriormente señalado.

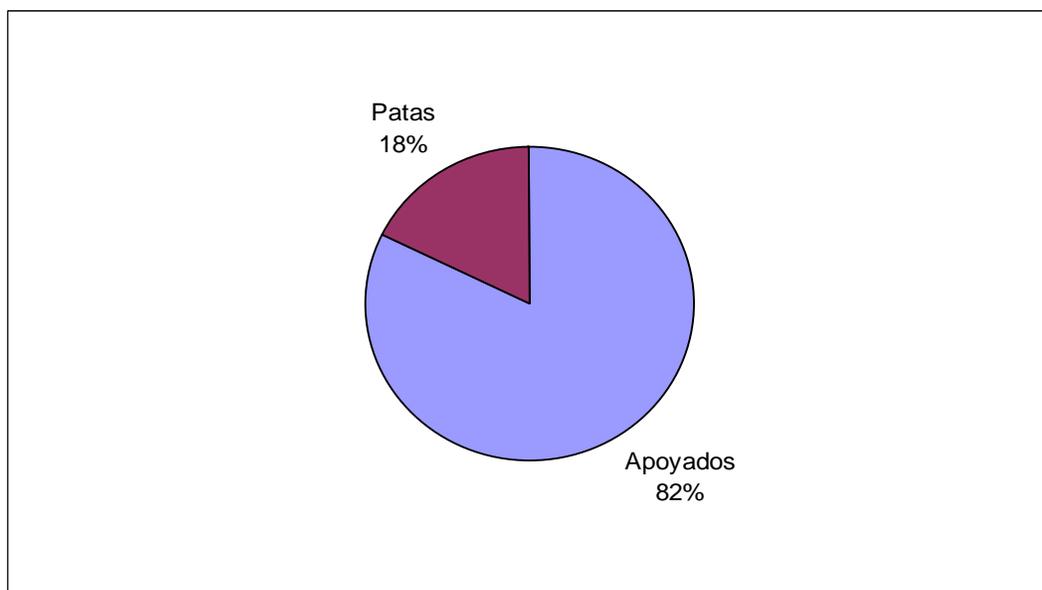


Figura 3.15: Distribución de la CPA de vino en la industria por tipo de apoyo de los estanques

3.4.1.2. Estadística general por volumen de cada estanque

En las distintas visitas se observó que los volúmenes de los estanques, sin importar el tipo de apoyo, variaban entre los 1.000 a los 400.000 [It], concentrando las mayores cantidades los estanques con volúmenes que oscilan entre los 20.000 a 30.000 [It] y 50.000 a 60.000 [It].

Si discriminamos el tipo de apoyo se puede observar, en el gráfico 3.3, que los estanques sobre patas sólo llegan hasta volúmenes de 70.000 [It] y la mayor cantidad de éstos se presenta en los pequeños volúmenes, hasta los 30000 [It]. Esto se debe a un simple motivo: generalmente en los estanques sobre patas se procesa vino blanco; para la producción de este vino se necesitan estanques con esbelteces sobre 3, por motivos técnicos, y dado que el consumo es mucho más bajo que el vino tinto, no se necesitan grandes volúmenes.

Entre los estanques apoyados directamente al suelo hay de 400.000 [It], y la mayor cantidad de éstos se concentra entre los 40.000 a 60.000[It], el cual es el tamaño estándar de la mayoría de las viñas de la VI región. El motivo de esto es porque en estos estanques se produce y almacena casi exclusivamente vino tinto, que al contrario del vino blanco, para una óptima producción se necesitan estanques con esbelteces entre 1 y 2. Además, el consumo es mucho más elevado que el vino blanco, por ende la necesidad de contar con estanques de volúmenes más grandes.

En las figuras 3.16 y 3.17 se muestra la cantidad existente de estanques por capacidad y una comparación entre la cantidad de estanques por capacidad, separados por tipo de apoyo.

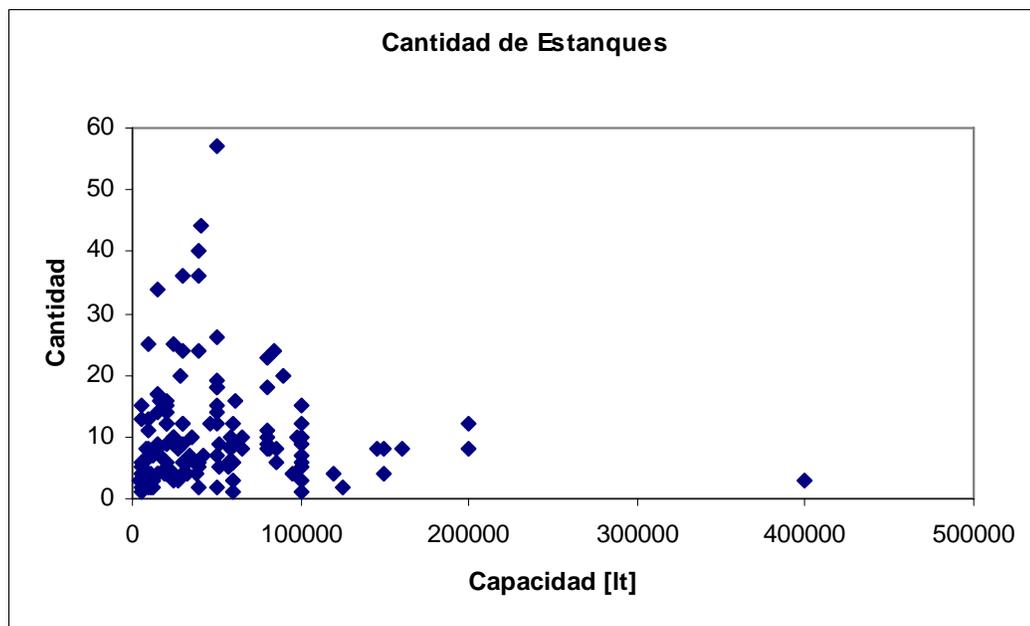


Gráfico 3.16: Cantidad de estanques por capacidad de almacenamiento

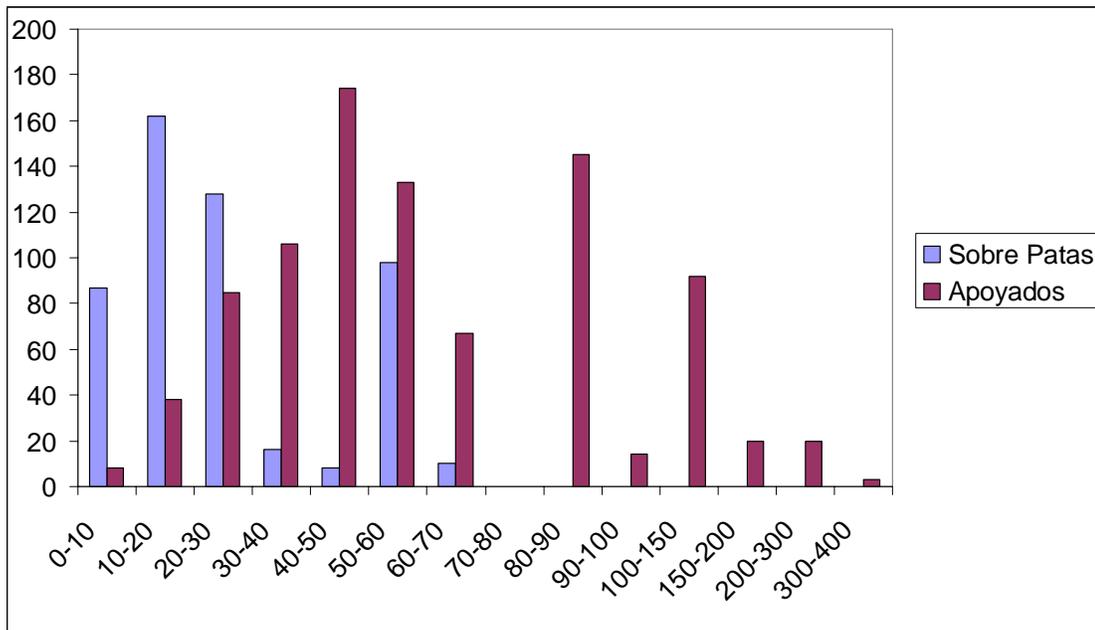


Figura 3.17: Comparación de la cantidad de estanques por CPA de vino existentes según tipo de apoyo

Cabe destacar que este estudio no profundiza en los estanques sobre patas, por lo tanto no se realizó un trabajo estadístico con estos estanques.

3.4.2. Estadística particular de estanques apoyados directamente al suelo

Los estanques apoyados representan 82% de la CPA de vino de la industria.

Como se señaló anteriormente los estanques apoyados directamente al suelo se clasificaron en 2 grandes grupos:

- Estanques que cuentan con algún tipo de anclaje
- Estanques sólo apoyados en el suelo

Se muestra a continuación una estadística particular de la CPA de vino de la industria de los estanques apoyados directamente en el suelo, primero por tipo de apoyo, luego por su esbeltez, el volumen de cada estanque, y finalmente se hace una comparación de los volúmenes de los estanques existentes, los que cuentan con algún tipo de anclaje y los sólo apoyados en el suelo.

3.4.2.1. Estadística particular de estanques apoyados directamente al suelo por tipo de apoyo

De CPA total en estanques apoyados directamente en el suelo un 41% corresponde a estanques a que cuentan con algún tipo de anclaje, lo que equivale a 402 estanques y el 59% restante corresponde a estanques sólo apoyados en el suelo, lo que corresponde a 503 estanques.

Bajo la clasificación anterior se puede observar que la distribución de la CPA de vino de la industria se concentra en los estanques sólo apoyados en el suelo, tanto por la cantidad como por la capacidad, la razón de esto son netamente motivos económicos y de desconocimiento de los criterios de diseño existentes. Anclar el estanque implica un costo adicional de aproximadamente un 3% a un 8% del valor del estanque, costo que las viñas no están dispuestas a pagar si no se justifica y que los contratistas no están dispuestos a asumir, independiente de si el estanque, por criterio de diseño, debe llevarlo.

En la figura 3.18 se muestra la idea anteriormente señalada

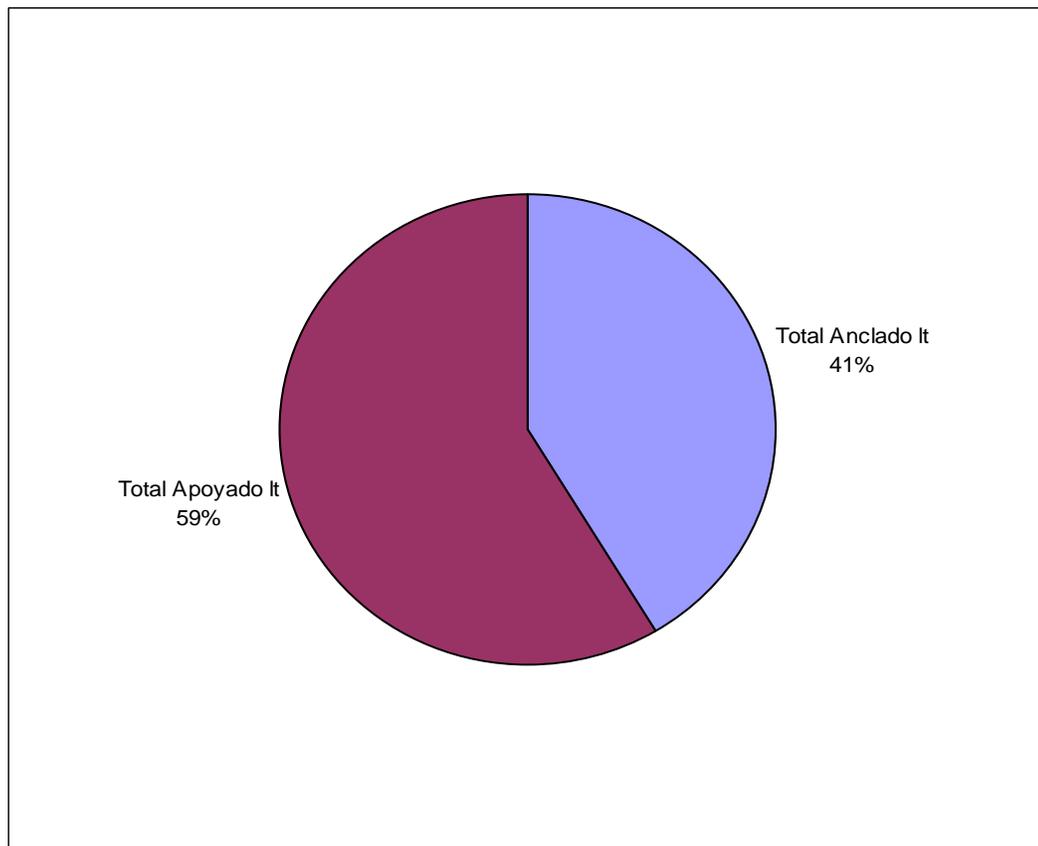


Figura 3.18: Distribución de la CPA de vino en la industria por tipo de estanques apoyados en el suelo

3.4.2.2. Estadística particular de estanques apoyados directamente en el suelo por esbeltez

La esbeltez de los estanques se mueve entre un rango de 0.8 a 1.8.

En la figura 3.19 se muestra la idea anteriormente señalada

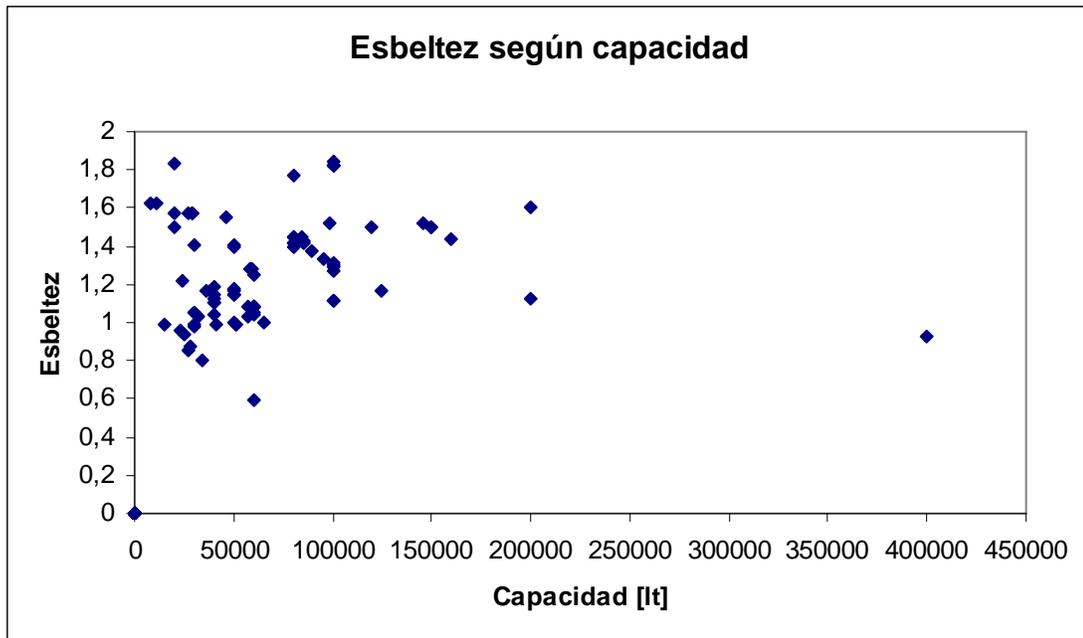


Figura 3.19: Esbeltez de los estanques según su CPA de vino

3.4.2.3. Estadística particular de estanques apoyados directamente en el suelo por volumen de cada estanque

En las distintas visitas a las viñas se observó que la mayor cantidad de estanques anclados se concentra, como se muestra en el gráfico 3.6, entre los 40.000 a 50.000 [It], y que estos llegan a tener volúmenes de 400.000 [It].

Los estanques sólo apoyados directamente al suelo llegan a tener volúmenes del orden de los 200.000 [It], y la mayor cantidad de éstos se concentra entre los 40.000 a 60.000 [It], y entre los 80.000 a 90.000 [It].

Es preocupante que exista una cantidad considerable de estanques con un volumen de sobre los 80.000 [It] no anclados, con esbelteces sobre 1 y con espesores inferiores a los 4 [mm].

