

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO

CARRERA:
INGENIERÍA MECÁNICA

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:
INGENIERÍA MECÁNICA

TEMA:
DISEÑO DE UN SILO DE FONDO CÓNICO PARA ALMACENAR MAÍZ CON
CAPACIDAD DE 25 TONELADAS CON CARGA Y DESCARGA

AUTORES:
DIEGO FERNANDO ORTEGA PERALVO
FELIPE SANTIAGO TORRES ANDRADE

DIRECTOR:
ING. WILLIAM GUSTAVO DÍAZ DÁVILA

Quito, Febrero 2016

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros DIEGO FERNANDO ORTEGA PERALVO y FELIPE SANTIAGO TORRES ANDRADE, con documento de identificación N° 171664751-4 y 100370214-7, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de grado titulado: **“DISEÑO DE UN SILO DE FONDO CÓNICO PARA ALMACENAR MAÍZ CON CAPACIDAD DE 25 TONELADAS CON CARGA Y DESCARGA”**, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: **INGENIERO MECÁNICO**, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autores reservamos los derechos morales de la obra antes citada.

En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



Nombre: Felipe Torres
Cédula: 100370214-7
Fecha:



Nombre: Diego Ortega
Cédula: 171664751-4
Fecha:

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación, **“DISEÑO DE UN SILO DE FONDO CÓNICO PARA ALMACENAR MAÍZ CON CAPACIDAD DE 25 TONELADAS CON CARGA Y DESCARGA”** el diseño fue realizado por los estudiantes Felipe Santiago Torres Andrade y Diego Fernando Ortega Peralvo, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, junio 2016



William Gustavo Díaz Dávila

C.I. 0400926184

Dedicatoria

Felipe Torres

Dedico de manera muy especial este trabajo de grado con todo mi cariño a mi Madre, la cual ha sabido formarme como una persona de buenos sentimientos, hábitos y valores, siempre está dispuesta a escuchar y apoyarme en todo momento, gracias a su esfuerzo, sus palabras de aliento en todo momento no me dejaron decaer para seguir adelante y culmine mis estudios, todos mis logros se los debo a ella gracias a su motivación constante he logrado alcanzar mis anhelos.

De igual forma dedico a mis Abuelitos ya que ellos fueron el pilar principal para la construcción de mi vida profesional, aunque mi abuelita no se encuentre con nosotros siempre le estaré agradecido por ayudarme a conseguir esta etapa y por forjarme desde pequeño como la persona que soy en la actualidad.

Por ultimo mi padre al hombre que me dio la vida, aunque lo perdí y a hora se encuentra en el cielo desde ahí ha estado guiándome y protegiéndome, nos faltaron muchas cosas por vivir juntos, pero sus consejos los cuales son muy importantes siempre los llevare conmigo.

Diego Ortega

Agradezco a Dios, a mis padres, Marcelino Ortega, Isabel Peralvo, que han apoyado en todo momento, a ellos que con sus consejos enseñanzas y apoyo, siempre me incentivaban a ser un profesional, pero sobre todo un buen ser humano, a mi hermana familia y amigos, a mis maestros del colegio, por todas sus enseñanzas y tiempo, a mi compañero de tesis por su perseverancia.

Agradecimiento

Primeramente, agradecemos a la Universidad Politécnica Salesiana por aceptarnos y ayudarnos en este camino de aprendizaje además agradezco a sus diferentes docentes por el conocimiento brindado y su apoyo, nos sentimos sumamente orgulloso de pertenecer a la UPS.

Nuestro agradecimiento va dirigido al Ing. Mauricio Tito gracias a su experiencia y ayuda sobre el tema no lograríamos alcanzar la meta planteada.

Agradecemos sinceramente a nuestro tutor de tesis Ing. William Díaz por sus conocimientos, persistencia y motivación fueron fundamentales para la culminación del tema planteado, así como también por la paciencia brindada para guiarnos durante el desarrollo del trabajo de grado.

Durante este tiempo ha sido capaz de ganarse nuestra lealtad y admiración le damos nuestro querido agradecimiento en el tiempo que ha durado este trabajo de grado.

Índice

INTRODUCCIÓN	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	3
OBJETIVOS	5
ALCANCE DEL PROYECTO	6
TRABAJOS FUTUROS	6
CAPÍTULO 1	7
1 FUNDAMENTOS TEÓRICOS	7
1.1 TEORÍA DEL MAÍZ	7
1.1.1 El Maíz	7
1.1.2 Características del maíz	7
1.1.3 Estructura del grano de maíz	8
1.2 PROPIEDADES DEL MAÍZ	8
1.2.1 Características físicas	8
1.2.1.1 Forma y Tamaño	9
1.2.1.2 Densidad	10
1.2.1.3 Porosidad	10
1.2.2 Contenido de humedad	11
1.3 SECADO DEL GRANO	12
1.3.1 El secado	12

1.3.2	Velocidad de secado.....	12
1.3.3	Métodos de secado	13
1.4	SILOS	13
1.5	RECUBRIMIENTO PARA SILOS	14
1.5.1	Selección del Recubrimiento.....	15
1.5.1.1	Acrílicos	15
1.5.1.2	Epóxicos.....	15
1.5.1.3	Galvanizado en caliente	15
1.6	UNIONES APERNADAS	16
1.7	TEORÍA DE ESCALERAS	17
1.7.1	Diseño de la Escalera	17
1.8	CARGAS SÍSMICAS	18
1.8.1	Factor de carga sísmica z	18
1.8.2	Tipos De Suelos	20
1.8.3	Coefficiente de perfil del suelo Fa, Fd y Fs.....	21
1.8.4	Factor de importancia.....	22
1.9	ESTABILIDAD POR VIENTO.....	23
1.9.1	Cargas por viento	23
1.9.2	Presión del viento.....	24
CAPÍTULO 2.....		25
2	CÁLCULOS.....	25
2.1	DATOS GENERALES	25
2.1.1	Silo	25

2.1.2	Maíz.....	26
2.2	ESBELTEZ.....	26
2.3	SILO POCO ESBELTO.....	28
2.3.1	Cargas de llenado sobre paredes verticales.....	28
2.3.1.1	Carga simétrica de llenado.....	28
2.3.2	Presión horizontal después del llenado.....	31
2.3.3	Presión de Tracción por rozamiento en la pared después del llenado.....	31
2.3.4	Tensión vertical.....	32
2.3.5	Cargas concentradas de llenado.....	33
2.3.6	Cargas de descarga sobre las paredes verticales.....	34
2.3.7	Carga concentrada de descarga.....	34
2.3.8	Cargas sobre la tolva.....	35
2.3.8.1	Tolva Aplanada.....	35
2.3.8.2	Tensión vertical media en la tolva.....	36
2.3.8.3	Rozamiento Movilizado.....	36
2.3.8.4	Cargas de llenado.....	37
2.3.8.5	Cargas de Descarga.....	39
2.3.9	Cálculo de espesores.....	40
2.3.9.1	Cilindro.....	40
2.3.10	Espesor en tolva.....	42
2.3.11	Cálculo Cargas Vivas y Cargas Muertas.....	45
2.3.11.1	Cargas muertas.....	45
2.3.11.2	Cargas Vivas.....	46
2.3.12	Cálculo del Techo.....	47

2.3.13	Cálculos de Columnas.....	49
2.4	ACCESORIOS	52
2.4.1	Válvula de Guillotina	52
2.4.2	Bridas	53
2.4.3	Venteo	55
2.4.4	Manhole (entrada hombre).....	56
2.4.5	Escaleras.....	56
2.5	ESTABILIDAD POR VIENTO.....	58
2.5.1	Cargas por viento	58
2.5.2	Momento de volteo por Viento	58
2.5.3	Presión del viento.....	59
2.6	CÁLCULO PERNOS.....	62
2.7	RESUMEN.....	65
CAPÍTULO 3		67
3	COSTOS	67
3.1	COSTOS MATERIA PRIMA	67
3.2	COSTO DE MANO DE OBRA DIRECTA Y DISEÑO	67
3.3	COSTO DE EQUIPOS Y ACCESORIOS	68
3.4	TRANSPORTE.....	68
3.5	COSTO TOTAL	69
CONCLUSIONES		70
RECOMENDACIONES.....		71

REFERENCIA72

ANEXOS.....75

Índice de tablas

Tabla 1. Distribución Partes del grano.....	8
Tabla 2. Medida de los granos	9
Tabla 3. Contenido de la Humedad.....	11
Tabla 4. Porcentajes de Extracción de Humedad.....	13
Tabla 5. Clases de Silos	14
Tabla 6. Años de duración galvanizado en caliente.....	16
Tabla 7. Valores del factor Z en función de la zona sísmica adoptada.....	19
Tabla 8. Poblaciones ecuatorianas y valor del factor Z	20
Tabla 9. Tipo de suelos Imbabura.....	20
Tabla 10. Coeficiente de amplificación de suelo en el Ecuador	21
Tabla 11. Amplificación de las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamiento para diseño en roca.....	21
Tabla 12. comportamiento no línea de los suelo.....	21
Tabla 13. Tipo de uso, destino e importancia de la estructura	22
Tabla 14. Coeficiente de corrección σ	24
Tabla 15. Espesor mínimo de placas del cuerpo según el diámetro del tanque	42
Tabla 16. guillotinas dependiendo del diámetro	53
Tabla 17. Dimensiones de brida dependiendo del diámetro	54
Tabla 18. Venteo.....	55
Tabla 19. Para escoger la entrada hombre	56
Tabla 20. Coeficiente de corrección σ	58
Tabla 21. Coeficiente de entorno – altura.....	60

Tabla 22. Coeficiente de forma.....	60
Tabla 23. Costo de materia prima	67
Tabla 24. Costo de mano de obra directa y diseño	67
Tabla 25. Costo de equipos y accesorios	68
Tabla 26. Costo de transporte.....	68
Tabla 27. Costo total	69

Índice de figuras

Figura 1. Dimensionamiento de perno	17
Figura 2. La escalera	18
Figura 3. Mapa de Diseño Sísmico	19
Figura 4. Dimensiones del Silo	25
Figura 5. Dimensiones del silo para cálculo	27
Figura 6. Presiones en las paredes del segmento de pared vertical.....	28
Figura 7. Límite en tolvas aplanadas y agudas	35
Figura 8. Cilindro	40
Figura 9. Presiones en la tolva	42
Figura 10. Gráfico del Techo	48
Figura 11. Gráfico de la Columna.....	54
Figura 12. Grafico guillotina.....	52
Figura 13. Grafico bridas	60
Figura 14. Venteo Silo	55
Figura 15. Escalera con Protecciones.....	57
Figura 16. Conexión de pernos sometidos a tensión.....	62

Resumen

Los silos son las formas de almacenamiento de grano más importantes utilizadas en la industria agrícola por su eficiencia al preservar la calidad y los nutrientes del grano de maíz, en la actualidad el maíz es parte fundamental en la economía de nuestro país como también es importante para el consumo humano debido a sus excelentes propiedades para estimular el ánimo y fortalecer al cerebro gracias a que contiene un gran número de proteínas asimilables por el organismo.

Este proyecto está orientado al diseño estructural de un silo cilíndrico elaborado de chapa metálica de 25 toneladas tiene la ventaja de ser desmontable para su fácil transportación, Además almacenara maíz de forma eficiente y segura. Al desarrollar este proyecto no solo se obtendrá un adecuado almacenamiento del grano, sino también, se facilitará el transporte y armado del recipiente.

En el trabajo de grado se conoce las formas para preservar al grano de maíz además de sus características con el fin de facilitar el almacenaje del grano en el silo. El silo se encuentra diseñado en base al Eurocódigo1: Acciones en estructuras silos y depósitos (UNE-EN 1991-4), la cual da unas reglas para el cálculo estructural que se realiza bajo la influencia de distintos parámetros como la densidad del grano, capacidad de almacenamiento, presiones que actúan sobre las paredes del silo, peso específico entre otras.

Palabras clave: Silo, chapa metálica, pernos, acero A36, presión de entrada y salida, fuerzas, cargas, humedad, galvanizado, maíz.

ABSTRACT

The silo is the most important form of storage the grain used in the agricultural industry, thanks to its efficiency for preserving the quality and nutrients of the grain of maize, nowadays maize is an essential part in the economy of our country the same form the maize also important for human consumption because of their excellent properties to stimulate the mind, strengthen the brain and help our organism.

This project is oriented to the structural design of a cylindrical silo made of sheet metal with a capacity of twenty-five tons, has the advantage of being removable for easy transport of it, also it will store maize efficiently and safely. with this project developing not only we will get adequate grain storage, but the transport and assembly of the container is also provided.

In this degree work we know the ways to preserve the grain of corn in addition to its features in order to facilitate the storage of grain in the silo. The silo is designed based on the Eurocódigo1: Actions in silos and tanks structures (EN 1991-4), which gives rules for structural calculation, it is performed by the influence of various parameters such as the density of grain, pressures acting on the silo walls, specific gravity among others.

Keywords: Silo, sheet metal, bolts, steel A36, inlet and outlet pressure, forces, loads, moisture, galvanized, maize.

Glosario de términos

A Área de la sección horizontal de las zonas de paredes verticales

A_c Área de la sección horizontal del canal de flujo durante la descarga excéntrica

B Parámetro de profundidad para silos poco esbeltos con llenado excéntrico

C Coeficiente de mayoración de cargas

C_o Coeficiente de descarga (coeficiente de mayoración de cargas) para el sólido

C_{op} Coeficiente (coeficiente de mayoración de cargas) de referencia de sólidos para cargas concentradas para el sólido almacenado

C_b Coeficiente de mayoración de cargas sobre el fondo

C_h Coeficiente (Coeficiente de mayoración de cargas) de la presión horizontal descargas

C_{pe} Coeficiente (Coeficiente de mayoración de cargas) de las cargas centradas en descarga

C_{pf} Coeficiente (Coeficiente de mayoración de cargas) de las cargas concentradas en llenado

C_s Coeficiente de corrección de la esbeltez para silos de esbeltez media

C_T Coeficiente de amplificación térmica de carga

C_w Coeficiente (coeficiente de mayoración de cargas) de la presión de tracción por rozamiento con las paredes en descarga

E Relación entre la excentricidad del canal de flujo y el radio del silo

E_s Módulo de elasticidad efectivo del sólido almacenado para el valor pendiente de tensión

E_w Módulo de elasticidad de la pared de silos

F Relación entre la presión normal sobre la pared de la tolva y la tensión vertical media del sólido

F_e Coeficiente de presión en la tolva durante la descarga

F_f Coeficiente de presiones en la tolva después del llenado

F_{pe} Fuerza horizontal total debida a la carga concentrada en silos circulares de pared delgada durante la descarga

F_{pf} Fuerza horizontal total debida a la carga concentrada en silos circulares de pared delgada después del llenado

G Relación entre el radio del canal de flujo y el radio del silo circular

K Valor característico del coeficiente de presiones laterales

K_m Valor medio del coeficiente de presiones laterales

K_0 Valor de K medio para una deformación horizontal nula, bajo tensiones principales horizontales y verticales

S Coeficiente de geometría de la tolva ($=2$ para tolva cónica, $=1$ para tolva en forma de cuña)

T Temperatura

U Perímetro interno de sección plana de pared vertical.

U_{SC} Perímetro interior del contacto del canal de flujo y el sólido estático bajo descarga excéntrica

U_{wc} Perímetro interior del contacto del canal de flujo y la pared bajo descarga excéntrica

Y Función de la variación con la profundidad

Y_J Función de la variación de Janssen de la profundidad

Y_R Función de la variación de la presión de silos poco esbeltos con la profundidad

Letras latinas minúsculas

a Longitud de lado de un silo rectangular o hexagonal

a Coeficiente de modificación (para una propiedad dada) que permite obtener los valores característicos superior e inferior a partir de los valores medios

a_k Coeficiente de modificación para el coeficiente de presiones laterales

a_y Coeficiente de modificación del peso específico

a_φ Coeficiente de modificación del ángulo de rozamiento interno

a_μ Coeficiente de modificación del coeficiente de rozamiento con la pared de silo

b Anchura de un silo rectangular

b Coeficiente empírico para las presiones en tolvas

c Cohesión del sólido

Introducción

Esta investigación se ha realizado con la finalidad de conocer unos de los métodos más idóneos para preservar los granos de maíz, ya que en el Ecuador es un producto sumamente consumido por lo que en estos tiempos es de vital importancia su almacenamiento. Toda la cosecha del maíz es destinada a la nutrición del agricultor, familia además de la venta del maíz al público, por lo que el grano debe ser cuidadosamente conservado durante el almacenamiento para que no se afecte su valor nutritivo.

