

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO INDUSTRIAL
CENTRAL VETERINARIA



PROYECTO DE GRADUACIÓN PARA OPTAR POR EL GRADO DE BACHILLERATO

PROYECTO ADMINISTRATIVO:

**Programa de Mantenimiento Preventivo para la Línea de Producción de
Alimento por extrusión**

PROYECTO DE DISEÑO:

Diseño de un Silo para almacenamiento de granos

REALIZADO POR:

Carlos Molina Chacón

PROFESOR GUÍA:

Ing. Manuel Mata Coto, Msc.

ASESOR INDUSTRIAL:

Ing. Fernando Vargas Badilla

2002

AGRADECIMIENTO

Primero deseo agradecerle a Dios por ser mi guía y permitirme llegar hasta el final de este camino.

A mis Padres y hermanas por darme siempre el apoyo y creer en mí.

A mi Novia Rosi por estar junto a mí y ser tan especial.

Al personal de Central Veterinaria por la confianza brindada y en especial a los señores:

Ing. Fernando Vargas.

Dr. Gerardo Chena.

Dr. Bernardo Vargas.

Ing. Norman Vargas.

Sr. Luis Vargas

Quiero agradecer la excelente orientación del Ing. Manuel Mata Coto, Msc.

Y por último quiero agradecer la colaboración de la Lic. Maribel Granados por la revisión del documento.

RESUMEN DEL PROYECTO ADMINISTRATIVO

El proyecto administrativo propone un Programa de Mantenimiento Preventivo en el proceso de extrusión de la empresa Central Veterinaria. Para su realización del proyecto se siguieron una serie de pasos referidos al análisis de la situación actual, a la recolección de datos y a la realización del proyecto.

El proyecto tiene como objetivos: confeccionar el registro del equipo, tanto de forma física, como de forma digital, codificar los equipos, crear el programa de inspecciones periódicas, capacitar al personal y utilizar las ordenes de trabajo como herramienta del control de Mantenimiento.

Al finalizarlo se logró desarrollar el Programa de Mantenimiento Preventivo; se presentó a la empresa y se propone su implementación para enero del año 2003.

Palabras claves: Mantenimiento Preventivo, Programa de Mantenimiento Preventivo, Administración de Mantenimiento.

ABSTRACT OF THE ADMINISTRATIVE PROJECT

The administrative project proposes a Program of Preventive Maintenance in Central Veterinaria company; for the accomplishment of the project a series of referred steps was followed the present situation analysis, to the data collection and the accomplishment of the project.

The project has like objectives: to as much make the registry of the equipment of physical form as of digital form, to codify the equipment, to create the periodic inspection program, to enable the personnel and to use you order them of work like tool of the control of Maintenance.

When finalizing the project was managed to develop the Program of Preventive maintenance, I appear to the company and its implementation in January of year 2003 is desired.

Key words: Preventive Maintenance, Program of Preventive Maintenance, Administration of Maintenance.

RESUMEN DEL PROYECTO DE DISEÑO

Este proyecto pretende realizar el Diseño de un Silo; dado que el almacenaje de materia prima en la empresa es muy incómodo y ocasiona problemas de espacio en la planta; por ello se desea realizar un almacenaje en silos, con esta medida, además de solucionar el problema de espacio en la planta, se prevé agilizar el manejo de las materias primas durante el abastecimiento al proceso.

El proyecto de diseño se realizó basándose en el libro “Guide for the economic design of circular metal silos” de Rotter, J.M. El texto, propone una serie de cálculos para determinar presiones en las paredes debidas al sólido por almacenar; además permite el cálculo de tensiones en las paredes, lo cual permite el análisis de la estructura.

El objetivo de estos proyectos es el de ayudar a la empresa en el funcionamiento diario; aumentando su eficiencia de funcionamiento y minimizando los paros y retrasos en la producción.

Palabras claves: Silo, Diseño de Silos.

ABSTRACT OF THE DESIGN PROJECT

The design project tries to make Design of a Silo, this by reason that the storage of raw material in the company is very uncomfortable and causes problems of space of the plant, for that reason is desired to make a storage in silos, which, besides to solve the problem of space in the plant, tries to make agile the handling of the raw materials during the supplying to the process.

The design project was made being based on the for book Guide the economic design of to circulate metal silos. of Rotter, J.M. So guides, proposes a series of calculations to determine pressures in the walls due to the solid to store, in addition it allows the calculation of tensions in the walls, which allows the analysis of the structure.

The projects try to help to the company in the daily operation, increasing their efficiency of operation and diminishing unemployments and delays in the production.

Key words: Silo, Design of Silos.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO	I
RESUMEN DEL PROYECTO ADMINISTRATIVO	II
ABSTRACT OF THE ADMINISTRATIVE PROJECT	III
RESUMEN DEL PROYECTO DE DISEÑO.....	IV
ABSTRACT OF THE DESIGN PROJECT	V
ÍNDICE GENERAL.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	X
ÍNDICE DE TABLAS Y GRÁFICOS	XII
NOMENCLATURA	XIII

I. INTRODUCCIÓN 1

<i>A. Identificación de la Empresa</i>	<i>1</i>
1. Antecedentes históricos	1
2. Ubicación geográfica	2
3. Organización de la empresa	2
4. Número de empleados	2
5. Tipos de productos.....	4
<i>B. Justificación de los proyectos</i>	<i>6</i>
<i>C. Objetivos</i>	<i>7</i>
1.Objetivo General Proyecto Administrativo	7
2.Objetivo General del Proyecto de Diseño.....	7

II. DESCRIPCIÓN DEL DEPARTAMENTO DE MATERIALES E INGENIERÍA8

<i>A. Misión</i>	8
<i>B. Objetivos</i>	8
<i>C. Organización</i>	9
<i>D. Personal</i>	9

III. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE ALIMENTO PARA MASCOTAS POR EXTRUSIÓN 10

<i>A. Descripción general del Proceso</i>	10
<i>B. Área de preparación de la Materia Prima</i>	12
<i>C. Área de Extrusión</i>	13
<i>D. Área de Secado</i>	14
<i>E. Área de Empaque</i>	15

IV. METODOLOGÍA 16

<i>A. Metodología del Proyecto Administrativo</i>	16
1. Análisis de la situación actual.....	16
2. Recolección de datos	18
3. Realización del programa	19
<i>B. Metodología del proyecto de Diseño</i>	21
1. Recolección de datos	22
2. Realización de cálculos.....	23
3. Selección de materiales y dimensionado	23
4. Presentación de resultados	23

V. MARCO TEÓRICO DEL PROYECTO ADMINISTRATIVO 24

<i>A. Historia del Mantenimiento Industrial</i>	<i>24</i>
<i>B. Definiciones</i>	<i>25</i>
1. Mantenimiento	25
2. Mantenimiento Correctivo.....	26
3. Mantenimiento Preventivo.....	27

VI. DESARROLLO DEL PROYECTO ADMINISTRATIVO: PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO 29

<i>A. Programa de Mantenimiento Preventivo.....</i>	<i>29</i>
<i>B. Diseño de una herramienta computacional para el Mantenimiento.</i>	<i>45</i>
1. Estudio técnico.....	47
2. Necesidades del Cliente.....	47
3. Componentes del sistema.....	48
4. Medios de captura de datos.....	49
5. Modelaje de la herramienta computacional.....	49
6. Plan de Implementación.....	58

VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 61

<i>A. Conclusiones.....</i>	<i>61</i>
<i>B. Recomendaciones.....</i>	<i>62</i>

VIII. MARCO TEÓRICO DEL PROYECTO DE DISEÑO 63

<i>A. Almacenamiento y transporte de granos</i>	<i>63</i>
<i>B. Problemas en los silos que deben ser tomados en cuenta en el diseño</i>	<i>69</i>
<i>C. Clasificación de fiabilidad estructural de los silos en el Eurocode 3 parte 4.1</i>	<i>72</i>
<i>D. Experiencia de diseño por parte del diseñador.</i>	<i>73</i>
<i>E. Datos requeridos para el diseño.....</i>	<i>74</i>

IX. DESARROLLO DEL PROYECTO DE DISEÑO: DISEÑO DE SILO. 78

<i>A. Recolección de datos</i>	78
<i>B. Cálculos</i>	80
1. Garantía de flujo	80
2. Presiones en las paredes durante la carga	82
3. Presiones en las paredes durante la descarga.....	85
4. Análisis estructural	87
5. Valoración de fuerza en la estructura	90
6. Cálculo de los soportes	91
<i>C. Selección de materiales y dimensionado</i>	92
<i>D. Presentación de resultados</i>	93

X. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 98

<i>A. Conclusiones</i>	98
<i>B. Recomendaciones</i>	99

APÉNDICE A. MUESTRA DE CÁLCULOS	101
ANEXO A. PROPIEDADES FÍSICAS DE ALGUNOS SÓLIDOS	114
ANEXO B. HOJA DE RECOLECCIÓN DE DATOS PARA EL DISEÑO	115
ANEXO C. FACTORES PARCIALES PARA SITUACIONES DE DISEÑO	117
ANEXO D. FACTORES PARCIALES SOBRE LA RESISTENCIA ESTRUCTURAL	118
ANEXO E. PROPIEDADES DE LOS ACEROS	119
ANEXO F. EUROCODE	120
ANEXO F. TABLA DE PERFILES PARA COLUMNAS	122
BIBLIOGRAFÍA	123

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.1 ORGANIGRAMA DE CENTRAL VETERINARIA	3
FIGURA 2.1 ORGANIGRAMA DEL DEPARTAMENTO DE MATERIALES E INGENIERÍA.....	9
FIGURA 3.1 DIAGRAMA DEL PROCESO PRODUCTIVO	11
FIGURA 3.2 ÁREA DE PREPARACIÓN DE MATERIA PRIMA	12
FIGURA 3.3 ÁREA DE EXTRUSIÓN	13
FIGURA 3.4 ÁREA DE SECADO	14
FIGURA 3.5 ÁREA DE EMPAQUE.....	15
FIGURA 4.1 METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL.....	17
FIGURA 4.2 METODOLOGÍA PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS	19
FIGURA 4.3 METODOLOGÍA PARA LA REALIZACIÓN DEL PROGRAMA	19
FIGURA 4.4 METODOLOGÍA GENERAL DEL PROYECTO DE DISEÑO	21
FIGURA 5.1 TIPOS REPRESENTATIVOS DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO.....	27
FIGURA 6.1 PROPUESTA DE CODIFICACIÓN	31
FIGURA 6.2 PASOS PARA EL DESARROLLO DE LA HERRAMIENTA COMPUTACIONAL.....	47
FIGURA 6.3 RELACIONES ENTRE TABLAS	51
FIGURA 6.4 PANTALLA PRINCIPAL DEL SISTEMA COMPUTACIONAL	52
FIGURA 6.5 REGISTRO DEL EQUIPO.....	53
FIGURA 6.6 REPRESENTANTES DEL EQUIPO	53
FIGURA 6.7 LISTA DEL EQUIPO	54
FIGURA 6.8 ORDEN DE TRABAJO.....	55
FIGURA 6.9 PANTALLA DE FILTROS PATA ÓRDENES DE TRABAJO.....	56
FIGURA 6.10 PANTALLA DE MANUAL DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO	56
FIGURA 6.11 PANTALLAS PERSONAL DEL DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA Y MANTENIMIENTO	57
FIGURA 8.1 ELEVADOR DE BALDES (CANGILONES)	64
FIGURA 8.2 TRANSPORTE HELICOIDAL.....	65
FIGURA 8.3 TRANSPORTES NEUMÁTICOS	66

FIGURA 8.4 TERMINOLOGÍA DEL SILO	67
FIGURA 8.5 MODELOS DE FLUJO	68
FIGURA 8.6 PROBLEMAS IMPORTANTES EN LOS SILOS.....	71
FIGURA 8.7 OBSTRUCCIONES DE FLUJO.....	72
FIGURA 8.8 GEOMETRÍA BÁSICA DEL SILO	74
FIGURA 8.9 RADIO DE PRESIÓN LATERAL.....	75
FIGURA 8.10 FUNCIÓN DE FLUJO.....	76
FIGURA 8.11 ÁNGULO DE REPOSO.....	77
FIGURA 9.1 GEOMETRÍA PREVIA DEL SILO	79
FIGURA 9.2 PRESIONES EN EL SILO	82
FIGURA 9.3 VARIACIÓN DE LA PRESIÓN EN LAS PAREDES.....	83
FIGURA 9.4. DESARROLLO DEL TECHO.....	95
FIGURA 9.5. DESARROLLO DEL BARRIL.....	96
FIGURA 9.6. DESARROLLO DE LA TOLVA	97

ÍNDICE DE TABLAS Y GRÁFICOS

TABLA 1.1 PRODUCTOS FABRICADOS POR CENTRAL VETERINARIA	4
TABLA 1.2 PRODUCTOS FABRICADOS POR LABORATORIO	5
TABLA 6.1 MUESTRA DE LA DIVISIÓN DE PARTES Y SUBPARTES	32
TABLA 6.2 MUESTRA DEL REGISTRO DEL EQUIPO	34
TABLA 6.3 MUESTRA DEL MANUAL DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO	40
TABLA 6.4 MUESTRA DEL GANTT ANUAL PARA EL 2003	44
TABLA 6.5 PLANIFICADOR DE LAS ETAPAS DE IMPLEMENTACIÓN	60
TABLA 8.1 CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE FLUJO DE MASA Y FLUJO DE EMBUDO	69
TABLA 8.2 CLASIFICACIÓN DE SITUACIONES DE DISEÑO	72
TABLA 9.1 VALORES PREVIOS DEL SILO	79
TABLA 9.2 PROPIEDADES FÍSICAS DEL SÓLIDO A ALMACENAR	80
GRÁFICA 9.1 PRESIONES HORIZONTALES EN EL BARRIL DURANTE EL LLENADO	84
GRÁFICA 9.2 PRESIONES HORIZONTALES EN LA TOLVA DURANTE EL LLENADO	85
GRÁFICA 9.3 PRESIONES EN EL BARRIL DURANTE LA DESCARGA	86
GRÁFICA 9.4 PRESIONES EN LA TOLVA DURANTE LA DESCARGA	87

NOMENCLATURA

Parte de la nomenclatura usada aquí se tomo de Rotter [2001], la cual ha sido escogida para ser consistente, lo más posible, con la usada en Eurocode 1 Parte 4 (carga del silo) y Eurocode 3 Parte 4.1 (silos de acero). Además se añade la nomenclatura usada en el proyecto administrativo. Ver anexo F.

Caracteres romanos

A	Anual	
A	área de la sección transversal del barril del silo ($= \pi r^2$)	[m]
a	factor de ajuste de distribución de presión para la tolva.	
a ₁₋₆	coeficientes armónicos para describir presiones del viento.	
B	dimensión de salida	[m]
B _r	dimensión de salida mínima para prevenir agujero de rata	[m]
B _a	dimensión de salida mínima para prevenir arqueamiento	[m]
b	anchura radial de anillo de la transición el plato anular	[m]
C	carga o multiplicador de presión	
C _b	multiplicador de presión medio de fondo para la descarga	
C _h	multiplicador de presión normal de pared para la descarga	
C _o	valor máximo de multiplicador de presión de flujo para un sólido	
C _w	multiplicador de la tracción friccional de pared para la descarga	
c	cohesión en partícula sólida después de la consolidación	
d _c	diámetro interior de la sección del barril de silo ($=2r$)	[m]
d _p	diámetro medio de la partícula	
E	Eléctrico	
E	Módulo elasticidad	[Mpa]
e _i	excentricidad de relleno: situación resultante en la cima del silo	[m]
e _o	excentricidad de salida: la distancia del eje para centrar la salida	[m]