En las figuras 3.20 y 3.21 se muestra la cantidad existente de estanques por capacidad y una comparación entre la cantidad de estanques por capacidad, separados por tipo de apoyo.

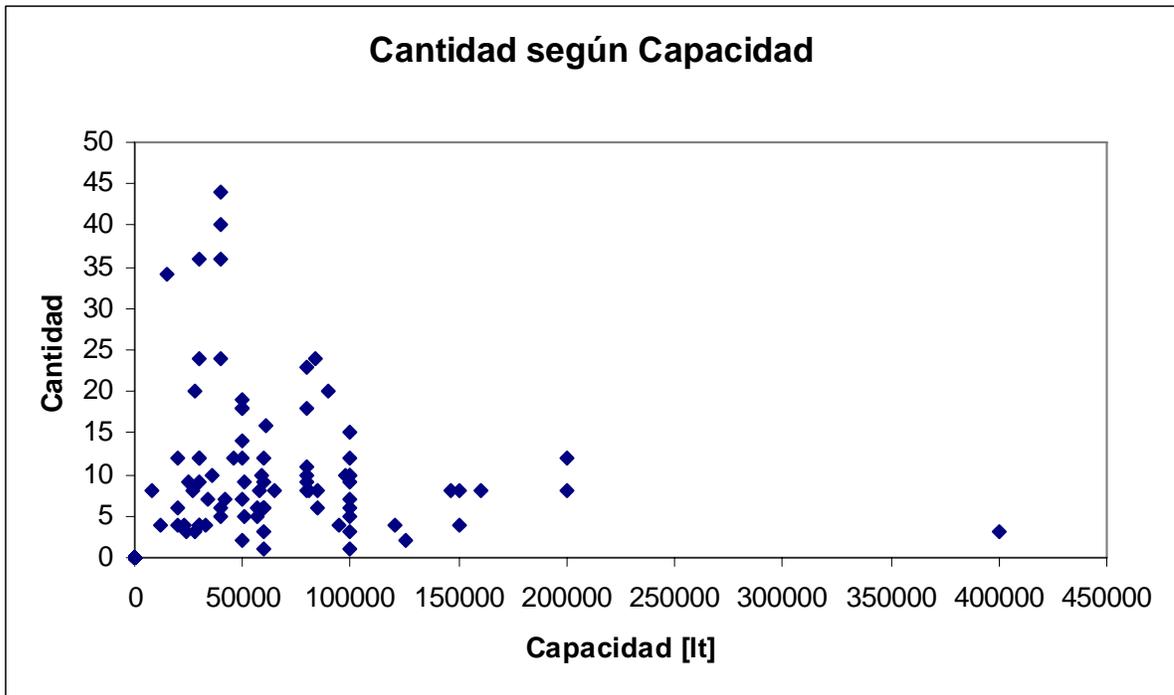


Figura 3.20: Cantidad de estanques por capacidad de almacenamiento

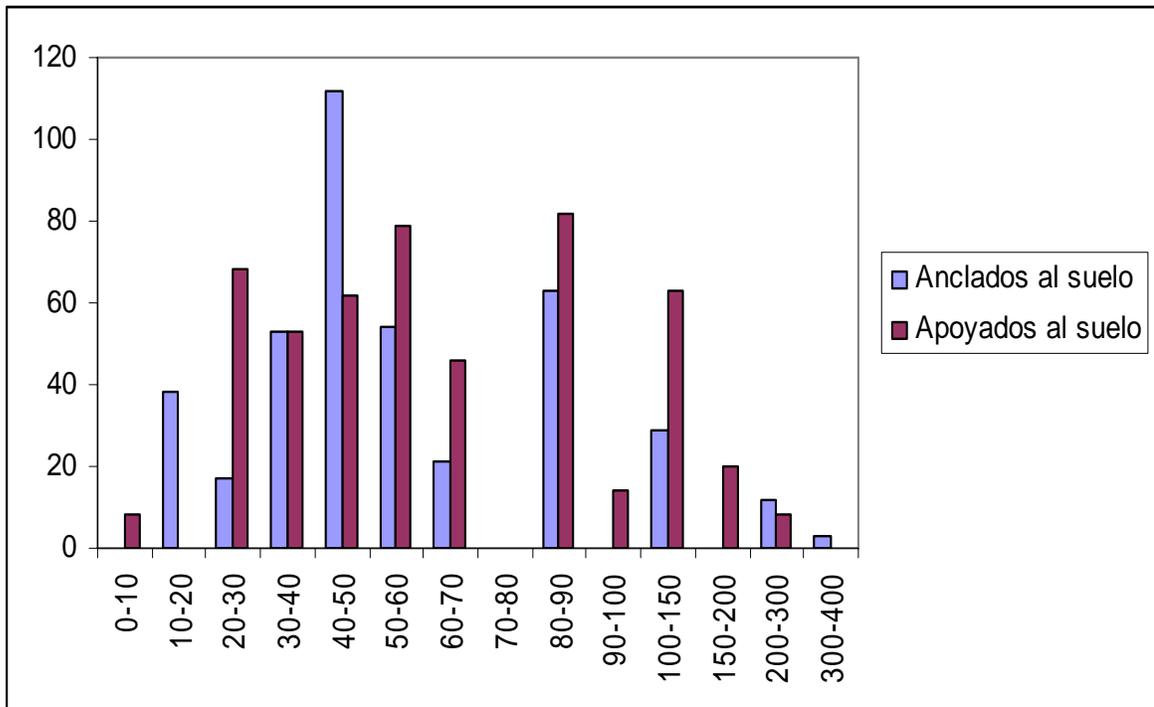


Figura 3.21: Comparación de la cantidad de estanques por CPA de vino existentes según forma de apoyo en el suelo

3.4.3. Estadística de estanques apoyados directamente en el suelo que cuentan con algún tipo de anclaje

Los estanques apoyados representan 34% de la CPA de vino de la industria.

Como se señaló anteriormente los estanques apoyados directamente en el suelo que cuentan con algún tipo de anclaje se clasificaron en 2 grupos:

- Estanques anclados mediante un sistema de silla de anclaje
- Estanques anclados mediante un sistema de falda de anclaje

Se muestra a continuación una estadística particular de la CPA de vino de la industria de los estanques apoyados directamente en el suelo que cuentan con algún tipo de anclaje, primero por tipo de anclaje y por su volumen, luego por su diámetro, altura y esbeltez, y finalmente se hace una comparación de los volúmenes de los estanques existentes entre los dos tipo de anclajes.

3.4.3.1. Estadística de estanques apoyados directamente en el suelo que cuentan con algún tipo de anclaje por tipo de apoyo y volumen

De CPA total en estanques apoyados directamente en el suelo que cuentan con algún tipo de anclaje un 45% corresponde a estanques a que cuentan con un sistema de falda de anclaje, lo que equivale a 149 estanques y el 55% restante corresponde a estanques anclados mediante un sistema de sillas de anclaje, lo que corresponde a 253 estanques.

Bajo la clasificación anterior se puede observar que la distribución de la CPA de vino de la industria se concentra, por capacidad, en los estanques anclados mediante un sistema de silla de anclajes, mientras que en el caso de la cantidad, estos últimos superan en mas de 50% la cantidad de estanques anclados mediante un sistema de falda de anclaje. La razón de que las CPA de vino sean parecidas, pero que las cantidades sean muy distintas es que los estanques con mayores volúmenes, sobre los 100.000 litros, utilizan el sistema de falda de anclaje, mientras que los estanques con volúmenes más pequeños, hasta los 100.000 litros, priorizan el uso de la silla de anclaje

En las figuras 3.22 y 3.23 se muestran de una forma más clara las ideas anteriormente señaladas

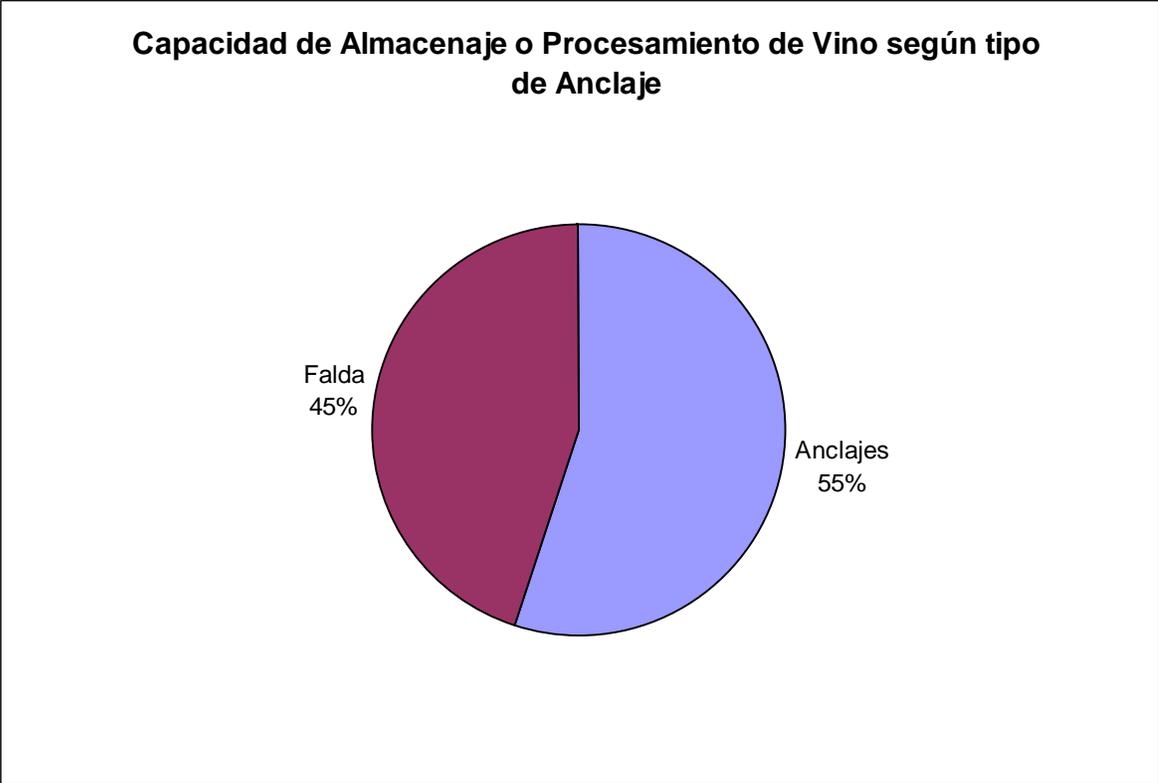


Figura 3.22: Distribución de la CPA de vino en la industria por tipo de anclajes

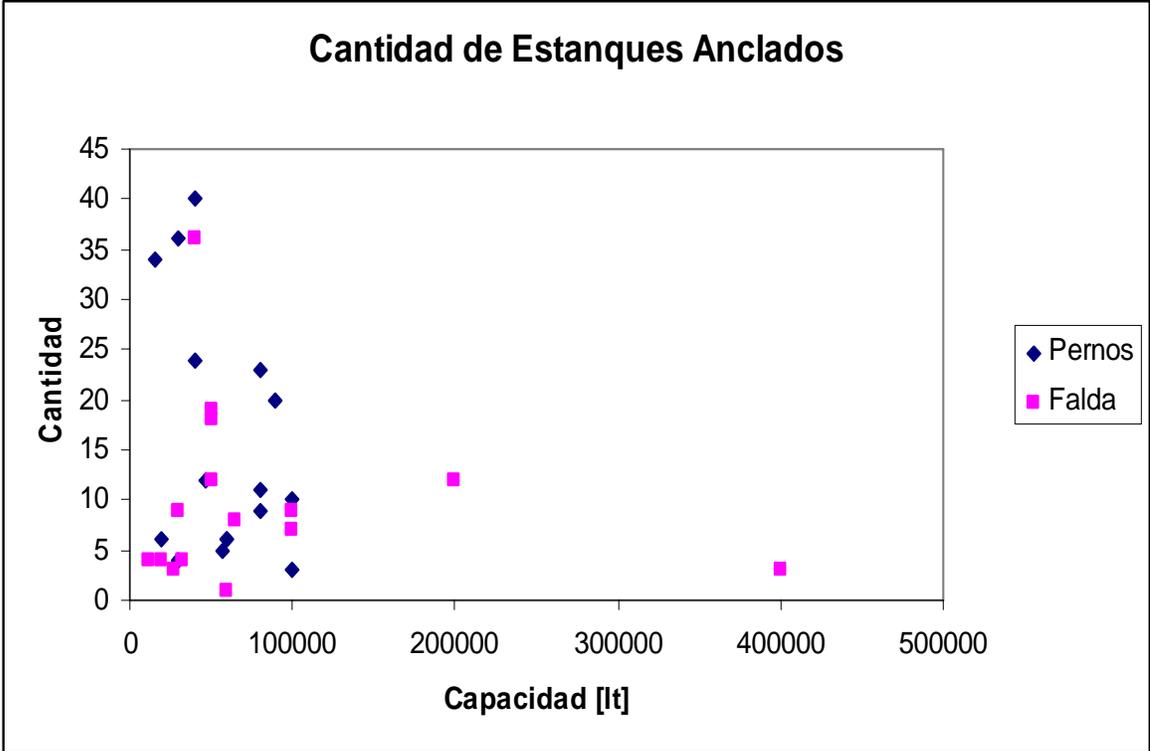


Figura 3.23: Cantidad de estanques por capacidad de almacenamiento, discretizando entre tipo de anclaje

3.4.3.2. Estadística de estanques apoyados directamente en el suelo que cuentan con algún tipo de anclaje por altura, diámetro y esbeltez

En los estanques anclados mediante un sistema de silla, al aumentar la capacidad del estanque la altura crecía más que el diámetro, esto se debe a un problema netamente de espacio. Casi la totalidad de los estanques anclados mediante un sistema de silla estaban en bodegas, por lo tanto tenían una restricción de espacio, no en altura, sino en el ancho. La altura estándar de las bodegas oscilaba entre los 7 a 12 [m].

En el caso de los estanques anclados mediante un sistema de falda, los estanques de mayor capacidad se encontraban a la intemperie, por ende no existían restricciones de espacio, por lo tanto la altura y el diámetro tiendan a igualarse, obedece mas a criterios de diseño, tanto para la obtención de un vino de mejor calidad, como para un mejor aprovechamiento del material. Cabe destacar que en estos estanques se produce y almacena vino tinto, por lo tanto es importante que la esbeltez asociada a estos estanques no supere el valor 2.

En relación al factor de esbeltez asociado, sin importar el tipo de anclaje, se puede observar que a medida que aumenta el volumen del estanque esta tiende a disminuir en los estanques con volúmenes sobre los 80.000 litros. Para los estanques con volúmenes inferiores el factor de esbeltez asociado oscila entre 0.8 y 1.