Es así que se hace necesaria la propuesta de un almacenamiento que ayude a preservar la calidad de los productos agrícolas después de su cosecha, limpieza y secado. Los agricultores deben lidiar con el almacenamiento de granos y la demanda que se presenta durante el periodo entre cada una de las cosechas. No se hace posible consumir de inmediato toda la producción, si el agricultor la almacena podrá consumirla poco a poco o venderla con posterioridad en la época más oportuna, evitando así las presiones del mercado que se presentan durante la época de la cosecha.

Los granos requieren cuidados especiales para que sus cualidades se preserven durante el tiempo de almacenamiento. El deterioro del grano no se puede evitar completamente, ya que por ser un organismo vivo respira como cualquier otro, consumiendo sus reservas y produciendo energía.

El uso de técnicas adecuadas de producción, cosecha, secado, beneficio, almacenaje y manejo minimizan el deterioro.

Los recipientes de almacenamientos (silos) ayudan a que el contenido de humedad, la temperatura, los hongos, los insectos, las impurezas presentes en la masa de granos, los

daños físicos y los roedores no influyan en su conservación durante el almacenamiento. De estos factores, los principales que influyen en el deterioro de los granos son la temperatura y el contenido de humedad.

En general, mientras más seco y frío se conserva el grano durante el almacenamiento, mayor será el periodo que permanecerá en buenas condiciones.

Planteamiento del problema

¿Cómo lograr un mejor aprovechamiento del almacenamiento de los granos de maíz, facilitando el transporte del tanque de almacenamiento con el uso de técnicas adecuadas para la construcción de silos con especificaciones estándares y generar mejores condiciones de preservación de los granos?

Justificación del problema

La construcción de un tanque (silo) desmontable que sirve para almacenar alimentos en tiempo de cosecha y suministrarlo en tiempo de escasez, conservando su humedad, su naturaleza y calidad, esto permite aumentar el nivel de preservación de los granos. En épocas de estío (verano tropical) y de lluvias extremas en las regiones o en épocas de discontinuidad de la cosecha, por ser un grano estacionario se hace necesario que este sea guardado o almacenado, de forma que no se deteriore, ni que sufra ningún tipo de daño.

Se conoce además que los agricultores, por épocas de siembra de los diferentes granos no solo siembran para el consumo de las familias, sino que además siembran con la finalidad de sacar algún provecho a cada una de las cosechas, y al no tener en donde resguardar los granos se ven en la necesidad de estar a lo que defina el mercado, lo que hace que muchas de las veces estos pierdan mucho dinero en cada una de las ventas por no poder almacenar sus cultivos de manera adecuada.

La investigación realizada demostró que se hace necesaria buscar un método adecuado en donde el agricultor pueda almacenar y transportar el silo en cada uno de sus

cosechas y poder guardarlas con la finalidad de poder ser usada cuando esta sea necesaria.

El almacenamiento al aire libre hace que el grano se deteriore con mayor rapidez, que pierda su humedad, que pierda su calidad y que deba ser vendido en el mercado de forma inmediata.

El silo que se piensa construir es uno de los métodos más adecuados para el almacenamiento de los granos, en este caso, de los granos de maíz, y es por eso que debido a que su construcción va hacer realizada de forma estándar, sus costos serán menores a los establecidos para este tipo de almacenamiento. Además, que este silo lograra ayudar al agricultor a mejorar su sustento diario, sacando el producto al mercado cuando lo crea conveniente y que los precios le beneficien.

Objetivos

Objetivo General.

Diseñar un silo desmontable para almacenar maíz con capacidad de 25 Toneladas, utilizando normas de diseño estándares.

Objetivos Específicos.

- Analizar y aplicar la norma UNE - 1991 de diseño existentes para el cálculo de silos.
- Verificar el diseño mediante métodos normalizados que respalden el cálculo del silo.
- Definir la geometría adecuada para el silo en función de su capacidad total.
- Elaborar los planos cumpliendo los requisitos de la norma para que no ocurra fallas.

Alcance del proyecto

El desarrollo del sistema de almacenamiento del maíz está planteado en las siguientes etapas:

- a) Diseño mecánico del sistema de almacenamiento a escala real.
- b) Diseño y selección de los elementos de dosificación, acoplados al sistema de almacenamiento a escala real.
- c) Diseño y selección de los elementos propios para la construcción del silo a escala real.

Trabajos futuros

Como complemento al trabajo realizado, se pueden:

- a) Diseñar los anclajes al suelo como consecuencia de las reacciones calculadas.
- b) Diseñar la automatización del silo para que se regule a la temperatura automáticamente.
- c) Realizar una investigación sobre los procesos de entrada y salida de los granos automatizados.

Capítulo 1

1 Fundamentos teóricos

1.1 Teoría del Maíz

1.1.1 El Maíz

EL maíz proviene de un lenguaje antiguo que significa “lo que sustenta la vida” es un cereal que procede de América con un gran valor nutricional y una multiplicidad de usos, explican culturas indígenas que esta planta simboliza parte de su cultura debido a su antigüedad, ya que fue uno de los alimentos base del sustento diario.

El maíz pertenece al grupo de las gramíneas, esta planta posee frutos harinosos semejantes a otros cereales como el trigo y el arroz, es una de las plantas más evolucionadas por adaptarse a diferentes ambientes del reino vegetal, actualmente el maíz es cultivado en la mayoría de los países del mundo se utiliza como materia prima para la producción de alimentos, forraje y consumo humano.

1.1.2 Características del maíz

El maíz surge de la tierra, contiene un nivel alto de calorías con un alto valor nutricional llega hasta alturas de 1 a 2 metros y se desarrollan mediante fotosíntesis.

La espiga puede contener de 300 a 1000 granos. El peso del grano varía aproximadamente de 19 a 30 g por cada 100 granos. Durante la recolección, las mazorcas de maíz son extraídas manual o mecánicamente de la planta. Se pelan las hojas y luego se separan los granos a mano o mecánicamente, Los tipos de maíz más importantes son: duro, dentado, reventón, dulce, harinoso, ceroso y tunicado (LA FAO, 1993).

1.1.3 Estructura del grano de maíz

Con respecto a la estructura del grano es un fruto simple cuyas partes fundamentales son el pericarpio, el endospermo, el germen y la aleurona.

Tabla 1.

Distribución Partes del grano.

Estructura	Porcentaje de distribución ponderal
Pericarpio	5-6
Aleurona	2-3
Endospermo	80-85
Germen	10-12

Nota: porcentajes de las partes del grano.

Fuente: (LA FAO, 1993).

(Ospina Machado, 2001) “Define al pericarpio y endospermo como:

Pericarpio: Constituye un conjunto de partes que recubren y protegen el grano siendo el 5-6% del total del peso del grano.

Endospermo: Es un tejido dentro de la mayoría de las variedades de granos que guarda o almacena los nutrientes aproximadamente es el 80% del total del peso del grano”.

1.2 Propiedades del Maíz

1.2.1 Características físicas

Las características físicas de los granos son uno de los factores más importante cuando se quiere diseñar y construir maquinas o estructuras que contengan maíz, ya que el propósito principal es analizar la calidad del grano y el control de los diferentes procesos

con el objetivo de tener una mejor eficiencia en las estructuras diseñadas. (Ospina Machado, 2001, pág. 59).

Con respecto a las características físicas (Ospina Machado, 2001) “opina que las más importantes son: la forma, el tamaño, densidad y la porosidad pero pueden cambiar sus valores en función de la humedad del producto por lo que se debe hacer énfasis en esta propiedad y tener mucho cuidado”.

1.2.1.1 Forma y Tamaño

“Aun cuando los granos de maíz tienen formas irregulares no muy definidas un poco redonda y fibrosas, tienden a deslizarse con facilidad, la superficie de los gránulos presenta apariencia rugosa por lo que se toma en cuenta en el diseño con las paredes del silo.” (Medina & Salas, 2007).

Las dimensiones de algunos granos y semillas se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 2.

Medidas de los granos.

Grano	Diámetro Mayor (mm)	Diámetro Medio (mm)	Diámetro Menor (mm)	Numero granos por Kg	Contenido Humedad (%bn)
Sorgo	4,14	3,82	2,42	40,667	13,5
Arroz cáscara	8,46	3,13	2,26	35,274	8,9
Avena	12,90	2,88	2,27	29,670	8,6
Cebada	10,94	3,67	2,97	26,930	7,7
Soya	9,14	7,74	6,03	6,430	14,7
Café Almendra	11,2	7,1	4,10	5,787	12,3
Café Pergamino	13,0	8,26	5,12	4,524	12,5
Maíz amarillo	12,59	8,01	4,34	2,860	10,0
Maíz ICA 508	11,80	11,47	6,23	2,465	
Trigo	6,56	3,21	3,10	23,760	7,1
Fríjol bola rojo	9,60	5,94	5,50	5,397	14,0
Fríjol radical	11,6	7,2	6,20	2,338	14,0
Cacao	21,0	1,31	9,00	1,165	8,0

Quinua	2,08	1,11		333,334	13,5
Ajonjolí	2,32	1,82	1,00	375,900	5,0
Lenteja	6,90	6,7	2,60	12,710	13,2
Garbanzo	10,00	9,06	8,30	2,086	14,0
Arveja	8,98	7,8	7,50	2,758	13,7

Nota: Parámetros para cada tipo de grano
Fuente: (Ospina Machado, 2001).

1.2.1.2 Densidad

La densidad se la puede interpretar como la división del peso en seco del grano y el volumen del mismo.

Se distinguen dos tipos de densidad, densidad aparente, y densidad real; En la densidad real se descarta los espacios vacíos que dejan los granos entre si mientras en la aparente no se toman en cuenta pero las dos son necesarias al momento de diseñar estructuras. (Ospina Machado, 2001, págs. 62 - 63).

Fórmula de la densidad de los granos

$$\rho_r = \frac{m}{v} \quad \text{[Ecuación 1]}$$

Fuente: (Ospina Machado, 2001).

Donde:

m: Peso del producto (Kg)

v: Volumen real del producto (m³)

ρ_r : Densidad real (Kg/m³)

1.2.1.3 Porosidad

La porosidad en los granos se define como la división ente los espacios vacíos y el volumen total, indica la cantidad de espacios vacíos que dejan grano y grano al momento de ser almacenados en un recipiente, dichos espacios pueden ser ocupados por otra

substancia (aire o agua). Es importante destacar que el secado del maíz depende de la porosidad por el movimiento y la resistencia que el aire presenta al atravesar cada capa de grano. (Ospina Machado, 2001, pág. 63).

1.2.2 Contenido de humedad

El contenido de humedad es el punto más importante antes de guardar el grano en el silo se pueden producir pérdidas de toda la cosecha por problemas de exceso de agua, ya que da formación al desarrollo de microorganismos como las bacterias, hongos y las levaduras. Los granos con bajo contenido de humedad son mucho más resistentes al ataque de cualquier organismo el contenido de humedad recomendable para cualquier cereal es menor al 13 %. (Ospina Machado, 2001, pág. 33).

En la siguiente tabla se muestra valores del coeficiente de fricción en función del contenido de humedad.

Tabla 3.
Contenido de la Humedad.

PRODUCTO	Contenido Humedad (%bh)	COEFICIENTE DE FRICCIÓN ESTÁTICO			REF.
		ACERO	CONCRETO	MADERA	
Cebada	7,9			0,40	1
	10,7	0,27	0,56	0,40	
	12,3	0,28	0,55		
	13,3			0,40	
	14,3	0,30	0,57		
	16,2	0,37	0,62	0,40	
Frijol	10,4	0,33	0,40	0,38	1
	13,4	0,34	0,44	0,40	
	16,5	0,36	0,51	0,48	
Lenteja	13,5	0,16	0,33	0,27	1
Maíz	9,9	0,24	0,59	0,31	
	12,2	0,25	0,60	0,33	
	13,9	0,34	0,64	0,37	
Maíz ICA 508	12,6	0,22	0,35	0,32	1
	18,2	0,30	0,42	0,36	
	22,8	0,32	0,51	0,39	

	27,5	0,34	0,60	0,44	
Soya	7,1	0,21	0,39	0,29	
	8,1	0,21	0,55	0,33	
	12,2	0,206	0,55	0,35	

Nota: Porcentajes de humedad de cada grano antes de la cosecha.

Fuente: (Ospina Machado, 2001).

(CUNIBERTI, 2014) “Propone que para trigo, soja y maíz el período recomendado según la humedad es el siguiente:

- Riesgo BAJO: humedad inferior al 14%, de 6 a 12 meses.
- Riesgo MEDIO: humedad entre el 14 y 16%, de 2 a 6 meses según humedad.
- Riesgo ALTO: humedad superior al 16%, de 1 a 2 meses.”

1.3 Secado del grano

1.3.1 El secado

El secado comienza cuando el maíz está maduro y posee una humedad 18 al 24 por ciento, se realiza la cosecha de dos formas manual y mecánica mediante maquinas que cortan y arrancan el grano sin dañarlo. La mayoría de agricultores seca el maíz con aire natural o con aire caliente entre 38°C y 43°C para no perder la calidad (LA FAO, 1993).

1.3.2 Velocidad de secado

Cada grano necesita perder humedad a una velocidad pertinente sin que esta dañe las propiedades del grano, por lo que la siguiente tabla muestra los valores de extracción de agua por hora necesaria para mantener la calidad del maíz. (Bartosik & Rodriguez, 2004).

Tabla 4.

Porcentajes de Extracción de Humedad.

Grano	% de Extracción por hora
Maíz - Sorgo - Girasol	Menos del 5%
Trigo	Menos del 4%
Soja	Menos del 3%
Arroz	Menos del 1%

Nota: grado necesario para extracción de agua.

Fuente: (Bartosik & Rodriguez, 2004)

1.3.3 Métodos de secado

En la actualidad existen distintos tipos de métodos de secado tanto artificiales como naturales el más usado en el Ecuador y por falta de dinero o conocimiento es el natural comprende en dejar madurar el maíz en el campo o en patios mientras la radiación solar y el movimiento del aire lo va secando lentamente este método es muy peligroso necesita de una buena condición climática además tener mucho cuidado con los insectos que dañan el maíz, los beneficios es su bajo costo.

Un sistema de secado artificial exige una inversión considerable al agricultor la ventaja es que podrá tener grano de mejor calidad y sin mucha pérdida por lo que podrá elevar su cosecha y su vez hacer entregas oportunas. En estos procesos de secado artificial, el aire es introducido por medio de ventiladores se lo puede realizar en el propio silo consiste en pasar aire caliente por un flujo continuo de granos y así obtener granos secos a bajas temperaturas. (LA FAO, 1993).

1.4 Silos

Los silos son estructuras que en su mayoría se crean para el almacenamiento de un producto granular o líquido por extensos periodos de tiempo, esto se logra siempre y

cuando el producto cumpla con las condiciones requeridas por el silo antes de ser llenado. Los silos cuya sección transversal horizontal es circular son los más utilizados en los últimos tiempos ya que su elaboración, diseño y construcción resultan ser más factible.

Existen diferentes clases de silos la recomendada por la norma UNE – EN 1991 se presenta en la tabla siguiente:

Tabla 5.

Clases de Silos

Clase	Descripción
Clase de evaluación de acción 3	Silos de capacidad mayor de 10 000 toneladas Silos de capacidad mayor de 1 000 toneladas en las que puede producirse cualquiera de las siguientes situaciones de cálculo: a) Descarga excéntrica con $e_o/dc > 0,25$ b) silo poco esbelto con excentricidad en la superficie superior $e_t/dc > 0,25$
Clase de evaluación de acción 2	Todos los silos cubiertos por esta norma y que no tengan ubicación en otra clase
Clase de evaluación de acción 1	Silos con capacidad menor de 100 toneladas

Nota: Clasificación dependiendo del peso a resistir el silo.

Fuente: (UNE - EN 1991 - 4, 2011).

Los silos de fondo cónico tienen una gran ventaja en comparación con los de fondo plano ya que permiten el vaciado completo de los materiales.

1.5 Recubrimiento para silos

Hoy en día existen diferentes formas para recubrir y proteger la superficie externa como interna de los silos por estar expuestos a diferentes factores como el agua y el aire, estos elementos ayudan a la pérdida de material en el tiempo, por esto se hace necesario la prolongación de la vida útil de los materiales recubriéndolos con epóxidos, acrílicos, galvanizado en caliente entre otros, los cuales protegen de la corrosión y otros factores ambientales.

1.5.1 Selección del Recubrimiento

Para la selección de recubrimiento se verifica el costo en función de la duración en el silo. En el siguiente apartado se comprueba las características de los recubrimientos más usados en los sistemas de almacenamiento y reconocer el más idóneo. El espesor de la capa de recubrimiento ha de ser recomendado por la casa del fabricante.