F	proporción de presión de pared para una tolva (= radio de pared local de presión normal p_n para significar tensión vertical en el sólido p_v a la misma coordenada vertical)	
FF	función de flujo de la partícula sólida	
f_u	fuerza última tensil del acero	[MPa]
f_y	fuerza fluencia del acero	[MPa]
ff	factor de flujo de la tolva	
G_1	factorice en flujo masa proporcional a la evaluación	
g	aceleración debido a gravedad (= $9,81 \text{ ms}^{-2}$)	
h_b	altura total de sólido guardado en silo del ápice de la tolva a la superficie sólida eficaz	[m]
h_h	altura de la tolva: la altura de transición sobre el ápice de la tolva	[m]
h_o	altura de superficie equivalente anteriormente al contacto de la pared sólido más alto	[m]
K	anotación alternativa para el radio de presión lateral en la sección del barril (vea λ)	
k	forma de la partícula constante en cálculos de radio de flujo	
L	altura del exterior de la estructura del silo	[m]
M	Mes	
M	Mecánico	
M	En Marcha	
M	proporción de flujo de masa durante la descarga	
M_r	momento torsor en un miembro estructural sobre el eje radial	
M_x	momento torsor en un miembro estructural sobre el eje vertical	
m	momento torsor por la anchura de la unidad dentro de la pared de la cáscara	
m_θ	momento torsor circunferencial por anchura de la unidad	
m_x	momento torsor meridional o vertical por anchura de la unidad	
N	fuerza axial en miembro estructural	
n	número de apoyos discretos alrededor de la circunferencia	

n	resultante de tensión de membrana (fuerza de la membrana por la anchura de la unidad de pared de la cáscara) (= la tensión de la membrana el espesor x)	
n_x	resultante de tensión de membrana vertical	[kN/m]
n_ϕ	membrana meridional de tensión resultante	[kN/m]
$n_{\phi h}$	membrana meridional de tensión resultante a la cima de la tolva	[kN/m]
n_θ	membrana circunferencial de tensión resultante	[kN/m]
$n_{\theta x}$	membrana circunferencial de tensión resultante	[kN/m]
$n_{\theta x}$	membrana esquila de tensión resultante	[kN/m]
O	Operario	
P	Parada	
p_h	presión horizontal en pared vertical (barril)	[kPa]
p_{he}	presión horizontal durante la descarga (vaciando)	[kPa]
p_{hf}	presión horizontal después de llenar o durante la carga	[kPa]
p_{hfe}	presión horizontal en zona fluida de excéntricamente descargar silo	[kPa]
p_{hfo}	presión horizontal a la gran profundidad en zona fluida de excéntricamente descargar silo (valor asintótico)	[kPa]
p_{ho}	presión horizontal a la profundidad después de llenar o durante guardar (valor asintótico)	[kPa]
p_{hse}	presión horizontal en zona de la estática de excéntricamente descargar silo	[kPa]
p_{hso}	presión horizontal en profundidad en zona estática de descarga excéntricamente del silo (valor asintótico)	[kPa]
p_n	presión de la tolva normal a la pared	[kPa]
p_{ne}	presión de la tolva normal a la pared durante la descarga (vaciando)	[kPa]
p_{nf}	presión de la tolva normal a la pared después de llenar o durante la carga	[kPa]
p_v	tensión vertical media en el sólido	[kPa]
p_{ve}	tensión vertical media en el sólido durante la descarga (vaciando)	[kPa]
p_{vf}	tensión vertical media después del relleno del sólido o durante guardar	[kPa]

p_{vo}	tensión vertical media en el sólido a la profundidad en una sección del barril (valor asintótico)	[kPa]
p_w	tracción friccional en pared vertical (barril)	[kPa]
p_{we}	tracción friccional durante la descarga (vaciando)	[kPa]
p_{wf}	tracción friccional después de llenar o durante el almacenamiento	[kPa]
p_{wfe}	tracción friccional en zona fluida de excéntricamente descarga silo	[kPa]
p_{wse}	tracción friccional en zona de la estática de excéntricamente descarga silo	[kPa]
r	radio de barril de silo	[m]
r_g	coordenada radial del centroide de viga de anillo	
r_h	radio hidráulico de barril ($= A/U = r/2$)	
r_f	radio de cauce de flujo excéntrico	
S	Semana	
T_θ	torque en un miembro estructural sobre el eje circunferencial	
t	espesor de pared de cáscara	
t_c, t_h, t_s	espesor de pared de cáscara de cilindro, tolva y falda respectivamente	
U	perímetro transversal del plan de la sección del barril ($=2\pi r$)	[m]
U_{sf}	perímetro transversal del límite entre la zona de la estática y zona de flujo durante descarga excéntrica del silo	[m]
U_{wf}	perímetro transversal de la zona de flujo en contacto con pared durante descarga excéntrica del silo	[m]
U_{ws}	perímetro transversal de la zona estática en contacto con pared durante descarga excéntrica del silo	[m]
w_r	carga radial por la circunferencia de la unidad	
w_v	carga vertical por la circunferencia de la unidad	
x	coordenada axial (vertical) en el silo para las evaluaciones estructurales	
x	coordenada vertical ascendente del ápice de la tolva	
x_t	coordenada vertical de la transición eficaz sobre el ápice de la tolva	
x_{tr}	valor de la referencia para el x_t (coordenada vertical de la transición eficaz)	
Z	coordenada vertical en el silo completo	

z	profundidad debajo de la superficie sólida equivalente
z_o	Janssen referencia de profundidad
z_{of}	Janssen referencia de profundidad para la zona fluida durante la descarga excéntrica del silo
z_{os}	Janssen referencia profundidad para la zona de la estática durante la descarga excéntrica del silo
z_t	profundidad de la transición debajo de la superficie sólida equivalente

Caracteres griegos

α	el ángulo de inclinación de la tolva midió del horizontal ($\alpha = 90^\circ - \beta$)	[°]
β	medio ángulo de la tolva (medido en la vertical)	[°]
β	factor de amplificación de excentricidad en presiones de la pared	
β_o	ángulo entre el borde de cauce de flujo interior y el eje vertical	[°]
β_{or}	valor de la referencia de ángulo entre el borde de cauce de flujo interior y el eje vertical	[°]
γ	peso de unidad de volumen de sólido guardado	[kN/m ³]
γ_f	peso de unidad de volumen de sólido guardado en un estado de fluidez	
γ_F	factor parcial en las cargas y acciones	
γ_M	factor parcial en las fuerzas estructurales y resistencias	
γ_l	valor característico inferior de peso de unidad de volumen de sólido guardado	[kN/m ³]
γ_u	valor característico superior de peso de unidad de volumen de sólido guardado	[kN/m ³]
θ	coordenada circunferencial	
θ_c	coordenada circunferencial al borde de cauce de flujo excéntrico	
θ_o	coordenada circunferencial al centro de cresta de tensión axial	
λ	proporción de presión lateral en la sección del barril	
μ	coeficiente de fricción con la pared	

μ_{eff}	coeficiente de fricción de pared eficaz cuando la fricción de pared se moviliza incompletamente	
μ_h	coeficiente de fricción de pared para la tolva	
ϕ_i	ángulo eficaz de fricción interior	[°]
ϕ_{it}	valor de tiempo consolidado del ángulo eficaz de fricción interior	
ϕ_r	ángulo de reposo de superficie sólida	[°]
ϕ_w	ángulo de fricción con la pared	
σ_a	tensión desarrollada en un arco estático estable de partícula sólida cuando el flujo se arrastra	[kN]
σ_b	tensión doblando en estructura de la cáscara	[kN]
σ_c	tensión de rendimiento ilimitada de las partículas sólidas	[kN]
σ_m	mayor tensión consolidada aplicada a una partícula sólida durante la prueba (Jenike σ_1)	[kN]
σ_m	tensión de la membrana en estructura de la cáscara	[kN]
σ_x	tensión en dirección axial en estructura de la cáscara	[kN]
σ_θ	tensión en dirección del circunferencial en estructura de la cáscara	[kN]
ψ	factorice para no la uniformidad de tensión compresiva axial	
ψ	ángulo en cauce de flujo de excéntrico	

Subíndices

E	causado por cargas aplicadas (tensiones)
R	resistencia de estructura (fuerza)
S	causado por cargas aplicadas (resultantes de tensión)
c	valor crítico elástico
c	cilindro
d	valor del plan (ajustado por factor parcial)
e	elástico

e	valor vaciando (descarga)
f	valor llenando (llenando y guardando)
h	normal a la pared vertical
h	Tolva
k	valor característico
n	normal a la pared de la tolva
p	plástico
p	plato anular
r	sobre un eje radial
s	falda
t	tangencial a la pared de la tolva
v	vertical
w	tracción debida a la fricción
x	dirección axial (= vertical)
z	dirección vertical
θ	dirección del circunferencial
ϕ	dirección del meridional

Abreviaturas

PMP	Programa de Mantenimiento Preventivo
MMP	Manual de Mantenimiento Preventivo
TPM	Mantenimiento Productivo Total

-----Section Break (Odd Page)-----

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

A. Identificación de la Empresa

1. Antecedentes históricos

Central Veterinaria fue creada como sociedad anónima a finales del año 1986, por los médicos veterinarios Bernardo Vargas MacCalum y Gerardo Chena López; cuyo objetivo inicial era el de crear una empresa distribuidora de productos para mascotas.

Al inicio la empresa se ubicó en Guadalupe de Goicoechea, San José; con una planilla de seis personas. Debido a problemas en la calidad y al crecimiento en la demanda, se decidió alquilar unas bodegas en el Alto de Guadalupe para fabricar el producto.

Fue en 1992 cuando se comenzó a fabricar la familia de productos con materia prima importada. La planilla creció a veintidós trabajadores; pues producía y distribuía 17 productos diferentes, para la alimentación y el cuidado de las mascotas, principalmente la carne congelada, concentrado en polvo, atún para gatos (maquilado por Sardimar) y carbolina.

Debido a la creciente demanda de alimento extrusado para mascotas y a los estándares de producción en el nivel internacional, la empresa adquirió, en junio del año 2000, un terreno propio de tres hectáreas y con 7000 m² de construcción -planta y oficinas-, ubicado en la zona industrial de Coris de Cartago, lugar en el que cuenta con la infraestructura, y maquinaria adecuada y especializada.

Actualmente Central Veterinaria , cubre todo el territorio nacional, con medios propios, y con una cadena de subdistribuidores. Ha tenido gran aceptación en el mercado costarricense; pues se caracteriza por utilizar avanzada tecnología y materia prima de primera calidad. Otro aspecto que cabe resaltar es el hecho de que está exportando sus productos a: Nicaragua, El Salvador, Honduras, Panamá, República Dominicana, Chile, Guatemala, Puerto Rico y México.

2. Ubicación geográfica

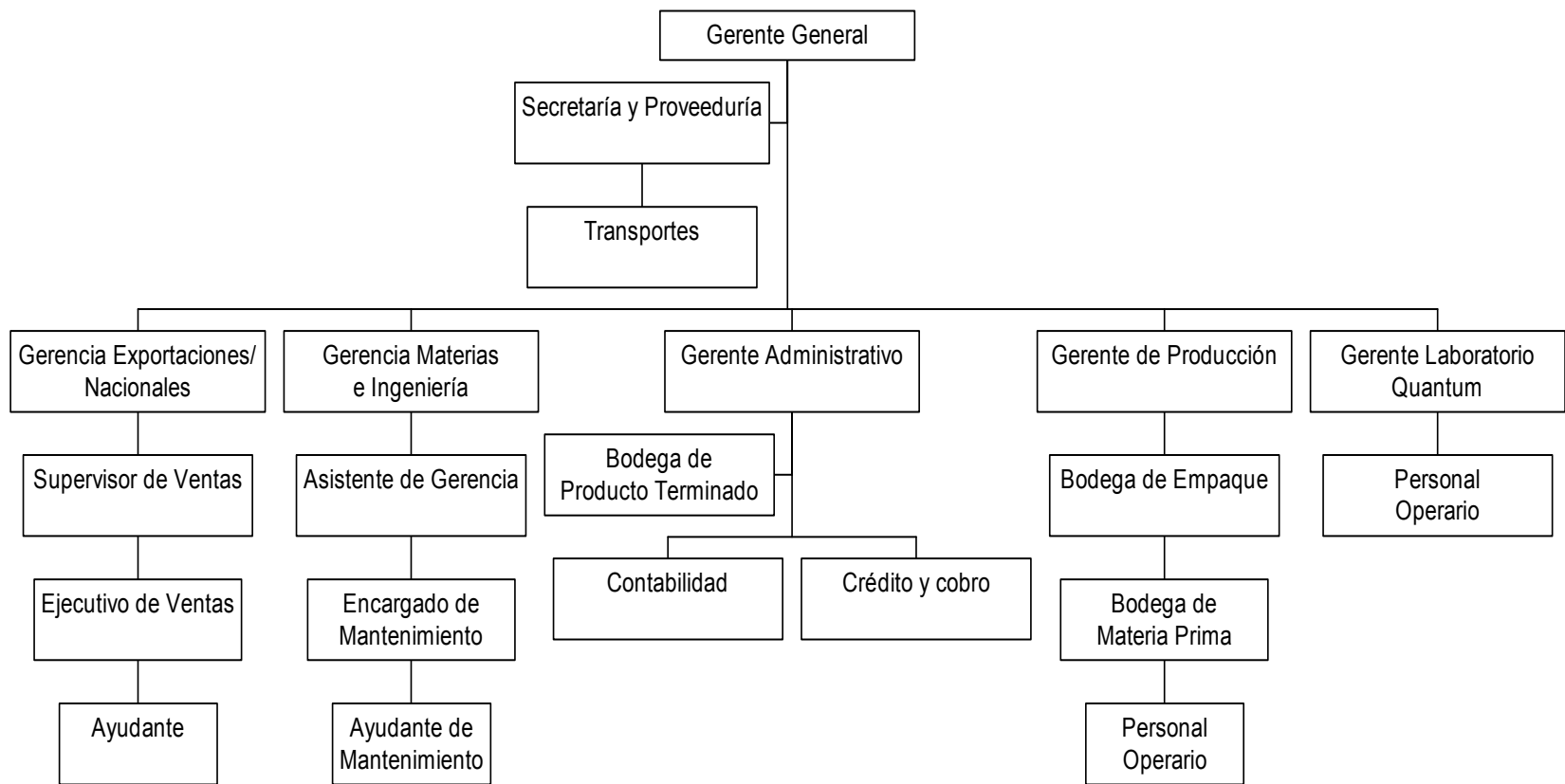
Central Veterinaria se ubica en Coris -Cartago-, específicamente detrás del Parque Industrial; 600 metros oeste de Novartis.

3. Organización de la empresa

En la figura 1.1, se presenta el Organigrama de la empresa (Ver siguiente página)

4. Número de empleados

Central Veterinaria cuenta con 65 trabajadores, cuyas funciones se distribuyen de la siguiente manera: 28 constituyen el personal de operación; 14, el administrativo; 11 son personal de ventas (agentes y ayudantes); 7 a cargo del laboratorio y 5 de mantenimiento.



Fuente: Central Veterinaria

Figura 1.1 Organigrama de Central Veterinaria

5. Tipos de productos

Actualmente, se fabrican 13 productos de alimento para mascotas en Central y 12 productos en el Laboratorio de Central Veterinaria. A continuación se detallan los mismos, en sus diferentes presentaciones.

Tabla 1.1 Productos fabricados por Central Veterinaria

Producto	Unidad de medida	# unidades	Presentación(kg)
Lata para cachorro	Caja	24	0,437
Lata para adulto	Caja	24	0,437
Harina	Bulto	12	2
Extrusado adulto	Bulto y saco	6, 4 y 1	2, 5, 10, 18 y 30
Extrusado cachorro	Bulto y saco	6, 4 y 1	2, 5, 10, 18 y 30
Extrusado Max – pro	Bulto y saco	6, 4 y 1	2, 5, 10 y 30
Extrusado Pro – pet	Bulto y saco	10, 6, y 1	1.5, 4, 10, 18 y 30
Atún SuperGato	Caja	48	0.165
SuperGato	Caja, saco y bulto	11, 6 y 1	0.5, 1.5, 10 y 30
Nutri Perico	Bulto	48	0,350
Nutri Canario	Bulto	48	0,350
Nutri Lora	Bulto	30	0,350
Nutri Girasol	Bulto	48	0,175

Fuente: Central Veterinaria

Tabla 1.2 Productos Fabricados por Laboratorio

Producto	Unidad de medida	# unidades	Presentación
Champú	Caja	24, 12 y 4	350 ml, 1 litro y 1 gal
Jabón	Caja	60	100 gramos
Talco	Caja	20	110 gramos
Bomba matapulgas	Caja	20	125 gramos
Carbolina	Caja	25, 16, 12, y 4	260 y 500 ml, litro y gal
Larvicida	Caja	15	160 gramos
K-lor	Caja	24,12	90, 120 gramos
Champú piojicida	Caja	12	150 ml
Triples (champú)	Caja	12	600 ml
Elastic (crema)	Caja	12 y 18	250 y 350 ml
QK-fin	Caja	24	140 gramos

Fuente: Central Veterinaria

B. Justificación de los proyectos

El mantenimiento típicamente correctivo en la industria, conduce a altos costos operativos que han llegado a provocar inclusive la quiebra de varias empresas; debido a su baja competitividad. La expansión en una empresa hace que se requiera más control y la prevención de fallas que puedan detener la producción de un producto; incluso paralizar la empresa o en un caso, aún más grave, crear un accidente industrial en el cual se pueden poner en peligro vidas humanas.

Central Veterinaria ha utilizado un mantenimiento correctivo; pero el crecimiento que ha venido mostrando induce la necesidad de nuevas herramientas de gestión de mantenimiento; como es el caso del Mantenimiento Preventivo. Como consecuencia de este crecimiento, el manejo de la información se ha vuelto complicado y la necesidad de herramientas en computadora se hace indispensable, así como de registros que permitan la fácil ubicación de la información requerida.

El aumento de la producción ha creado problemas de almacenamiento de materias. Esta falta de espacio físico es el que justifica que se piense en el diseño de silos de almacenamiento, para las ocho materias utilizadas en la producción de alimentos por extrusión; sin embargo, se pretende hacer una primera etapa con el diseño de un silo para una de las materias primas con el fin de tomar experiencia en el diseño y, luego realizar paulatinamente los demás diseños y para así solventar los problemas de espacio. Además, el almacenamiento en silos permite disminuir el personal en esta área y mejora la política de pedidos de materia prima.