En las figuras 3.24, 3.25 y 3.26 se muestran de una forma más clara las ideas anteriormente señaladas

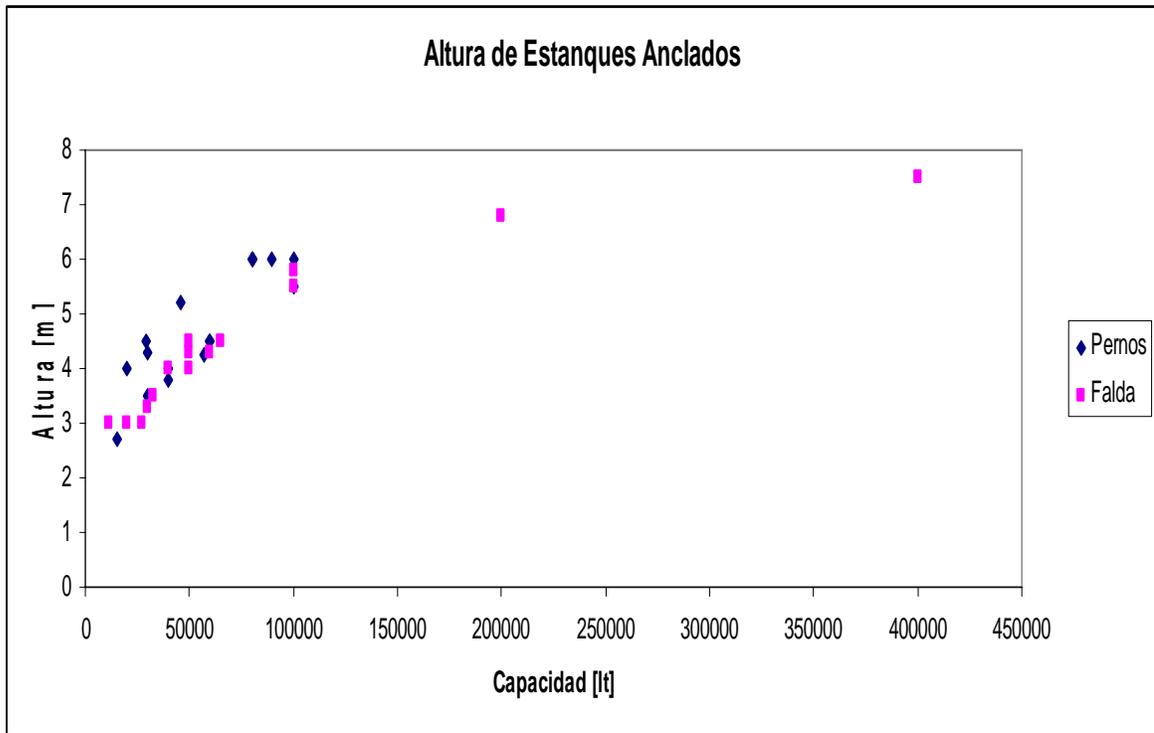


Figura 3.24: Altura de estanques por capacidad de almacenamiento, discretizando entre tipo de anclaje

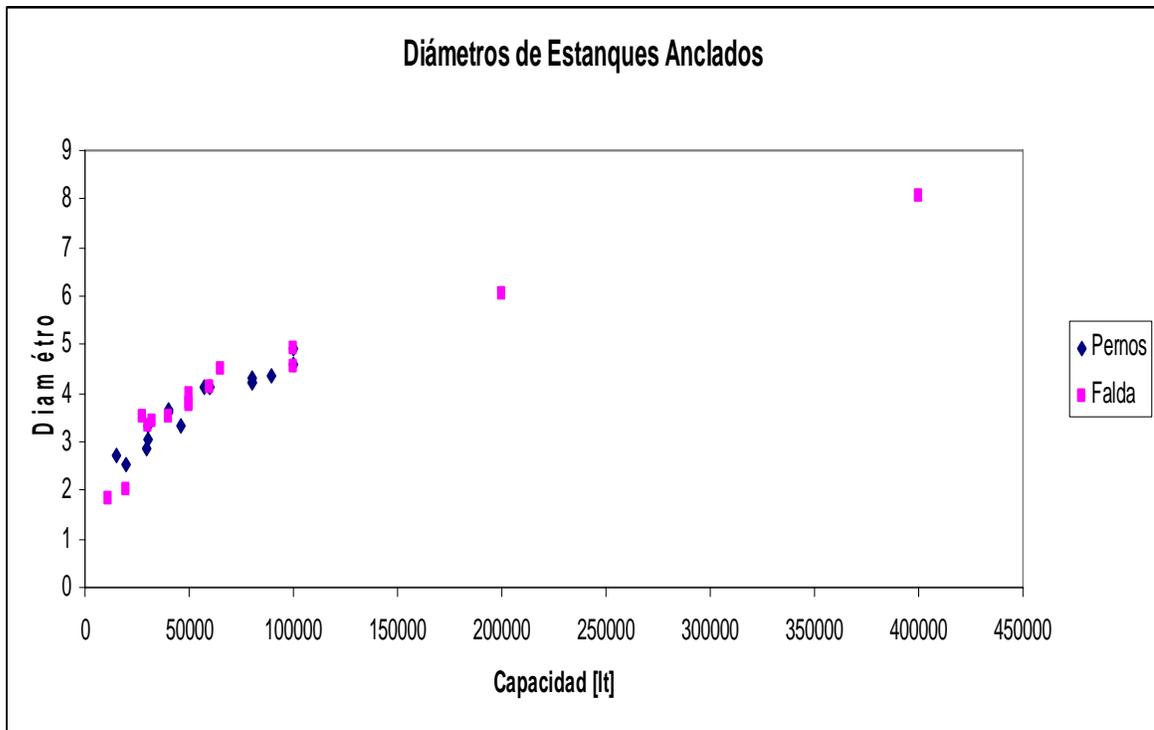


Figura 3.25: Diámetros de estanques por capacidad de almacenamiento, discretizando entre tipo de anclaje

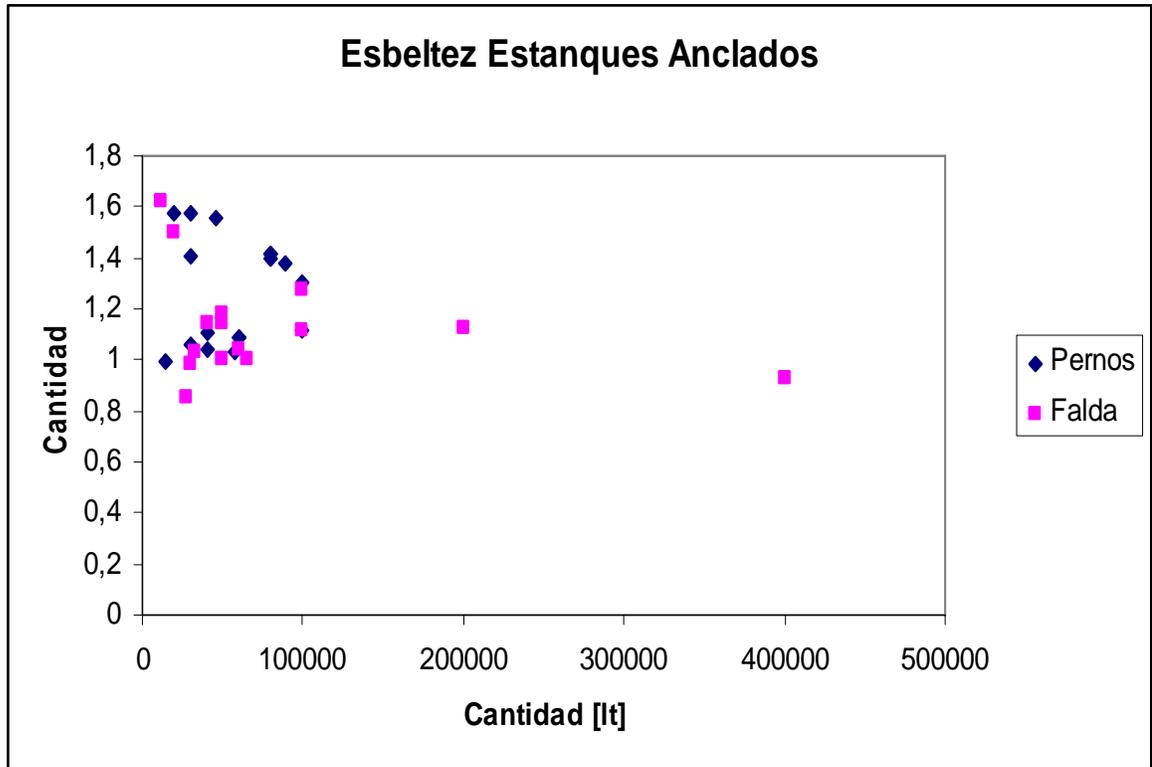


Figura 3.26: "Esbeltez de los estanques según su CPA de vino, discretizando entre tipo de anclaje"

3.4.3.3. Estadística de estanques apoyados directamente en el suelo que cuentan con algún tipo de anclaje, comparación de cantidades según tipo de anclaje

En las distintas visitas a las viñas se observó que la mayor cantidad de estanques con un sistema de silla de anclaje se concentra, como se muestra en la figura 3.27, entre los 40.000 a 50.000 [It], y, existe una cantidad no despreciable de estos con un volumen entre los 80.000 a 90.000 [It]. Estos llegan a tener volúmenes de 150.000 [It].

Los estanques anclados mediante un sistema de falda llegan a tener volúmenes del orden de los 400.000 [It], y la mayor cantidad de éstos se concentra entre los 60.000 a 70.000 [It].

En la figura 3.27 se enseña una comparación, entre los tipos de anclajes de la cantidad de estanques existente para ciertos rangos de volumen

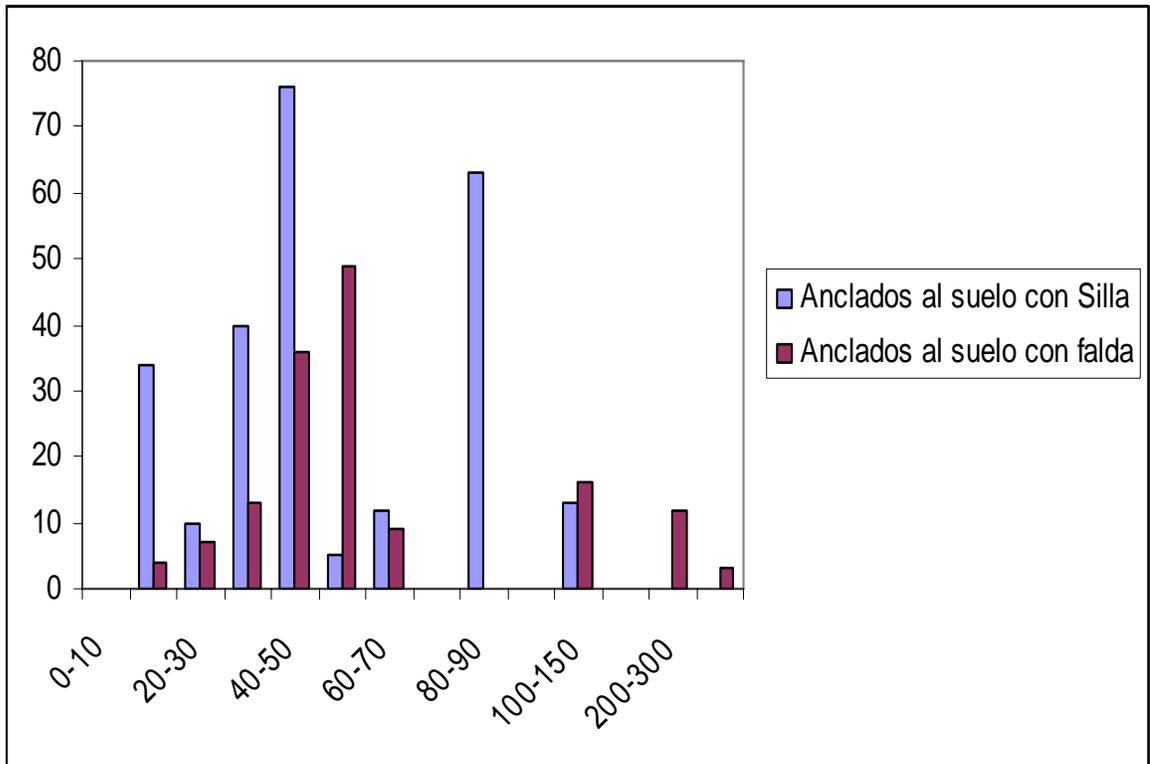


Figura 3.27: Comparación de la cantidad de estanques por CPA de vino existentes según forma de anclarlo

3.4.4. Estadística de estanques sólo apoyados directamente en el suelo

Los estanques apoyados representan 48% de la CPA de vino de la industria.

Como se señaló anteriormente los estanques sólo apoyados directamente en el suelo que cuentan con algún tipo de anclaje se clasificaron en 2 grupos:

- Estanques simplemente apoyados
- Estanques apoyados y con un sistema de topes
- Estanques apoyados y con un sistema de falda
- Estanques apoyados y con un sistema de falda sobre una plataforma

Se muestra a continuación una estadística particular de la CPA de vino de la industria de los estanques sólo apoyados directamente en el suelo, primero por forma de apoyo y por su volumen, luego por su diámetro, altura y esbeltez, y finalmente se hace una comparación de los volúmenes de los estanques existentes entre los dos tipo de anclajes.

3.4.4.1. Estadística de estanques sólo apoyados directamente en el suelo por tipo de apoyo

De CPA total en estanques sólo apoyados directamente en el suelo un 8% corresponde a estanques con un sistema de falda sobre una plataforma, lo que equivale a 44 estanques, un 11% corresponde a estanques simplemente apoyados, lo que equivale a un número de 70 estanques, un 20% corresponde a estanques apoyados con un sistema de falda, lo que equivale a 101 estanques, y finalmente el 61% restante corresponde a estanques con un sistema de topes, lo que equivale a 253 estanques.

Bajo la clasificación anterior se puede observar que la distribución de la CPA de vino de la industria se concentra, por capacidad y cantidad, en los estanques apoyados directamente al suelo y que cuentan con un sistema de topes. La razón de esto es que el sistema de topes es fácil de montar.

En la figura 3.28 se muestran los porcentajes nombrados anteriormente

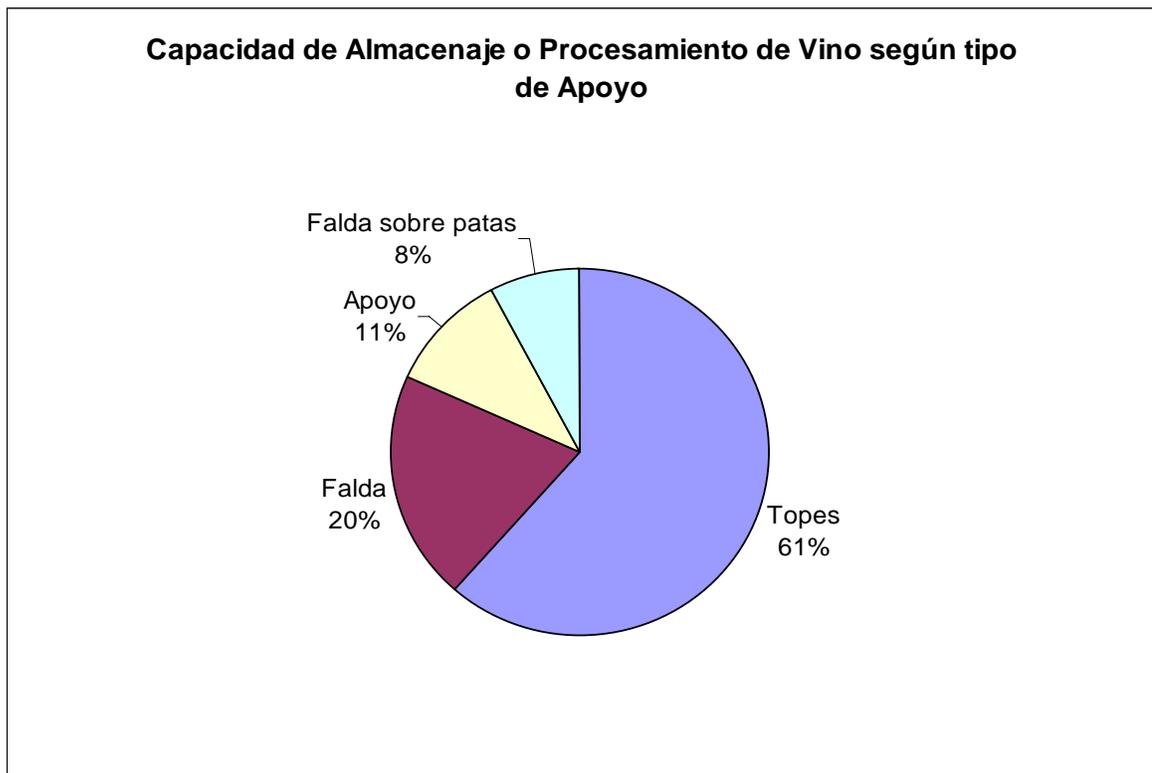


Figura 3.28: Distribución de la CPA de vino en la industria por tipo de anclajes

3.4.4.2. Estadística de estanques sólo apoyados directamente en el suelo por altura, diámetro y esbeltez

En las visitas a las viñas se observó, al igual que en el caso de los estanques que cuentan con algún tipo de anclaje, que a medida que aumentaba la capacidad, aumentaba la altura del estanque y su diámetro.

En la totalidad de los estanques sólo apoyados, al aumentar la capacidad del estanque la altura crecía más que el diámetro, esto se debe a un problema netamente de espacio. La totalidad de estos tipos de estanques (excepto por 8 unidades), estaban en bodegas, por lo tanto tenían una restricción de espacio, no en altura, sino en ancho. La altura estándar de las bodegas oscilaba entre los 7 a 12 metros.