1.5.1.1 Acrílicos

“Son los más usados hoy en día están basados en agua, por las exigencias de protección ambiental. Se caracterizan por su buena estabilidad a la luz y a los rayos UV, son recomendados para ambientes no muy agresivos y sólo para exteriores”. (Garibaldi, 2007)

1.5.1.2 Epóxicos

Es el recubrimiento de mayor uso en tanques y silos admite una protección tanto interior como exterior, permite una máxima protección contra la corrosión y otros factores ambientales, hoy en día existe una gran variedad de resinas que son utilizadas en la industria alimenticia por su gran durabilidad y asepsia a su vez otorga una garantía de 10 años. (Garibaldi, 2007).

Un distribuidor de este tipo de pintura en el Ecuador es Pintuco ofrece una gran variedad de epóxicos y recomienda para interior del tanque Epoxi-Poliamida es ideal para proteger estructuras en ambientes que requieran un alto grado de asepsia como alimentos.

1.5.1.3 Galvanizado en caliente

Es un proceso tecnológico por inmersión se lo realiza desde tiempos muy antiguos consiste en formar una capa protectora mediante la inmersión de hierro o acero en zinc a una temperatura 449°C mediante este proceso se puede evitar la corrosión en los materiales

y dar un mejor acabado a los tanques y silos, el costo es un poco elevado y el espesor de recubrimiento define el número de años promedio de duración. (GALVANORTE, 2016).

Tabla 6.

Años de duración galvanizado en caliente

Espesor del Recubrimiento		Número de años en promedio de duración hasta que aparece una oxidación del 5% sobre la superficie de acero			
		Atmósfera Rural	Atmósfera Marina	Atmósfera Urbana	Atmósfera Industrial
Milésimas de pulgada	gr/m ²				
0.0015 a 0.0031	269 a 557	17 - 35	12 - 20	10 - 15	4 - 8
0.0031 a 0.0047	557 a 844	35 - 50	20 - 35	15 - 25	8 - 12
0.0047 a 0.0078	844 a 1400	50 - 75	35 - 50	25 - 40	12 - 18

Nota: Espesor de recubrimiento chapa metálica.

Fuente: (GALVANORTE, 2016).

1.6 Uniones apernadas

“En las últimas décadas existen varios métodos de sujeción y unión de las partes del silo tales son los pernos, tuercas, pasadores, remaches, soldadura entre otros. Para la utilización de cada uno se necesita de un buen conocimiento de respaldo de cada método, los más utilizados son los tornillos y la soldadura que resulta ser muy rápido y eficientes.” (McCormac, Jack C, 2013).

Los silos apernados siguen la norma vigente ASME B18.2.1 de 1996 que propone distintas dimensiones pernos, tuercas y arandelas en pulgadas con un grado de dureza de 8.8 considerados pernos estructurales.

Dimensionamiento de perno.

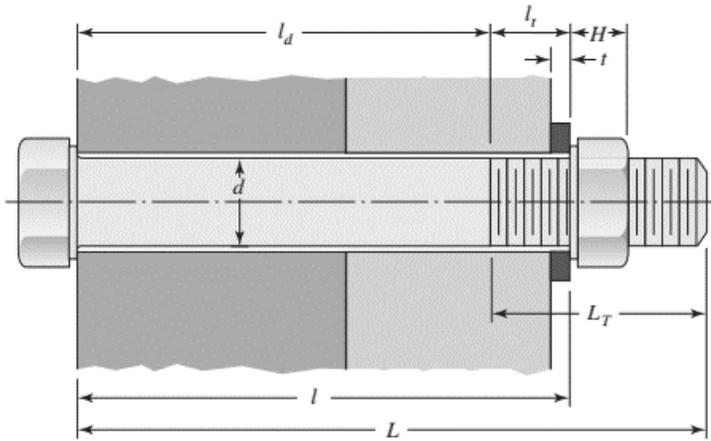


Figura 1.

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2012, pág. 412).

1.7 Teoría de Escaleras

1.7.1 Diseño de la Escalera

Para limpieza y verificación del grano se debe construir la escalera adosada a las paredes exteriores del silo y presentar la ventaja de poder desmontarla, además se debe pensar en una forma q no concentre demasiados momentos flectores, en los puntos críticos cumpliendo con las especificaciones de la norma API 650.

Respecto a las cargas a la que va a estar sometida la escalera se tomaran dos situaciones críticas como muestra la figura.

La escalera.

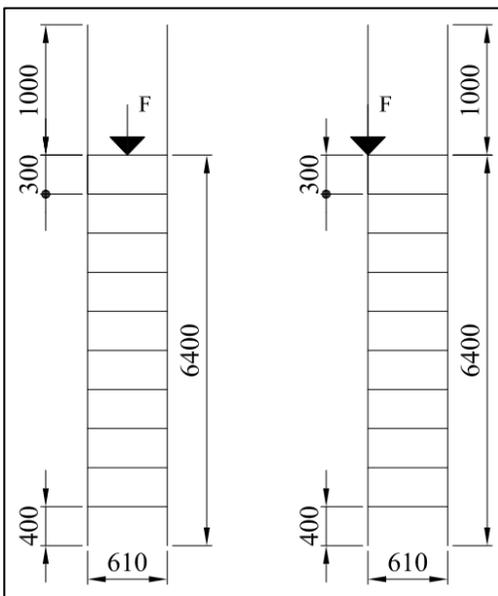


Figura 2.

Fuente: (Torres & Ortega).

Donde:

$F = 4450 \text{ N}$ especificada por la norma API 650

1.8 Cargas Sísmicas

Los silos deben ser apropiadamente fortificados por la inestabilidad de los terrenos. Ecuador es considerado una zona más propensa a los sismos por lo ocurrido en los últimos tiempos, por esto se debe conocer qué factores inciden en la carga sísmica del silo. (NEC (Norma Ecuatoriana de la construcción), 2014)

1.8.1 Factor de carga sísmica z

Imbabura forma parte de las 6 zonas con peligro sísmico del Ecuador, representada por un valor Z dependiendo de su probabilidad.

Mapa Sísmico.

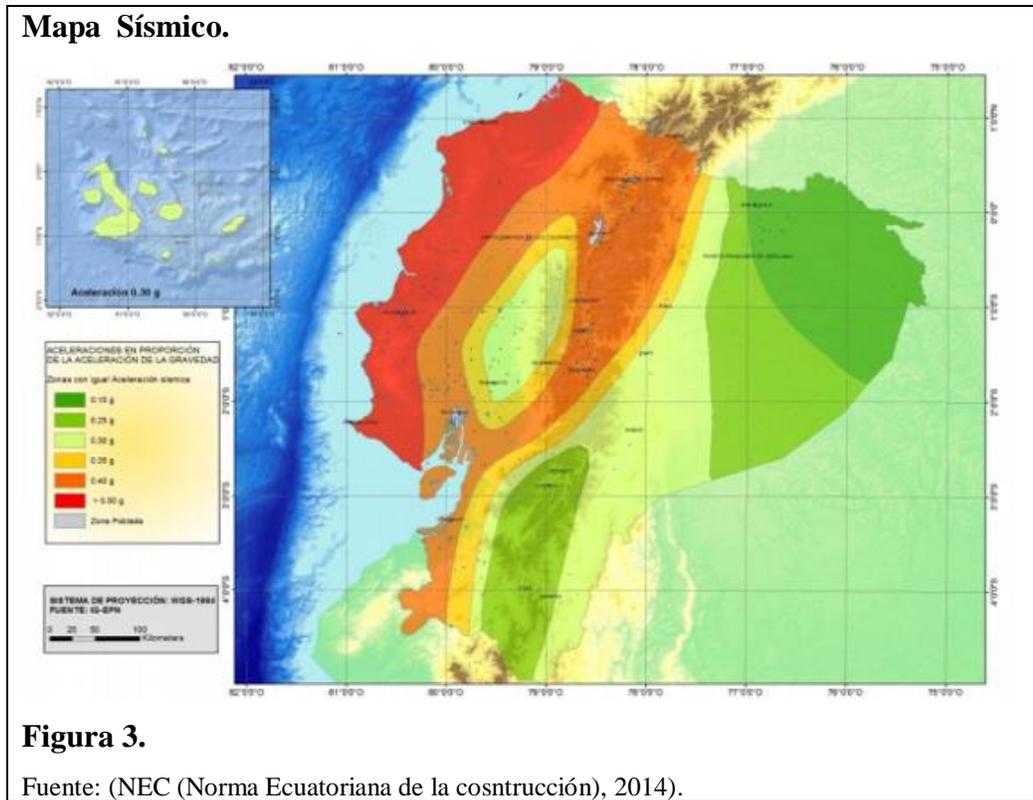


Figura 3.

Fuente: (NEC (Norma Ecuatoriana de la construcción), 2014).

Este mapa es el resultado del estudio de riesgo sísmico para un 10% de disponibilidad en 50 años.

Tabla 7.

Valores Z para la provincia de Imbabura.

Zona sísmica	I	II	III	IV	V	VI
Valor factor Z	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	> 0.50
Caracterización del peligro sísmico	Intermedia	Alta	Alta	Alta	Alta	Muy Alta

Nota: factores donde la probabilidad es alta de un sismo

Fuente: (NEC (Norma Ecuatoriana de la construcción), 2014).

El territorio ecuatoriano es catalogado como amenaza sísmica alta

Para este caso

El valor z es 0.40 g

La aceleración en proporción de la aceleración de la gravedad es 0.40 g

Tabla 8.**Poblaciones ecuatorianas y valor del factor Z.**

Población	Parroquia	Cantón	Provincia	Z
Atuntaqui	Atuntaqui	Antonio Ante	Imbabura	0.40

Fuente: (NEC (Norma Ecuatoriana de la construcción), 2014).

1.8.2 Tipos De Suelos

El silo se encuentra en la provincia de Imbabura por lo que el tipo de suelo está especificado en la tabla 9:

Tabla 9.**Tipo de suelos Imbabura.**

CLASIFICACION DEL SUELO SOIL TAXONOMY (USDA)			MATERIAL DE ORIGEN	
ORDEN	SUBORDEN	GRAN GRUPO		
MOLLISOLS. Suelos minerales con superficie muy obscura, de gran espesor y rica en C. O. epipedón mólico); con presencia de algunos horizontes de mayor desarrollo pedogenético; ricos en bases; de alta fertilidad.	USTOLLS. De áreas subhúmedas o secas con sequías frecuentes y fuertes	HAPLUSTOLLS	Proyecciones volcánicas: ceniza reciente fina y permeable	
CLIMA ZONAS DE HUMEDAD Y TEMPERATURA		FISIOGRAFIA Y RELIEVE	CARACTERISTICAS DEL LOS SUELOS	
Seco	Templado	Relieves ondulados a colinados de las vertientes y partes bajas norte y centro	Sin horizonte argílico; pH neutro a ligeramente alcalino	Pardos; profundos; arenosos finos con limo o limosos con arena e incremento de arcilla en profundidad

Nota: suelos en Ecuador. **Fuente:** (NEC (Norma Ecuatoriana de la construcción), 2014).

“El tipo de suelo es negro, profundo, arenoso, derivado de material piro clástico, con menos de 30% de arcilla en el primer metro, tienes áreas secas; pH neutro por lo que pertenece a un tipo de suelo tipo D”. (NEC (Norma Ecuatoriana de la construcción), 2014).

1.8.3 Coeficiente de perfil del suelo Fa, Fd y Fs

Tabla 10.

Coeficiente de amplificación de suelo en el Ecuador.

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0,15	0,25	0,3	0,35	0,4	≥0,5
A	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
B	1	1	1	1	1	1
C	1,4	1,3	1,25	1,23	1,2	1,18
D	1,6	1,4	1,3	1,25	1,2	1,12
E	1,8	1,4	1,25	1,1	1	0,85

Nota: Categorización de suelos para cálculo.

Fuente: (NEC (Norma Ecuatoriana de la construcción), 2014).

Fa = Coeficiente de amplificación de suelo en la zona de periodo corto.

Tabla 11.

Amplificación de las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamiento para diseño en roca.

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0,15	0,25	0,3	0,35	0,4	≥0,5
A	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
B	1	1	1	1	1	1
C	1,36	1,28	1,19	1,15	1,11	1,06
D	1,62	1,45	1,36	1,28	1,19	1,11
E	2,1	1,75	1,7	1,65	1,6	1,5

Nota: Espectro de onda en los tipos de suelos.

Fuente: (NEC (Norma Ecuatoriana de la construcción), 2014).

Fd = amplificación de las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamiento para diseño en roca.

Tabla 12.**Comportamiento no lineal de los suelo.**

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0,15	0,25	0,3	0,35	0,4	≥0,5
A	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
B	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
C	0,85	0,94	1,02	1,06	1,11	1,23
D	1,02	1,06	1,11	1,19	1,28	1,4
E	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2

Nota: Comportamiento de los suelos en Ecuador.

Fuente: (NEC (Norma Ecuatoriana de la construcción), 2014).

Fs = comportamiento no lineal de los suelos.

1.8.4 Factor de importancia**Tabla 13.****Tipo de uso, destino e importancia de la estructura.**

CATEGORÍA	TIPO DE USO, DESTINO E IMPORTANCIA	FACTOR
Edificaciones esenciales y/o peligrosas	Centros de salud o de emergencia sanitaria, instalaciones militares, estacionamientos para vehículos y aviones que atienden emergencias. Torres de control aéreo. Estructuras de centros de telecomunicaciones u otros centros de atención de emergencias. Estructuras que albergan equipos de generación y distribución eléctrica. Tanques u otras estructuras utilizadas para depósito de agua u otras sustancias. Estructuras que albergan depósitos tóxicos, explosivos, químicos u otras sustancias peligrosas.	1,5
Estructuras de ocupación especial	Museos, iglesias, centros de educación o deportivos que albergan más de trescientas personas. Todas las estructuras que albergan más de cinco mil personas. Edificios públicos que requieren operar continuamente.	1,3
otras estructuras	Todas las estructuras de edificación y otras que no clasifican dentro de las categorías anteriores.	1

Nota: Factor de sismo para estructuras.

Fuente: (NEC (Norma Ecuatoriana de la construcción), 2014).

1.9 Estabilidad por viento

1.9.1 Cargas por viento

Velocidad corregida del viento

$$V_b = V\sigma \quad \text{[Ecuación 2]}$$

Fuente: (NEC (Norma Ecuatoriana de la construcción), Cargas (no sísmicas), 2014).

Donde:

V = Velocidad que adquiere el viento en m/s a una altura de 10 m sobre el piso = 21 m/s (75 km/h).

V_b = Velocidad corregida del viento en m/s.

σ = Coeficiente de corrección de la tabla 14.

La (NEC (Norma Ecuatoriana de la construcción), Cargas (no sísmicas), 2014) Clasifica en 3 categorías:

- “Categoría A (sin obstrucción): zonas rurales, edificios que se ubican frente al mar, o zonas sin obstáculos en su topografía.
- Categoría B (obstrucción baja): edificios que se ubican en sectores suburbanos, construcciones limitadas con baja altura, están delimitadas hasta 10m.
- Categoría C (zona edificada): sectores urbanos con construcciones de altura”

Tabla 14.

Coefficiente de corrección σ

Altura (m)	Sin obstrucción (Categoría A)	Obstrucción baja (categoría B)	Zona edificada (categoría C)
5	0,91	0,86	0,8
10	1	0,9	0,8
20	1,06	0,97	0,88
40	1,14	1,03	0,96
80	1,21	1,14	1,06
150	1,28	1,22	1,15

Nota: Corrección de velocidad en el viento

Fuente: (NEC (Norma Ecuatoriana de la construcción), Cargas (no sismicas), 2014).

1.9.2 Presión del viento

Para calcular el empuje del viento, se nombra una presión P , y se determina mediante la siguiente ecuación:

$$P = \frac{1}{2} \rho V_b^2 c_e c_f \quad \text{[Ecuación 3]}$$

Fuente: (NEC (Norma Ecuatoriana de la construcción), Cargas (no sismicas), 2014).

Donde:

P = Presión calculada expresada en Pa (N/m^2)

V_b = Velocidad corregida del viento en m/s.