C. Objetivos

1.Objetivo General Proyecto Administrativo

Desarrollar un Programa de Mantenimiento Preventivo, para la línea de producción de Alimentos por extrusión para mascotas.

1.1 Objetivos Específicos Proyecto Administrativo

- Confeccionar un Registro del Equipo (Archivo físico y archivo digital).
- Codificar la maquinaria de la línea de producción.
- Utilizar Órdenes de Trabajo como herramienta de control del Mantenimiento.
- Crear el Programa de inspecciones periódicas del funcionamiento de la maquinaria.
- Capacitar al personal involucrado, en cuanto a la utilización del Programa de Mantenimiento Preventivo.

2.Objetivo General del Proyecto de Diseño

Diseñar un Silo de Almacenamiento para una de las materias primas, requerida por el proceso de producción de Alimentos por extrusión para mascotas.

2.1 Objetivos Específicos

- Evaluar la cantidad de material por almacenar.
- Calcular los elementos constitutivos que conforman el silo.
- Definir la forma del Silo.
- Definir los materiales por utilizar en la fabricación.

CAPÍTULO II

DESCRIPCIÓN DEL DEPARTAMENTO DE MATERIALES E INGENIERÍA

A. Misión

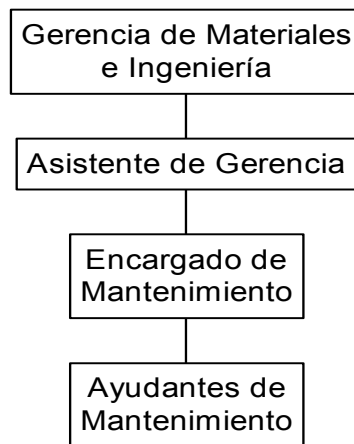
Gestionar de manera eficaz y eficiente: las reparaciones, modificaciones, revisiones, inspecciones y la determinación de las condiciones de nuestros equipos, máquinas e instalaciones; con el objetivo de conseguir una máxima disponibilidad de los activos al menor costo posible; enmarcados dentro de los estándares de calidad (ISO 9000), seguridad y conservación del medio ambiente, (ISO 14000) previamente establecidos. Para, finalmente, obtener una relación óptima entre: Disponibilidad-Seguridad-Calidad-Costo

B. Objetivos

- Lograr que las máquinas funcionen eficientemente, minimizando los paros durante la producción.
- Lograr que las máquinas funcionen correctamente, garantizando condiciones seguras de operación.
- Conseguir que la máquina trabaje en el óptimo estándar de calidad.
- Garantizar la vida útil de la máquina establecida por el fabricante, y de ser posible, mejorarla.

- Obtener la máxima eficiencia en la ejecución de las reparaciones.
- Procurar una clara definición de las responsabilidades y funciones de cada miembro del departamento.
- Contar con los repuestos necesarios.
- Proveer al personal y las máquinas del equipo de seguridad necesario.
- Crear y mantener actualizado el Inventario de equipos.

C. Organización



Fuente: Central Veterinaria

Figura 2.1 Organigrama del departamento de Materiales e Ingeniería

D. Personal

El Encargado de Mantenimiento de Central Veterinaria es el Señor Jorge Blanco y sus ayudantes el Señor Fernando Calderón y el Señor Oscar Urbina; los tres son del área mecánica.

Para abastecer el área eléctrica, el servicio se contrata a la empresa Electro Super. Cuando se amerita o en caso de emergencia la situación es atendida por el Señor Norman Vargas, gerente del departamento de Materiales e Ingeniería.

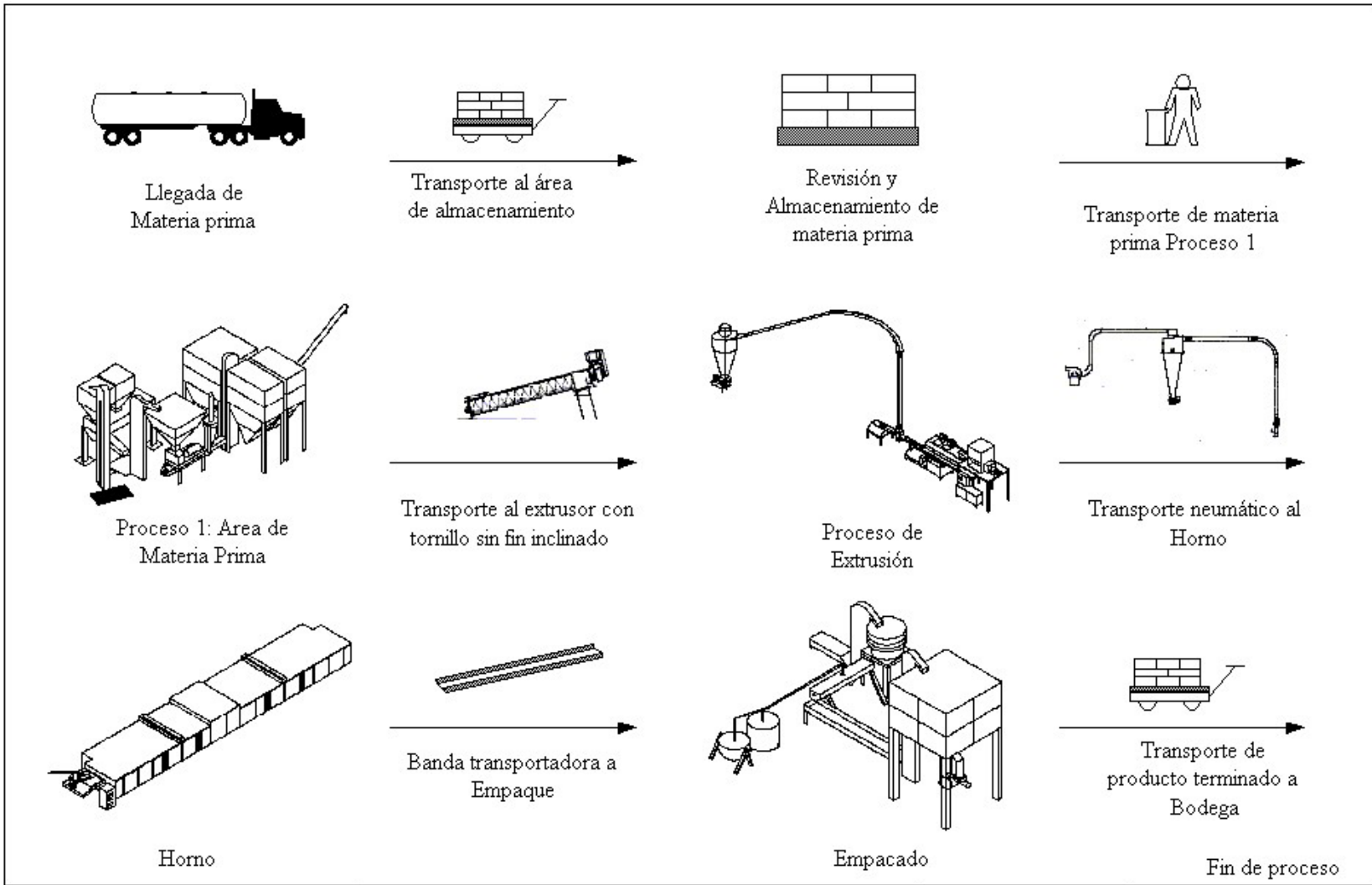
CAPÍTULO III

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE ALIMENTO PARA MASCOTAS POR EXTRUSIÓN

A. Descripción general del Proceso

El proceso de alimento por extrusión para mascotas comienza con la llegada de la materia prima. Posteriormente esta es transportada a la zona de almacenaje y, manualmente, se introduce la materia prima, debidamente pesada; para que inicie el proceso de preparación de esta. En este punto lo que se pretende es que la materia prima sea uniforme y que se encuentren las proporciones adecuadas de cada ingrediente.

Seguidamente se transporta la materia prima hacia el proceso de extrusión para ser cocida y se le dará la forma deseada. Terminado este proceso, se lleva hasta el horno de secado, en el cual se elimina el exceso de humedad; es transportada al área de empaclado; ahí se dispone en cada una de las diferentes presentaciones y se estiba para, finalmente ser llevada al almacén de producto terminado. Ver figura 3.1, en la cual se presenta un diagrama completo del proceso descrito.



Fuente: Analista

Figura 3.1 Diagrama del proceso productivo

B. Área de preparación de la Materia Prima

La figura 3.2 muestra un detalle del área de preparación de la materia prima, donde la materia prima es mezclada y molida para darle la forma y las proporciones necesarias.

Después de ser mezclada y molida se almacena en dos grandes tolvas, donde permanecerá hasta el momento en el que se desee utilizar. Antes de entrar a la siguiente área, la mezcla es pasada por una zaranda, que elimina cualquier partícula que no tenga el tamaño adecuado, para continuar así el proceso.

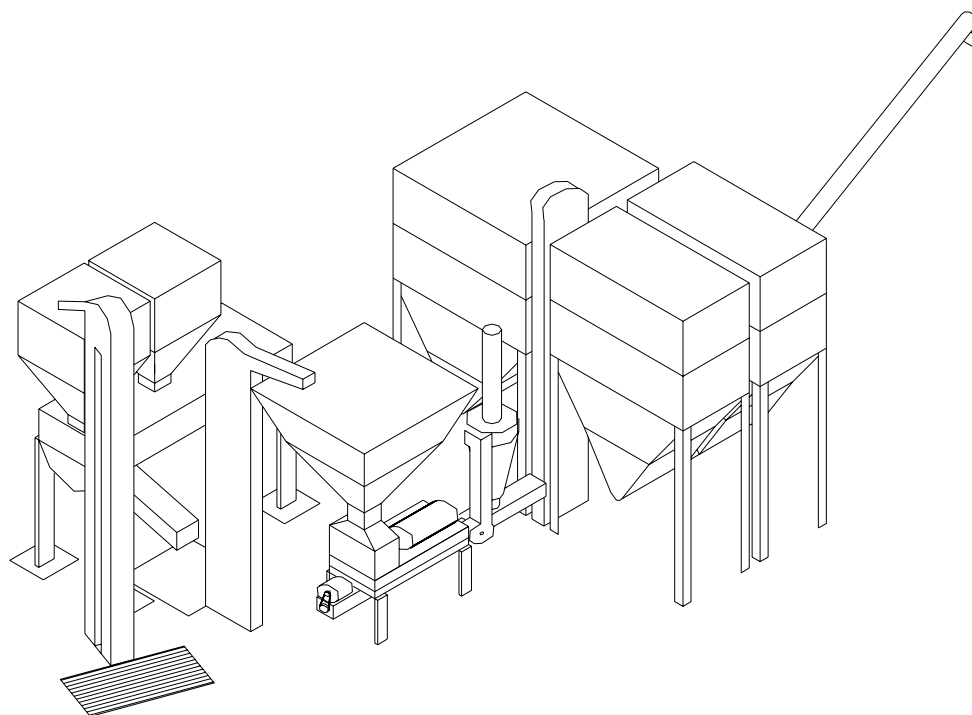


Figura 3.2 Área de preparación de Materia Prima

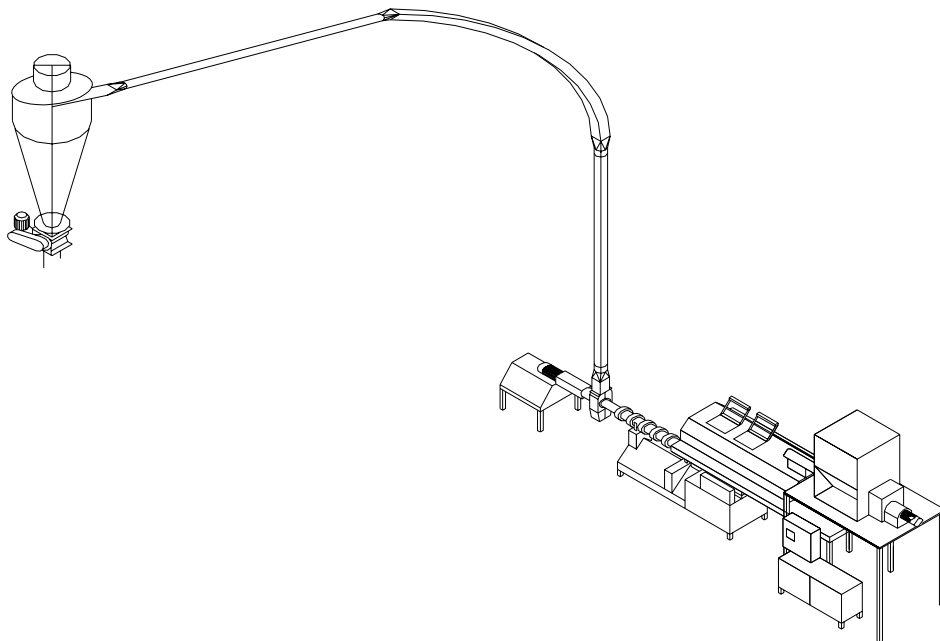
Fuente: Analista

C. Área de Extrusión

En esta área, se cocina y se le da forma al producto. El primer paso consiste en la llegada al alimentador -tolva-, llega la mezcla para ser transportada al segundo paso que es preacondicionador. En este punto, se le da la consistencia al producto, para que pase por el extrusor y adquiera la forma y tamaño deseado.

Al salir del extrusor, el producto es transportado al horno.

La figura 3.3 muestra en detalle el área de extrusión.



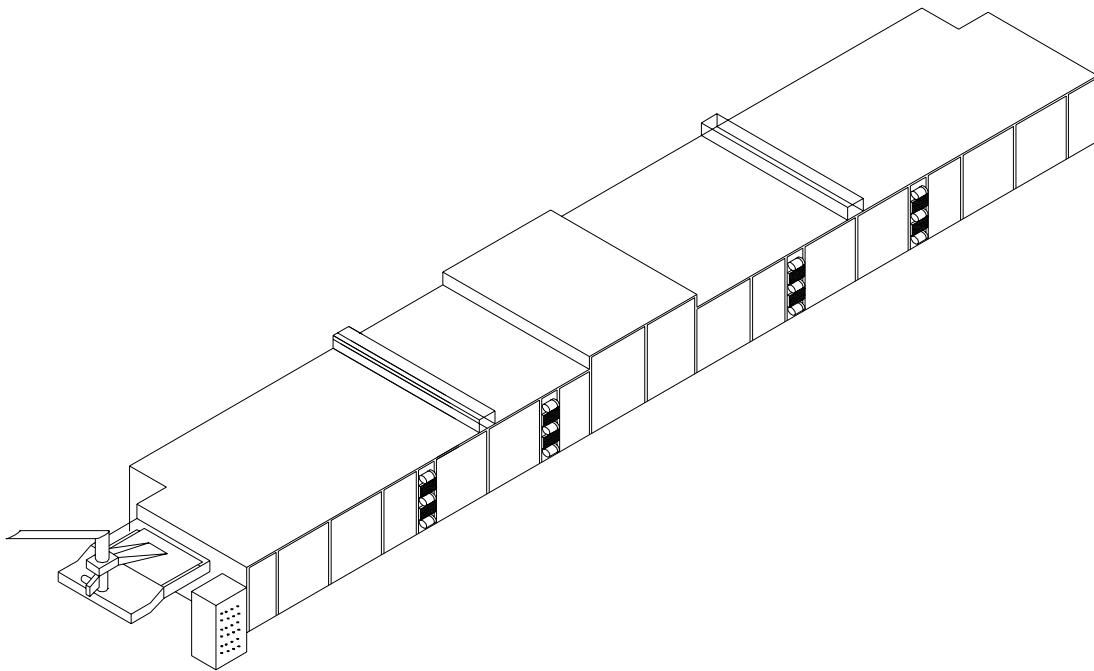
Fuente: Analista

Figura 3.3 Área de Extrusión

D. Área de Secado

En esta área, el alimento es secado en el horno. Se le extrae la humedad a través de la entrada de aire y vapor seco y la salida de aire húmedo. Esta área es muy importante para que el alimento pueda mantenerse en condiciones optimas, durante su almacenaje y transporte.

La figura 3.4 muestra un esquema del área de secado.