En relación al factor de esbeltez asociado, para todos los estanques sólo apoyados, se puede observar que a medida que aumenta el volumen del estanque está tiende a acercarse al valor promedio de 1.5.

Llama la atención que estanques simplemente apoyados tengan esbelteces asociadas sobre 1 que lleguen a tener alturas de incluso 6 metros.

En las figuras 3.29, 3.30 y 3.31 se muestran de una forma más clara las ideas anteriormente señaladas

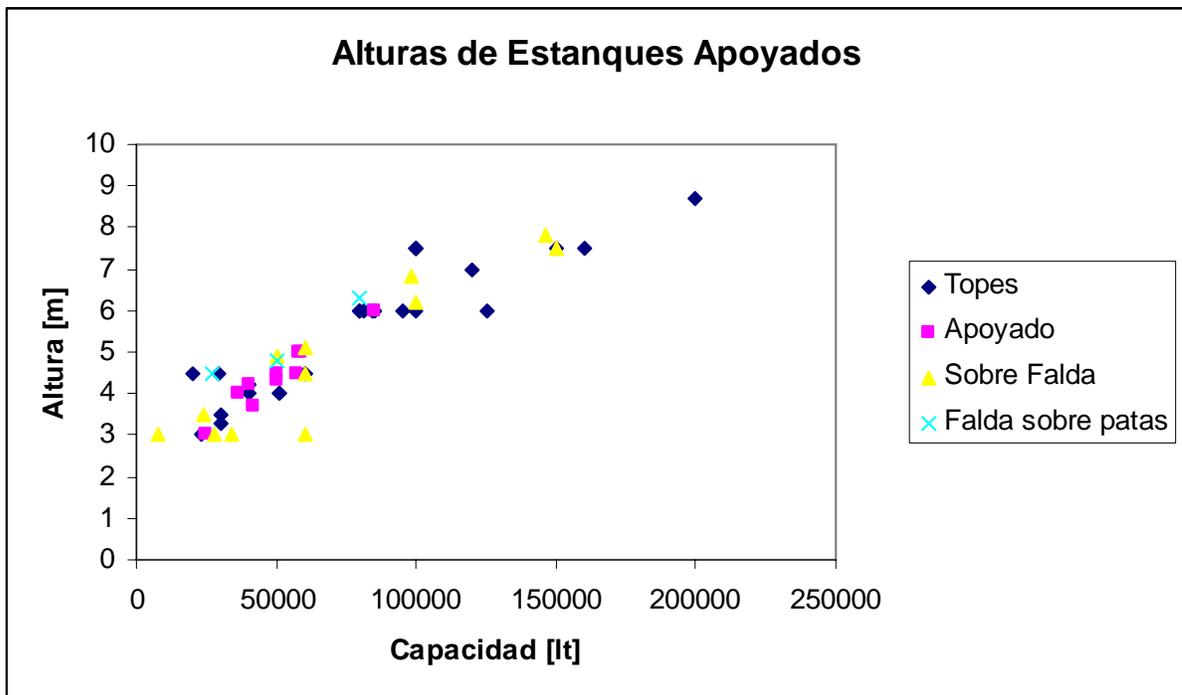


Figura 3.29: Altura de estanques por capacidad de almacenamiento, discretizando entre forma de apoyarlo

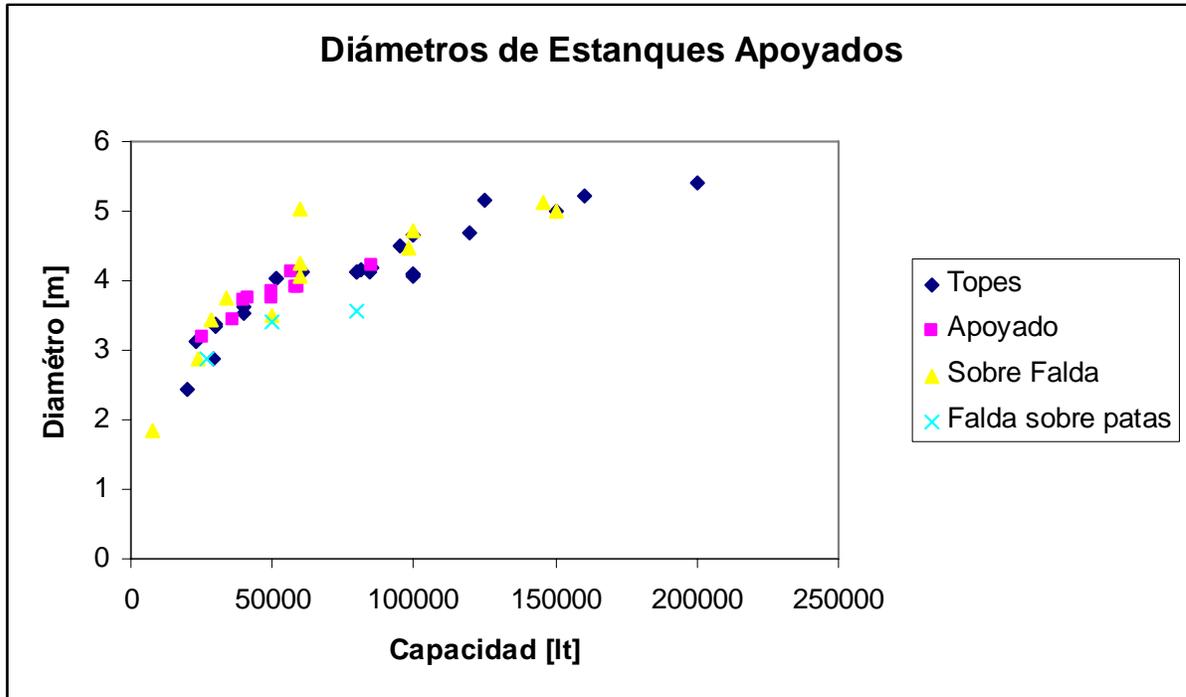


Figura 3.30: Diámetro de estanques por capacidad de almacenamiento, discretizando entre forma de apoyarlo

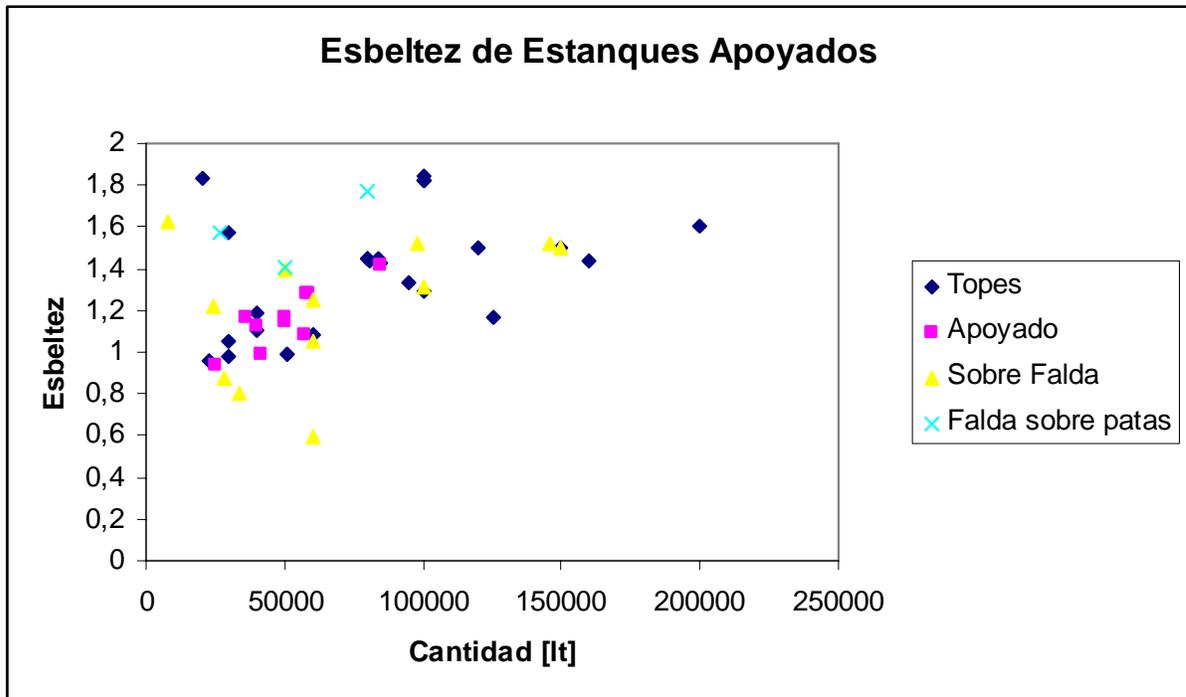


Figura 3.31: Esbeltez de los estanques según su CPA de vino, discretizando entre forma de apoyarlo

3.4.4.3. Estadística de estanques sólo apoyados directamente en el suelo por volumen de cada estanque

En las distintas visitas a las viñas se observó que sin importar la capacidad del estanque el apoyo con topes era la elección predominante, excepto en el caso particular de estanques con capacidades entre los 50.000y 60.000 litros, donde hay una mayor cantidad de estanques simplemente apoyados. Con respecto a estos últimos llama mucho la atención que existan estanques con capacidades de hasta 85.000 litros. También llama la atención la existencia de estanques con una capacidad de 85.000 litros con un sistema de falda sobre una plataforma de acero, como se señaló anteriormente este sistema de apoyo es una deformación del sistema de falda propiamente tal, ya que por motivos que se desconocen, en vez de posicionarse sobre una fundación circular de hormigón se optó por una plataforma compuesta de vigas doble t, que en ninguno de los casos observados iba anclada al suelo.

En las figuras 3.32 y 3.33 se muestran de una forma más clara las ideas anteriormente señaladas

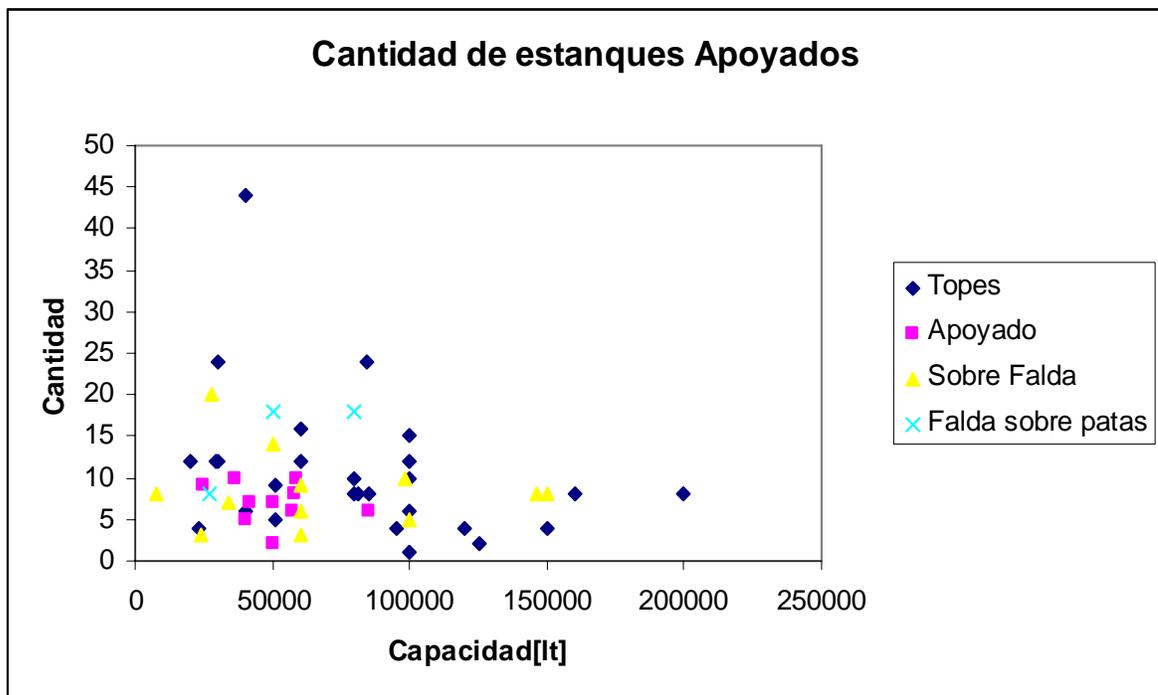


Figura 3.32: Cantidad de estanques por capacidad de almacenamiento, discretizando entre forma de apoyarlo

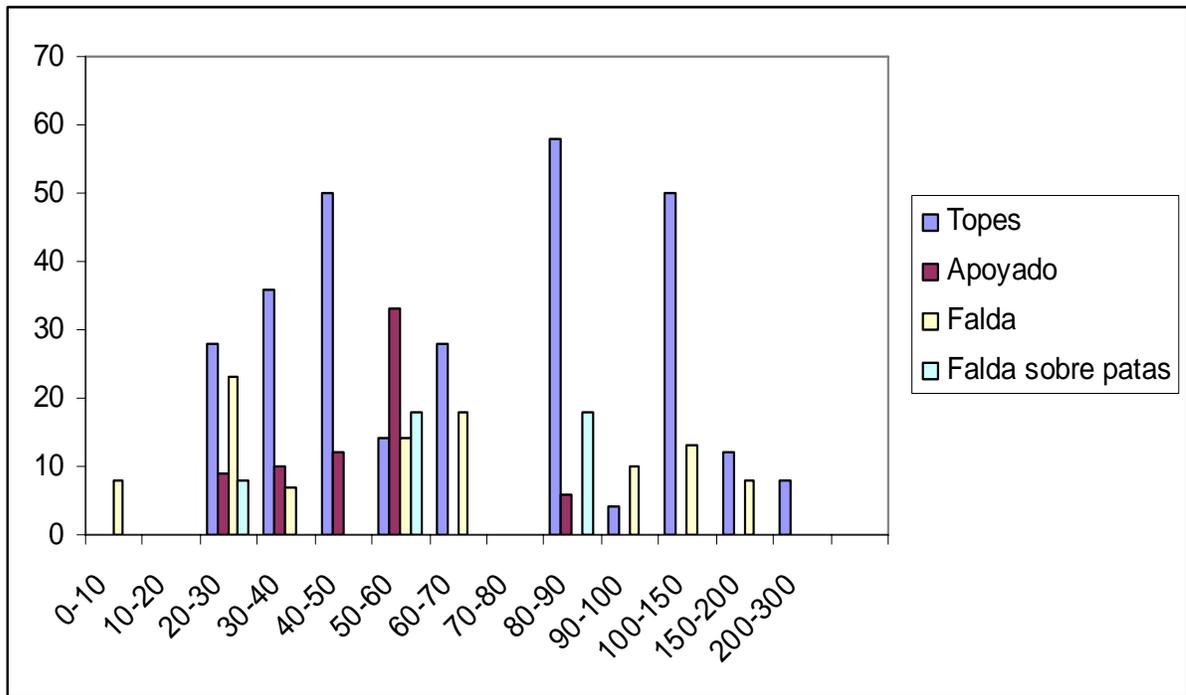


Figura 3.33: Comparación de la cantidad de estanques por CPA de vino existentes según forma de apoyarlo

3.5. Falencias observadas en la industria

En un comienzo se supuso que existiría sólo una falencia en el diseño de los estanques, la cuál sería el pequeño espesor utilizado en las planchas de acero inoxidable. Lamentablemente, los problemas son múltiples.

Las falencias en el diseño observadas en terreno tienen relación con:

- Espesores de las planchas de acero utilizados en el manto, techo y fondo
- Sistemas de apoyo y anclajes
- Separación entre estanques
- Montaje de pasarelas

A continuación se presenta una explicación breve con evidencia fotográfica de los problemas anteriormente planteados.

3.5.1. Bajos Espesores

Según los datos obtenidos, es común en estanques de hasta 100.000 [lt], que la virola inferior tenga un espesor de 2 [mm] y en casi la totalidad de los estanques que el techo tenga 1.5 [mm].