ρ = Densidad del aire expresada en Kg/m^3

c_e = Coeficiente de entorno – altura

c_f = Coeficiente de forma

Capítulo 2

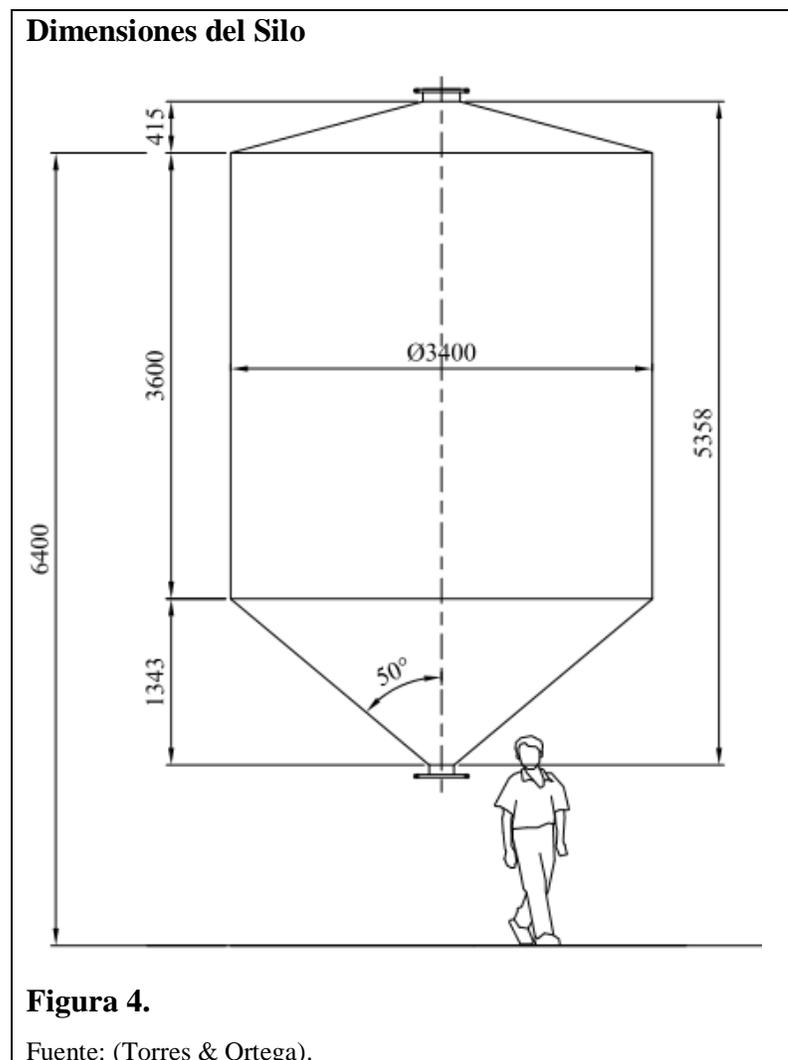
2 Cálculos

En el presente capítulo se desarrollan los cálculos fundamentales para el diseño del silo a continuación se presenta las características generales.

2.1 Datos generales

2.1.1 Silo

En la Figura 4 se aprecian las dimensiones generales del silo



Donde:

Capacidad del silo = 25 toneladas = 245.2 KN (maiz)

Diámetro del silo = 3.4 m

Altura del silo = 5.358 m

Altura total desde el Piso al cilindro = 6.4 m

Volumen necesario del Silo = 30.65 m³

2.1.2 Maíz

Peso específico (maíz) = 8 KN/m³ = 0.8 Tn/ m³

Angulo de talud natural = 35°

Angulo de rozamiento interno = 31°

Coefficiente de presiones laterales = 0.53

Coefficiente de rozamiento con la pared = 0.36

2.2 Esbeltez

Para el cálculo de la esbeltez se toma en cuenta las reglas que pone la norma UNE - EN 1991 - 4, 2011:

- Silos esbeltos, en los que $2.0 < hc/dc$
- Silos de esbeltez media, en los que $1.0 < hc/dc < 2.0$
- Silos poco esbeltos, en los que $0,4 < hc/dc < 1.0$
- Silos granero, en los que el fondo es plano y $hc/dc \leq 0.4$

Dimensiones del silo para el cálculo.

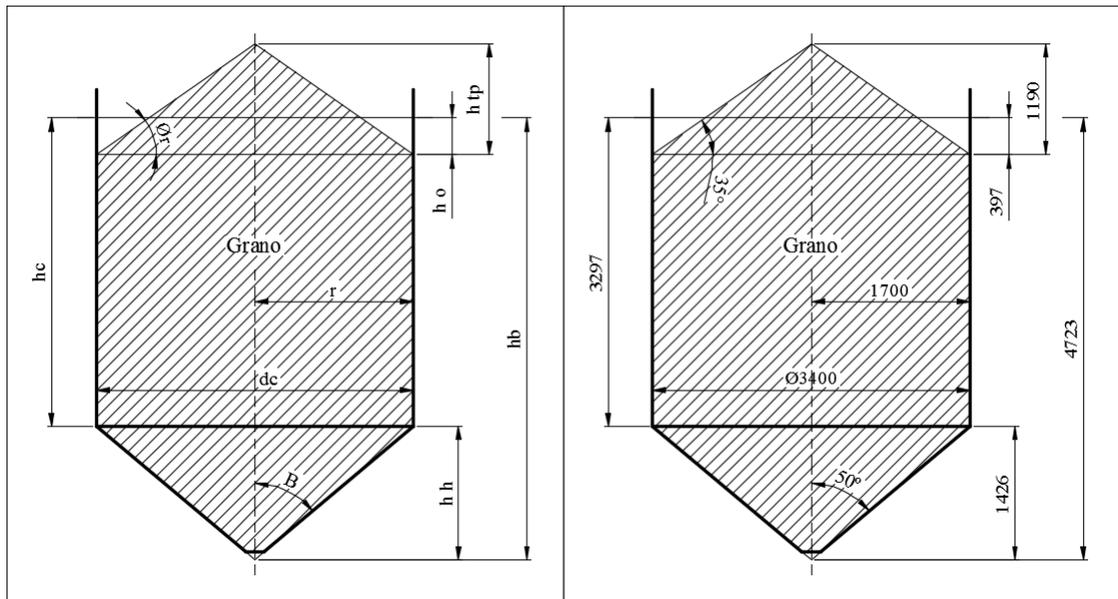


Figura 5.

Fuente: (Torres & Ortega).

Donde:

h_c - altura de pared vertical del cilindro hasta la superficie semejante del grano

d_c - Diámetro interno del cilindro de la sección transversal

Para el caso:

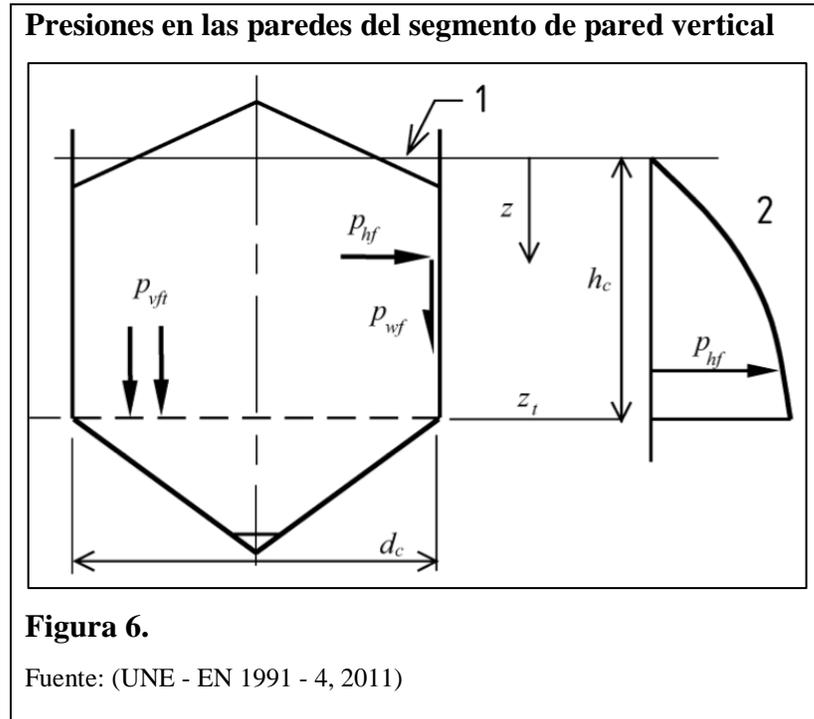
$$\frac{h_c}{d_c} = \frac{3.297 \text{ m}}{3.4 \text{ m}} = 0.97$$

[Ecuación 4]

Fuente: (UNE - EN 1991 - 4, 2011).

Por lo que el silo es Poco esbelto

2.3 Silo Poco esbelto



Donde:

- 1 Superficies equivalente
- 2 Presiones en el segmento de pared vertical

2.3.1 Cargas de llenado sobre paredes verticales

2.3.1.1 Carga simétrica de llenado

Antes de comenzar a calcular las cargas en el llenado primero se necesita encontrar los valores z_o, h_o, n, Y_r, P_{ho} los cuales son necesarios para la ecuación principal de presiones:

$$z_o = \frac{1}{K\mu} \frac{A}{U} \quad \text{[Ecuación 5]}$$

Fuente: (UNE - EN 1991 - 4, 2011).

$$\frac{A}{U} = \frac{r}{2} = \frac{1.7}{2} = 0.85 \text{ m}$$

$$z_o = \frac{1}{0.53 * 0.36} 0.85 = 4.5 \text{ m}$$

Donde:

z_o = Profundidad característica de Janssen.

K = Coeficiente de presiones laterales.

μ = Valor característico del coeficiente de rozamiento con la pared del silo.

A = Área de la sección horizontal de la zona de paredes verticales.

U = Perímetro interno de sección plana de pared vertical.

El segundo valor a encontrar:

$$h_o = \frac{r}{3} \tan \phi_r \quad \text{[Ecuación 6]}$$

Fuente: (UNE - EN 1991 - 4, 2011).

$$h_o = \frac{1.7}{3} \tan 35$$

$$h_o = 0.4 \text{ m}$$

Donde:

h_o = Profundidad bajo la superficie equivalente de la base del cono superior (punto más bajo de la pared que no está en contacto con el sólido almacenado).

ϕ_r = Ángulo de talud natural (o de reposo) de un sólido.

$$n = -(1 + \tan \phi_r) \left(1 - \frac{h_o}{z_o} \right) \quad \text{[Ecuación 7]}$$

Fuente: (UNE - EN 1991 - 4, 2011).

$$n = -(1 + \tan 35) \left(1 - \frac{0.4}{4.5}\right)$$

$$\mathbf{n = -1.55}$$

$$Y_r = \left(1 - \left\{\left(\frac{z - h_o}{z_o - h_o}\right) + 1\right\}^n\right) \quad \text{[Ecuación 8]}$$

Fuente: (UNE - EN 1991 - 4, 2011).

$$Y_r = \left(1 - \left\{\left(\frac{3.297 - 0.4}{4.5 - 0.4}\right) + 1\right\}^{-1.55}\right)$$

$$\mathbf{Y_r = 0.563}$$

Donde:

Y_R = Función de la variación de la presión de silos poco esbeltos con la profundidad.

h_o = Profundidad bajo la superficie equivalente de la base del cono superior.

z = Profundidad desde la superficie equivalente del solido en la condición de lleno.

z_o = Profundidad característica de Janssen.

$$P_{ho} = \gamma \frac{1}{\mu} \frac{A}{U} \quad \text{[Ecuación 9]}$$

Fuente: (UNE - EN 1991 - 4, 2011).

$$P_{ho} = 8 \frac{KN}{m^3} * \frac{1}{0.36} * 0.85 m$$

$$\mathbf{P_{ho} = 18.9 KPa}$$

Donde:

P_{ho} = Presión horizontal asintótica a gran profundidad debida al solido almacenado.

γ = Valor característico peso específico.

A = Área de la sección horizontal de la zona de paredes verticales.

U = Perímetro interno de sección plana de pared vertical.

μ = Valor característico del coeficiente de rozamiento con la pared del silo

2.3.2 Presión horizontal después del llenado

$$P_{hf} = P_{ho}Y_r \quad \text{[Ecuación 10]}$$

Fuente: (UNE - EN 1991 - 4, 2011).

$$P_{hf} = 18.9KPa * 0.563$$

$$P_{hf} = \mathbf{10.64 KPa}$$

Donde:

P_{hf} = presión horizontal después del llenado.

P_{ho} = presión horizontal asintótica a gran profundidad debida al solido almacenado.

Y_R = función de la variación de la presión de silos poco esbeltos con la profundidad.

2.3.3 Presión de Tracción por rozamiento en la pared después del llenado

$$P_{wf} = \mu P_{hf} \quad \text{[Ecuación 11]}$$

Fuente: (UNE - EN 1991 - 4, 2011).

$$P_{wf} = 0.36 * 10.952$$

$$P_{wf} = \mathbf{3.83 KPa}$$

Donde:

P_{wf} = presión de tracción por rozamiento en la pared después del llenado.

μ = valor característico del coeficiente de rozamiento con la pared del silo.

P_{hf} = presión horizontal después del llenado.

2.3.4 Tensión vertical

$$P_{vf} = \gamma z_v \quad \text{[Ecuación 12]}$$

Fuente: (UNE - EN 1991 - 4, 2011).

$$P_{vf} = 8 \frac{KN}{m^3} * 2.3 m$$

$$P_{vf} = 18.4 KPa$$

Donde:

P_{vf} = tensión vertical en el sólido almacenado después del llenado.

z_v = medida de profundidad usada en la evolución de la tensión vertical de silos poco esbeltos.

Siendo:

$$z_v = h_o - \frac{1}{(n + 1)} \left(z_o - h_o - \frac{(z + z_o - 2 h_o)^{n+1}}{(z_o - h_o)^n} \right) \quad \text{[Ecuación 13]}$$

Fuente: (UNE - EN 1991 - 4, 2011).

$$z_v = 0.4 - \frac{1}{(-1.55 + 1)} \left(4.5 - 0.4 - \frac{(3.297 + 4.5 - 2 * 0.4)^{-1.55+1}}{(4.5 - 0.4)^{-1.55}} \right)$$

$$z_v = 2.3 m$$

Donde:

z_v = medida de profundidad usada en la evolución de la tensión vertical de silos poco esbeltos.

z_o = profundidad característica de Janssen.

h_o = profundidad bajo la superficie equivalente de la base del cono superior.

z = profundidad desde la superficie equivalente del solido en la condición de lleno.

Los Valor de la tensión vertical resultante n_{zSk} (compresión) a cualquier profundidad z se calcula con la siguiente ecuación:

$$n_{zSk} = \int_0^z P_{wf}(z) dz = \mu P_{ho}(z - z_v) \quad \text{[Ecuación 14]}$$

Fuente: (UNE - EN 1991 - 4, 2011).

$$n_{zSk} = 0.36 * 18.9 \frac{KN}{m^2} (3.297 - 2.3)m$$

$$n_{zSk} = 6.8 \frac{KN}{m}$$

Donde:

n_{zSk} = valor característico de la tensión vertical resultante por unidad de perímetro en el segmento de la pared vertical.

P_{wf} = presión de tracción por rozamiento en la pared después del llenado.

z = profundidad desde la superficie equivalente del solido en la condición de lleno.

P_{ho} = presión horizontal asintótica a gran profundidad debida al solido almacenado.

z_v = medida de profundidad usada en la evolución de la tensión vertical de silos poco esbeltos.

2.3.5 Cargas concentradas de llenado

La carga concentrada de llenado y según la norma UNE-EN 1991 puede ignorarse para silos de esbeltez media ($1.0 < h_c/d_c < 2.0$) o poco esbeltos ($h_c/d_c < 1.0$) con capacidad menor de 100 toneladas.

$$C_{pf} = 0$$

Donde:

C_{pf} = coeficiente (coeficiente de mayoración de cargas) de las cargas concentradas en llenado.

2.3.6 Cargas de descarga sobre las paredes verticales

Solo para silos poco esbelto, la norma UNE-EN 1991 considerarse que las cargas de descargas simétricas son idénticas a las cargas de llenado para silo con capacidad menor de 100 toneladas.

$$P_{he} = 10.64kpa$$

$$P_{we} = 3.83kpa$$

Donde:

P_{he} = presión horizontal durante la descarga.

P_{we} = presión de tracción por rozamiento en la pared durante la descarga.

2.3.7 Carga concentrada de descarga

La norma UNE-EN 1991 ignora la carga concentrada de descarga para silos poco esbeltos ($h_c/d_c < 1.0$) con capacidad menor de 100 toneladas.