Fuente: Analista

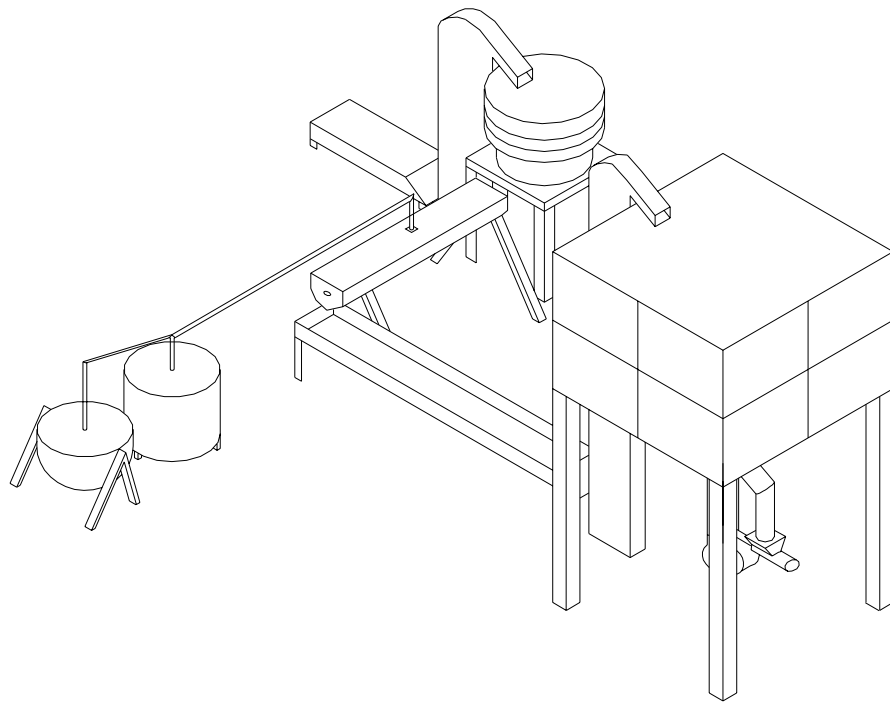
Figura 3.4 Área de Secado

E. Área de Empaque

En el área de empaque se prepara el alimento, que luego se almacenará en el área de producto terminado. En este momento se le agregan los diferentes sabores y/o colores al producto; dependiendo de si es, por ejemplo, alimento para cachorro, para perro adulto o para gato y según las diferentes presentaciones disponibles.

En esta área se utilizan diferentes formas de empaque, según lo requiera el producto lo requiera.

La figura 3.5 presenta el detalle del área de empaque.



Fuente: Analista

Figura 3.5 Área de Empaque

CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA

A. Metodología del Proyecto Administrativo

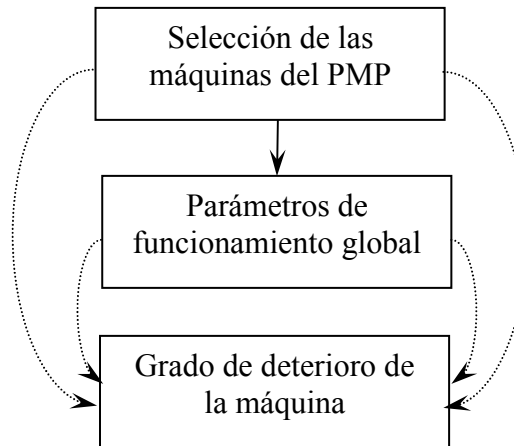
Se realizarán una serie de pasos para el Programa de Mantenimiento Preventivo, con el fin de obtener la información necesaria, procesarla e introducirla en el Programa.

Específicamente, se hará en tres etapas que son:

- Análisis de la situación actual.
- Recolección de datos.
- Realización del Programa de Mantenimiento Preventivo.

1. Análisis de la situación actual.

En esta primera etapa, se realizarán los pasos, presentados en el siguiente esquema (figura 4.1); en esta figura se hace una síntesis del análisis de la situación actual.



Fuente: Analista

Figura 4.1 Metodología para el análisis de la situación actual

A continuación, se detalla cada una de estas etapas y sus especificaciones:

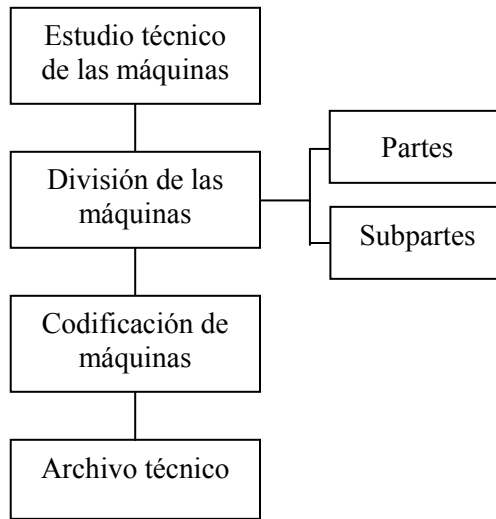
- Selección de las máquinas que formarán parte del Programa de mantenimiento preventivo (PMP): En este punto se determinará cuáles máquinas formarán parte del programa; pues es una buena práctica comenzar con un plan piloto.
- Determinación de los parámetros de funcionamiento global: Se deben determinar los parámetros que nos indican el funcionamiento de la máquina.
- Valoración del grado de deterioro de las máquinas: Basándose en los resultados de los parámetros de funcionamiento y con un estudio de las máquinas; se debe determinar el deterioro y en el caso de hallarse un deterioro anormal, se debe realizar mantenimiento programado a las máquinas que lo presenten; para dejarlas en un punto óptimo de tal forma que se pueda iniciar el Programa de Mantenimiento Preventivo

2. Recolección de datos

A esta etapa hace referencia la figura 4.2; en la cual se muestra la recolección de datos. Consta de los siguientes pasos:

El detalle de cada una de las etapas se describe a continuación:

- Estudio técnico de las máquinas: El conocimiento a fondo de la maquinaria se basa en manuales técnicos, la experiencia de los encargados de mantenimiento y un estudio de campo.
- Codificación de las máquinas: Se debe realizar una codificación de las máquinas, de manera tal que se relacionen con ellas, las reconozcan e identifiquen.
- Dividir la máquina en partes
- Dividir la máquina en subpartes
- Formación del archivo técnico: Se realizará un archivo técnico de las máquinas de manera que la información técnica quede registrada, para ser utilizada en forma rápida, sin perder tiempo en busca de un dato específico.

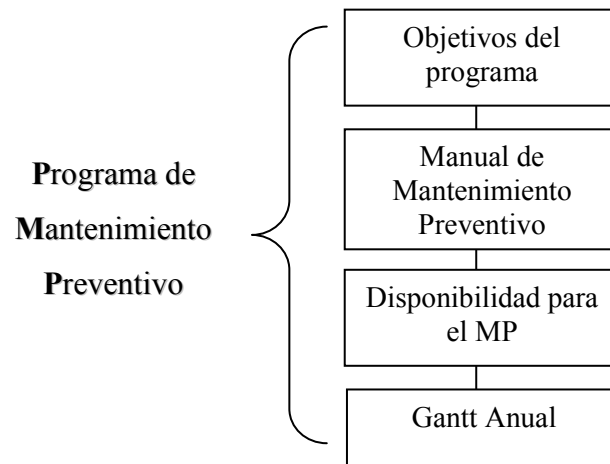


Fuente: Analista

Figura 4.2 Metodología para la recolección de datos

3. Realización del programa

En esta última etapa, se seguirán los pasos que se muestran en la figura 4.3:



Fuente: Analista

Figura 4.3 Metodología para la realización del programa

Cada una de las etapas se describe a continuación:

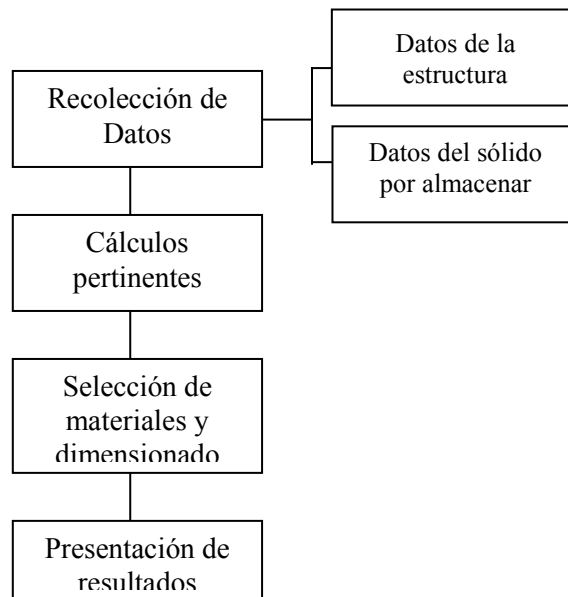
- Objetivos específicos del programa de mantenimiento preventivo: Determinar los objetivos del Programa de mantenimiento, para prever los alcances y limitaciones propias de este.
- Elaborar el Manual de Mantenimiento Preventivo: El manual de Mantenimiento Preventivo registrará los pasos necesarios para realizar las inspecciones y los períodos en los que estas se llevarán a cabo.
- Calcular la disponibilidad del tiempo requerido para el Mantenimiento Preventivo
- Elaborar Gantt Anual: Éste contiene las inspecciones y las fechas en las que se realizarán, en el lapso de un año.

B. Metodología del proyecto de Diseño

La metodología correspondiente al Proyecto de Diseño, se desarrolla en tres grandes etapas:

- Recolección de datos.
- Realización de cálculos.
- Selección de materiales y dimensionado.
- Presentación de resultados.

En la figura 4.4, se describen las etapas de la metodología seguida.



Fuente: Analista

Figura 4.4 Metodología General del Proyecto de Diseño

Los procedimientos del diseño se realizarán con base en los pasos propuestos por diferentes autores de bibliografía especializada, por ejemplo Rotter [2001].

1. Recolección de datos

La recolección de datos se relaciona, básicamente, con las siguientes acciones:

- Obtención de datos acerca de la estructura
- Obtención de datos que se refieren al sólido por almacenar

Los datos relacionados con la estructura son:

- Dimensiones preliminares.
- Ubicación.
- Expectativas de vida de la estructura.

En cuanto a los datos que se refieren al sólido por almacenar, están los siguientes (la definición de estas variables se presentan en el Capítulo VIII):

- Densidad.
- Coeficiente de fricción con las paredes.
- Ángulo efectivo de fricción interna.
- Radio lateral de fricción.
- Ángulo de reposo.
- Rango de temperaturas de operación.
- Porcentaje de humedad.

2. Realización de cálculos

En el apartado que se refiere a los cálculos, se tomarán en cuenta los siguientes aspectos:

- Garantía de flujo.
- Presión en las paredes durante la carga.
- Presión en las paredes durante la descarga concéntrica.
- Análisis estructural.

Cada uno de estos cálculos requiere de una serie de consideraciones y operaciones, que se describirán en el Capítulo IX. (Desarrollo del proyecto de diseño).

3. Selección de materiales y dimensionado

En esta etapa se realizara la selección de los materiales a utilizar y se obtendrán las dimensiones de estos materiales y las dimensiones finales del silo.

4. Presentación de resultados

Esta cuarto etapa, se realizará con el fin de describir, en forma resumida, el diseño del Silo.

CAPÍTULO V

MARCO TEÓRICO DEL PROYECTO ADMINISTRATIVO

A. Historia del Mantenimiento Industrial

El Mantenimiento Industrial es una gran necesidad para el ser humano y protege los recursos que utiliza para elaborar sus productos o servicios.

Desde que el hombre comienza a elaborar sus propias herramientas, se da cuenta de que en un momento dado el recurso falla y ve la necesidad de sustituirlo. En estos momentos el ser humano no siente ninguna necesidad de conservar los recursos; pues “hasta 1880, se consideraba que el trabajo humano intervenía en un 90% para hacer un producto, y un escaso 10% restante era trabajo de la máquina”[Dunce, E. 2000] Por esta razón, el Mantenimiento Industrial que se realizaba era casi nulo o en el caso de realizarse, era completamente correctivo; es decir sólo cuando las máquinas fallaban se realizaba algún tipo de reparación.

Con la primera guerra mundial las industrias se ven obligadas a trabajar al máximo para la producción de armas; de aquí en adelante comienza a verse la necesidad de conservar la máquina antes de que falle y así “nació el concepto de Mantenimiento Preventivo, el cual en la década de los veinte, se aceptó prácticamente como una labor que, aunque onerosa, resultaba necesaria. Sin embargo este procedimiento seguía guardando un enfoque máquina”[Dunce, E. 2000]

A partir de 1950 comienza la idea del Mantenimiento Productivo, donde el enfoque del mantenimiento empieza a inclinarse hacia el servicio y no sólo a la máquina; esto se refleja en el principio “El servicio se mantiene y el recurso se preserva”[Dunce, E. 2000] En 1970 el japonés Seichi Nakajima desarrolla el sistema TPM (Mantenimiento Productivo Total), el cual señala la importancia del trabajo conjunto de Mantenimiento-Producción.

En Costa Rica muchas empresas están emprendiendo grandes esfuerzos para introducir el Mantenimiento Preventivo; es decir la mayor parte de las empresas en Costa Rica, especialmente las pequeñas y medianas empresas, están en una etapa del mantenimiento que fue superada hace más de cien años en los países desarrollados.

B. Definiciones

1. Mantenimiento

El Mantenimiento Industrial debido a que ha venido variando su concepción a través de su historia, también ha variado su definición, y es así como, varios autores, que estudian a fondo estos complejos cambios buscan dar una definición apropiada; tal es el caso de Valverde [2000a] quien lo define como:

“Conjunto de acciones técnicas y administrativas tendientes a garantizar que la producción pueda ejecutar su función eficientemente”

Dunce [2000] define el término así:

“Mantenimiento es la actividad humana que garantiza la existencia de un servicio dentro de una calidad esperada”

En consecuencia, se puede decir que el mantenimiento debe propiciar un servicio eficiente y de calidad, es decir, mantenimiento debe asegurar que la producción no solo sea continua, sin interrupciones causadas por fallas, sino que la producción este dentro del rango establecido de calidad.

2. Mantenimiento Correctivo

Cuando ocurre una falla imprevista, lo cual puede ocasionar retrasos en la producción y pérdidas económicas; produce una emergencia en la empresa, más aún si esta falla puede provocar un accidente laboral. Tal situación puede describirse como una labor propicia para el Mantenimiento Correctivo, el cual es definido por Duncce[2000] como:

“Es la actividad humana desarrollada en los recursos físicos de una empresa, cuando por consecuencia de una falla han dejado de proporcionar la calidad de servicio esperado”

Basándose en la definición anterior, queda claro que no sólo una emergencia daría pie para el Mantenimiento Correctivo; sino también el hecho de que ocurra una falla –con la consecuente disminución de la calidad del servicio- la cual ameritaría de este tipo de Mantenimiento.

Duncce clasifica:

- Correctivo contingente y
- Correctivo programable

El Mantenimiento Correctivo Contingente es una actividad que se debe realizar de inmediato, debido a que es causa de una situación de emergencia.

Por otro lado, el Mantenimiento Correctivo Programable es una actividad que se realiza debido a una falla en un equipo trivial -equipo que no afecta de manera inmediata la producción, por ejemplo: un equipo duplicado-, lo que permite que el trabajo que se le realizará sea programado.

3. Mantenimiento Preventivo

El Mantenimiento Preventivo puede definirse como: “la actividad humana desarrollada en los recursos físicos de una empresa, con el fin de garantizar que la calidad de servicio que estos proporcionan, continúe dentro de los límites establecidos”[Dunce, E. 2000]

Dunce divide esta clase de mantenimiento en cinco tipos diferentes, como se muestra en la figura 5.1:



Fuente: Dunce [2000]

Figura 5.1 Tipos representativos del mantenimiento preventivo

Para el desarrollo de esta investigación interesa, de manera especial, el mantenimiento Preventivo Periódico; por lo tanto, sólo se hará referencia a él:

El Mantenimiento Preventivo Periódico se basa en rutinas, con el fin de prevenir cualquier falla en determinada máquina; a través de inspecciones periódicas que procuran revisar el estado de cada parte de la máquina. Este tipo de Mantenimiento es, definitivamente, necesario; debido a que su impacto en el aumento en la productividad de las industrias es evidente.

Una inspección consiste en la observación de los recursos, con el objetivo de obtener información acerca de su estado físico o de su funcionamiento.

Tipos de inspección:

Con máquina Parada: Esto significa que para realizar la inspección es necesario detener la máquina. Por ejemplo, en el desarme de la máquina.

Con máquina en Marcha: En este caso, la máquina no debe detenerse para realizar la inspección. Por ejemplo, revisar el sonido de un motor para determinar algún ruido anormal.

Tipos de orientación:

Reportar: Este tipo de orientación es utilizado cuando, al haber hecho la inspección, se encuentra un desgaste que implica un trabajo mayor; entonces, se deberá programar la reparación y se debe realizar una Orden de Trabajo.

Corregir si es necesario: Se refiere a un trabajo que puede ser realizado por el encargado de la inspección; luego de hacer la inspección.

Cambiar: En este tipo de inspección el encargado ya sabe que tiene que realizar un cambio; es decir la inspección enuncia un cambio.

CAPÍTULO VI

DESARROLLO DEL PROYECTO ADMINISTRATIVO: PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

A. Programa de Mantenimiento Preventivo

A continuación se exponen los resultados del Programa de Mantenimiento Preventivo; según los pasos que se siguieron para su realización:

- 1- Selección de las máquinas que formarán parte del Programa de mantenimiento preventivo (PMP)

En aras de realizar un plan piloto con el fin de introducir el PMP; se seleccionó un grupo de máquinas de la línea de producción de alimento por extrusión para mascotas de Central Veterinaria. El mantenimiento preventivo se implantará poco a poco, incrementando el número de máquinas de acuerdo a los resultados obtenidos por el PMP piloto.

2- Determinar los parámetros de funcionamiento global

En Central Veterinaria no se pueden determinar parámetros de funcionamiento global; porque no hay tiempos de paros, por una parte y por otra, las cantidades producidas no constituyen un parámetro válido; debido a que la producción es irregular. Sin embargo, en conjunto con producción, se espera comenzar un plan para determinar los tiempos de paro debidos a mantenimiento; para ser tomados en cuenta, en el futuro.