Dado los bajos espesores utilizados, múltiples son las formas en las que se puede dañar de forma irreversible las planchas de acero que componen los estanques. No solamente un sismo o las condiciones normales de servicio pueden producir esfuerzos que afectan la estabilidad de un estanque sino también un mal manejo del líquido que estos contienen. Esto último es el causal de casi la totalidad de las deformaciones observadas en los mantos de los estanques. Por un mal manejo del vino en las operaciones de llenado y trasvasije, es común que se generen presiones internas que llevan a la deformación del manto, y sólo en contadas ocasiones, la presión interna ha superado la carga de falla, lo que ocasiona el colapso del estanque y el arrancamiento de los pernos de anclaje, en el caso en que el estanque sea anclado. En el llenado y trasvasijado de los estanques los operarios, sin notarlo, siguen ingresando vino a la cuba ya llena, por lo tanto se generan presiones hidro-estáticas que llevan a inflar la cuba. También es común que los operarios dejen la cuba casi completamente llena y herméticamente cerrada, ahora el vino al activarse genera gases los cuáles generan presiones internas que también llevan a inflar la cuba.

Sólo en contadas ocasiones los operarios de las viñas no han notado estos fenómenos a tiempo, en tales casos la cuba ha sufrido deformaciones muy grandes e irreversibles, que la hacen inutilizable y en el caso en que se haya contado con la presencia de anclajes, estos fueron arrancados por la fuerza generada por estas deformaciones.

En el caso de las deformaciones observadas en techos y en la última virola del manto, son motivo de la combinación de los bajos espesores utilizados más un mal diseño ante las condiciones de servicio reales a las que el techo sería sometido y al igual que las deformaciones en el manto, por un mal manejo del líquido que los

estanques contienen. En la totalidad de las viñas visitadas se observaron techos y últimas virolas deformadas.

Por una mala ubicación de los apoyos de las pasarelas, se generan presiones locales externas que no fueron consideradas al momento de diseñar el techo del estanque; por lo tanto, estas cargas adicionales llevan a deformar el techo y la última virola. También se observó en muchos casos que el techo simplemente no estaba diseñado para soportar su propio peso. Por último, en el momento de vaciar el estanque, los operarios olvidan abrir el portalón superior (ver Anexo E), lo cual produce una succión al interior del estanque, que se traduce en presiones de vacío, que el techo y la última virola del estanque no son capaces de soportar y por lo tanto se produce la falla por pandeo de éstas.

En todas las cubas observadas, (desde los 1.000 [lt] a 400.000 [lt]) el techo se soporta a sí mismo y se une al manto mediante soldadura. En ninguna de las viñas visitadas se observó algún caso donde por cargas generadas por una mala operación, por una mala ubicación de los apoyos o por un mal diseño del techo, se produzca la separación del techo del manto en este punto. Tampoco por los causales nombrados anteriormente se han producido rasgaduras en el manto y en el techo.

A continuación se presentan algunas figuras con las fallas en el techo y en la virola superior.



Figura 3.34: Cuba A33, falla por operación, y mala ubicación de la pasarela



Figura 3.35: Cuba A17, simplemente apoyado, falla por operación, falla en el centro del techo por mal diseño de este, los ángulos en la foto se agregaron después para rigidizar el techo ya que este era incapaz de auto-soportarse, aún son insuficientes

3.5.2. Sistemas de apoyo y anclajes

Como se señaló anteriormente, el 18% de la capacidad de almacenaje y procesamiento de vino en inoxidable está en estanques sobre patas y el 82% en estanques apoyados sobre su fondo.

3.5.2.1. Estanques sobre patas

En los estanques apoyados sobre patas se ha observado que casi en su totalidad éstas no están ancladas al suelo, y en el caso en que lo están, los pernos utilizados en su mayoría son pequeños, no sobrepasando la 1/4" pulgada. Las patas, en la totalidad de los casos observados, van soldadas al manto y el espesor de éstas, cuando son de acero inoxidable, no supera los 2,5 [mm]. La mayoría cuenta con un sistema de arriostramientos que soporta el fondo del estanque y da estabilidad a las patas, impidiendo que se abran.

Cabe destacar que se observó en algunas viñas que algunos estanques estaban diseñados para ser apoyados sobre el piso, pero se anclaron o apoyaron sobre un sistema de patas. Estos estanques se consideraron como apoyados, ya que las patas no forman parte del estanque.

Las figuras 3.36, 3.37, 3.38 y 3.39, muestran lo explicado anteriormente



Figura 3.36: Cuba A103, patas ancladas una sobre otra, con pernos de 1/2" pulgada



Figura 3.37: Cuba A121, apoyado



Figura 3.38: Cuba A112, patas apoyadas, la foto muestra el sistema de arriostramientos para la estabilidad de las patas, en este caso el fondo solo se soportaba sobre las patas



Figura 3.39: A1312, patas apoyadas, la foto muestra el sistema de envigado que soporta el fondo del estanque y le da estabilidad a las patas

3.5.2.2. Estanques apoyados

En estos tipos de estanques lo primero que se observó es la ausencia de llaves de corte en los estanques, aunque no es indispensable, es común observarlas la gran mayoría de los estanques de uso industrial del país.

Tanto si el estanque fuera sólo apoyado y contara con topes o fuera anclado con algún sistema en particular, se observó que la distribución de estos elementos alrededor de los estanques no era equidistante en la gran mayoría de los casos observados; de hecho una gran cantidad de ellos posee distribuciones irregulares generadas por:

- Un problema de operación, ya que un tope quedaría justo donde va el portalón principal o una válvula de vaciado (Ver Anexo E).
- Un problema de espacio, ya que en reiteradas ocasiones los estanques se encontraban a una corta distancia entre sí, por lo tanto los topes no cabían.
- Un problema netamente de diseño.

También se observó que el tamaño de los topes y los pernos utilizados para anclarlos al suelo eran relativamente pequeños, dada la envergadura de los estanques. Incluso en los de 7 a 8 [m] de altura, las planchas tenían una altura de 20 a 30 [cm], con 5 [mm] de espesor y los pernos no superaban los $\frac{3}{4}$ " de pulgada. En algunos casos, estanques de 6 metros de altura contaban con pernos no adecuados de 3 [mm]. El detalle de esto se muestra en el Anexo B.

Las figuras 3.40, 3.41, y 3.42, muestran los topes anteriormente descritos.



Figura 3.40: Cuba A155, el estanque contaba con 4 topes, equidistantes y con pernos de 3 [mm]



Figura 3.41: Cuba A11, estanque apoyado, el estanque contaba con 14 topes a distancias distintas



Figura 3.42: A31, estanques apoyados con una falda, estanques de 7,5 [m] de altura con una falda de máxima altura de 30 [cm], 2,5 [mm] de espesor

3.5.3. Separación entre estanques

La separación entre estanques es un problema común encontrado en al menos el 50% de las viñas visitadas, generado principalmente por un tema económico y de espacio. Hay que recordar que un litro de vino cuesta aproximadamente 3.000 pesos, por lo tanto es rentable meter una cuba más dentro de la bodega. Por ejemplo, una cuba con una capacidad de 85.000 [lt] equivale a 250 millones de pesos en ventas de producción.

El problema se ha observado principalmente en los estanques apoyados sobre patas.

Para los apoyados sobre patas como los apoyados sobre piso, el problema es indiferente a la capacidad de la cuba, ya que se ha observado tanto en cubas de 10.000 [lt], como de 100.000 [lt].

Las figuras 3.43 y 3.44, muestran los problemas explicados anteriormente:



Figura 3.43: A54, estanques apoyado, separación nula



Figura 3.44: A154, estanques apoyados con topes, separación nula

3.5.4. Pasarelas

Los problemas observados que tienen relación con las pasarelas se deben a que en algunos casos éstas están apoyadas sobre el techo del estanque o sobre el manto, lo que produce una carga adicional para la cual el techo y el manto no fueron diseñados.

Las pasarelas apoyadas sobre el techo son una carga adicional que produce la deformación por flexión local de éste. Por lo tanto, no solo se daña el techo del estanque sino que se pone en peligro la integridad de la gente que transita día a día por ellas.

Otro problema observado tiene que ver con el diseño, ya que en algunos casos no ofrece la seguridad necesaria para quienes transitan por ellas, ni tampoco la comodidad para poder realizar los trabajos diarios. A veces por problemas de espacio o simplemente económicos, las pasarelas son demasiadas inclinadas, lo que dificulta el tránsito, especialmente cuando se lleva alguna carga, o son demasiado endebles para soportar 2 o 3 personas, con cargas de químicos y maquinaria.

Las figuras 3.45, 3.46, 3.47, 3.48 y 3.49 presentan estos problemas:



Figura 3.45: Cuba A167, estanque apoyado, pasarela apoyada sobre el techo



Figura 3.46: Cuba A133, estanque apoyado, pasarela sobre techo



Figura 3.47: Cuba A46, estanque anclado, pasarela apoyada en el manto



Figura 3.48: Cuba A51, pasarela sobre estanques, simplemente apoyados, la pasarela es demasiado baja para estar de pie



Figura 49: Cuba A32, estanque apoyado con topes A32, la pasarela produjo el pandeo del techo del estanque, además de ser muy peligrosa para transitar por la inclinación que presenta

3.6. Posibles consecuencias de las fallencias observadas frente a un sismo de grandes dimensiones

- Con respecto a los bajos espesores utilizados en el manto es probable que en algunos estanques se produzcan fallas por pandeo del manto, dependiendo de la esbeltez y de los apoyos o anclajes con los que el estanque cuente. Estas fallas serian del tipo pata de elefante o de punta adiamantada.

En algunos casos también podría ocurrir que el manto se rasgue, produciendo cuantiosas pérdidas a la viña.

También dado los bajos espesores en el techo es posible que las olas producidas por un sismo tiendan a producir deformaciones en este.

- Como se sabe, los estanques que están asociados a una baja esbeltez son más estables a los momentos volcantes mientras que los asociados a una esbeltez alta son más sensibles a los efectos producidos por el momento volcante. Se esperaría que aquellos estanques que están apoyados tiendan a volcarse. Ahora, dado que en algunos casos la separación entre éstos no es mucha, es probable que también puedan chocar entre sí, produciendo fallas en los mantos y techos.

Este fenómeno es más probable que ocurra en estanques sobre patas, ya que estos últimos al ser usados generalmente para la producción de vino blanco, tienden a tener esbelteces asociadas sobre 2, en algunos casos hasta 6 y como se señaló anteriormente la mayoría de estos estanques no están anclados y la separación entre ellos es mínima.

La pérdida económica asociada a este fenómeno sería altísima, dado que la probabilidad de la pérdida del vino en el caso de que un estanque se vuelque es muy alta.

Otro tipo de falla, asociada a los estanques sobre patas es que estas tienden a abrirse, lo anterior ocurre debido a que el estanque tiende a levantarse por la oscilación producida por el movimiento del vino al interior del estanque y las patas no pueden resistir la fuerza producida por el impacto del estanque con el suelo.

- En el caso de las pasarelas, la mala ubicación de éstas podría producir rasgaduras en los techos y mantos de los estanques, dependiendo de cuán rígida sea la unión que éstas tengan con el techo o manto y de cuán mermada se haya visto la resistencia admisible de la plancha de acero debido a las fallas ya producidas por no poder auto-soportarse, por los problemas de operación señalados anteriormente y por la mala ubicación de éstas. También es probable que las pasarelas cedan y se caigan, transformándose en un peligro para los operarios que se encuentren en y/o bajo ellas.

Capítulo 4

Análisis de los Estanques

4.1 Introducción

A lo largo del tiempo, con el objeto de ir mejorando la seguridad en el diseño, se ha podido recopilar información real de la estabilidad de los estanques frente a un sismo de grandes dimensiones. Estos datos han servido para modificar y ajustar los resultados obtenidos mediante las teorías desarrolladas a partir de mediados del siglo pasado y sobre los cuáles se han implementado todos los criterios de diseño de estanques usados en la actualidad. A su vez esta información ha acrecentado el interés en el diseño sísmico de estanques en los constructores, dueños y entes reguladores. Incluso han llegado a desarrollar sus propios criterios para el diseño sísmico de estos elementos.

La información recopilada de los daños causados por sismos en estanques ha permitido separarlos en 4 grandes grupos:

- Pandeo del manto, evidenciado a través de la falla tipo pata de elefante, para estanques no anclados y tipo punta adiamantada para los anclados. Esta falla es producida porque la compresión longitudinal del manto excede la admisible
- Daños en el techo, virola superior y en las columnas que soportan el techo, producto de las olas que forma el líquido que contiene el estanque
- Daño en las cañerías y otros elementos que se conectan a los estanques, producidos por el movimiento de los estanques.
- Daño producido por la falla del suelo de fundación.

4.1.1 Alcances del trabajo

Como se puede observar los daños que un sismo puede causar a un estanque son variados, por lo tanto este trabajo se restringirá al análisis de:

- Los criterios de diseño utilizados para el cálculo de los espesores del manto y techo para la condición estática.
- Las tensiones de compresión producidos en el manto de los estanques apoyados directamente al suelo por un sismo.

Para realizar los análisis señalados anteriormente se escogieron dos criterios de diseño: el API 650 del año 2003 (desde ahora solo API 650 (referencia 10)) utilizado para el análisis estático y dinámico y la Nch2369 of2003 (desde ahora solo Nch2369 (referencia 4)) utilizada sólo para el análisis dinámico.

Estos fueron escogidos por que es de conocimiento general que el API 650 es ampliamente utilizado en el diseño de los estanques y la NCh2369 porque es la normativa impuesta en Chile para el diseño sísmico de estos elementos desde el año 2003.

A modo de comparación también se procedió a hacer los análisis utilizando el API 650 reduciendo sus exigencias en un 70%. Este valor se escogió para valorizar la sensibilidad del diseño.

Cabe destacar que la NCh2369 adopta los criterios de diseño propuestos por otros entes reguladores y países, tales como el API 650, el AWWA (referencia 11), la NZSEE (referencia 12), etc. pero impone ciertas modificaciones a los coeficientes sísmicos y al corte sísmico soportado por los pernos.

En este trabajo el criterio adoptado para hacer los análisis dinámicos bajo las disposiciones de la NCh2369 fue el API 650.

Los análisis anteriormente señalados se realizaron con algunas modificaciones a las exigencias planteadas por los criterios. Estas exigencias son señaladas posteriormente en este capítulo.

Cabe destacar que para conocer las tensiones de compresión en el manto producidas por un sismo de los estanques no anclados, definidos como inestables por el API 650, se utilizó lo propuesto por la NZSEE (referencia 12).

4.1.2 Introducción a los criterios de diseño

El API 650 es un procedimiento de diseño que fue creado por el Instituto Americano del Petróleo y que abarca criterios para los materiales, para el diseño, para la fabricación, para el montaje y para las pruebas de estanques verticales, cilíndricos, sobre tierra, con o sin techo y soldados o apernados donde el fondo del estanque esta completamente apoyado.

Este procedimiento fue creado para asegurar un adecuado grado de seguridad y para la obtención de un costo razonable de fabricación de los estanques utilizados en la industria del petróleo.

Con respecto al diseño estático de estanques de acero inoxidable del tipo austeníticos, el API 650 incluye todo un capítulo, el apéndice S, el cuál contiene los requerimientos especiales a considerar cuando se usa este tipo de acero.

Con respecto al diseño sísmico el API 650 incluye todo un capítulo en el cuál se presenta un procedimiento de diseño basado en el método de Housner (referencia 13). El alcance de este capítulo es asegurar la estabilidad de los estanques frente al volcamiento y a los esfuerzos de compresión producidos.

Dentro de las disposiciones que este capítulo plantea podemos destacar que:

- La resistencia al volcamiento de los estanques no anclados no solo es suministrada por el peso del manto sino también por una porción del contenido del estanque, esto es muy parecido a la realidad ya que cuando un estanque no anclado es sometido a un fuerte movimiento del suelo, la fuerza lateral debida las presiones hidrodinámicas actuando sobre la pared del estanque es de la misma magnitud que el peso del líquido. A no ser que la pared del estanque se levante, el momento volcante inducido por esta fuerza lateral no puede ser solamente equilibrado por el peso del estanque. Para un estanque común y corriente el peso del estanque es mucho menor que el peso del líquido que contiene; por lo tanto el peso del estanque es insuficiente para equilibrar el momento volcante debido a las presiones hidrodinámicas actuando sobre el manto del estanque, y el manto se levanta localmente. Como resultado de esto la parte del fluido contenida en la parte levantada entrega el resto de carga necesaria para equilibrar el momento volcante producido por las presiones hidrodinámicas que actúan sobre el manto del estanque.