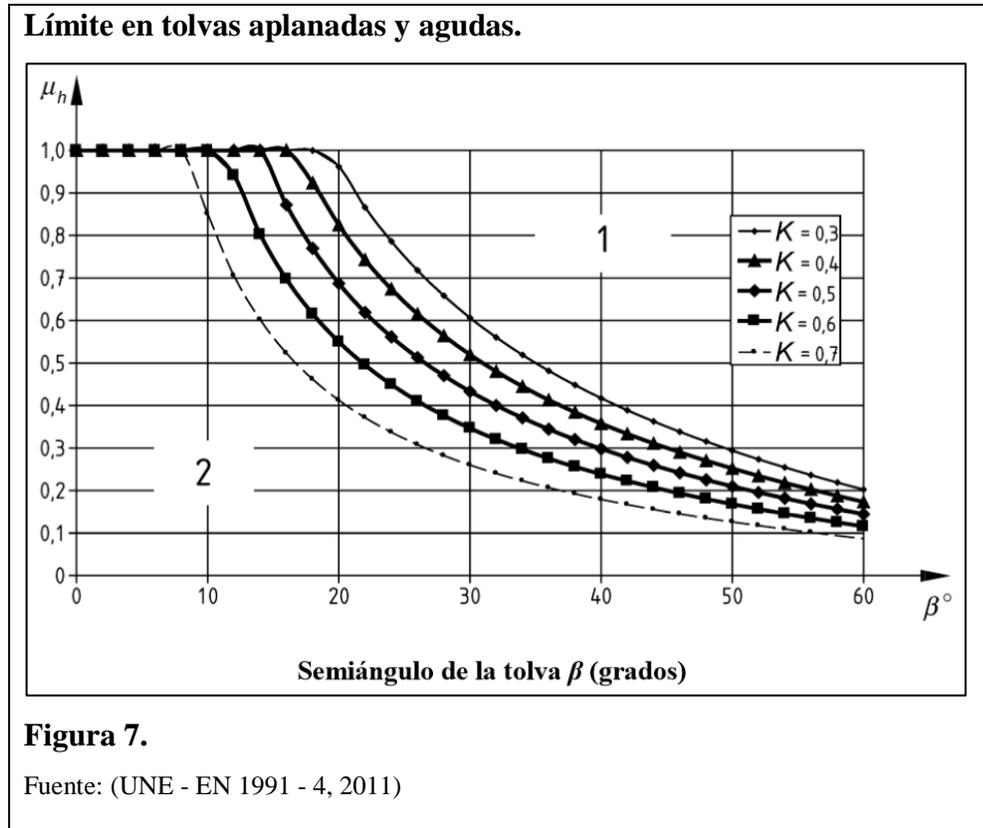
$$C_{pe} = 0$$

Donde:

C_{pe} = coeficiente de mayoración.

2.3.8 Cargas sobre la tolva

2.3.8.1 Tolva Aplanada



Donde:

- 1 Tolva aplanada
- 2 Tolva aguda
- β Semiángulo del vértice de la tolva (grados)
- u_h Valor característico inferior del coeficiente de rozamiento con la pared de la tolva

Para el cálculo de la tolva se comienza por encontrar C_b Coeficiente de mayoración de cargas que tiene en cuenta la posibilidad de que el segmento de pared vertical transfiera mayores cargas a la tolva para este caso:

$$C_b = 1.3$$

2.3.8.2 Tensión vertical media en la tolva

Determina la tensión vertical media en el sólido a una altura x sobre el vértice de la tolva

$$P_{vft} = C_b P_{vf} \quad \text{[Ecuación 15]}$$

Fuente: (UNE - EN 1991 - 4, 2011).

$$P_{vft} = 1.3 * \left(8 \frac{KN}{m^3} * 3.297 m \right)$$

$$P_{vft} = 34.29 KPa$$

Donde:

P_{vft} = tensión vertical en el sólido después del llenado en la transición (la base del segmento de pared vertical).

C_b = coeficiente de mayoración de cargas sobre el fondo.

P_{vf} = tensión vertical en el sólido almacenado después del llenado.

2.3.8.3 Rozamiento Movilizado

En las tolvas aplanadas el rozamiento es movilizado.

$$\mu_{heff} = \frac{(1 - k)}{2 \tan \beta} \quad \text{[Ecuación 16]}$$

Fuente: (UNE - EN 1991 - 4, 2011).

$$\mu_{heff} = \frac{(1 - 0.53)}{2 \tan 50}$$

$$\mu_{heff} = 0.20$$

Donde:

μ_{heff} = rozamiento movilizado o efectivo en una tolva aplanada.

K = coeficiente de presiones laterales.

β = Semiángulo del vértice de la tolva (grados).

2.3.8.4 Cargas de llenado

Antes del cálculo se debe resolver los siguientes parámetros:

$$F_f = 1 - \left\{ \frac{b}{\left(1 + \frac{\tan \beta}{\mu_{heff}}\right)} \right\} \quad \text{[Ecuación 17]}$$

Fuente: (UNE - EN 1991 - 4, 2011).

$$F_f = 1 - \left\{ \frac{0.2}{\left(1 + \frac{\tan 50}{0.20}\right)} \right\}$$

$$F_f = 0.97$$

Donde:

F_f = coeficiente de presiones en la tolva después del llenado.

b = coeficiente empírico para las presiones en tolvas.

μ_{heff} = rozamiento movilizad o efectivo en una tolva aplanada.

β = Semiángulo del vértice de la tolva (grados).

$$n = S (1 - b) \mu_{heff} \cot \beta \quad \text{[Ecuación 18]}$$

Fuente: (UNE - EN 1991 - 4, 2011).

$$n = 2 * (1 - 0.2) * 0.2 * \cot 50$$

$$n = 0.21$$

Donde:

n = potencia en el coeficiente de presiones en la tolva.

S = coeficiente de geometría de la tolva (= 2 para tolva cónica, = 1 para tolva en forma de cuña).

μ_{heff} = rozamiento movilizado o efectivo en una tolva aplanada.

Lo siguiente es calcular la tensión vertical en el sólido

$$P_v = \left(\frac{\gamma * h_h}{n - 1} \right) \left\{ \left(\frac{x}{h_h} \right) - \left(\frac{x}{h_h} \right)^n \right\} + P_{vft} \left(\frac{x}{h_h} \right)^n \quad \text{[Ecuación 19]}$$

Fuente: (UNE - EN 1991 - 4, 2011).

$$P_v = \left(\frac{8 * 1.43}{0.21 - 1} \right) \left\{ \left(\frac{x}{1.43} \right) - \left(\frac{x}{1.43} \right)^{0.21} \right\} + 34.29 \left(\frac{x}{1.43} \right)^{0.21}$$

Cuando $x = 0.92$

Sacando la derivada e igualando a 0 y $x = 0.922431$

$$P_v = 35.14 \text{ KPa}$$

Donde:

P_v = tensión vertical en el sólido almacenado.

h_h = altura de la tolva desde el vértice hasta la transición.

n = potencia en el coeficiente de presiones en la tolva.

x = coordenada vertical en la tolva con origen en el vértice del cono o pirámide.

P_{vft} = tensión vertical en el sólido después del llenado en la transición (la base del segmento de pared vertical).

Presión normal

$$P_{nf} = F_f P_v \quad \text{[Ecuación 20]}$$

Fuente: (UNE - EN 1991 - 4, 2011).

$$P_{nf} = 0.97 * 35.14$$

$$P_{nf} = \mathbf{34.09 \text{ KPa}}$$

Donde:

P_{nf} = presión normal a la pared de la tolva después del llenado.

F_f = coeficiente de presiones en la tolva después del llenado.

P_v = tensión vertical en el sólido almacenado.

Presión de tracción

$$P_{tf} = \mu_{heff} F_f P_v \quad \text{[Ecuación 21]}$$

Fuente: (UNE - EN 1991 - 4, 2011).

$$P_{tf} = 0.20 * 0.97 * 35.14$$

$$P_{tf} = \mathbf{6.82 \text{ KPa}}$$

Donde:

P_{tf} = presión de tracción por rozamiento en la tolva después del llenado.

μ_{heff} = rozamiento movilizado o efectivo en una tolva aplanada.

F_f = coeficiente de presiones en la tolva después del llenado.

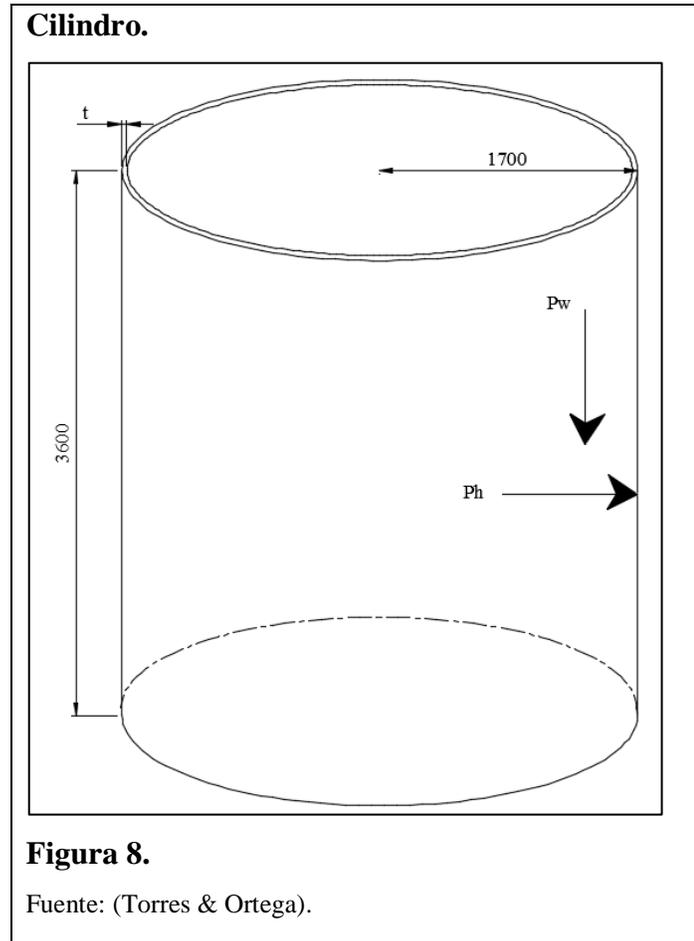
P_v = tensión vertical en el sólido almacenado.

2.3.8.5 Cargas de Descarga

En el caso de tolvas aplanadas la presión normal y la presión de tracción se pueden tomar iguales a los valores de llenado.

2.3.9 Cálculo de espesores

2.3.9.1 Cilindro



Para las paredes verticales se utiliza la siguiente fórmula:

$$t = \frac{P_h * dc}{20 * \sigma_t} \quad \text{[Ecuación 22]}$$

Fuente: (Ravenet, 1977).

$$P_h = 18.9 \text{ KPa} = 1928.57 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2}$$

$$\sigma_t = 70.43 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

$$t = 4.65 \text{ mm}$$

Donde

t = Espesor de la chapa en mm.

P_h = Valor de la presión horizontal sobre las paredes en (kg/m²).

dc = Diámetro del silo m.

σ_t = Coeficiente de trabajo (minorado) de la chapa (kg/m²)

Y

$$t = \frac{P_{wf} D * 10}{2 * \sigma_t * 100}$$

[Ecuación 23]

Fuente: (Ravenet, 1977).

$$P_{wf} = 3830 \text{ Pa} = 390.816 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2}$$

$$\sigma_t = 70.43 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2}$$

$$t = 0.9 \text{ mm}$$

Donde:

t = Espesor de la chapa en mm.

P_{wf} = Valor de la presión de rozamiento sobre las paredes en (kg/m²).

dc = Diámetro del silo m.

σ_t = Coeficiente de trabajo (minorado) de la chapa (kg/m²)

La suma de las dos es el valor final tomado para espesores

$$t = 5.6 \text{ mm}$$

La norma Api 650 especifica una tabla para espesores:

Tabla 15.

Espesor mínimo para el diámetro del tanque.

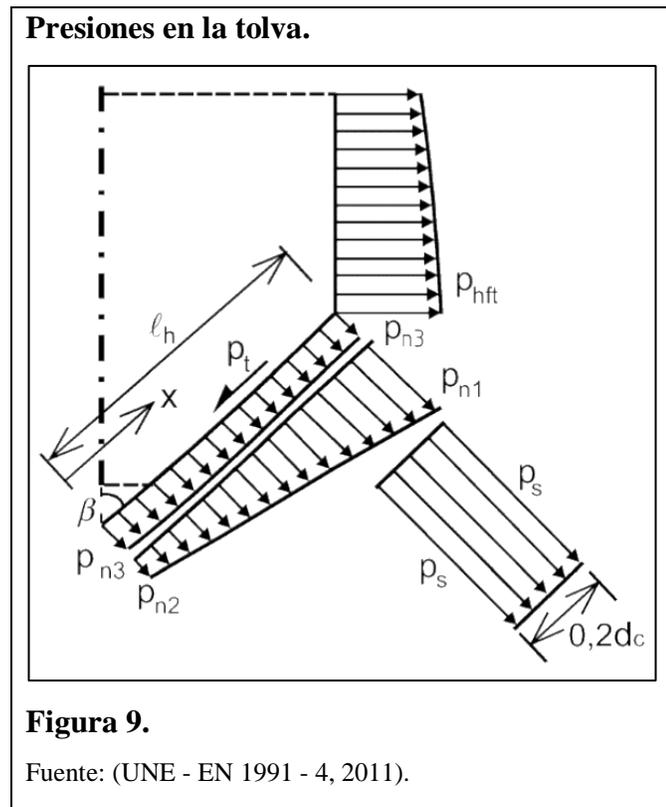
Diámetro (m)	Espesor mínimo (mm)
$D > 60$	10
$36 < D < 60$	8
$15 < D < 36$	6
$D < 15$	5

Nota: Espesores para silos
Fuente: (API 650, 2005).

Por lo que el espesor indicado para el cuerpo es de 6 mm.

2.3.10 Espesor en tolva

Para el cálculo del espesor de la tolva se debe considerar calcular la presión total ejercida en la tolva



$$Pn = Pn3 + Pn2 + (Pn1 - Pn2) \frac{x}{lh} \quad \text{[Ecuación 24]}$$

Fuente: (UNE - EN 1991 - 4, 2011).

$$Pn = 9.99 + 26.19 + (40.32 - 26.19) = 50.31 \text{ KPa}$$

Donde:

Pn = Presión de llenado en tolvas.

$Pn3$ = Presión en la tolva debida al sólido contenido en la tolva.

$Pn2$ y $Pn1$ = Presiones en la tolva debida a la presión vertical del material almacenado en la transición.

Siendo:

$$Pn1 = Pvft (Cb \text{ sen}^2\beta + \text{cos}^2\beta) \quad \text{[Ecuación 25]}$$

Fuente: (UNE - EN 1991 - 4, 2011).

$$Pn1 = 34.29 (1.3 \text{ sen}^2 50 + \text{cos}^2 50) = 40.32 \text{ KPa}$$

Donde:

β = Inclinación de la tolva respecto de la vertical.

$Pvft$ = Presión vertical Pvf que actúa a la altura de la transición después del llenado.

Cb = Coeficiente de mayoración de cargas en el fondo.

$$Pn2 = Pvft Cb \text{ sen}^2\beta \quad \text{[Ecuación 26]}$$

Fuente: (UNE - EN 1991 - 4, 2011).

$$Pn2 = 34.29 * 1.3 * \text{sen}^2 50 = 26.19$$

Donde:

β = Inclinación de la tolva respecto de la vertical.

$Pvft$ = Presión vertical Pvf que actúa a la altura de la transición después del llenado.

Cb = Coeficiente de mayoración de cargas en el fondo.

$$Pn3 = 3.0 \frac{A \gamma * K}{U \sqrt{\mu_h}} \cos^2 \beta \quad \text{[Ecuación 27]}$$

Fuente: (UNE - EN 1991 - 4, 2011).

$$Pn3 = 3.0 * 0.85 * \frac{8 * 0.53}{\sqrt{0.20}} \cos^2 50 = 9.989 \text{ KPa}$$

Donde:

A = Área de la sección transversal del segmento de pared vertical.

U = Perímetro interno de sección plana de pared vertical.

γ = Valor característico peso específico.

K = Coeficiente de presiones laterales.

μ_h = Coeficiente de rozamiento con la pared de la tolva

β = Inclinación de la tolva respecto a la vertical

Para el cálculo del espesor en la tolva:

$$t = \frac{F_s * Pn}{\sigma_f * 100} * \frac{dc}{2} \quad \text{[Ecuación 28]}$$

Fuente: (Ravenet Regales, 2004).

Donde:

F_s = Factor de seguridad especificado por (Ravenet Regales, 2004)

dc = Diámetro del silo

Pn = Presión total

σ_f = Esfuerzo de fluencia

$$t = \frac{1.8 * 50.31 * 1000}{240 * 100} * \frac{3.4}{2}$$

$$t = 6 \text{ mm}$$

2.3.11 Cálculo Cargas Vivas y Cargas Muertas

2.3.11.1 Cargas muertas

Están constituidas por el peso de todos los elementos fijos de la parte estructural, muros, instalaciones sanitarias, maquinas o equipos integrados permanentemente a la estructura.

Peso Cilindro

$$\text{Perimetro} = p = 2\pi R \quad \text{[Ecuación 29]}$$

Fuente: (Torres & Ortega).