3- Valoración del grado de deterioro de las máquinas

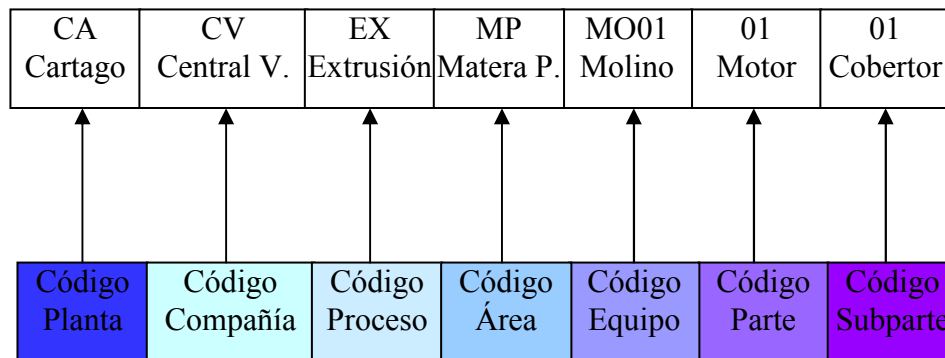
Al no existir parámetro de funcionamiento para determinar el grado de deterioro; se realizaron una serie de inspecciones visuales para determinar el estado de cada una de las partes. Al mismo tiempo se indagó, tanto con los encargados de mantenimiento como con los operadores, para determinar cómo han venido funcionando las máquinas. Con este estudio se determinó que en aquellos casos en los que alguna de las máquinas a presentado un deterioro anormal, el mantenimiento ha sido aplicado con el fin de poner la máquina en un punto normal. Con base en lo anterior, se considera que las máquinas seleccionadas están en un momento adecuado para ser introducidas en un programa de mantenimiento preventivo.

4- Estudio técnico de las máquinas

Entre las máquinas seleccionadas, sólo los equipos de las áreas del extrusor y el horno de secado tenían los manuales técnicos, planos y catálogos. Sin embargo, las otras máquinas se estudiaron a fondo en su puesto de trabajo, con la ayuda de los operarios y los encargados de mantenimiento; este hecho facilitó las herramientas necesarias para la realización del estudio técnico.

5- Codificación de las máquinas

Se realizó una codificación de las máquinas, de manera tal que permita identificar las máquinas; así como las áreas en que se dividirá la planta, para facilitar el trabajo de mantenimiento. En la figura 6.1 se observa cómo se codificaron las máquinas junto con un ejemplo.



Fuente: Analista

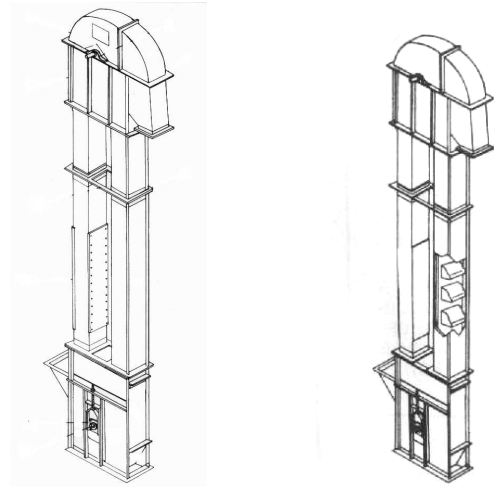
Figura 6.1 Propuesta de codificación

6- Dividir la máquina en partes y en subpartes

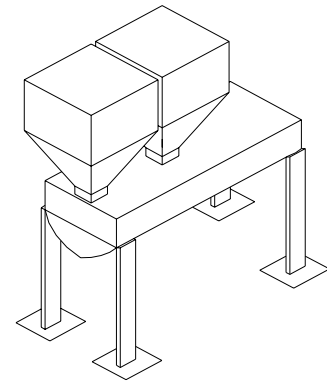
Se realizó una división de partes y subpartes de los equipos, para determinar qué partes entrarán en las inspecciones. Se utilizó Microsoft Excel como herramienta para realizar la división y presentarla (Observe la Tabla 6.1).

Tabla 6.1 Muestra de la División de partes y subpartes

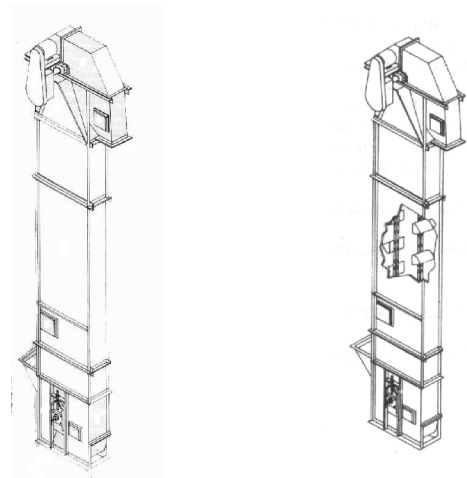
Proceso de extrusión	
Área Materia Prima	
Equipo Transporte 1	
Parte	Subparte
Estructura	Estructura
Cangilones	Cangilones
Motor	Rodamiento
	Bobinados
	Ventilación
Reducción	Faja
	Cadena



Proceso de extrusión	
Área Materia Prima	
Equipo Mezclador 1	
Parte	Subparte
Tolva 1	Tolva A
	Tolva B
Estructura	Estructura
Motor	Rodamiento
	Bobinados
	Ventilación
Reducción	Faja
	Cadena
Tornillo	Aspas
	Eje
	Rodamiento
	Muñonera



Proceso de extrusión	
Área Materia Prima	
Equipo Transporte 2	
Parte	Subparte
Estructura	Estructura
Cangilones	Cangilones
Motor	Rodamiento
	Bobinados
	Ventilación
Reducción	Faja
	Cadena



Fuente: Analista

7- Formación del Archivo Técnico

Se reunió toda la información disponible acerca de las máquinas, incluyendo la información que se determinó por medio de mediciones, datos de placas y pedidos de materiales. Se utilizó la herramienta de Microsoft Excel para realizar un registro del equipo, con el fin de tener un registro con los datos más importantes de cada máquina, para ser consultados de una forma rápida (Ver Tabla 6.2).

8- Objetivos específicos del programa de mantenimiento preventivo

- Minimizar los paros por fallas imprevistas
- Lograr que los activos no sufran deterioro excesivo o prematuro
- Aumentar la vida útil de las máquinas
- Servir como medio para optimizar los costos de mantenimiento

Tabla 6.2 Muestra del Registro del Equipo

REGISTRO DEL EQUIPO		Hoja 3
CODIGO: CVEXMPME01	NOMBRE: Mezclador 1	
Marca: EHSAM	Fecha de instalación: Mar-01	Fabricante:
Tipo:	Costo:	Representante:
No. Serie:	Dimensiones:	Teléfono:
Modelo:	Peso:	Dirección:
Año de fabricación:	Referencia:	
	Especificaciones del motor	Datos específicos del equipo
Marca:	Reliance electric	
No. Serie:	O4MAN21988C002NX	
Tipo:	3φ de ind.	
Voltaje:	230/460	
Amperaje:	72.2/36	
Potencia:	30 hp	
Velocidad:	1765 RPM	
F.P.:	83	
Frecuencia:	60 Hz	
Polos:		
Otros:	Servicio continuo, peso 35 kg	

REGISTRO DEL EQUIPO		Hoja 4
CODIGO: CVEXMPTR02	NOMBRE: Transporte 2	
Marca:	Fecha de instalación: Mar-01	Fabricante:
Tipo:	Costo:	Representante:
No. Serie:	Dimensiones:	Teléfono:
Modelo:	Peso:	Dirección:
Año de fabricación:	Referencia:	
	Especificaciones del motor	Datos específicos del equipo
Marca:		
No. Serie:		
Tipo:	3φ de ind.	
Voltaje:	230/460	
Amperaje:	11.0/5.0	
Potencia:	2,2 kW (3 hp)	
Velocidad:		
F.P.:		
Frecuencia:	60 Hz	
Polos:		
Otros:	F.S. 1, peso 31 kg	

REGISTRO DEL EQUIPO		Hoja 5
CODIGO:	CVEXMPTO02	NOMBRE: Tolva2
Marca:	Fecha de instalación:	Mar-01Fabricante:
Tipo:	Costo:	Representante:
No. Serie:	Dimensiones: A2,1xL2,1xh2,6	Teléfono:
Modelo:	Peso:	Dirección:
Año de fabricación:	Referencia:	
Especificaciones del motor		Datos específicos del equipo
Marca:		
No. Serie:		
Tipo:		
Voltaje:		
Amperaje:		
Potencia:		
Velocidad:		
F.P.:		
Frecuencia:		
Polos:		
Otros:		

REGISTRO DEL EQUIPO		Hoja 6
CODIGO:	CVEXMPDO01	NOMBRE: Dosificador 1
Marca:	Fecha de instalación:	Mar-01Fabricante:
Tipo:	Costo:	Representante:
No. Serie:	Dimensiones:A0,31xL0,31xh0,38	Teléfono:
Modelo:	Peso:	Dirección:
Año de fabricación:	Referencia:	
Especificaciones del motor		Datos específicos del equipo
Marca:	Baldor Industrial motor	
No. Cat:	VM3542	
Tipo:		
Voltaje:	230/460	
Amperaje:	3/1,5	
Potencia:	3/4 HP	
Velocidad:	1725 rpm	
F.P.:	69%	
Frecuencia:	60 Hz	
Polos:		
Otros:	S.F. 1.25, eficiencia 76%	

REGISTRO DEL EQUIPO		Hoja 7
---------------------	--	--------

CODIGO:	CVEXMPMO01	NOMBRE:	Molino 1
Marca:	Jacobson	Fecha de instalación:	Mar-01
Tipo:		Costo:	
No. Serie:	36115	Dimensiones:	
Modelo:	P-24214D	Peso:	
Año de fabricación:		Referencia:	
		Fabricante:	Jacobson
		Representante:	machine works
		Teléfono:	
		Dirección:	U.S.A.
			Minneapolis, Minn

Especificaciones del motor		Datos específicos del equipo	
Marca:	Toshiba	Motor con variador de frecuencia	
No. Serie:			
Tipo:	3φ de ind. NEMA		
	B		
Voltaje:	230/460		
Amperaje:	232/116		
Potencia:	100 hp		
Velocidad:	3545 RPM		
F.P.:			
Frecuencia:	60 Hz		
Polos:	2		
Otros:	Alta eficiencia, S.F. 1.15		

REGISTRO DEL EQUIPO Hoja 8

CODIGO:	CVEXMPTR03	NOMBRE:	Transporte 3
Marca:		Fecha de instalación:	Mar-01
Tipo:		Costo:	
No. Serie:		Dimensiones:	A0,3xL2,4xh0,3
Modelo:		Peso:	
Año de fabricación:		Referencia:	
		Fabricante:	
		Representante:	
		Teléfono:	
		Dirección:	

Especificaciones del motor		Datos específicos del equipo	
Marca:	WEG	Tornillo sin fin	
No. Serie:			
Tipo:	3φ de ind.		
Voltaje:	220/440		
Amperaje:	8,54/4,3		
Potencia:	3 HP		
Velocidad:	1710 rpm		
F.P.:			
Frecuencia:	60 Hz		
Polos:			
Otros:	S.F. 1.15		
Dimensiones aprox:	26x16x16cm		

REGISTRO DEL EQUIPO Hoja 9

CODIGO:	CVEXMPSA01	NOMBRE:	Separador de aire
---------	------------	---------	-------------------

Marca:	Fecha de instalación:	Mar-01Fabricante:
Tipo:	Costo:	Representante:
No. Serie:	Dimensiones:	Teléfono:
Modelo:	Peso:	Dirección:
Año de fabricación:	Referencia:	
Especificaciones del motor Marca: WEG No. Serie: Tipo: 3φ de ind. Voltaje: 220/380/440 Amperaje: 13,8/7,99/6,9 Potencia: 5 HP Velocidad: 3500 F.P.: 0.85 Frecuencia: 60 Hz Polos: Otros: Eficiencia 83,2%, peso 31kg		Datos específicos del equipo Ventilador y ciclón

REGISTRO DEL EQUIPO Hoja 10

CODIGO:	CVEXMPTR04	NOMBRE:	Transporte 4
Marca:	Fecha de instalación:	Mar-01Fabricante:	
Tipo:	Costo:	Representante:	
No. Serie:	Dimensiones:	Teléfono:	
Modelo:	Peso:	Dirección:	
Año de fabricación:	Referencia:		
Especificaciones del motor Marca: EBEEERLE Carc/Mod B 90 L4/CR Tipo: 3φ de ind. Voltaje: 220/440 Amperaje: 9/4,5 Potencia: 3 HP Velocidad: 1720 rpm F.P.: Frecuencia: 60 Hz Polos: Otros: F.S. 1,15, Peso 24 kg		Datos específicos del equipo	

REGISTRO DEL EQUIPO Hoja 11

CODIGO:	CVEXMPTO03	NOMBRE:	Tolva 3 (Con agitadores)
Marca:	Fecha de instalación:	Mar-01Fabricante:	
Tipo:	Costo:	Representante:	
No. Serie:	Dimensiones:	Teléfono:	

Modelo:	Peso:	Dirección:
Año de fabricación:	Referencia:	
Especificaciones del motor		Datos específicos del equipo
Tolvas pequeñas		Dos pequeñas comparten los agitadores
Marca:	EBEERLE	
Carc/Mod	B 90 L4/CR	
Tipo:	3φ de ind.	
Voltaje:	220/440	
Amperaje:	9/4,5	
Potencia:	3 HP	
Velocidad:	1720 rpm	
F.P.:		
Frecuencia:	60 Hz	
Otros:	F.S. 1,15, Peso 24 kg	

REGISTRO DEL EQUIPO		Hoja 12
CODIGO:	CVEXMPT004	NOMBRE: Tolva 4 (Con agitadores)
Marca:	Fecha de instalación:	Mar-01Fabricante:
Tipo:	Costo:	Representante:
No. Serie:	Dimensiones:	Teléfono:
Modelo:	Peso:	Dirección:
Año de fabricación:	Referencia:	
Especificaciones del motor		Datos específicos del equipo
Tolva grande		Una tolva grande con agitador
Marca:	EBEERLE	
Carc/Mod:	B10d L4/CR	
Tipo:	3φ de ind.	
Voltaje:	220/440	
Amperaje:	14/7	
Potencia:	5HP	
Velocidad:	1730 rpm	
F.P.:		
Frecuencia:	60 Hz	
Otros:	F.S. 1, Peso 32 kg	

REGISTRO DEL EQUIPO		Hoja 13
CODIGO:	CVEXMPTR05	NOMBRE: Transporte 5
Marca:	Fecha de instalación:	Mar-01Fabricante:
Tipo:	Costo:	Representante:
No. Serie:	Dimensiones:	Teléfono:
Modelo:	Peso:	Dirección:
Año de fabricación:	Referencia:	

Especificaciones del motor		Datos específicos del equipo
Marca:	EBERLE	Dos tornillos sin fin con dientes contrarios que dirigen el producto de la tolva 3 (Tanto la grande como las dos pequeñas) hacia la zaranda
Carac/Mod	B90 S6/CR	
Tipo:	3φ de ind.	
Voltaje:	220/380/440	
Amperaje:	5,6/3,2/2,8	
Potencia:	1,5 HP	
Velocidad:	1135 rpm	
F.P.:		
Frecuencia:	60 Hz	
Polos:		
Otros:	F.S. 1,15, Peso 19,5 kg	

REGISTRO DEL EQUIPO				Hoja 14
CODIGO:	CVEXMPZA01	NOMBRE:	Zaranda	
Marca:		Fecha de instalación:	Mar-01	Fabricante:
Tipo:		Costo:		Representante:
No. Serie:		Dimensiones:		Teléfono:
Modelo:		Peso:		Dirección:
Año de fabricación:		Referencia:		
Especificaciones del motor		Datos específicos del equipo		
Marca:	EBERLE			
Carac/Mod	B80 A4/CR			
Tipo:	3φ de ind.			
Voltaje:	220/380/440			
Amperaje:	3,9/2,3/2			
Potencia:	1 HP			
Velocidad:	1715 rpm			
F.P.:				
Frecuencia:	60 Hz			
Polos:				
Otros:	F.S. 1,15, Peso 14 kg			


Fuente: Analista


9- Elaborar el Manual de Mantenimiento Preventivo

El Manual de Mantenimiento Preventivo se elaboró en Microsoft Excel, para recolectar todas las inspecciones contenidas en él.