A modo de comparación lo que ocurre en el caso los estanques anclados es lo siguiente:

La pared del estanque esta efectivamente unida a la fundación la cuál es lo suficientemente pesada para prevenir el levantamiento del estanque durante la ocurrencia de un sismo. Lo anterior significa que los pernos de anclajes deben ser capaces de transmitir la tensión vertical inducida por el sismo en las paredes del estanque a la fundación.

- Se dan las bases para establecer la compresión máxima a la que el manto se ve sometida por el efecto de la presión interna causada por el líquido.
- Se da información adicional para calcular la altura de la ola, lo que ayuda a poder estimar las fuerzas producidas por esta y por lo tanto a diseñar las columnas que soportan el techo.

Con respecto al cálculo de las tensiones de los estanques no anclados, el método propuesto es el adoptado por un conjunto de investigadores de la NZSEE (referencia 12), el cuál es una versión modificada del método descrito por Clough (referencia 14), que se basa en encontrar la respuesta sísmica de un estanque anclado equivalente y equilibrar el momento volcante, con los momentos producidos por el peso del estanque vacío más el momento producido por la reacción de compresión en el lado opuesto al levantado.

El método es iterativo y el mecanismo básico de levantamiento supone que la porción no levantada de la base circular se comporta como un estanque anclado de radio r menor que R , con la misma altura original, ver figura 4.1.

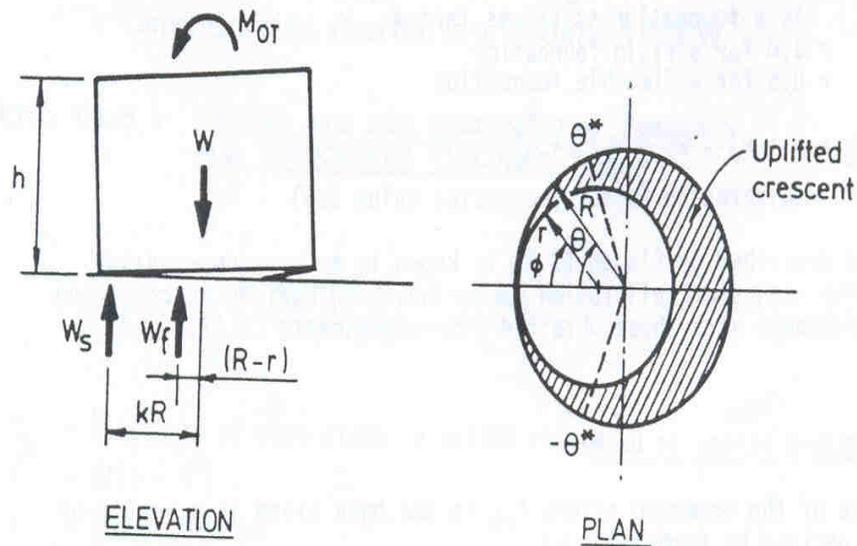


Figura 4.1

El proceso iterativo es el siguiente:

- 1) Darse un valor de $\mu := \frac{r}{R}$ con $0 \leq \mu \leq 1$
- 2) Calcular $\theta^{\bullet} := \text{atan}\left(\mu \cdot \frac{1}{1 - \mu}\right)$
- 3) Calcular $k := 2 \cdot \frac{1 - \cos(\theta^{\bullet})}{(\theta^{\bullet})^2}$
- 4) Calcular $M_r := R \cdot W \cdot \left[k \cdot \left(1 + \frac{W_w}{W} \right) + (1 - k) \cdot \mu^2 - \mu^3 \right]$
- 5) Repetir los paso 1) y 2) hasta que $M_r = M_{vol}$

Con:

W = Peso total del fluido

W_w = Peso del estanque vacío

Una vez que se ha determinado el valor de θ^{\bullet} la máxima tensión de compresión en la pared del estanque se puede calcular con la siguiente ecuación:

$$f := \frac{C \cdot W_s}{R \cdot (\theta^{\bullet}) \cdot t} \cdot CF$$

Donde C es un factor que depende de la rigidez de la fundación

- = 1 para una fundación rígida
- = 0.5 para una fundación flexible

$$W_s = W * (1 + W_w/W - \mu^2)$$

CF = Factor de calibración sugerido (2,5).

El factor de calibración sugerido ha sido estimado comparando los resultados teóricos de Clough (referencia 14) con aquellos obtenidos de forma experimental.

4.1.3 Alcances del capítulo

En este capítulo se presenta el análisis de la información recopilada en las distintas visitas a las viñas.

Primero se muestran los criterios de diseño bajo los cuáles se procedió a verificar la estabilidad de los estanques, luego se analiza el cumplimiento de los espesores requeridos para soportar las cargas de servicio en el techo y manto a través de las formulas propuestas por el API 650 en el apéndice S, se continúa con la necesidad que tienen los estanques de ser anclados, según lo propuesto por el API en el apéndice E. Por último se procede a analizar la estabilidad de los estanques no anclados y anclados, analizando las tensiones en el manto a las que se ven sometidas por cargas producidas por un sismo.

Cabe destacar que los esfuerzos a los que los estanques se ven sometidos se presentan en el Anexo C de este trabajo.

4.2 Consideraciones complementarias a los criterios de diseño

Como se señaló anteriormente los criterios de diseño bajo los cuáles se analizaron los estanques fueron el API 650, para el caso estático, y el API 650 y la Nch2369, para el caso dinámico.

Las consideraciones complementarias a los criterios de diseño utilizados son las siguientes:

- Para el cálculo de espesores del manto y techo no se exigieron los espesores mínimos impuestos por el API 650 en el apéndice S.
- El espesor requerido del manto y techo, para las cargas de servicio se calculará a través de las formulas planteadas por el API 650 en su apéndice S
- La tensión Sd es tomada a 40 grados Celsius.
- Las tensiones a las que se ve sometido el manto, producidas por los esfuerzos generados por un sismo, fueron calculadas tanto para los estanques anclados como los no anclados, según lo propuesto por el API 650 en su apéndice E. En el caso en que los estanques no anclados sean

inestables, según lo planteado por el API 650 en su apéndice E, se utilizara el método propuesto por la NZSEE (referencia 12).

- Todas las tensiones calculadas anteriormente deben ser menores a las tensiones admisibles dispuestas por el API 650 en su apéndice E.
- Se tomará la distancia máxima entre anclajes propuesta por el API650 en su Apéndice E.

4.3 Análisis global, sin discriminar entre no anclados y anclados

4.3.1 Espesores requeridos del manto y del techo para la condición estática de servicio

Según el API 650 en su apéndice S, el espesor de la primera virola del manto esta en función del diámetro, altura del vino, tensión admisible para la condición de diseño, de la densidad del líquido que este contiene, en este caso, vino, y de un factor que se denomina eficiencia de la unión. El valor de este factor depende de cómo se verifique la calidad de las uniones soldadas del estanque.

En cuanto al factor, por lo visto en terreno, rara vez se realizan radiografías para verificar la soldadura, por lo tanto se adoptó un factor de 0,7.

Los valores de este factor y de que dependen se muestran en la figura 4.2

Eficiencia de la unión	Requerimientos de Radiografía
1	Requerimientos según pto. 6.1.2
0,85	Requerimientos según pto. A.5.3
0,7	No se requiere Radiografía

Tabla: 4.1

Cabe destacar que la densidad del vino varía durante el proceso de fermentación porque en el comienzo de este proceso el mosto (como se denomina al jugo de uva obtenido del prensado de esta) empieza a desprender distintos gases y compuestos. Además en la elaboración de tintos se le agrega borra (la borra es el hollejo de la uva) para mejorar sus cualidades. Esta adición de material sólido aumenta la densidad del vino.

La densidad utilizada para el diseño de estanques es la del mosto al ser mezclado con la borra en la etapa inicial del proceso de fermentación.

Los resultados obtenidos para el manto indican que la totalidad de los estanques cumplen con los espesores requeridos para la condición estática de servicio, como se muestra en la figura 4.3

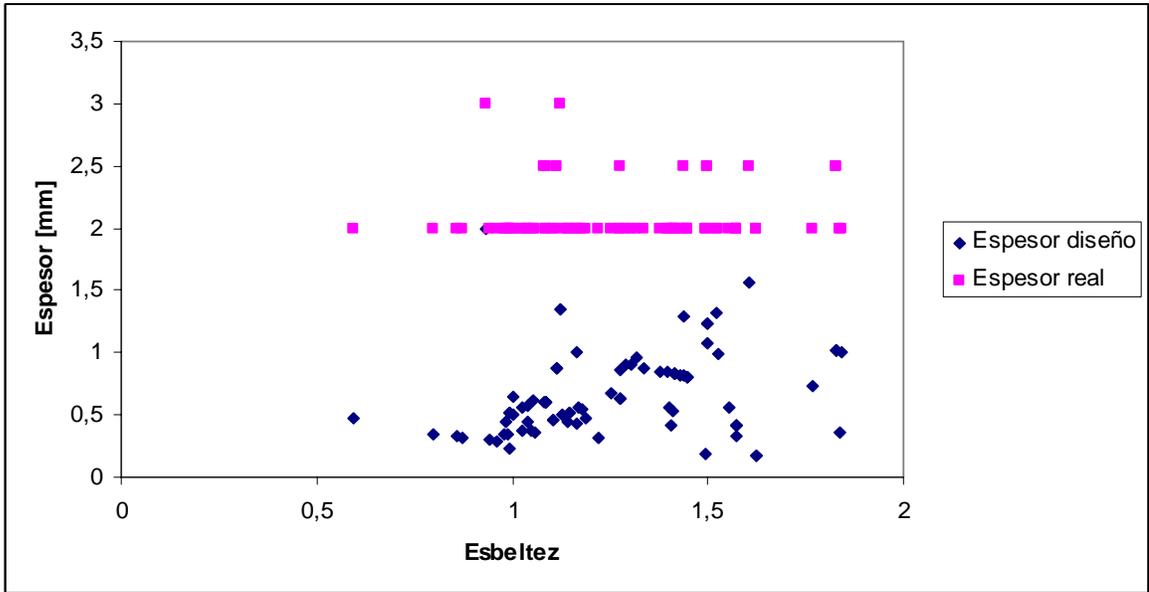


Figura 4.3: Espesor primera virola

Para el caso del espesor de los techos auto-soportantes, este depende del diámetro y del ángulo del techo con respecto a la horizontal.

Los resultados obtenidos muestran que sólo los estanques con un diámetro de hasta 2 [m] cumplen con el espesor de diseño requerido por el API 650, esto explica en parte el porque de tantos techos deformados observados durante las visitas en estanques con espesores sobre los 2 [m].

Esto se muestra en la figura 4.4

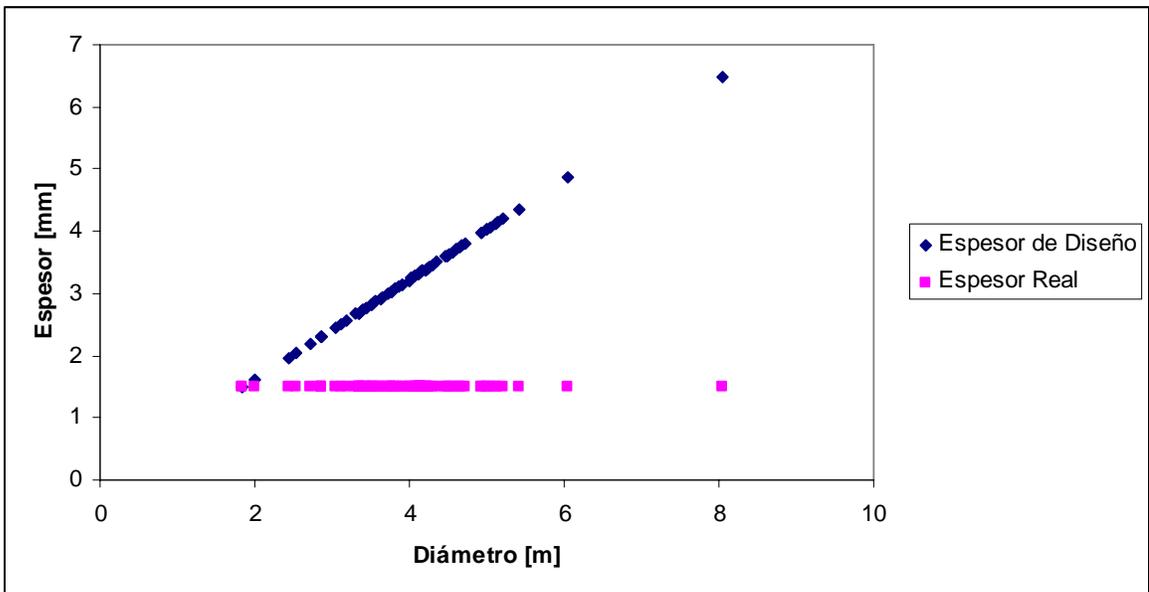


Figura 4.4 : Espesor techo

4.3.2 Estabilidad de los estanques frente a los esfuerzos producidos por un sismo

Como se señaló anteriormente este análisis se realizó siguiendo lo propuesto por el API 650 en el apéndice E. En el caso del análisis a través de la NCh2369 se adoptó el API 650 pero utilizando los coeficientes sísmicos planteados por esta.

Cabe destacar que el API 650 en el apéndice E sugiere las siguientes soluciones si el estanque resulta inestable:

- Aumentar el espesor del manto
- Anclar el estanque
- Cambiar la forma.

De todas las soluciones planteadas anteriormente la más factible a la realidad de la industria es anclar el estanque, ya que no necesita modificar el diseño ni tampoco paraliza su funcionamiento.

Los resultados arrojados de un total de 905 estanques que representan el 82% de la capacidad de procesamiento o almacenamiento de vino (CPA) de la industria son los siguientes:

- Para el caso del análisis bajo lo planteado por el API 650, 838 estanques, que representan el 97% de la CPA en estanques apoyados directamente al suelo necesitan ser anclados.
- Para el caso del análisis bajo lo planteado por la NCh2369, 821 estanques, que representan el 96% de la CPA en estanques apoyados directamente al suelo necesitan ser anclados.
- Para el caso del API 650 reducido en un 70% sus exigencias, 118 estanques, que representan el 26% de la CPA en estanques apoyados directamente al suelo necesitan ser anclados.

Por lo tanto se puede observar que para la normativa impuesta casi la totalidad de los estanques necesitan ser anclados.

En la figura 4.5 se muestra lo explicado anteriormente. Todos los estanques ubicados sobre la línea roja, que es el límite de estabilidad estimado por el API 650, deben ser anclados.