Donde:

R = radio del cilindro

$$p = 2 * \pi * 1.7$$

$$p = 10.6814 \text{ m}$$

$$\text{Area} = A = 10.6814 \text{ m} * 3.6 \text{ m}$$

$$A = 38.4531 \text{ m}^2$$

$$\rho_{\text{acero}} = 7850 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Peso del cilindro} = \text{Peso específico del acero} * \text{volumen} \quad \text{[Ecuación 30]}$$

Fuente: (Castillo, Andrea, 2013).

$$\text{Peso del cilindro} = 7850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * (38.45 \text{ m}^2 * 0.005 \text{ m})$$

$$\text{Peso cilindro} = 905.5 \text{ kgf} = 8873.88 \text{ N}$$

Peso de la Tolva de salida

$$Area = A = \frac{\pi * R^2}{360} * n - \frac{\pi * r^2}{360} * n \quad \text{[Ecuación 31]}$$

Fuente: (Castillo, Andrea, 2013).

$$A = \frac{\pi * 2.22^2}{360} * 275.77 - \frac{\pi * 0.1305^2}{360} * 275.77$$

$$A = 11.82 \text{ m}^2$$

$$Peso \text{ de la tolva de salida} = 7850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 11.82 \text{ m}^2 * 0.007 \text{ m}$$

$$Peso \text{ de la tolva de salida} = 463.935 \text{ kgf} = 4546.56 \text{ N}$$

Peso del Techo

$$Area = A = \frac{\pi * R^2}{360} * n - \frac{\pi * r^2}{360} * n \quad \text{[Ecuación 32]}$$

Fuente: (Castillo, Andrea, 2013).

$$A = \frac{\pi * 1.76^2}{360} * 347.73 - \frac{\pi * 0.1553^2}{360} * 347.73$$

$$A = 9.33 \text{ m}^2$$

$$Peso \text{ del Techo} = 7850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 9.33 \text{ m}^2 * 0.005 \text{ m}$$

$$Peso \text{ del Techo} = 366.2 \text{ kgf} = 3588.78 \text{ N}$$

Peso Guillotina

$$Peso = 11 \text{ Kg} * 9.8 = 107.8 \text{ N}$$

2.3.11.2 Cargas Vivas

Se denominan cargas vivas a cargas variables las cual se encuentran en movimiento como por ejemplo personas en el techo realizando el mantenimiento igualmente a todos los objetos que pueden cambiar de sitio.

Las cargas vivas sobre estructuras especificadas por el código de construcción es de 1.4 KN para estructuras sujetas a mantenimiento, una carga uniforme por escalera en el exterior de 5KN y un carga por pasamanos de 1 KN. (Castillo, Andrea, 2013)

2.3.12 Cálculo del Techo.

El techo es diseñado de forma cónica simplemente apoyado, consta de 5 partes para su fácil transportación, las cuales son empernadas por medio de unas costillas que ayudan aumentar la resistencia del techo por tal forma la cubierta es capaz de sostenerse sin ningún elemento estructural.

Los techo auto soportados son utilizados para silos de diámetros no mayores a 18 metros, estos techos tienen una pendiente máxima de 37°, y como mínimo 9,5° con respecto a la horizontal.

El espesor estará determinado por una siguiente ecuación pero no deberá ser menos de 3/16 pulg (4.76 mm).

$$t = \frac{D}{4800 \text{ Sen } \theta} \quad \text{[Ecuación 33]}$$

Fuente: (API 650, 2005).

Donde:

t = Espesor del techo en cm

D = Diámetro del tanque en cm

θ = Angulo del techo

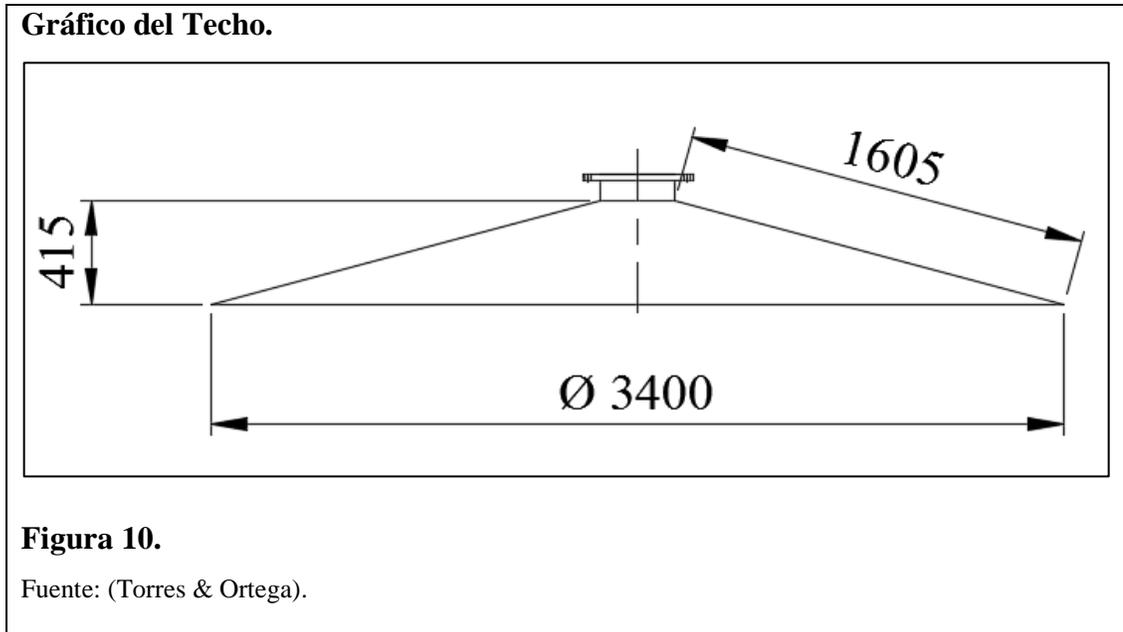
Este espesor será incrementado cuando la suma de cargas vivas y muertas exceda 220 Kg/m

$$\sqrt{\frac{Cv + Cm}{220}}$$

Donde:

Cv = cargas vivas

Cm = Cargas muertas



Espesor (t)

$$t = \frac{4500}{4800 \text{ Sen } 15}$$

$$t = \frac{340}{4800 \text{ Sen } 15}$$

$$t = 0.27 \text{ cm} = 3 \text{ mm}$$

Relación de Incremento

$$\sqrt{\frac{15.29 + 600}{220}} = 1.99 = 2$$

De acuerdo con el cálculo anterior la norma recomienda un espesor de 4.76 mm y

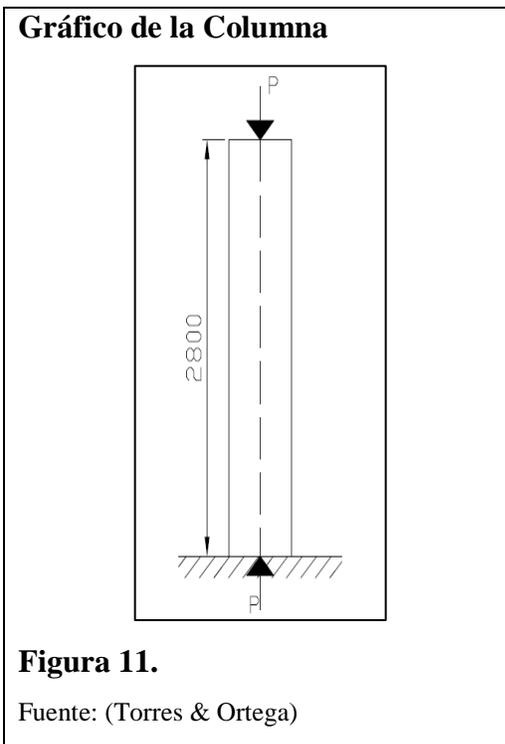
el espesor obtenido para este techo sería 5 mm que de acuerdo a la norma API 650 no es demasiado pesado y a su vez no presenta dificultad para su fabricación.

2.3.13 Cálculos de Columnas

Para los cálculos de la columna se utiliza la ecuación de la esbeltez especificada por el manual de la ASD para cálculo de columnas:

$$\tau = \frac{K L}{r_{min}} \quad \text{[Ecuación 34]}$$

Fuente: (manual de la ASD).



Queda ahora por determinar cuál es la geometría de la sección transversal, que presente la mayor economía en el diseño y para eso se debe tomar en cuenta:

- Selección transversal hueca
- Igualdad de momentos de inercia con respecto a los ejes X y Y
- No deben ser de superficie necesariamente cerrada.

d) Mucha variedad de dimensiones.

Carga Total (Ct) = 245.2 KN

Longitud $L = 9.186 \text{ pies} = 2.8 \text{ m}$

Disposición $K = 0.65 \text{ o } 1$

$KL = 9.19 \text{ pies} = 2.8 \text{ m}$

Carga unitaria por columna

$$P = \frac{245.2}{6} + 21.92 \text{ KN} + 17,117 \text{ KN} = 80 \text{ KN} = 18 \text{ klb} \quad \text{[Ecuación 35]}$$

Los perfiles seleccionados de la ASD:

S4 x 9.5 = 26 klb

S4 x 7.7 = 22 klb

W6 x 12 = 55 klb

Tubos: Diámetro nominal 3 pulg x 0.216 = 38 klb

En el Ecuador un perfil parecido es la HEB 200

Propiedades del perfil seleccionado

Área = 78.10 cm² d = 200 mm

$I_x = 5700 \text{ cm}^4$

Material: Acero Estructural A36

Módulo de elasticidad $E = 370 - 520 \text{ MPa}$

Resistencia a la fluencia $\sigma_y = 235 \text{ Mpa}$

Radio de giro $R = 18 \text{ mm}$

Relación de Esbeltez

$$\frac{KL}{r_{min}} = 153.2$$

Constante para cálculo de una columna expuesta por (Ravenet Regales, 2004)

$$C_c = \sqrt{\frac{2 * \pi^2 * E}{\sigma_y}} = 6.11 \quad \text{[Ecuación 36]}$$

Fuente: (Ccarita Cruz, 2011).

Como la relación

$$\frac{KL}{R_y} > C_c$$

Entonces la columna no es corta, se empleará la fórmula de Euler para la Carga máxima permisible de la columna por pandeo.

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 * E * I}{KL^2} \quad \text{[Ecuación 37]}$$

Fuente: (Ccarita Cruz, 2011).

$$P_{cr} = 110.84 \text{ KN}$$

Factor de seguridad

$$F_r = \frac{110.84 \text{ KN}}{41 + 20 + 17.11} = 1.8 \quad \text{[Ecuación 38]}$$

Fuente: (Ccarita Cruz, 2011).

Por compresión

$$P_{per} = Area * \sigma_y$$

$$P_{per} = 0.00538 \text{ m}^2 * 235 \text{ MPa}$$

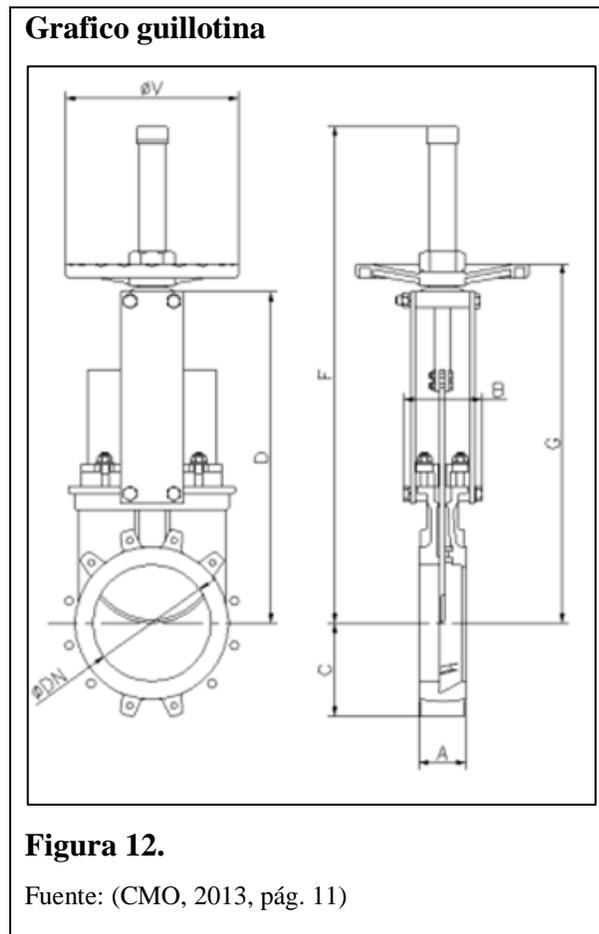
$$P_{per} = 1264.3 \text{ KN}$$

Para el silo con una capacidad 25 toneladas será necesario utilizar seis columnas HEB 200 de acero estructural A-36 que serán capaces de resistir el peso del grano más las cargas del silo con un factor de seguridad de 1.5

2.4 Accesorios

2.4.1 Válvula de Guillotina

Las válvulas de Guillotina están concretamente diseñadas para la descarga de productos en los silos. Esta guillotina facilita la salida de sólidos evitando atascamientos del material. La colocación es a contrapresión para evitar la acumulación de producto en el cuerpo, para este caso la presión que debe resistir la guillotina es de $35.14 \text{ kPa} = 3.514 \text{ N/cm}^2$



La válvula de Guillotina seleccionada es de diámetro $DN = 100$ soporta una presión 10 Kg/cm^2 elaborada de acero inoxidable AISI 304.

(CMO, 2013) Indica que la guillotina está diseñada para aplicaciones tales como:

- Industria papelera
- Plantas Químicas
- Industria alimenticia
- Minería
- Bombeos
- Descarga de silos

Tabla 16.

Guillotinas dependiendo del diámetro.

DN	ΔP (Kg/cm)	TIRO (NW)	PAR (Nm)	A	B	C	D	F	G	ϕv	Peso (Kg)
50	10	815	1.86	40	91	61	241	410	280	225	7
65	10	1375	3.14	40	91	68	268	437	308	225	8
80	10	2083	4.76	50	91	91	294	463	333	225	9
100	10	3252	7.43	50	91	104	334	503	373	225	11
125	10	5080	11.6	50	101	118	367	586	407	225	13
150	10	5134	11.7	60	101	130	419	638	458	225	17
200	8	9138	26.1	60	118	159	525	816	578	325	28
250	6	10227	29.2	70	118	196	626	1017	679	325	40
300	6	14748	42.1	70	118	230	726	1117	779	380	56

Nota: Distintas guillotinas según el diámetro

Fuente: (CMO, 2013, pág. 11).

2.4.2 Bridas

LA brida utilizada es la DN 100 necesita pernos M16, soporta un presión de trabajo de 10 kg/cm²

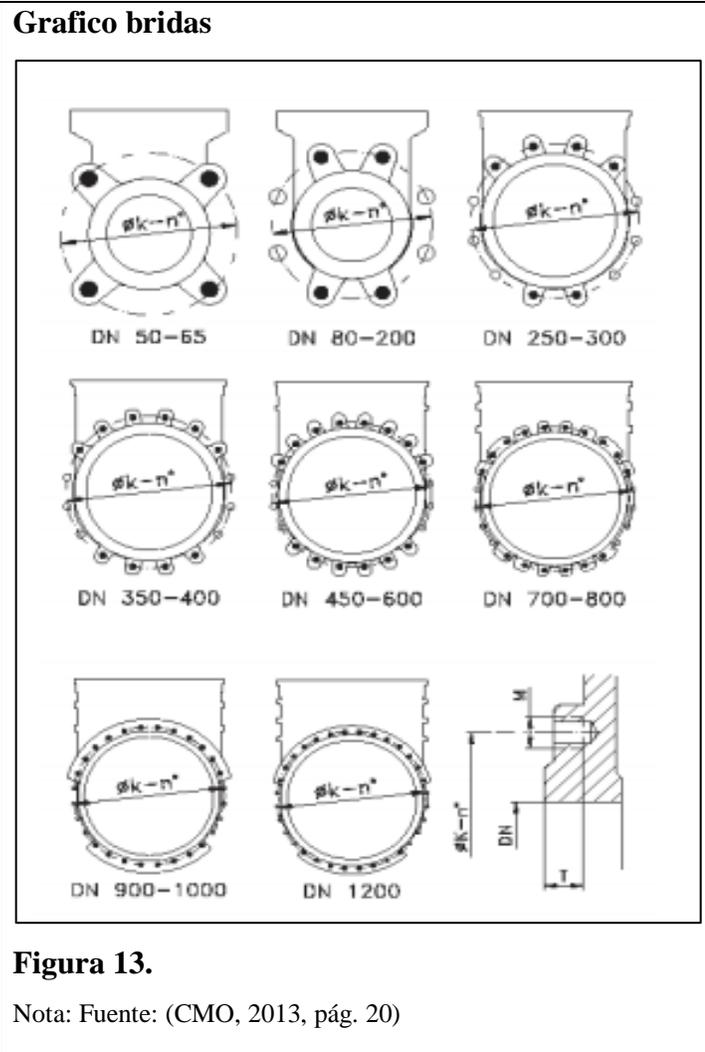
Tabla 17.

Dimensiones de brida dependiendo del diámetro.

DN	ΔP (Kg/cm ²)	●	○	Métrica	Prof.	ϕK
50	10	4	-	M16	8	125
65	10	4	-	M16	8	145
80	10	4	4	M16	9	160
100	10	4	4	M16	9	180
125	10	4	4	M16	9	210
150	10	4	4	M20	10	240

Nota: Bridas para silo según el diámetro.