En la tabla 6.3 se presenta una muestra del Manual de Mantenimiento Preventivo:

Tabla 6.3 Muestra del Manual de Mantenimiento Preventivo

 CENTRAL VETERINARIA		PROCESO DE EXTRUSIÓN AREA EXTRUSIÓN			
Departamento de mantenimiento EQUIPO: Alimentador CÓDIGO: CVEXEXAL01		MANUAL DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO			
No.	INSPECCIÓN	Periodo	Estado	Duración	Personal
PARTE: Estructura					
1	Verificar la no existencia de fugas, picaduras o quebraduras en las superficies. Reportar	M	M	10	1M
2	Resocar los pernos de anclaje si es necesario	M	M	5	1M
PARTE: Motoreductor					
3	Determinar si existe ruido anormal. Reportar	2S	M	5	1M
4	Medir corriente, Tensión y rpm. Reportar	M		10	1E
5	Lubricar el motoreductor	A	P	10	1M
PARTE: Agitadores					
6	Verificar el estado de los agitadores. Reportar	A	P	10	1M
7	Lubricar las muñoneras de soporte (grasa gdo. Alim.; 12 bombeos)	2M	P	10	1M
PARTE: Tornillo sin fin (Transporte al preacondicionador)					
8	Verificar el estado del Tornillo sin fin. Reportar	A	P	10	1M
9	Lubricar las muñoneras de soporte (grasa gdo. Alim.; 12 bombeos)	2M	P	10	1M

 CENTRAL VETERINARIA		PROCESO DE EXTRUSIÓN AREA EXTRUSIÓN			
Departamento de mantenimiento EQUIPO: Preacondicionador CÓDIGO: CVEXEXPA01		MANUAL DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO			

No.	INSPECCIÓN	Periodo	Estado	Duración	Personal
PARTE: Estructura					
1	Verificar la no existencia de fugas, picaduras o quebraduras en las superficies. Reportar	M	M	10	1M
2	Resocar los pernos de anclaje si es necesario	M	M	5	1M
3	Lubricar las muñoneras de soporte (grasa gdo. Alim.; 12 bombeos)	M	P	10	1M
PARTE: Motor - Reductor					
4	Determinar si existe ruido anormal. Reportar	2S	M	5	1M
5	Medir corriente, Tensión y rpm. Reportar	M		10	1E
6	Lubricar el reductor	6M	P	10	1E
7	Determinar el estado de la transmisión	6M	P	10	1E
PARTE: Agitadores					
8	Verificar el estado de los agitadores. Reportar	A	P	10	1M



**Departamento de
mantenimiento**

EQUIPO: Extrusor

CÓDIGO: CVEXEXEX01

PROCESO DE EXTRUSIÓN

AREA EXTRUSIÓN

**MANUAL DE MANTENIMIENTO
PREVENTIVO**

No.	INSPECCIÓN	Periodo	Estado	Duración	Perso nal
PARTE: Estructura					
1	Verificar la no existencia de fugas, picaduras o quebraduras en las superficies. Reportar	M	M	10	1M
2	Resocar los pernos de anclaje si es necesario	M	M	5	1M
3	Lubricar caja de rodamientos	A	P	10	1M
4	Lubricar Plato adaptador (grasa gdo. Alim. 12 bombeos)	S	P	5	1M
5	Lubricar cadena de transmisión (Aceite común)	M	P	5	1M
6	Lubricar engrane de transmisión (grasa gdo. Alim.)	2M	P	10	1M
7	Lubricar caja reductora (aceite transmisión)	6M	P	10	1M
8	Lubricar sello caja rodamientos (grasa gdo. Alim.)	2M	P	5	1M
PARTE: Motor Principal					
9	Determinar si existe ruido anormal. Reportar	2S	M	5	1M
10	Medir corriente, Tensión y rpm. Reportar	M		10	1E
11	Lubricar motor (grasa común; 30 bombeos)	A	P	15	1M
12	Verificar tensión adecuada de las fajas. Ajustar	2M	P	15	1M
PARTE: Cañon					
13	Verificar la no existencia de fugas, picaduras o quebraduras en las superficies. Reportar	M	M	10	1M
14	Desarmar y limpiar todas las partes	A	P	90	2M



**CENTRAL
VETERINARIA**

*Departamento de
mantenimiento*

EQUIPO: Transporte 7 (Neumático)

PROCESO DE EXTRUSIÓN

AREA EXTRUSIÓN

**MANUAL DE MANTENIMIENTO
PREVENTIVO**

CÓDIGO: CVEXEXTR01					
No.	INSPECCIÓN	Periodo	Estado	Duración	Personal
PARTE: Estructura					
1	Verificar la no existencia de fugas, picaduras o quebraduras en las superficies. Reportar	M	M	10	1M
2	Resocar los pernos de anclaje si es necesario	M	M	5	1M
PARTE: Motor del ventilador					
3	Determinar si existe ruido anormal. Reportar	2S	M	10	1M
4	Medir corriente, Tensión y rpm. Reportar	M		10	1E
5	Lubricar muñonera de soporte (grasa común; 13 bombes)	M	P	10	1M
PARTE: Ventilador					
6	Desarmar y limpiar todas las partes	A	P	90	2M
PARTE: Airlock					
7	Verificar el estado. Reportar	A	P	30	1M
8	Lubricar cadena de transmisión (aceite común)	M	P	10	1M

Fuente: Analista

10- Calcular la disponibilidad del equipo para el Mantenimiento Preventivo

A continuación se especifican las ecuaciones que se utilizan para el cálculo de tiempo de no producción y disponibilidad del equipo.

Ecuaciones

$$TNP(e) = TNP * OPD$$

$$DMP = TNP(e) - TOT$$

Terminología

DMP = Disponibilidad para el mantenimiento preventivo

TNP = Tiempo de no producción

OPD = Operarios disponibles

TNP(e) = Tiempo de No Producción Equivalente

TOT = Tiempo para otros trabajos

Datos:

TNP: 150 min/semana (30 min x 5 días)

OPD: 2 operarios

TOT: 0

Cálculos:

$$\text{TNP}(e) = 150 \times 2 = 300 \text{ (min-ope)/semana}$$

$$\text{DMP} = 300 - 0 = 300 \text{ (min-ope)/semana}$$

11- Elaborar Gantt Anual

En la siguiente tabla se presenta una muestra del Gantt anual para el 2003, cabe aclarar que solo se presentan algunos meses para dar una idea global.

Tabla 6.4 Muestra del Gantt Anual para el 2003



2003

INSPECCIONES				Enero			Febrero			Setiembre			Octubre			Noviembre			Diciembre									
Máquina	Inspección	Periodo	Duración	1	2	3	4	5	6	7	8	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	
OVEREMTR01	7	M	10				10				10				10				10				10				10	
OVEREMTR01	8	A	10										10															
OVEREMTR02	1	6M	10														10											
OVEREMTR02	2	6M	10			10																						
OVEREMTR02	3	M	10	10				10				10			10					10				10				
OVEREMTR02	4	2M	5								5				5								5					
OVEREMTR02	5	2M	5	5											5									5				
OVEREMTR02	6	M	5		5				5				5			5					5				5			
OVEREMTR02	7	2M	5		5											5								5				
OVEREMWI01	1	M	10			10				10				10								10				10		
OVEREMWI01	2	M	5				5				5				5					5			5				5	
OVEREMWI01	3	M	5	5				5				5				5					5			5				
OVEREMWI01	4	2M	15			15											15								15			
OVEREMMS01	1	M	10		10				10				10				10				10				10			
OVEREMMS01	2	M	5			5				5				5				5				5			5			
OVEREMMS01	3	M	5				5				5				5					5			5			5		
OVEREMMS01	4	M	5	5				5				5				5					5			5				
OVEREMMS01	5	A	10													10												
OVEREMMS01	6	M	5		5				5				5				5					5			5			
OVEREMMS01	7	2M	15				15											15								15		
OVEREMMS01	8	M	10			10				10				10				10				10				10		
OVEREMMS01	9	A	10																		10							
OVEREMTR03	1	6M	10				10																					
OVEREMTR03	2	6M	10									10																
OVEREMTR03	3	6M	10																									
OVEREMTR03	4	M	5					5							5					5						5		
OVEREMTR03	5	M	10	10					10				10			10				10				10				
OVEREMTR03	6	M	5		5				5			5		5			5				5			5				
OVEREMTR03	7	2M	5					5				5									5							
OVEREMTR03	8	A	10																									
OVEREMTR03	9	2M	5						5				5									5						
OVEREMTR04	1	6M	10																									
OVEREMTR04	2	6M	10																									
OVEREMTR04	3	M	10			10				10				10				10				10				10		
OVEREMTR04	4	M	5					5				5			5				5				5			5		
OVEREMTR04	5	2M	5								5				5								5			5		
OVEREMTR04	6	2M	5								5				5								5			5		
OVEREMTR04	7	2M	5	5												5								5				
OVEREMTO01	1	M	10	10				10					10				10				10			10				
OVEREMTO01	2	M	5		5				5			5		5			5				5			5			5	
OVEREMTO01	3	M	5			5				5			5		5							5			5			
OVEREMTO01	4	6M	20												20													
DISPONIBILIDAD				300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300
PROGRAMADO				290	290	290	295	300	290	285	295	300	300	290	300	290	300	285	295	300	300	300	300	295	290	290	260	275
DIFERENCIA				10	10	10	5	0	10	15	5	0	0	10	0	10	0	15	5	0	0	0	5	10	10	40	25	

Fuente: Analista

B. Diseño de una herramienta computacional para el Mantenimiento.

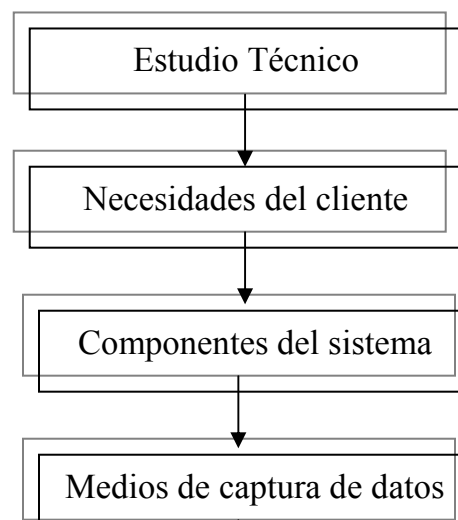
Esta herramienta computacional se realizó con el fin de servir de apoyo a algunas actividades de mantenimiento como lo son: la generación de registros del equipo, el historial

de reparaciones, las órdenes de trabajo y el reconocimiento del personal de mantenimiento, pues se necesita manipular esta información de manera rápida y automatizada; de tal forma que no solo se vean ahorrados los tiempos de procesamiento de datos; sino que también empiecen a adquirir valor, al ser fáciles de entender y dar seguimiento a las labores realizadas en la empresa. Además, esta herramienta logra mentalizar al personal de Materiales e Ingeniería en el sentido de que con el manejo de una herramienta computacional para el mantenimiento, a mediano plazo se puede introducir un software especializado para este fin.

Esta herramienta computacional da al usuario la posibilidad de adquirir las siguientes ventajas:

- Recopilación rápida de información.
- Elaboración de informes para realizar estudios.
- Obtención de registros.
- Obtención de historiales de reparaciones.
- Detección de problemas repetitivos, a través de la revisión historiales.

Para el desarrollo de esta herramienta computacional se plantean las siguientes acciones, de las cuales se da cuenta en la figura 6.2



Fuente: Analista

Figura 6.2 Pasos para el desarrollo de la herramienta computacional

A continuación se detalla cada uno de estos pasos:

1. Estudio técnico

Para el modelaje de la herramienta se utilizaron varios estudios, como el conocimiento del Proceso Productivo de las máquinas (registro del equipo y su funcionamiento); además, un estudio acerca de las órdenes de trabajo para observar sus deficiencias y la organización del personal de mantenimiento.

2. Necesidades del Cliente

Lo primero que se debe determinar es cuáles son los requerimientos de la empresa; dando énfasis a lo que ella realmente la empresa necesita. Por eso se realizó una entrevista al Sr. Fernando Vargas Badilla, para determinar las posibles salidas, reportes y almacenamiento de

la información; de tal forma que el sistema realmente cumpla con las expectativas que lo crearon.

Entre los datos más importantes se encuentran:

1. La flexibilidad del sistema (mejoramiento o cambio en el futuro).
2. La factibilidad del ingreso de información, acerca del equipo que actualmente se encuentra en la planta además de nuevo equipo.
3. La accesibilidad a la información de los fabricantes y representantes de cada equipo.
4. El almacenamiento de órdenes de trabajo.
5. La generación de un historial de reparaciones por orden de trabajo, por código de máquina o por fecha.
6. El registro de las inspecciones del manual de mantenimiento preventivo.
7. El registro del personal del Departamento de Ingeniería y Mantenimiento.

Estos requisitos servirán como base para la elaboración del sistema y así se podrá cumplir con las expectativas de la empresa, de manera que sea funcional y agradable en su uso.

3. Componentes del sistema

Aquí se hace referencia a los componentes del sistema computacional. Se conceptualiza cada una de las entidades, de manera que la empresa pueda obtener los resultados deseados. Además, se definen las entradas al sistema, así como sus salidas de datos; los cuales serán:

Para la alimentación del sistema se necesitan las órdenes de trabajo, en las cuales se debe ingresar el código del equipo, la prioridad de la reparación, el personal a cargo y la descripción del trabajo que se va a realizar; con el fin de almacenar esta información y poder obtener informes por número, por código y por fecha de las órdenes de trabajo. Por otra parte se deben ingresar los datos de las inspecciones del Manual de Mantenimiento Preventivo, el

registro del equipo que tiene actualmente la empresa y el personal que labora para la misma, de forma tal, que esta información quede almacenada y se pueda consultar cuando se desee.

Las salidas con que cuenta el sistema son los informes impresos de la información que se solicite.

4. Medios de captura de datos

Se hace indispensable utilizar una base de datos que almacene de forma adecuada la información requerida; para que permita obtener informes, consultas, filtros, entre otros; que ayuden a la manipulación de datos. Esta aplicación debe generar una interfaz amigable, para que el usuario se familiarice rápidamente.

Tomando en cuenta estos datos, es que se ha seleccionado el Software Microsoft Access (versión 2000), para crear una base de datos que manipule toda la información.

5. Modelaje de la herramienta computacional

El sistema almacenará la información por medio de tablas, las cuales están relacionadas unas con otras, por diferentes campos; para vincular los mismos y además evitar la duplicación de datos.

En total se manejan once tablas, las cuales se analizarán a continuación:

Tabla Estatus: Esta posee toda la información referente al estatus de la máquina, sea “en marcha” o “parada”; para que sea utilizada en las órdenes de trabajo.

Tabla Manual MP: Muestra información acerca de las inspecciones del Programa de Mantenimiento Preventivo; en donde almacenará el código del equipo, el número de inspección, la inspección, el periodo, el estado, la duración y el personal a cargo.

Tabla Orden de Trabajo: Almacena la información referente a las órdenes de trabajo, con información del tipo número de ÓRDEN DE TRABAJO, código del equipo, solicitante, descripción del trabajo, la fecha y hora de solicitud; entre otros.

Tabla PersonalMTO: Almacena la información referente a los empleados del Departamento de Materiales e Ingeniería.

Tabla PersonalOT: Reúne el personal de mantenimiento que realizó la orden de trabajo; contiene un vínculo con la tabla Orden de Trabajo.

Tabla Prioridad: Almacena la Prioridad para realizar el trabajo; va de uno a cinco. Mantiene un vínculo con la tabla Orden de Trabajo.

Tabla Registro del Equipo: Registra el equipo de la empresa, de tal forma que se pueda obtener información administrativa y técnica; está vinculada con la tabla Orden de Trabajo y Manual MP.

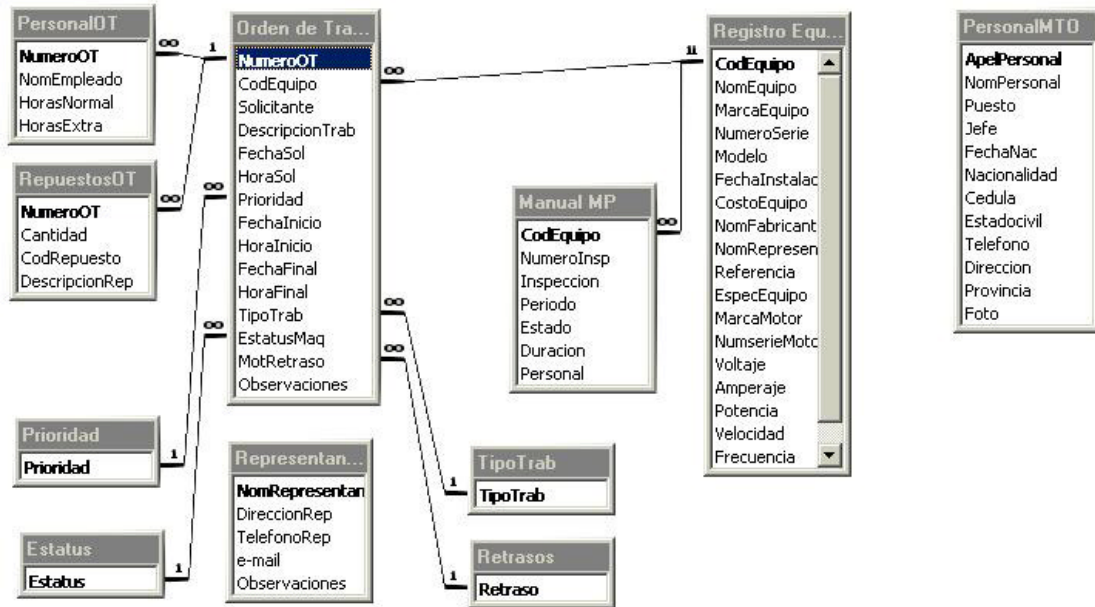
Tabla Representantes del Equipo: Posee información acerca de los representantes del equipo de la empresa.