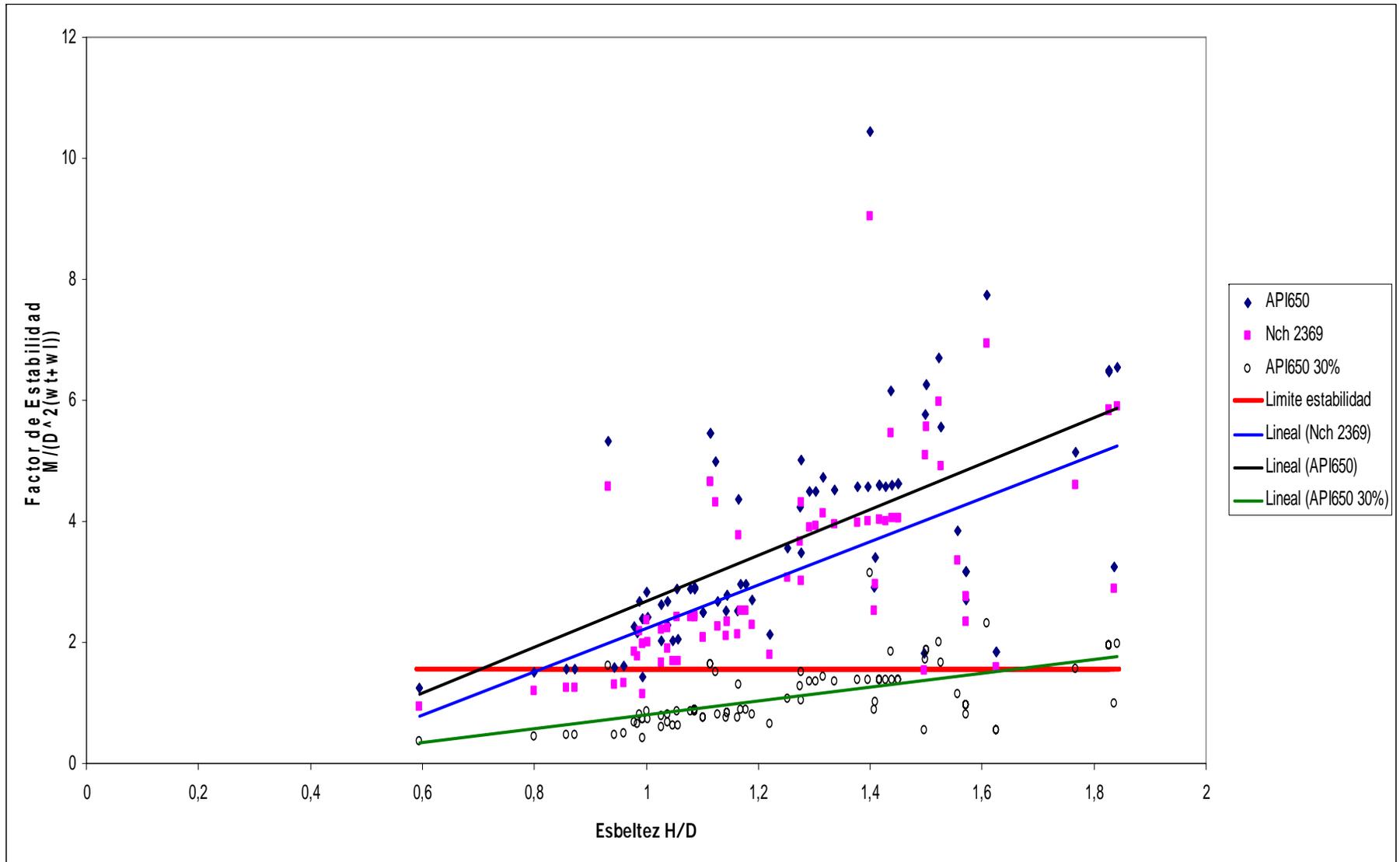


Figura 4.5: Estabilidad de los Estanques Frente a los esfuerzos producidos por un sismo

4.4 Estabilidad de los estanques no anclados

La estabilidad de estos estanques se determinará de la siguiente forma:

- Si es necesario anclar el estanque o si este no cumple con las tensiones admisibles, es inestable. Cabe destacar que ambas condiciones serán evaluadas a través del API 650,
- En el caso contrario es estable.

Los estanques apoyados directamente al suelo, no anclados corresponden a 503 estanques, que representan el 48% de CPA de la industria

4.4.1 Necesidad de ser anclados

El análisis arrojó los siguientes resultados:

- Para el caso del API 650, un total de 473 estanques, lo que representa el 97% de la CPA en estanques no anclados no cumplen la condición de estabilidad al no estar anclados cuando es requerido.
- Para el caso de la NCh2369, un total de 460 estanques, que representan el 96% de la CPA en estanques no anclados no cumplen la condición de estabilidad al no estar anclados cuando es requerido.
- Para el caso del API 650 reducido en un 70% en sus exigencias, un total de 385 estanques, que representan el 33% de la CPA en estanques apoyados directamente al suelo de la industria cumplen la condición de estabilidad al no estar anclados cuando no es requerido.

En la figura 4.6 se muestra lo explicado anteriormente. Todos los estanques ubicados sobre la línea continúa, que es el límite de estabilidad estimado por el API 650, deben ser anclados

Llama la atención que casi la totalidad de los estanques apoyados no cumplen la condición de estabilidad impuesta por el API 650.

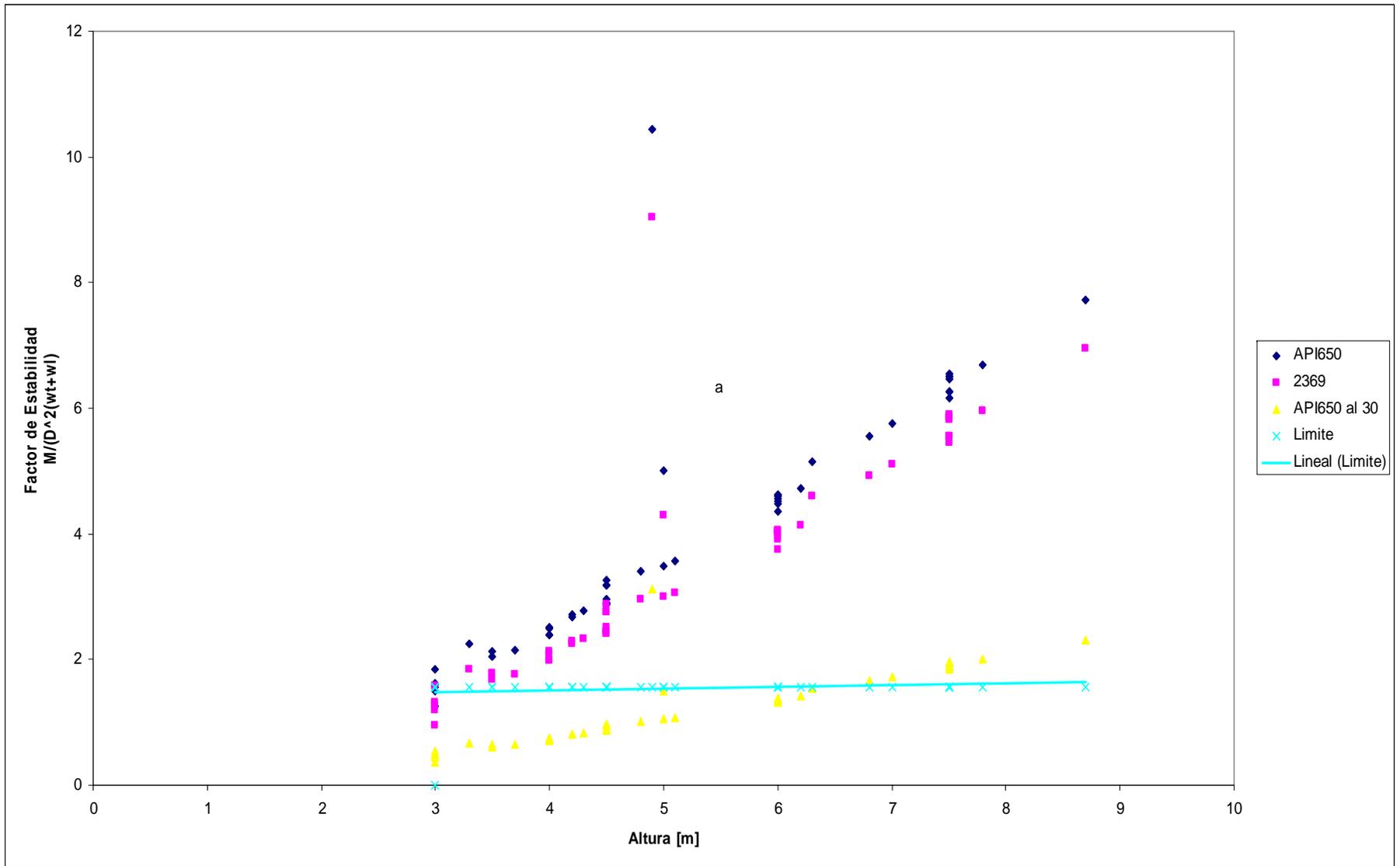


Gráfico 4.6: Necesidad de anclar los estanques apoyados

4.4.2 Tensiones admisibles

Como se indicó anteriormente, para estanques clasificados como inestables, las tensiones se calcularon según el método propuesto por la NZSEE (referencia 12).

El análisis arrojó los siguientes resultados:

- Para el caso del API 650, un total de 479 estanques, lo que representa el 98% de la CPA en estanques no anclados exceden las tensiones admisibles.
- Para el caso de la Nch2369, un total de 460 estanques, lo que representa el 96% de la CPA en estanques no anclados exceden las tensiones admisibles.
- Para el caso del API 650 reducido en un 70% en sus exigencias, un total de 167 estanques, lo que representa el 54% de la CPA en estanques no anclados exceden las tensiones admisibles.

En la figura 4.7 se muestra lo explicado anteriormente. Todos los estanques ubicados sobre la línea continúa, que es la tensión admisible estimada a partir del API 650, es muy probable que fallen por superar esta tensión.

Casi la mayoría de los estanques apoyados excede las tensiones admisibles dispuestas por el API 650.

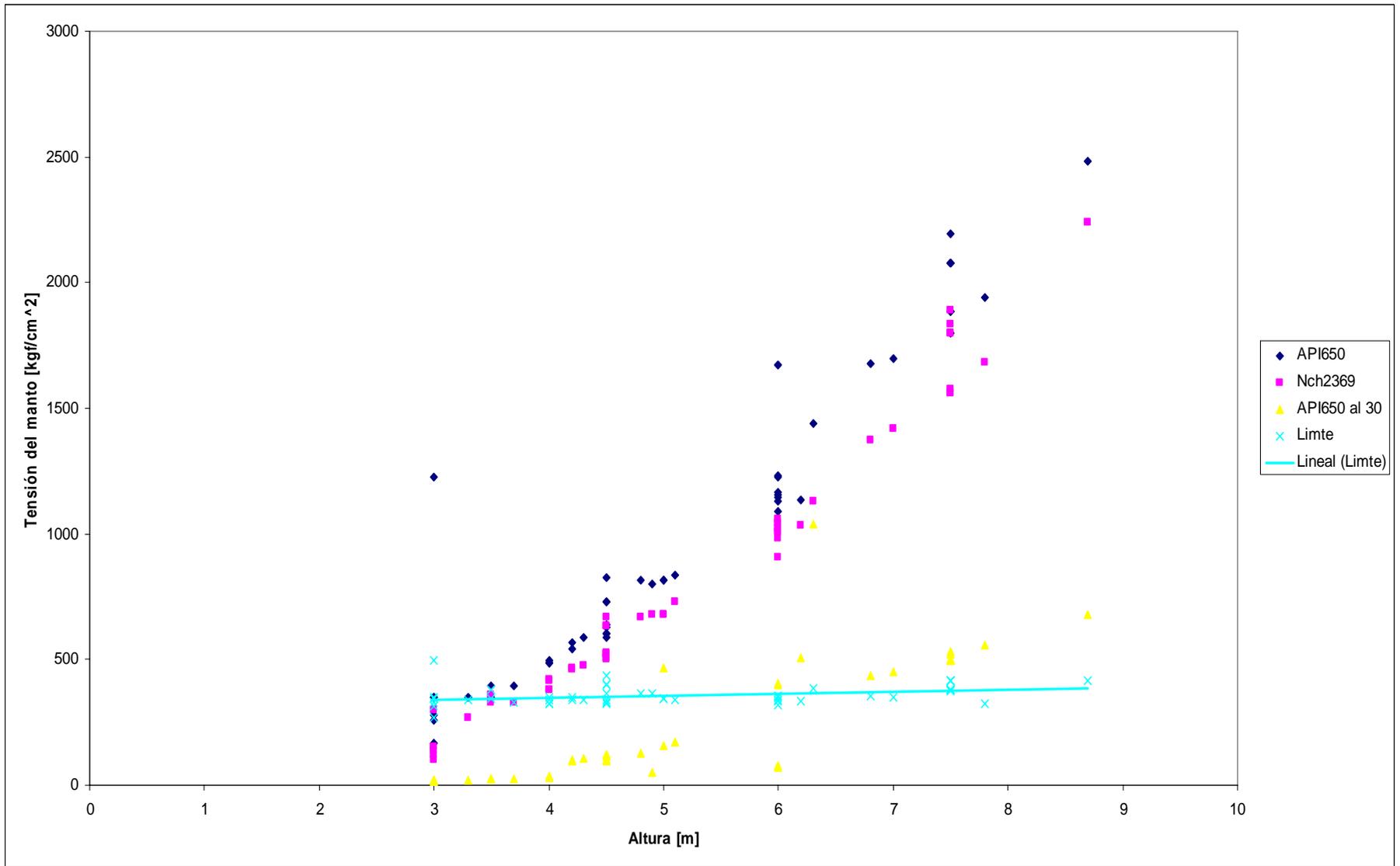


Gráfico 4.7: Tensiones en el manto de estanques apoyados producidas por esfuerzos generados por un sismo

4.5 Estabilidad de los estanques anclados

En este caso solo se analizó que las tensiones de compresión en el manto, producidas por los esfuerzos generados por un sismo, no sobrepasarán las tensiones admisibles dispuestas por el API 650 en el apéndice E.

Los estanques apoyados directamente al suelo, anclados corresponden a 402 estanques, que representan el 33.6% de CPA de la industria

El análisis arrojó que tanto para el API 650 y para la NCh2369 todos los estanques se ven sometidos a tensiones inferiores a las admisibles.

En la figura 4.8 se muestra lo explicado anteriormente. La línea continúa, es la tensión admisible estimada a partir del API 650.

4.6 Resumen

Los estanques no anclados que no cumplen el requerimiento de ser anclados o que no cumplen las tensiones admisibles y que por lo tanto deberían fallar ante la ocurrencia de un sismo severo son:

- Para el caso del API 650, un total de 500 estanques, lo que representa el 99% de la CPA en estanques no anclados necesitan ser anclados o no cumplen las tensiones admisibles.
Lo anterior representa el 58% de la CPA de estanques apoyados directamente al suelo.
- Para el caso de la Nch2369, un total de 460 estanques, lo que representa el 91% de la CPA en estanques no anclados necesitan ser anclados o no cumplen las tensiones admisibles.
Lo anterior representa el 56% de la CPA de estanques apoyados directamente al suelo.
- Para el caso del API 650 reducido en un 70% en sus exigencias, un total de 181 estanques, lo que representa el 55% de la CPA en estanques no anclados necesitan ser anclados o no cumplen las tensiones admisibles.
Lo anterior representa el 33% de la CPA de estanques apoyados directamente al suelo.

Los resultados indican que casi la totalidad de los estanques no anclados no están cumpliendo la normativa impuesta hasta ahora, sea el API 650 o la Nch2369, por lo tanto ante la ocurrencia de un sismo es muy probable, que casi la mayoría de los estanques no anclados fallen, tanto por pandeo como por volcamiento.

También llama la atención que aunque se hayan reducido los esfuerzos sísmicos calculados por el API 650 en un 70%, 181 estanques, lo que representa el 55% de la CPA en estanques no anclados, probablemente estarían fallando.

En el caso de los estanques anclados todos los estanques son estables.