Fuente: (CMO, 2013, pág. 20).



2.4.3 Venteo

Los tanques de almacenamiento contarán con una boquilla exclusiva para venteo, la que tendrá que ser diseñada y calculada, con la finalidad de que dentro del silo no se genere presión interna al ser llenado y vaciado, este debe colocarse de ser posible, en la parte más alta del tanque.

Tabla 18.

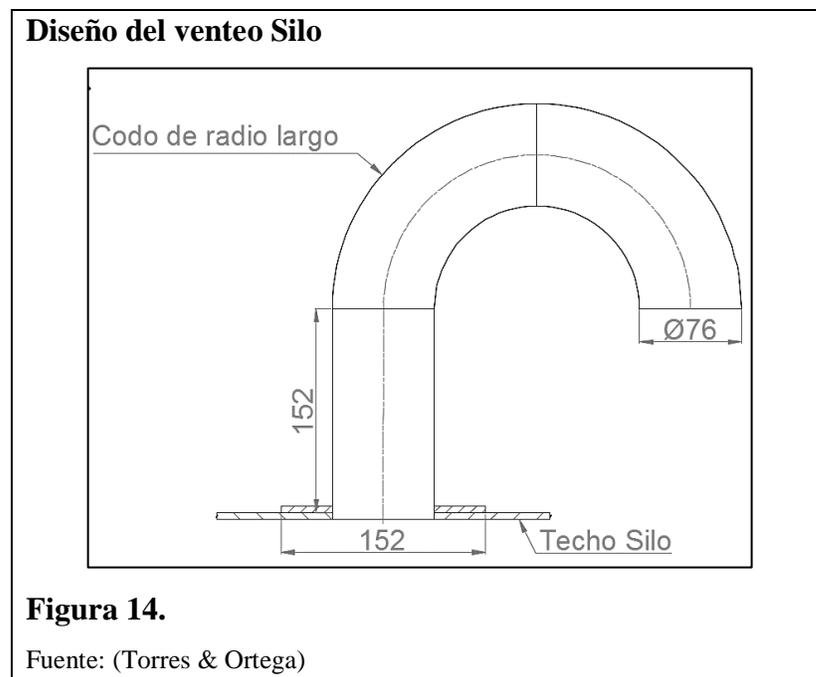
Venteo

DIAM. NOM.	A	B
25	-	102
51	-	102
76	152	152
102	197	152
152	305	203
203	356	203

Nota: diámetros para salida de aire.

Fuente: (API 650, 2005)

Diseño Venteo



2.4.4 Manhole (entrada hombre)

Los silos cuentan con entradas del hombre en el techo con la finalidad de poder realizar limpieza y reparaciones dentro del silo, el diámetro mínimo es 16 pulgadas pero este no es muy recomendable lo usual es 18 a 20 pulgadas de diámetro.

Tabla 19.

Diámetros permitidos para la entrada hombre

Diámetro nominal (mm)	Diámetro Interior del cuello ID (mm)	Diámetro Exterior de la Tapa Plana (mm)	Diámetro Circulo de Barrenos DB (mm)	Número de Tornillos (mm)	Diámetro del Empaque (mm)		Diámetro del Agujero en el Techo y Placa de Refuerzo Dp (mm)	Diámetro Exterior de la Placa de Refuerzo Dr (mm)
					Interior	Exterior		
610	610	762	698	20	610	762	625	1168
508	508	660	597	16	508	660	524	1067

Nota: distintos diámetros de manhole.

Fuente: (API 650, 2005).

2.4.5 Escaleras

Generalmente se las llama escaleras de acceso Vertical, escaleras a pared, escaleras de Gato o escaleras con protección de aros.

Dicho esto, se pasa a detallar algunos de los puntos generales que se mencionan en normas de escaleras:

- Ancho mínimo 400, ancho máximo 800 mm.
- Distancia entre los peldaños de 300 como máximo.
- Si la altura es mayor de 9 m. deberá llevar plataforma de descanso, una cada 9 m.

Según la Normativa Api 650:

- Todas las partes de la escalera son metálicas.
- El ancho mínimo de la escalera 610 mm.

2.5 Estabilidad por viento

2.5.1 Cargas por viento

Rapidez rectificada de viento.

$$V_b = V\sigma \quad \text{[Ecuación 39]}$$

Donde:

V = Velocidad que adquiere el viento en m/s a una altura de 10 m sobre el piso es 21 m/s (75 km/h)

V_b = Velocidad corregida del viento en m/s

σ = Coeficiente de corrección de la tabla siguiente:

Tabla 20.

Coeficiente de corrección σ

Altura (m)	Sin obstrucción (Categoría A)	Obstrucción baja (categoría B)	Zona edificada (categoría C)
5	0,91	0,86	0,8
10	1	0,9	0,8
20	1,06	0,97	0,88
40	1,14	1,03	0,96
80	1,21	1,14	1,06
150	1,28	1,22	1,15

Nota: Corrección de velocidad del viento dependiendo de la categoría.

Fuente: (NEC (Norma Ecuatoriana de la construcción), Cargas (no sismicas), 2014)

$$V_b = 21 \frac{m}{s} * 0.86 = 18.06 \frac{m}{s}$$

2.5.2 Momento de volteo por Viento

El Silo debe estar diseñado para resistir un momento de volteo por acción del viento, que se considera una carga repartida sobre el cuerpo del silo por lo que el momento de volteo será:

$$M = \frac{Pv Dmax (Ht)^2}{2} \quad \text{[Ecuación 40]}$$

Fuente: (NEC (Norma Ecuatoriana de la construcción), Cargas (no sismicas), 2014).

Donde:

M = Momento de volteo (Kgf – m)

Pv = Presión de viento (Kg/ m²)

$Dmax$ = Diámetro exterior del Silo (m)

Ht = Altura total del tanque incluyendo el techo y columnas (m)

Para tanque no anclado no debe exceder la siguiente relación:

$$M < \frac{2}{3} \left(\frac{WD}{2} \right)$$

Donde:

W = Peso muerto del tanque (Kg)

D = Diámetro nominal del tanque (m)

Cuando la relación sea menor o igual al momento de volteo el silo tendrá que ser anclado

2.5.3 Presión del viento

Para encontrar la resistencia en consecuencia al empuje del viento, se considera la presión P , que se determina mediante la siguiente ecuación:

$$Pv = \frac{1}{2} \rho V_b^2 c_e c_f \quad \text{[Ecuación 41]}$$

Fuente: (NEC (Norma Ecuatoriana de la construcción), Cargas (no sismicas), 2014).

Dónde:

P = Presión calculada expresada en Pa (N/m²)

ρ = Consistencia del aire expresada en Kg/m³

V_b = Velocidad corregida del viento

c_e = Coeficiente de entorno – altura

c_f = Coeficiente de forma

El coeficiente de entorno – altura se lo encuentra en la tabla siguiente:

Tabla 21.

Coeficiente de entorno – altura.

Construcción	Ce
Elementos situados en patios inferiores	0.3
Elementos en fachadas protegidas en edificios alineados en calles rectas	0.8
Elementos en fachadas expuestas en edificaciones aisladas	1.3
Elementos en fachas muy expuestas, situados al borde de la orilla de lagos o del mar, próximos a escarpaduras laderas de fuerte inclinación, desfiladeros, y otros	1.5

Nota: Coeficientes para el cálculo de viento.

Fuente: (NEC (Norma Ecuatoriana de la construcción), Cargas (no sismicas), 2014).

Coeficiente de forma se lo encuentra en la tabla siguiente:

Tabla 22.

Coeficiente de forma.

CONSTRUCCIÓN	Barlovento	Sotavento
Superficies verticales de edificios	+0.8	
Anuncios, muros aislados, elementos con una dimensión corta en el sentido del viento	+1.5	
Tanques de agua, chimenea y otros de sección circular o elíptica	+0.7	
Tanques de agua, chimenea y otros de sección cuadrada o rectangular	+2.0	
Arcos y cubiertas cilíndricas con un ángulo de	+0.8	-0.5

inclinación que no exceda los 45°		
Superficies inclinadas 15° o menos	+0.3 a 0	-0.6
Superficies inclinadas entre 15° y 60°	+0.3 a +0.7	-0.6
Superficies inclinadas entre 60° y la vertical	+0.8	-0.6

Norma: Coeficientes para el cálculo de viento.

Fuente: (NEC (Norma Ecuatoriana de la construcción), Cargas (no sismicas), 2014).

Signo positivo (+) indica presión

Signo negativo (-) indica succión

$$Pv = \frac{1}{2} \rho V_b^2 c_e c_f$$

$$Pv = \frac{1}{2} * 1.25 * (18.06)^2 * 1.3 * 0.7$$

$$Pv = 18.93 \frac{Kg}{m^2}$$

Momento de volteo

$$M = \frac{Pv Dmax (Ht)^2}{2}$$

[Ecuación 42]

Fuente: (NEC (Norma Ecuatoriana de la construcción), Cargas (no sismicas), 2014).

$$M = \frac{18.93 * 3.4 * (6.9)^2}{2}$$

$$M = 1532.14 \text{ Kg m}$$

Comprobación momento de volteo

$$W = 17.12 \text{ KN} = 1745.75 \text{ Kg}$$

$$D = 3.4 \text{ m}$$

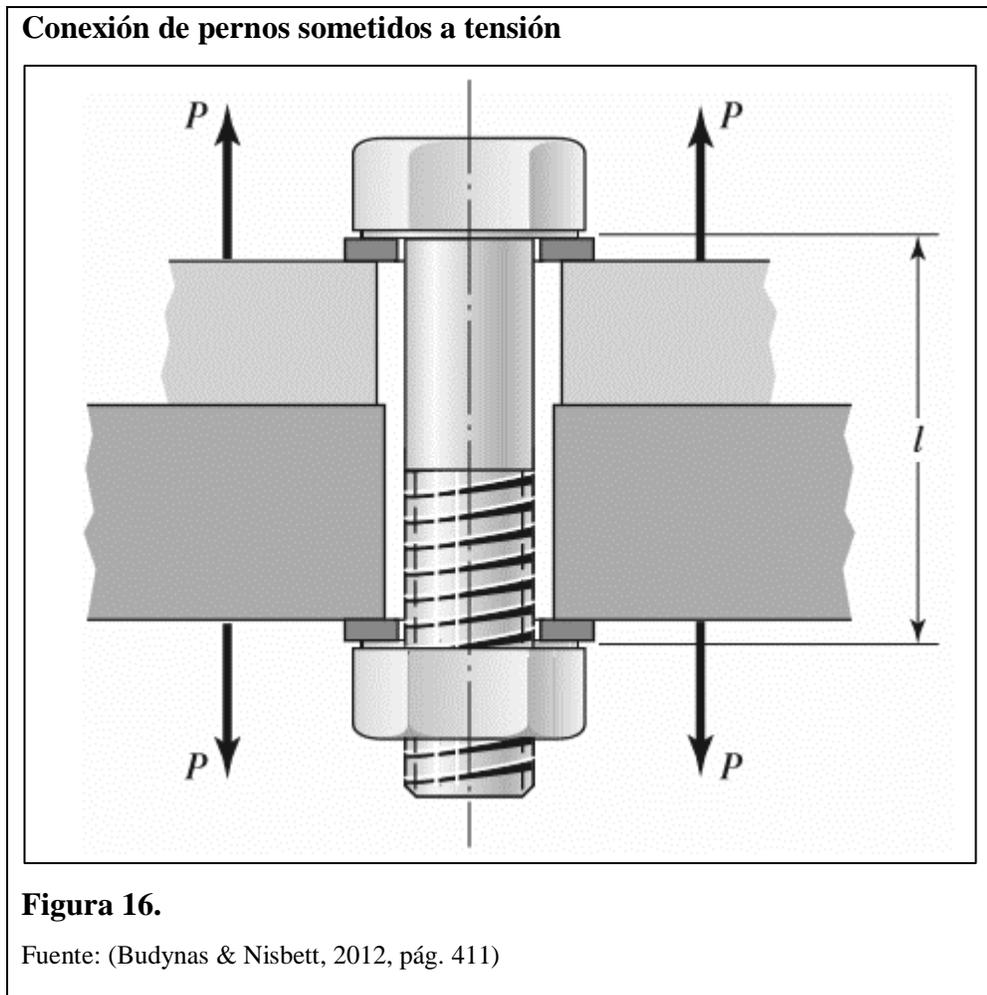
$$1532.14 < \frac{2}{3} \left(\frac{1745.75 * 3.4}{2} \right)$$

$$1532.14 < \frac{2}{3} \left(\frac{1745.75 * 3.4}{2} \right)$$

1532.14 Kg m < 1978.52 Kg m

Entonces se concluye que el silo resiste el momento de volteo debido a la presión del viento y es estable sin anclajes.

2.6 Cálculo Pernos



Diámetro de tornillos brida

$$D \text{ (cm)} = \sqrt{5 \cdot e \text{ (cm)}} - 0,2 \quad \text{[Ecuación 43]}$$

Fuente: (NEC (Norma Ecuatoriana de la construcción), Cargas (no sismicas), 2014).

Donde:

e = espesor láminas en cm

$$P_{\text{máx}} = k \cdot \sigma_t \cdot m \cdot F \quad \text{[Ecuación 44]}$$

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2012).

Donde:

$P_{\text{máx}}$ = carga máxima resistente a la rotura

K = coeficiente adimensional 0.65 y 0.80

M = 1 para cortadura; 2 doble cortadura

F = sección resistente del tornillo

σ_t = Tabla límite de fluencia

$$F = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \quad \text{[Ecuación 45]}$$

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2012).

Cálculo de número de pernos

$$N_c = \frac{N \cdot n}{P_{\text{máx}}} \quad \text{[Ecuación 46]}$$

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2012).

Donde:

N = cortante

Diámetro de pernos brida cono-tanque utilizando ecuación 44

$$d(\text{cm}) = \sqrt{5 \cdot 0.8} - 0,2$$

$$d = 1,80\text{cm}$$

Sección resistente del tornillo utilizando ecuación 45

$$F = \frac{\pi \cdot (1,8)^2}{4}$$

$$F = 2,54 \text{ cm}^2$$

Sy= límite de fluencia

$$S_y = 2400 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

Distancia entre perno y perno 5cm

$$K = 0,65; \quad n = 2$$

Factor de seguridad 2 es tomado por mayor seguridad

Cálculo P_{máx} utilizando ecuación 44

$$P_{\text{máx}} = k \cdot \sigma_t \cdot m \cdot F$$

$$P_{\text{máx}} = 0,65 \cdot 1500 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \cdot 1 \cdot 2,54 \text{ cm}^2$$

$$P_{\text{máx}} = 2476,5 \text{ kg}$$

Número de pernos utilizando ecuación 46

$$N_c = \frac{F_{ts} \cdot n}{P_{\text{máx}}} = \frac{25 \text{ Ton} \cdot 2}{2476,5 \text{ kg}}$$

$$N_c = \frac{25000 \text{ kg} \cdot 2}{2476,5 \text{ kg}}$$

$$N_c = 20 \text{ pernos}$$

Como la distancia entre perno y perno es 5cm = 50 mm

$$\theta_{\text{cilindro}} = 3400 \text{ mm}$$

$$\theta \text{ del perno} + \text{distancia entre perno y perno} = (25,4/2 + 50) \text{ mm} = 62,7 \text{ mm}$$

$$\frac{3400 \text{ mm}}{62,7} = 54,22 \text{ pernos}$$

2.7 Resumen

Al final de los cálculos el silo de 25 toneladas tiene las siguientes especificaciones:

Capacidad del silo = 25 toneladas = 245.2 KN (maíz)

Diametro del silo = 3.4 m

Altura del silo = 5.358 m

Altura total desde el Piso al cilindro = 6.4 m

Volumen necesario del Silo = 30.65 m³

Peso específico (maíz) = 8 KN/m³ = 0.8 Tn/ m³

Angulo de talud natural = 35°

Presión de viento 18.93 Kg/m²

Silo poco esbelto

Material:

Acero Estructural A36

Módulo de elasticidad $E = 370 - 520$ MPa

Resistencia a la fluencia $\sigma_y = 235$ Mpa

Cilindro:

Presión horizontal el llenado y descarga = 10.64 KPa

Presión de tracción de llenado y descarga = 3.83 KPa

Tensión vertical después del llenado = 18.4 KPa

Espesor de la chapa = 6 mm

Tolva:

Tensión vertical = 35.14 KPa

Presión normal = 34.09 KPa

Presión de tracción = 6.82 KPa

Espesor de la chapa = 7 mm

Techo:

Espesor de la chapa = 5 mm

Columnas:

HEB 200

Accesorios:

Válvula de guillotina diámetro 100 mm

Pernos diámetro una pulgada

Bridas diámetro 100 mm con pernos M16

Venteo diámetro nominal 76 mm

Manhole (entrada hombre) diámetro nominal 610 mm

Escaleras según especificaciones API 650

Capítulo 3

3 COSTOS

Los costos de la construcción del silo están divididos de forma que sea lo más simple para poder detallar el costo final de la fabricación.