Tabla Repuestos OT: Tiene como fin el almacenamiento de los repuestos de cada orden de trabajo.

Tabla Retrasos: almacena la información de retrasos por factores externos, falta de aseo, falta de equipo, falta de repuestos y otros. Posee un vínculo con la tabla Orden de Trabajo.

Tabla TipoTrab: Almacena el tipo de trabajo ya sea Correctivo, Extraordinario, Preventivo y Programado; mantiene vínculos con la tabla Orden de Trabajo.

Los vínculos son presentados en la siguiente figura 6.3:

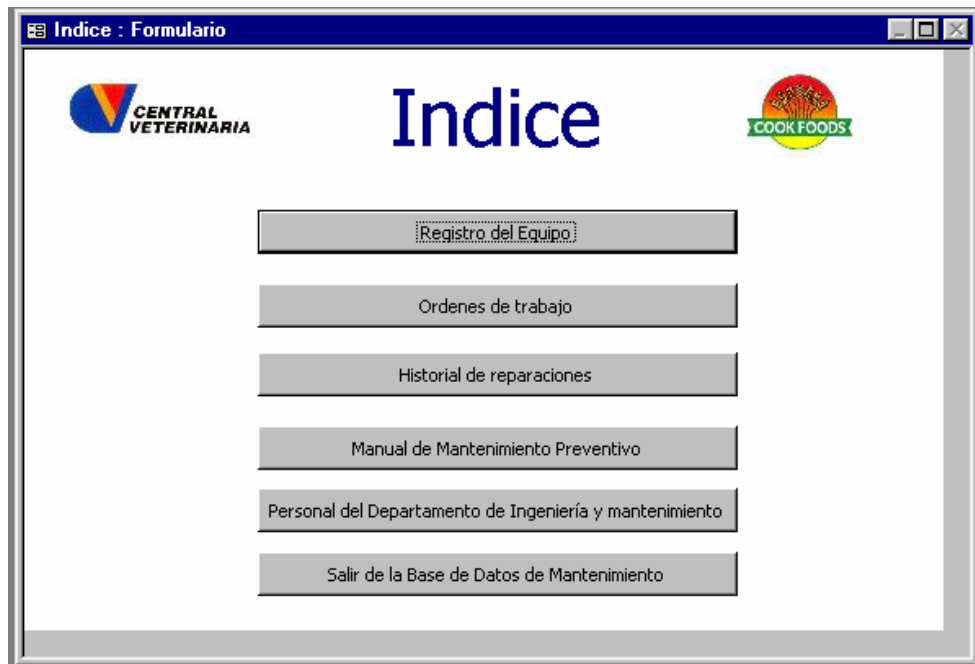


Fuente: Herramienta Computacional realizada

Figura 6.3 Relaciones entre tablas

Estas tablas dan las bases para la elaboración de consultas y formularios, que se presentan a continuación; además el cómo utilizar este sistema se encuentra especificado en el manual de usuario, el cual es un documento adjunto a este proyecto.

La pantalla principal al sistema es la siguiente:



Fuente: Herramienta Computacional realizada

Figura 6.4 Pantalla Principal del sistema computacional

Esta pantalla tiene la función de panel de control; presenta seis botones para ingresar a las distintas pantallas del sistema: el primer botón abre la siguiente pantalla:

Fuente: Herramienta Computacional realizada

Figura 6.5 Registro del Equipo

Como se puede observar, esta posee varios botones en su parte inferior, desde donde se puede ingresar a pantallas consulta como las siguientes, que son representantes del equipo y la lista de los equipos:

Fuente: Herramienta Computacional realizada

Figura 6.6 Representantes del Equipo

CodEquipo	NomEquipo
CVEXEXAL01	Alimentador 1
CVEXEXCO01	Cuchillas
CVEXEXEX01	Extrusor 1
CVEXEXPA01	Preacondicionador 1
CVEXEXPC01	Panel de control
CVEXEXTR01	Transporte 7 (Neumático)
CVEXHOEA01	Extractores de aire húmedo
CVEXHOH001	Horno
CVEXHOVE01	Ventilador aire caliente
CVEXMPD001	Dosificador 1
CVEXMPME01	Mezclador 1
CVEXMPMO01	Molino 1
CVEXMPPC01	Panel de control
CVEXMPSA01	Separador de aire 1
CVEXMPT001	Tolva 1
CVEXMPT002	Tolva 2
CVEXMPT003	Tolva 3 (Con agitador)
CVEXMPT004	Tolva 4 (Con agitador)
CVEXMPTR01	Transporte 1
CVEXMPTR02	Transporte 2
CVEXMPTR03	Transporte 3
CVEXMPTR04	Transporte 4

Registro: 14 de 25

Fuente: Herramienta Computacional realizada

Figura 6.7 Lista del Equipo

Esta información se puede consultar y también imprimir.

El siguiente botón muestra la pantalla órdenes de trabajo, en donde se debe ingresar toda la información que esta requiera, como: el código del equipo, prioridad, nombre del solicitante, descripción del trabajo que va a realizar, la hora y fecha de emisión, los repuestos que se utilizaron, el personal asignado a la orden, el tipo de trabajo, los retrasos -si se diera el caso-; el estatus de la máquina y finalmente, una casilla de observaciones, si se tuviera alguna en la orden de trabajo. (Ver figura 6.8)

Fuente: Herramienta Computacional Realizada

Figura 6.8 Orden de Trabajo

El tercer botón muestra el historial de reparaciones, en donde se puede filtrar la información de las Órdenes de Trabajo por número, por código de la máquina o por fecha, dando como resultado un informe que puede ser consultado por pantalla o por impresión.

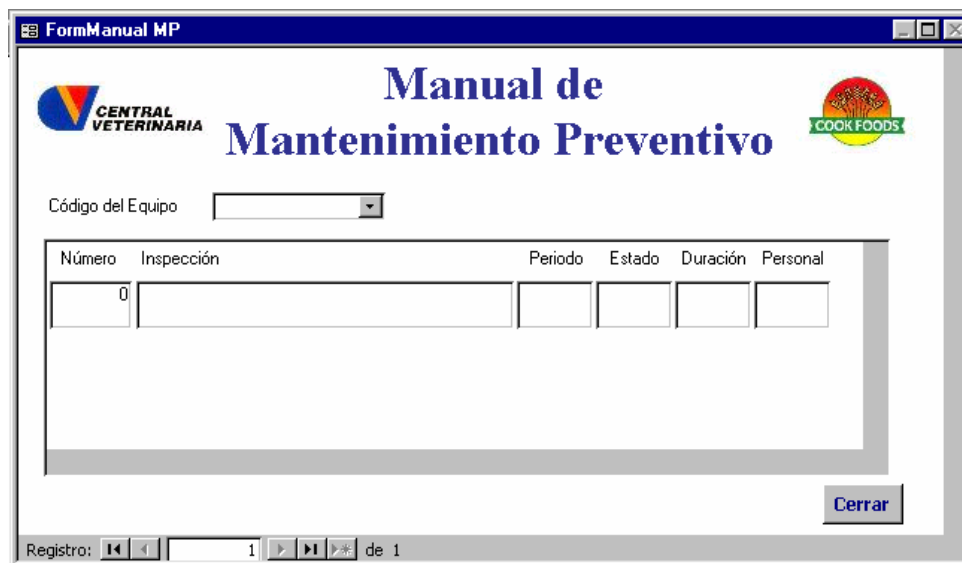
La pantalla que muestra las opciones descritas es la siguiente:



Fuente: Herramienta Computacional realizada

Figura 6.9 Pantalla de Filtros para Órdenes de Trabajo

El cuarto botón desplegará el Manual de Mantenimiento Preventivo, en donde el usuario tendrá la posibilidad de consultar fechas o inspecciones para el equipo de la empresa, la pantalla es la siguiente:



Fuente: Herramienta Computacional realizada

Figura 6.10 Pantalla de Manual de Mantenimiento Preventivo

El quinto botón almacena la información referente a los empleados del Departamento de Materiales e Ingeniería; mostrando información personal; entre otros datos, las pantallas son las siguientes:

FormPersonalMTO

CENTRAL VETERINARIA Personal del Departamento de Ingeniería y Mantenimiento **COOK FOODS**

Información de la Empresa Datos Personales

Nombre

Apellidos:

Puesto

Jefe

Foto

Cerrar

Registro: 8 de 8

FormPersonalMTO

CENTRAL VETERINARIA Personal del Departamento de Ingeniería y Mantenimiento **COOK FOODS**

Información de la Empresa Datos Personales

Fecha de nacimiento

Nacionalidad

Cédula

Estado civil

Teléfono

Provincia

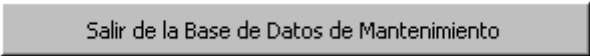
Dirección

Cerrar

Registro: 8 de 8

Fuente: Herramienta Computacional realizada

Figura 6.11 Pantallas Personal del Departamento de Ingeniería y Mantenimiento

Finalmente, el botón  permite cerrar completamente la base de datos.

6. Plan de Implementación

La implantación incluye todas aquellas actividades que tienen lugar para convertir a partir del sistema anterior el nuevo. En cualquier caso, la adecuada implantación es esencial para lograr un sistema confiable y que cumpla con las necesidades de la empresa.

El proceso de implementación se divide en tres partes:

Capacitación del personal

Se procederá a capacitar al personal del Departamento de Ingeniería y Mantenimiento; con el fin de que se ponga en práctica todo el sistema y sea fácil de manipular por los mismos. Esta etapa la llevará a cabo el analista, teniendo a disposición el manual de usuario para el personal a cargo, de manera que la capacitación sea exitosa.

Revisión después de la implementación

Esta etapa tiene como objetivo determinar qué tan bien está funcionando el sistema; cómo ha sido aceptado por los usuarios y cuáles son los ajustes necesarios. También es importante porque permite recabar información para el mantenimiento del sistema.

Esta etapa de auditoría puede realizarse mediante observación simple y directa, entrevista y/o registros de incidentes extraordinarios, que les suceden a los empleados mientras interactúan con el sistema.

Aquí es importante mencionar que en la medida en que más esfuerzo de planeación se realice en el desarrollo del sistema, menor posibilidad hay de que existan errores o ajustes por realizar. Por lo anterior; es importante que en esta etapa de implementación exista una participación activa y directa de todos y cada uno de los usuarios.

Tiempo de Implementación

Para efectos de la herramienta computacional que se presentó y analizando sus características y tiempo de manipulación; concluyó, con los Directivos de la empresa, que el tiempo de implementación del proyecto será de un mes; tiempo probable y, sujeto a una posible reducción, si así se amerita.

En la siguiente página, se presenta cada una de las actividades involucradas en el desarrollo del sistema; así como los tiempos esperados. Como se puede notar, se planificará la implementación iniciando la instalación del programa. La siguiente figura 6.12 representa este proceso:

Tabla 6.5 Planificador de las etapas de implementación

Actividad de la Semana	Noviembre																			
	Semana 1					Semana 2					Semana 3					Semana 4				
	L	K	M	J	V	L	K	M	J	V	L	K	M	J	V	L	K	M	J	V
Alimentación del Sistema	■																			
Capacitación del personal		■	■	■	■															
Período de prueba						■	■	■	■	■										
Auditoría / Inspecciones											■	■	■	■	■					
Ajustes finales																■	■	■	■	■

Fuente: Analista

-----Section Break (Next Page)-----

CAPÍTULO VII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A. Conclusiones

- Las máquinas que conforman el PMP son las correspondientes a la línea de producción de alimento por extrusión.
- Las máquinas seleccionadas están en un momento adecuado para ser introducidas en un programa de mantenimiento preventivo.
- Se realizó un estudio técnico de las máquinas.
- Se efectuó una codificación de las máquinas, de manera tal que permita identificarlas.
- Se ejecutó una división de partes y subpartes de los equipos, para determinar qué partes entrarán en las inspecciones.
- Se realizó un registro del equipo.
- Se elaboró un Manual de Mantenimiento Preventivo, con el fin de registrar las inspecciones que deben realizársele al equipo.

- La disponibilidad del equipo para el mantenimiento preventivo es 300 minutos a la semana.
- Se realizó el Gantt anual para planificar las inspecciones durante el año.
- Se confeccionó una herramienta computacional, con el fin de servir de apoyo a algunas actividades de mantenimiento como: la generación de registros del equipo, el historial de reparaciones, las órdenes de trabajo y el reconocimiento del personal de mantenimiento.

B. Recomendaciones

- Seleccionar un encargado para el Programa de Mantenimiento Preventivo.
- Reactivar la utilización de las órdenes de trabajo e introducir cambios en su formato.
- Capacitar al personal del Departamento de Materiales e Ingeniería.
- Dar seguimiento continuo a las tareas que involucra el programa.
- Utilizar la base de datos para que el personal, que esté relacionado con Mantenimiento se familiarice con un mantenimiento automatizado de las tareas y así, posteriormente, pueda adquirir un software especializado.
- Introducir paulatinamente en toda la empresa el Programa de Mantenimiento Preventivo.
- Concientizar al cuerpo gerencial, acerca de los grandes beneficios que conlleva el utilizar un Programa de Mantenimiento Preventivo y llevar un control adecuado en el transcurso del tiempo.

CAPÍTULO VIII

MARCO TEÓRICO DEL PROYECTO DE DISEÑO

A. Almacenamiento y transporte de granos

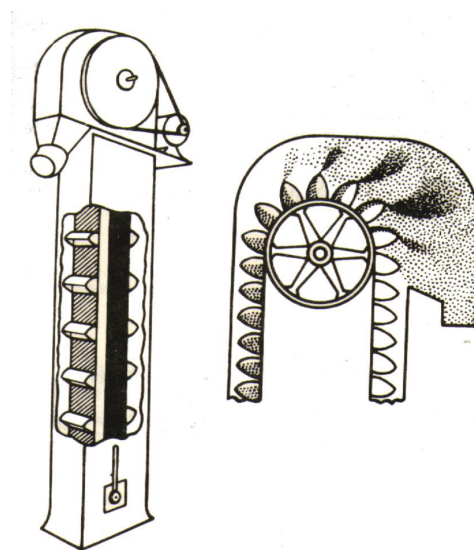
El almacenamiento de granos en bolsas, en los depósitos, es una práctica usual. El método, además de ser caro, presenta otros inconvenientes. Los granos almacenados en bolsas, en depósitos, están sujetos a las variaciones ambientales, y en regiones húmedas, la calidad del producto se ve muy perjudicada por la acción de los hongos. Los granos, al ser higroscópicos¹, absorben humedad y favorecen la proliferación de microorganismos.[Puzzi, 1984]

La implantación del manipuleo y almacenamiento de granos a granel constituye una tendencia universal. En los países desarrollados la manipulación a granel está generalizada e integrada desde la cosecha [Puzzi, 1984]. Básicamente, los depósitos destinados al almacenamiento de granos a granel se clasifican como silos. Los conocimientos actuales de la ciencia permiten resolver eficientemente el almacenamiento a granel, con el empleo de silos técnicamente proyectados.

¹ Higroscópico: Propiedad de algunos cuerpos inorgánicos, y de todos los orgánicos, de absorber y de exhalar la humedad. [Enciclopedia Encarta 98]

El término silo se refiere a depósitos de almacenamiento de grandes cantidades de sólidos granulares. En algunos lugares reciben diferentes nombres como son: cajas, arcones, depósitos de alimentación, tanques de grano, principalmente [Rotter, 2001]. Los silos de mediana y pequeña capacidad en general son metálicos, de chapas lisas o corrugadas, de hierro galvanizado o aluminio, fabricados en serie y montados sobre un piso de concreto. Los silos de hierro galvanizado están pintados de blanco para evitar la intensa radiación solar [Puzzi, 1984]

Las instalaciones mecánicas para la carga y la descarga de los granos pueden ser transportables. Se emplean sistemas por gravedad, bandas transportadora, elevadores de baldes (figura 8.1), helicoidales (figura 8.2) o neumáticos ya sea por succión, por presión o por la combinación de las dos (figura 8.3).