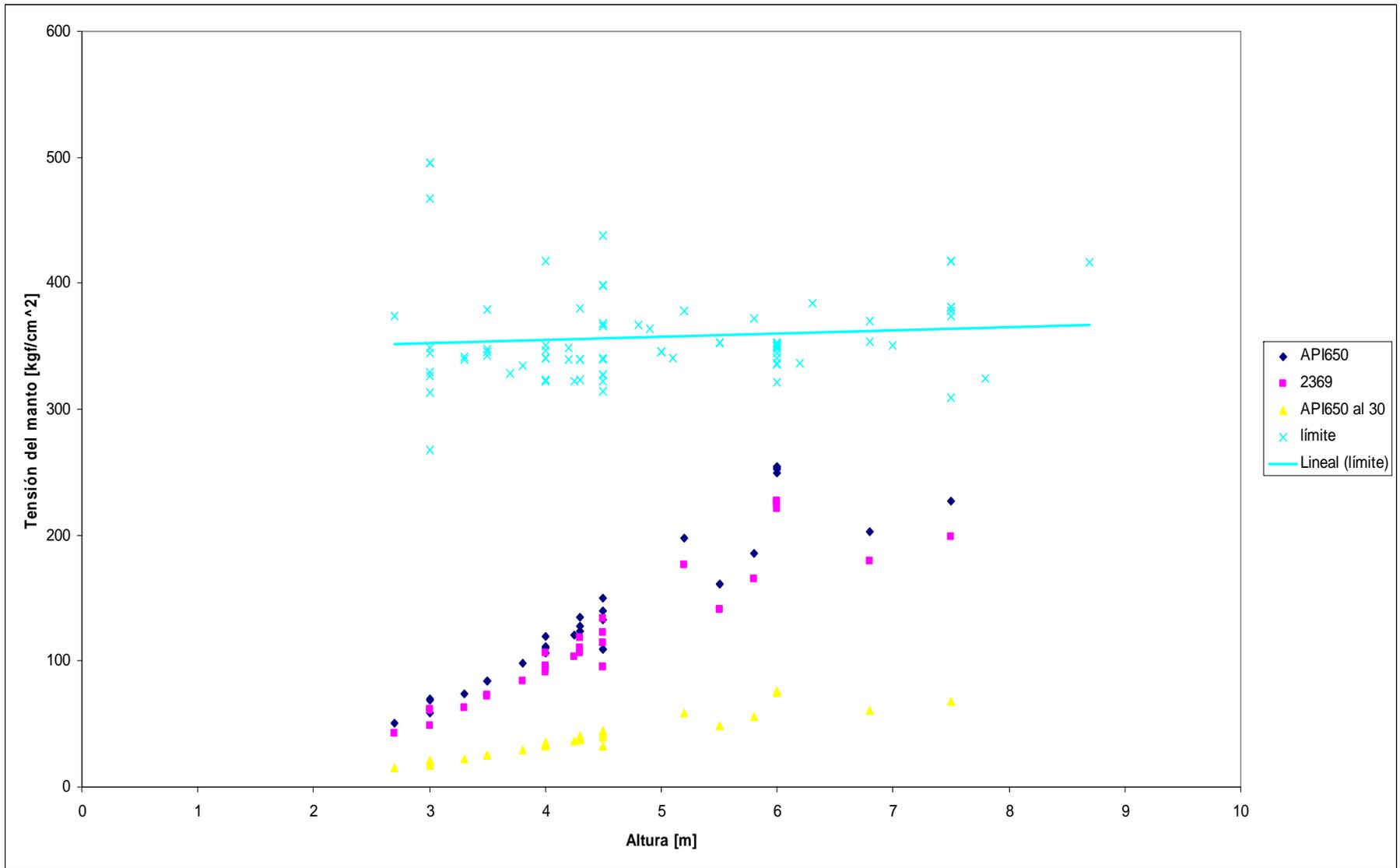


Gráfico 4.8: Tensiones en el manto en estanques anclados producidas por esfuerzos generados por un sismo

Capítulo 5

Comentarios

5.1. Introducción

Este capítulo presenta comentarios que surgen del trabajo desarrollado y que tienen relación con el diseño, fabricación y montaje de los estanques, ya que tal como se mencionó en los capítulos anteriores, casi totalidad de los estanques estudiados presenta algún tipo de no conformidad con los estándares y/o normas aplicables: API 650 (referencia 10) y NCh2369 (referencia 4)

5.2. Comentarios en relación a la información para el diseño de los estanques manejada en el país

Durante el desarrollo de este trabajo llamó la atención el poco conocimiento en la industria vitivinícola de las bases teóricas que están tras del diseño de los estanques. En Chile hay una escasa investigación del comportamiento de los estanques frente a los esfuerzos generados por las cargas de servicios comunes y por las cargas eventuales, (por ejemplo las cargas de viento o de sismo).

Es importante destacar que siendo nuestro país sísmico, recién el año 2003 se haya implementado una normativa nacional para el diseño sísmico de los estanques.

Frente a lo anterior, se puede comentar que en nuestro país falta mucho por desarrollar con respecto al diseño de los estanques de la industria vitivinícola y al conocimiento de los distintos fenómenos que los afectan, tanto como para poder entenderlos como para crear soluciones que se adapten la realidad de nuestra industria.

5.3. Comentarios al diseño de los estanques en la industria

Al visitar las viñas llamó la atención el desconocimiento de las viñas de las normativas existentes para el diseño de los estanques y la poca importancia que le otorgaban.

Las visitas también arrojaron que sin importar si la maestranza era pequeña o grande, los diseños de los estanques no cumplían completamente con los criterios establecidos por el API 650 , tales como espesores mínimos, anclajes, distancia entre anclajes, tipos de anclajes, pruebas de estanqueidad, distancia entre estanques, etc.

Lo anterior refleja los problemas existentes en el diseño de los estanques por parte de la maestranza.

5.3.1. Construcción y montaje

En algunas visitas en que maestranzas estaban construyendo y montando los estanques in situ, se observaron las siguientes deficiencias:

- Incorrecto manejo del acero inoxidable frente a posibles contaminantes.
- El proceso de soldadura no cumplía con los estándares de la industria.
- Falta de un proceso estándar para el montaje de los estanques.

5.3.2. Anclajes y fundaciones

Fue común observar la falta de anclajes en la gran mayoría de los estanques, según lo que recomienda el API 650. En el caso en que el estanque contara con éstos, eran muy pocos los que cumplían con los requerimientos mínimos de diseño.

La causa de esto es en parte un problema de costos, aunque para el tamaño de los estanques observados el ahorro no es mucho. Se sabe que el costo de los anclajes para un estanque oscila entre el 3% y el 8% (fuente TECNASIC S.A) del valor del estanque, valor que no es significativo en el precio final, considerando que una cuba de 30.000 [It] cuesta aproximadamente entre los 10 a 20 millones de pesos.

Se observó además que en una gran cantidad de estanques en vez de anclajes se instalaron topes. Se plantea la hipótesis de que la maestranza los puso por condiciones de diseño, ya que estimo que anclar el estanque no era necesario y solamente se necesitaba evitar que el estanque se desplazara lateralmente de su ubicación ante los esfuerzos generados por un sismo.

Otro punto débil observado es la separación de los anclajes, el API 650 dice en su apéndice E que para estanques con un diámetro menor que 15 [m], la distancia máxima entre anclajes no puede superar 1.8 [m], lo observado en las distintas visitas no cumple con este máximo, ya que se encontraron separaciones de hasta 3 [m]. Además en la mayoría de los casos la distribución no era equiespaciada, lo que vuelve engorroso el análisis, ya que existen zonas donde la tensión es mayor que en otras y, por lo tanto, tienen que ser analizadas de forma individual. Lo anterior fue más notorio en el caso de los topes, donde incluso se observó estanques con un perímetro de 16 m con solo 3 topes y a distancias irregulares. También llamó la atención que ninguno de los estanques anclados contaba con llaves de corte, lo que lleva a asumir que los pernos lo resisten, cosa que no es común el diseño de estanques en Chile, donde los pernos se diseñan solo para tomar los esfuerzos de tracción generados por el momento volcante producido por un sismo.

Por otra parte, se observó estanques con capacidades sobre los 50.000 [It], con su descarga por uno de los costados, anclados y apoyados sobre un

sistema de patas, se cree que se tomó esta decisión, más que por criterios de diseño, por un criterio económico, ya que se debe haber estimado equivocadamente que el costo de la fundación del estanque era mayor que la estructura de acero que conforma las patas. Se estima que esta solución aumenta el peligro de falla del estanque ya que en ninguno de los casos las patas estaban ancladas al suelo, por lo tanto aumenta la inestabilidad de la estructura.

Cabe destacar que el sistema de anclajes o topes utilizado en cada estanque, los espesores de las planchas y el diámetro de los pernos es característico de cada maestranza. Lo nombrado queda evidenciado en el Anexo B de este trabajo.

En el caso de los estanques sobre patas, sólo en contadas ocasiones estas se encontraban ancladas al suelo, lamentablemente en la mayoría de esas ocasiones los anclajes utilizados no estaban bien ubicados o eran inadecuados. Es importante destacar que la responsabilidad de anclar o no los estanques sobre patas recae en las maestranzas.

Con respecto a las fundaciones, en muchos casos los estanques están anclados al radier, careciendo de un sistema de fundaciones. En numerosos casos donde existiera algún tipo de fundación, estas no aparentaban haber sido diseñadas de forma correcta.

5.3.3. Espesores, Fondo, Manto y Techo

Durante todo el período de recopilación de información no se logró conseguir en su totalidad los espesores reales de los estanques. Algunos espesores fueron recopilados por medio de la información que manejaban los jefes de bodega o de gente que trabajaba en las viñas y que formo parte activa del proceso de construcción y montaje de los estanques. En gran parte de los casos, los espesores fueron obtenidos gracias a que no pulieron la información que cada plancha de acero trae y por último solo en contadas ocasiones los espesores fueron obtenidos de documentos oficiales.

Los espesores asignados a los estanques donde no se pudo conseguir la información se supusieron iguales a los de estanques de características similares donde el espesor se obtuvo mediante documentos oficiales.

El API 650, en el apéndice S, presenta ciertas formulas para calcular el espesor requerido del manto y del techo. Todos los estanques cumplen los espesores del manto, si no tomamos en cuenta sobreespesores por corrosión. Con respecto a los espesores del techo (todos los techos son cónicos auto-soportantes), solamente los estanques con diámetros menores a los 2 [m] cumplen el espesor de cálculo, si no tomamos en cuenta el sobreespesor por corrosión. Este es el principal motivo por el cuál los techos se encontraban deformados, ya que no son capaces de soportar su propio peso.

El API 650 exige un espesor mínimo tanto para el fondo, manto o techo, a menos que el mandante con el contratista acuerden otra cosa. Frente a esto realmente no se está en conocimiento de que las viñas hayan estado concientes de estos espesores, ya que ningún estanque los cumple.

Fue una sorpresa encontrar estanques de 7 a 8 [m] de altura sólo apoyados, con espesores de 2.5 [mm], el motivo de esto es netamente económico, las viñas adquieren los estanques por criterios económicos, por lo tanto no fiscalizan que estos cumplan con la normas impuestas, ante esto las maestranzas, con el afán de ganar los proyectos, no escatiman en reducir el espesor del fondo, manto y techo, ya que es en estos elementos donde se basa el precio del estanque.

5.3.4. Medidas de los estanques

Las medidas de los estanques dependían de dos aspectos, el primero de ellos era el uso; se observó que los estanques de fermentación de vino tinto tendían a tener esbelteces asociadas de 1 a 1.5, los de vino blanco, esbelteces sobre 2 y en el caso de los estanques utilizados para almacenar vino las esbelteces variaban entre 1 y 2. El segundo aspecto es el espacio, cabe destacar que las bodegas de estanques tienen alrededor de 8 a 10 [m] de altura y más o menos 30 a 40 [m] de largo, por lo tanto caben alrededor de 7 estanques de 4 [m] de diámetro. Al tomar en cuenta que un litro de vino cuesta aproximadamente 3.000 pesos es deseable meter una cuba más dentro de la bodega ya que, por ejemplo, una cuba con una capacidad de 85.000 [lt] equivale a 250 millones de pesos en ventas de producción. Por lo tanto frente a esto los estanques tienden ser más altos que anchos.

En el caso donde de estanques expuestos al aire libre, las medidas solo dependían del uso.

5.3.5. Tensiones

Tanto si la verificación del diseño de los estanques se hace con los coeficientes sísmicos de la NCh2369 como si se usan los del API 650, casi la totalidad de los estanques no anclados son inestables, tanto porque necesitan ser anclados como por que no cumplen las tensiones admisibles. El API 650 en el Apéndice E de diseño sísmico impone ciertas condiciones para poder calcular las tensiones en los estanques no anclados que son estables y una fórmula directa para los anclados. En el caso donde necesitan ser anclados el API 650 no entrega una metodología para calcular las tensiones, ya que las ecuaciones que entrega se indefinen. Ante esto el API 650 recomienda aumentar el espesor, anclar el estanque o cambiar la forma de este.

Al no poder verificar las tensiones admisibles a través del API 650 se optó por calcular las tensiones en el manto de los estanques no anclados por el método propuesto por la NSZEE (referencia 12). Lo anterior arrojó que casi la totalidad de los estanques que necesitaban ser anclados, tanto si se usan los

coeficientes sísmicos del API como si se usan los de la NCh2369, superaban las tensiones admisibles, por lo tanto se recomienda anclar el estanque, que es la solución más práctica para resolver, en gran parte de los casos, este problema.

5.3.6. Resumen

En resumen podemos decir que:

- Para el caso del API 650, un total de 500 estanques, lo que representa el 58% de la CPA de estanques apoyados directamente al suelo necesitan ser anclados o no cumplen las tensiones admisibles.
- Para el caso de la NCh2369, un total de 460 estanques, lo que representa el 56% de la CPA de estanques apoyados directamente al suelo necesitan ser anclados o no cumplen las tensiones admisibles.
- Para el caso del API 650 reducido en un 70% en sus exigencias, un total de 181 estanques, lo que representa el 33% de la CPA de estanques apoyados directamente al suelo necesitan ser anclados o no cumplen las tensiones admisibles.

Para el caso de los estanques anclados la totalidad de los estanques cumple las exigencias de las tensiones admisibles planteadas por el API, tanto si se usan los coeficientes sísmicos de la NCh2369, API 650 y API 650 reducido en un 70%.

REFERENCIAS

- 1) www.vinasdechile.com
- 2) Servicio agrícola y ganadero, "Catastro vitícola nacional 2004". Gobierno de Chile, 2005.
- 3) www.masterieg.uc.cl
- 4) INN., "Norma Chilena 2369 of2003. Diseño sísmico de edificios industriales". Instituto nacional de normalización. Santiago, Chile, 2003.
- 5) www.mundodelvino.com
- 6) www.wineinstitute.org
- 7) www.eeri.org
- 8) Bustos O.H., "El Vino Chileno". Editorial Universitaria, Santiago, Chile, 1986.
- 9) Nuñez R.A., "Recomendaciones de diseño sísmico de estanques de acero esbeltos". Memoria para optar al título de Ingeniero Civil. Universidad de Chile. Santiago, Chile, 2001.
- 10) American Petroleum Institute, "Welded steel tanks for oil storage tanks, Standard API 650". Estándar de diseño del API, USA, 2003
- 11) American Waterwork association, "Awwa standard for welded steel tanks for water storage D-100". American waterworks asociation. USA, 1989.
- 12) New Zealand National Society for Earthquake Engineering, "Recomendations of a study group of the new zealand national society for earthquake. M. J. N. Priestley". Nueva Zelandia, 1986.
- 13) Housner, G.W., "Dynamic Pressures on Accelerated Fluid Containers", Bulletin Seism. Soc. America, Vol. 47, No. 1, 1957, pp. 15-35
- 14) Clough, D.P., "Experimental evaluation of seismic design methods for broad cylinder tanks", EERC 82/25.

- 15) Córdova, S. 1990. "Recomendaciones para el diseño sísmico de estanques cilíndricos de acero". Memoria para optar al título de Ingeniero Civil. Universidad de Chile. Santiago, Chile.
- 16) Timoshenko, S.P. and Woinowsku-Krieger, S., "Theory of plates and shells", McGraw-Hill, 1959.
- 17) Peek, R. "Analysis of unanchored liquid storage tanks under seismic loads", Report No. EERL 86/01, California Institute of Technology, Pasadena, USA.
- 18) Ashwell, D.G. and Gallagher, R.H., "Finite elements for thin shells & curved members", John Wiley & Sons, 1976.
- 19) Musalem, R.P., "Verificación del diseño estructural de estanques elevados de acero de los sistemas de agua potable rural". Memoria para optar al título de Ingeniero Civil. Universidad de Chile. Santiago, Chile, 1999.
- 20) Choonfoo S., "Failure of liquid storage tanks due to earthquake excitation", Report No. EERL 81/04, California Institute of Technology, Pasadena, USA.
- 21) www.winebusiness.com
- 22) Koller M.G., and Malhotra P.K, "Seismic evaluation of unanchored cylindrical tanks". 13 World Conference on Earthquake engineering. Vancouver, Canada, 2004.
- 23) Godoy L.A., "A Primer on buckling of tanks". Material para docencia. Universidad de Puerto Rico.
- 24) Wozniak, R. S.; Mitchell, W. W. Basis of seismic design provisions for welded steel oil storage tanks. Sessions on Advances in Storage Tank Design, American Petroleum Institute, Washington, USA, 1978.
- 21) Jacobsen, L. S. Impulsive hydrodynamics of fluid inside a cylindrical tank and of fluid surrounding a cylindrical pier. Bulletin of the seismological Society of America, Vol 39, No. 3, 1949, pp. 189-203.

- 22) Giuliani, H. "Diseño sísmoresistente de tanques cilíndricos de acero destinados a vasija vinaria". Jornadas de ingeniería Antisísmica. La Serena. Chile, 1998.