3.1 Costos Materia prima

Tabla 23.

Costo de materia prima

Materiales	Cantidad	Longitud	Costo Unitario (\$)	Costo Total (\$)
Planchas de acero A36 (5mm)	19	1,2 x 2,4	62,50	1.187,50
Planchas de acero A36 (6 mm)	4	1,8 x 2,4	112,5	450,00
Planchas de acero A36 (12 mm)	1	1,2 x 2,4	150.0	150,00
Columnas HEB 200	6	6 metros	309,94	1859,64
Viga UPN 160	2	6 metros	160.00	320,00
Pernos, tuerca y arandela	448	½ pulgada	3.00	1344,00
Tubo respiradero	1	1 metro	23,72	23,72
Tubos escaleras	18	¾ pulgada	64.08	1153,44
Electrodo 7018	5	Caja	31,50	157,50
Pintura	5	Galones	46,40	232,00
TOTAL (\$)				6.877,00

Nota: Costos de la materia prima.

Fuente: (Torres & Ortega)

3.2 Costo De Mano De Obra Directa y Diseño

Tabla 24.

Costo de mano de obra directa y Diseño

Trabajador	Cantidad	Salario (\$/H)	Tiempo total en la obra (H)	Costo Total (\$)
Mecánico	1	3,35	120	402,00
Ayudante de mecánica	1	3,26	120	391,00

Soldador	1	3,30	80	264,00
Ayudante del Soldador	1	3,26	80	260,80
Maestro Armador	1	3,66	64	234,24
Ayudante del armador	3	3,26	64	625,00
Pintor	1	3,30	60	198,00
Ingeniero Mecánico (Diseño)	1	3,67	168	616,56
Ingeniero Mecánico (Ensamblaje)	1	3,67	220	880,8
TOTAL (\$)				3.872,40

Nota: Costo mano de obra.

Fuente: (Torres & Ortega)

3.3 Costo de Equipos y Accesorios

Tabla 25.

Costo de equipos y accesorios

Maquinaria	Costo (\$/H)	H / Equipo	Costo Total (\$)
Oxicorte	2,00	70	140,00
Soldadora	3,00	80	240,00
Roladora	3,75	50	187,50
Compresor	3,00	60	180,00
Herramientas	5% de la M.O		200,00
Válvula de Guillotina			422,00
TOTAL (\$)			1.369,50

Nota: Costo de equipos.

Fuente: (Torres & Ortega).

3.4 Transporte

Tabla 26.

Costo de transporte.

Servicio	Costo (\$)	Cant. Viajes.	Costo Total (\$)
Transporte al mecánico	30,00	3	90,00
Transporte a la Instalación	200,00	1	200,00
TOTAL (\$)			290,00

Nota: costo de transporte.

Fuente: (Torres & Ortega).

3.5 Costo Total

El silo para su instalación definitiva tendrá un costo total de acuerdo a la tabla que se adjunta.

Tabla 27.

Costo Total.

Materiales (\$)	6.877,00
Trabajadores (\$)	3.872,40
Maquinaria (\$)	1.369,50
Transporte (\$)	290,00
TOTAL COSTO (\$)	12.408,9

Nota: Costo de todos los rubros.

Fuente: (Torres & Ortega).

Los costos de materia prima están sustentados en una cotización previa, mientras los costos de mano de obra están basados a lo estipulado por la contraloría general del estado al igual que la maquinaria, el costo de transporte se llevó a cabo mediante la cotización de un camión pequeño y una plataforma para trasladar las herramientas, materia prima y el silo desarmado. El costo de alquiler del silo será de 10 dólares diarios con lo cual el proyecto se financia y tendríamos una inversión rentable en 4 años en la cual el silo estaría pagado por completo.

Conclusiones

- Se diseñó un silo desarmable en su totalidad de capacidad de 25 toneladas con un diámetro de 3.4 metros y 6.8 metros de altura con el fin de no desperdiciar material y cumpliendo lo requerido en la norma.
- El diseño del silo se realizó bajo la norma ecuatoriana de la construcción, la norma UNE – EN 1991: acciones en estructuras silos y depósitos, además de la norma API 650 con la cual se diseñó los accesorios y se verificaron espesores.
- El silo en su totalidad pesa 285 KN (29 toneladas) está formado por 13 partes, en promedio cada parte pesa aproximadamente 2,24 toneladas facilitando el transporte, montaje, desmontaje y mantenimiento.
- Concluimos que para mejorar la seguridad del silo es necesario utilizar tensores en las columnas con el fin de mejorar la estabilidad lateral durante un sismo.
- Se realizó un diseño innovador con elementos de fácil adquisición en el mercado ecuatoriano con un costo aproximado de 9000 dólares los cuales son fácilmente adquiridos mediante un crédito y accesible para los agricultores.

Recomendaciones

- Al momento de diseñar un silo se recomienda considerar el espacio donde va hacer ubicado para poder dimensionar la instalación de la mejor manera.
- El transporte del silo se lo realiza desarmado desde su lugar de construcción hasta su lugar de montaje y por ningún motivo debe ser manipulado por personal sin conocimiento del sistema de armado.
- Si el silo es transportado a otro lugar tener en cuenta la velocidad del viento que puede resultar crítica en el momento de montaje del silo.
- A pesar de los distintos métodos planteados para evitar la corrosión se recomienda un plan de mantenimiento para evitar averías o la interrupción del almacenamiento por corrosión u otros factores.
- Para mejor las propiedades del silo tanto de resistencia como de peso utilizar acero A50 que posee mejores propiedades que el acero A36.
- Para un mejor control de la corrosión se recomienda galvanizar el silo.

Referencia

- API 650. (2005). Diseño, montaje y construcción de tanques soldados de acero.
- Asturias, M. (2004). Maíz, de alimento sagrado a negocio del hambre. Quito. Obtenido de http://www.rallt.org/PUBLICACIONES/maiz_alimento%20sagrado.pdf.pdf
- Bartosik, J., & Rodriguez. (Diciembre de 2004). Almacenamiento de Granos. Parte III. Obtenido de http://www.agrositio.com/vertext/vertext_print.asp?id=39302&se=14
- Budynas, R., & Nisbett, K. (2012). Diseño en ingeniería mecánica de Shigley. En R. Dudynas, & K. Nisbett. México, D. F.: McGraw-Hill,2008.
- Calle Landázuri, L. F. (2009). Diseño de silos cuadrados con chapa de pared trapecial para almacenamiento de productos granulares, pulverulentos mediante una hoja de cálculo. En L. F. Landázuri, F. F. Herrera, & d. F. Obando. Quito.
- Castillo, Andrea. (2013). Diseño de un silo cilíndrico de fondo plano para almacenamiento de maíz con capacidad de 50 toneladas. Castillo, Andrea; Calvache., director Enrique Fernando Larco, Quito.
- Ccarita Cruz, F. A. (2011). Diseño de silos. Peru.
- CMO. (Octubre de 2013). Válvulas de guillotina.
- CPE INEN . (1983). Código de práctica para silos cilíndricos de metal para almacenamiento de granos forrageros. Quito, Ecuador.
- CUNIBERTI, M. B. (Marzo de 2014). Almacenamiento de granos (silo bolsa) y calidad. Obtenido de <http://inta.gob.ar/documentos/almacenamiento-de-granos-silo-bolsa-y-calidad>
- Dipac. (2016). Productos de acero. Obtenido de <http://www.dipacmanta.com/>

- GALVANORTE. (2016). *Soluciones en recubrimiento metalico*. Obtenido de http://www.galvanorte.ec/index.php?option=com_content&view=article&id=95&Itemid=82
- Garibaldi, J. B. (Diciembre de 2007). Recubrimientos para tanques de almacenamiento. Peru: INPRA Latina. Obtenido de <http://www.inpralatina.com/20071210250/articulos/consultorio-del-pinturero/recubrimientos-para-tanques-de-almacenamiento.html>
- LA FAO. (1993). El maiz en la nutrición humana. Roma: FAO 1993. Obtenido de <http://www.fao.org/docrep/t0395s/t0395s02.htm>
- M. De Lucia y D. Assennato - Consultores en la FAO. (s.f.). La ingeniería en el desarrollo - Manejo y tratamiento de granos poscosecha. (F. 1993, Ed.) Obtenido de <http://www.fao.org/docrep/x5041s/x5041s04.htm>
- McCormac, Jack C. (2013). *Diseño de estructuras de acero* (5a ed.). México, D.F.: Alfaomega.
- Medina, J. A., & Salas, J. C. (agosto de 2007). Caracterización morfológica del granulo de almidón nativo: Apariencia, forma, tamaño y su distribución. Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0121-49932008000100007&script=sci_arttext
- NEC (Norma Ecuatoriana de la construcción). (Diciembre de 2014). Cargas (no sismicas). Dirección de comunicación social, MIDUVI.
- NEC (Norma Ecuatoriana de la construcción). (Diciembre de 2014). Estructuras de Acero. Dirección de Comunicación Social, MIDUVI.
- NEC (Norma Ecuatoriana de la construcción). (2014). Peligro sísmico diseño sismo resistente. Dirección de Comunicación Social, MIDUVI.

- Ospina Machado, J. (2001). *Características físico mecánicas y análisis de calidad de granos*. Bogotá D.C.
- Ravenet Regales, J. (2004). Diseño de un silo cilíndrico metálico atornillado para el almacenamiento de productos granulares. Obtenido de <http://hdl.handle.net/2099.1/3180>
- Ravenet, J. (1977). *Silos Teoría, Investigación, Construcción*. Barcelona: editores técnicos asociados, s. a.
- RIVEIRO, S. (2004). El día en que muera el sol. GRAIN.
- UNE - EN 1991 - 4. (Diciembre de 2011). Eurocódigo 1. *Acciones en Estructuras parte 4: Silos y depósitos*. AENOR.

ANEXOS

Anexo 1.

Valores típicos de los granos

Tipo de sólido disgregado ^{a,c}	Peso específico ^b		Ángulo de talud natural		Ángulo de rozamiento interno		Coeficiente de presiones laterales		Coeficiente de rozamiento con la pared ^e				Coeficiente de referencia del sólido para cargas concentradas C_{op}
	γ		ϕ		ϕ_m		K		μ ($\mu = \tan \phi_w$)				
	Inferior	Superior	ϕ	ϕ_m	Medio	Coeficiente	Medio	Coeficiente	Tipo de pared D1	Tipo de pared D2	Tipo de pared D3	a_μ	
	kN/m ³	kN/m ³							grados	grados	Medio		
Material por defecto ^a	6,0	22,0	40	35	1,3	0,50	1,5	0,32	0,39	0,50	1,40	1,0	
Áridos	17,0	18,0	36	31	1,16	0,52	1,15	0,39	0,49	0,59	1,12	0,4	
Aluminio	10,0	12,0	36	30	1,22	0,54	1,20	0,41	0,46	0,51	1,07	0,5	
Mezcla de piensos	5,0	6,0	39	36	1,08	0,45	1,10	0,22	0,30	0,43	1,28	1,0	
Piensos en pellets	6,5	8,0	37	35	1,06	0,47	1,07	0,23	0,28	0,37	1,20	0,7	
Cebada \odot	7,0	8,0	31	28	1,14	0,59	1,11	0,24	0,33	0,48	1,16	0,5	
Cemento	13,0	16,0	36	30	1,22	0,54	1,20	0,41	0,46	0,51	1,07	0,5	
Clinker de cemento \ddagger	15,0	18,0	47	40	1,20	0,38	1,31	0,46	0,56	0,62	1,07	0,7	
Carbón \odot	7,0	10,0	36	31	1,16	0,52	1,15	0,44	0,49	0,59	1,12	0,6	
Carbón en polvo \odot	6,0	8,0	34	27	1,26	0,58	1,20	0,41	0,51	0,56	1,07	0,5	
Coque	6,5	8,0	36	31	1,16	0,52	1,15	0,49	0,54	0,59	1,12	0,6	
Cenizas volantes	8,0	15,0	41	35	1,16	0,46	1,20	0,51	0,62	0,72	1,07	0,5	
Harina \odot	6,5	7,0	45	42	1,06	0,36	1,11	0,24	0,33	0,48	1,16	0,6	
Pellets de mineral de hierro	19,0	22,0	36	31	1,16	0,52	1,15	0,49	0,54	0,59	1,12	0,5	
Cal hidratada	6,0	8,0	34	27	1,26	0,58	1,20	0,36	0,41	0,51	1,07	0,6	
Caliza en polvo	11,0	13,0	36	30	1,22	0,54	1,20	0,41	0,51	0,56	1,07	0,5	
Maíz \odot	7,0	8,0	35	31	1,14	0,53	1,14	0,22	0,36	0,53	1,24	0,9	
Fosfato	16,0	22,0	34	29	1,18	0,56	1,15	0,39	0,49	0,54	1,12	0,5	
Patatas	6,0	8,0	34	30	1,12	0,54	1,11	0,33	0,38	0,48	1,16	0,5	
Arena	14,0	16,0	39	36	1,09	0,45	1,11	0,38	0,48	0,57	1,16	0,4	
Escoria de clinker	10,5	12,0	39	36	1,09	0,45	1,11	0,48	0,57	0,67	1,16	0,6	
Semillas de soja	7,0	8,0	29	25	1,16	0,63	1,11	0,24	0,38	0,48	1,16	0,5	
Azúcar \odot	8,0	9,5	38	32	1,19	0,50	1,20	0,46	0,51	0,56	1,07	0,4	
Remolacha azucarera en pellets	6,5	7,0	36	31	1,16	0,52	1,15	0,35	0,44	0,54	1,12	0,5	
Trigo \odot	7,5	9,0	34	30	1,12	0,54	1,11	0,24	0,38	0,57	1,16	0,5	

NOTA. Se deberían realizar ensayos cuando esta tabla no contenga el material a almacenar.

^a Para situaciones en las que es difícil justificar el coste del ensayo porque las implicaciones de usar un rango más amplio de propiedades son menores, se pueden usar los valores del "material por defecto". Estas propiedades pueden ser adecuadas para instalaciones pequeñas. Sin embargo para grandes silos producirán proyectos muy antieconómicos y siempre se debería preferir realizar ensayos.

^b El peso específico del sólido γ_s es el valor característico superior a usar en todos los cálculos de las acciones. El valor característico inferior γ_i se proporciona en la tabla E.1 para ayudar en la estimación del volumen necesario de silo que tendrá una capacidad definida.

^c El rozamiento efectivo con la pared para el tipo de pared D4 (pared ondulada) puede hallarse usando el método definido en el capítulo D.2.

^d Los sólidos de esta tabla que se sabe que son susceptibles de explosión de polvo están marcados con el símbolo \odot .

^e Los sólidos que son susceptibles de bloqueo mecánico están marcados con el símbolo \ddagger .

Fuente: (UNE - EN 1991 - 4, 2011)

Anexo 2.

Clasificación de los perfiles de suelo

Tipo de perfil	Descripción	Definición
A	Perfil de roca competente	$V_s \geq 1500$ m/s
B	Perfil de roca de rigidez media	1500 m/s > $V_s \geq 760$ m/s
C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	760 m/s > $V_s \geq 360$ m/s
	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterio	$N \geq 50.0$ $S_u \geq 100$ kPa
D	Perfiles de suelos rugidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	360 m/s > $V_s \geq 180$ m/s
	Perfiles de suelos rugidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	$50 > N \geq 15.0$ 100 kPa > $S_u \geq 50$ kPa
E	Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$V_s < 180$ m/s
	Perfil que contiene un espesor total H mayor de 3 m de arcillas blandas	$IP > 20$ $w \geq 40$ % $S_u < 50$ Kpa
F	Los perfiles de suelo tipo F requieren una evaluación realizada explícitamente en el silo por un ingeniero geotecnista. Se contemplan las siguientes subclases:	
	F1- Suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como; suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente cementados, etc.	
	F2 - Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas (H > 3 m para turba o arcillas orgánicas y muy orgánicas).	
	F3 - Arcillas de muy alta plasticidad (H>7,5 m con índice de plasticidad IP > 75)	
	F4 - Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda (H>30m)	
	F5 - Suelos con contrastes de impedancia a ocurriendo dentro de los primeros 30 m superiores del perfil de subsuelo, incluyendo contactos entre suelos blandos y roca, con variaciones bruscas de velocidad de ondas de corte.	
	F6 - Rellenos colocados sin control ingenieril.	

Nota: Perfiles de suelo en el Ecuador.

Fuente: (NEC (Norma Ecuatoriana de la construcción), 2014)