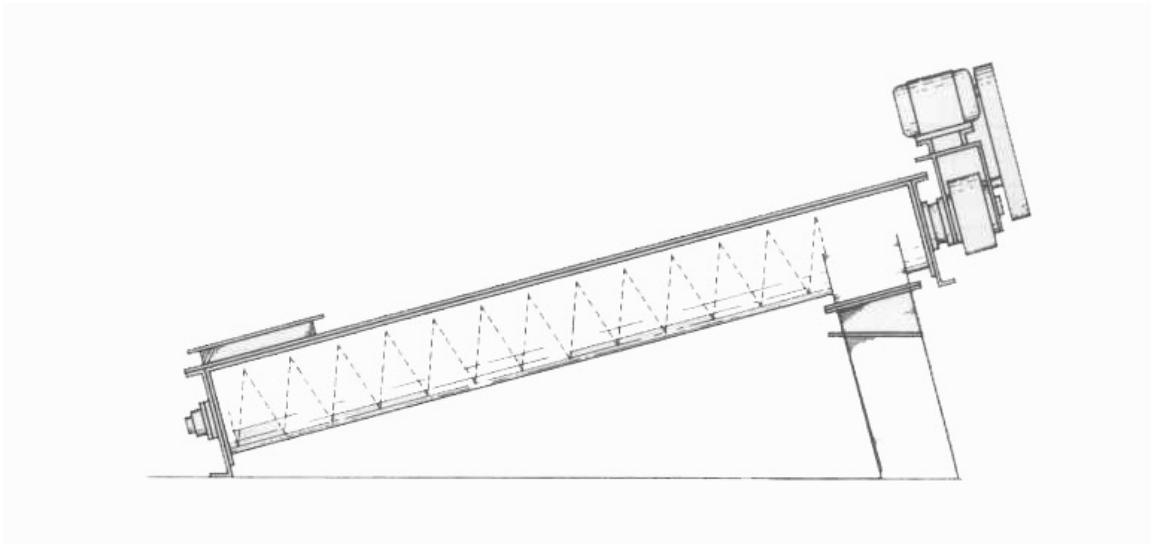


Fuente: Puzzi [1984]

Figura 8.1 Elevador de baldes (cangilones)

En una gran cantidad de industrias como las químicas, plásticos, minería, procesamiento de comidas, agrícolas; entre otras, se usan sólidos granulares (granos).

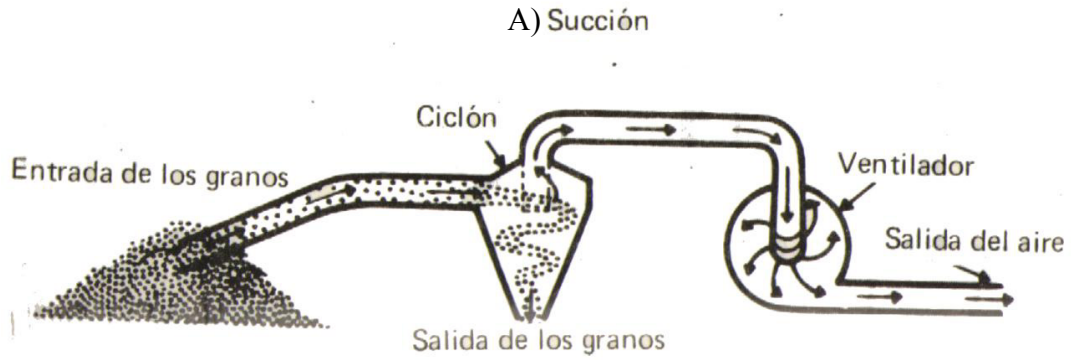
El silo puede presentar una gran variedad de formas con características diferentes que se discutirán más adelante. Para nuestro estudio se utilizarán silos de metal de forma cilíndrica con carga y descarga concéntricas; Rotter[2001]. Esta forma estructural, generalmente domina la construcción de silos debido a su uso eficaz de material y facilidad de construcción. En la figura 8.4 se muestra la terminología que se usará para denotar las diferentes partes del silo.



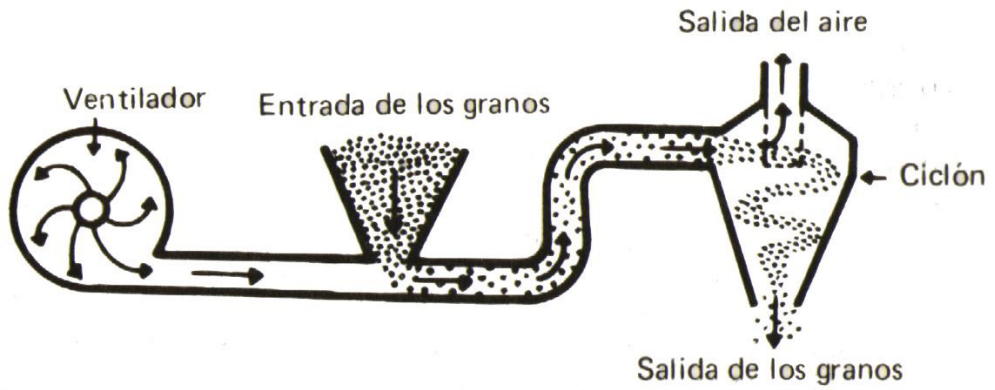
Fuente: Martin [1995]

Figura 8.2 Transporte helicoidal

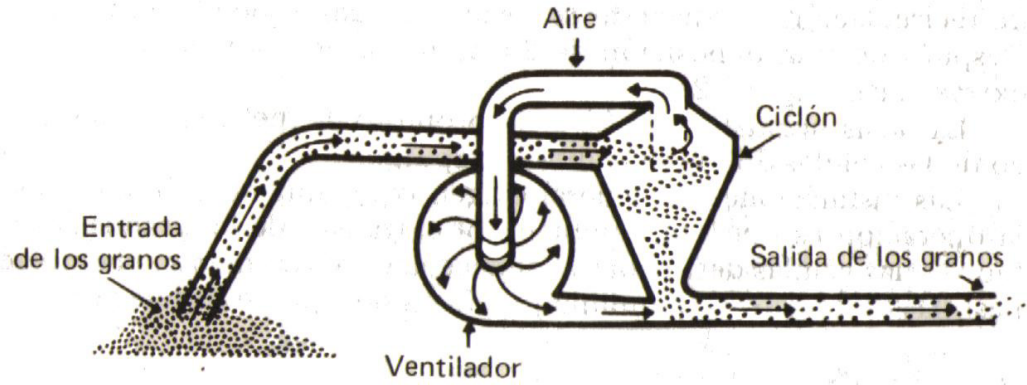
Los silos son clasificados según tamaño, geometría del fondo, complejidad de la carga y proporción de aspecto; según las clasificaciones propuestas por el Eurocode 1 parte 4 y la norma Australiana [Rotter, 2001]



B) Presión



C) Succión y presión

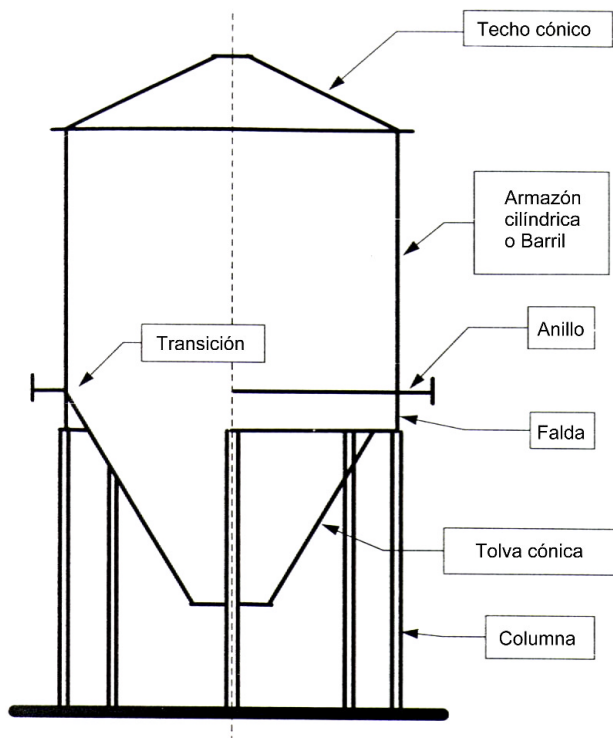


Fuente: Puzzi [1984]

Figura 8.3 Transportes neumáticos

Los flujos del sólido almacenado pueden ser de varias formas, según Rotter [2001]. En la actualidad no hay un acuerdo general de la clasificación para los diferentes modelos de flujo; por esta razón, él propone los siguientes modelos de flujo:

- Flujo másico: Se refiere a cuando todo el sólido se pone en movimiento al abrir la salida.
- Flujo extendido: Este tipo de flujo ocurre cuando la salida del silo es ampliada, y se da un flujo másico. La figura 8.5d muestra esta situación.
- Flujo embudo: Se usa este término para los flujos en que existen zonas de flujo secundario, ya sea en descargas concéntricas o excéntricas. En la figura 8.5 se muestra el flujo mixto, que se caracteriza por tener una parte donde se da flujo másico y otra zona donde no se da, a diferencia del flujo de tubo (figura 8.5c), donde prácticamente en todo el silo existe una zona de flujo primario y otra de flujo secundario.

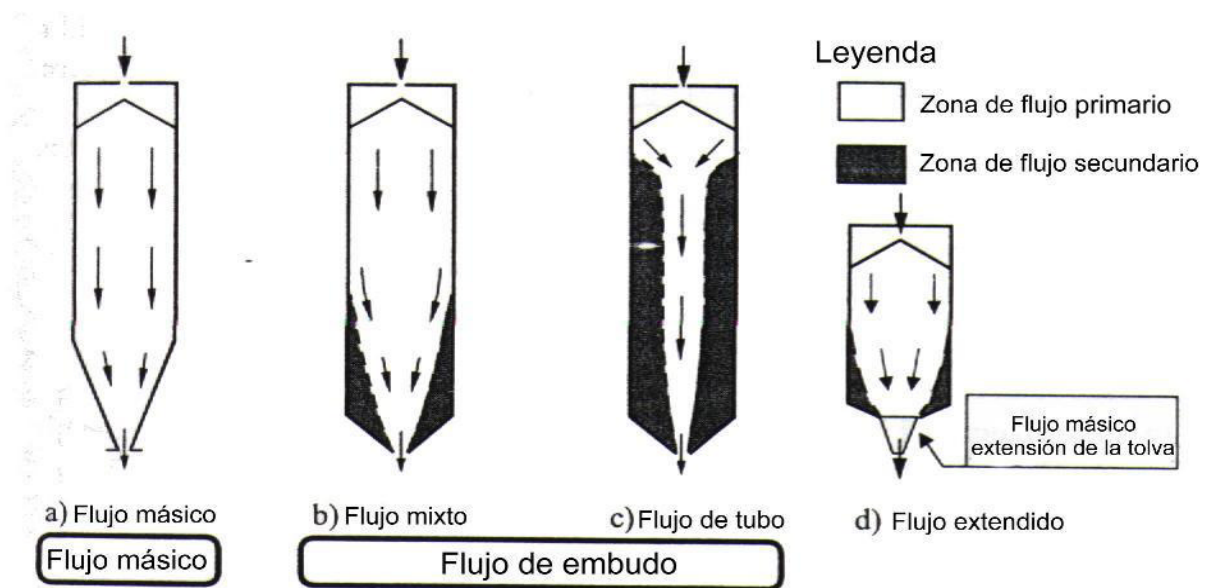


Fuente: Rotter [2001]

Figura 8.4 Terminología del silo

En la figura 8.5 se observa una zona de flujo primaria, la cual fluye primero y la zona secundaria que fluye hasta que la zona primaria se acaba.

Una de las desventajas que se dan al existir dos zonas de flujo es que no siempre se aplicaría el principio de “primero en entrar, primero en salir”; debido a que si en el momento de la carga queda material de la carga anterior, posiblemente esté en la zona secundaria, por lo que al descargar saldría primero lo que se cargó de último; pues se colocó en una zona primaria. En la tabla 8.1 se enumeran las principales características de los flujos de masa y de embudo.



Fuente: Rotter [2001]

Figura 8.5 Modelos de flujo

B. Problemas en los silos que deben ser tomados en cuenta en el diseño

Rotter[2001] enumera cuatro problemas en el diseño y funcionamiento del silo:

1. La integridad del silo puede ser expuesta a presiones demasiado altas, bajas o asimétricas
2. Los sólidos guardados pueden quedarse en el silo, es decir no fluir
3. El llenado o el modelo de flujo puede causar segregación de los sólidos
4. La descarga puede llevar a ruidos o movimientos inaceptables (vibración, estremecimiento y sonidos fuertes)

Tabla 8.1 Características principales de flujo de masa y flujo de embudo

Flujo de Masa	Flujo de Embudo
1. Las partículas se segregan, pero se reúnen en la descarga	1. Las partículas se segregan y permanecen segregadas
2. Los polvos se desairean y no fluyen cuando se descarga el sistema	2. La primera porción que entra es la última en salir
3. El flujo es uniforme	3. Pueden permanecer productos en puntos muertos, hasta que se realiza la limpieza completa del sistema
4. La densidad del flujo es constante	4. Los productos tienden a formar puentes o arcos y, luego, a que se formen agujeros de rata durante la descarga
5. Los indicadores de nivel funcionan adecuadamente	5. El flujo es errático
6. No quedan productos en zonas muertas, donde pudieran degradarse	6. La densidad puede variar
7. Se puede diseñar la tolva para tener un almacenamiento no segregado o para funcionar como mezcladora	7. Los indicadores de nivel se deben situar en puntos clave, para que puedan funcionar adecuadamente
	8. Los silos funcionan bien con sólidos de partículas grandes y flujo libre

Fuente: Perry [1993]

Los cuatro problemas se relacionan con geometría del silo, las propiedades del sólido, la manera de llenar el silo, los modelos de flujo y cualquier otro factor que afecte la tensión o dilatación del sólido. Sin embargo, los cuatro fenómenos tienen diferentes características.

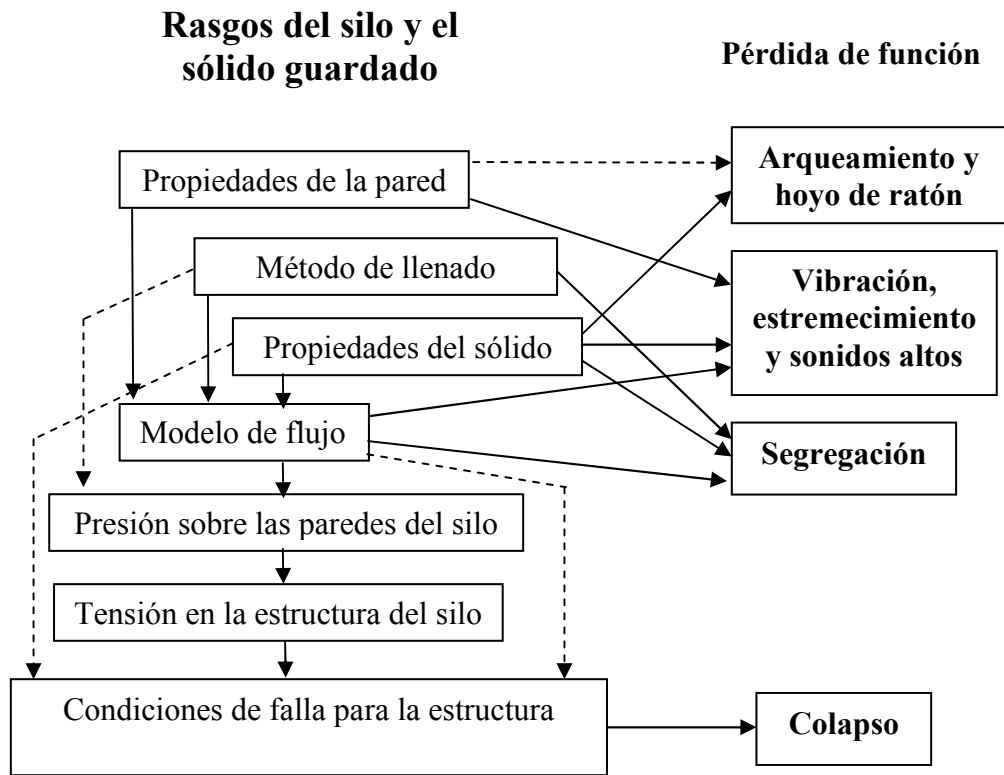
En la figura 8.6 se observa cómo las propiedades de la pared, el método de llenado y las propiedades del sólido dan como resultado el modelo de flujo; estos rasgos pueden causar, - solos o en combinación-, diferentes problemas en el silo como: el arqueamiento, el hoyo de ratón, vibración, estremecimiento, sonidos fuertes y/o segregación. El método de llenado y, en consecuencia, el modelo de flujo determinan las presiones sobre las paredes del silo. La presión sobre las paredes causa tensión en la estructura del silo y, finalmente la tensión en la estructura. Las propiedades del sólido y el método de llenado pueden producir condiciones de falla para la estructura que ocasionaría el colapso del silo.

Cada uno de estos problemas se describen brevemente, a continuación:

A menudo se asume, que la integridad de la estructura en silos redondos soporta grandes presiones; sin embargo, las presiones altas no están, necesariamente, en ellos, por otro lado si se presentan presiones asimétricas, lo que ocasiona un peligro. Es lógico que las presiones asimétricas causan estragos en los silos.

Los sólidos pueden quedarse en el silo debido a alguno de los siguientes eventos: arqueamiento, agujero de rata o salida incompleta. Como se puede observar en la figura 8.7, el arqueamiento y el agujero de rata son causados por la cohesión².

² Cohesión: Atracción entre moléculas que mantiene unidas las partículas de una sustancia. Es la fuerza de atracción entre partículas adyacentes dentro de un mismo cuerpo. En los sólidos, la cohesión depende de cómo estén distribuidos los átomos, las moléculas y los iones. [Enciclopedia Encarta 98]



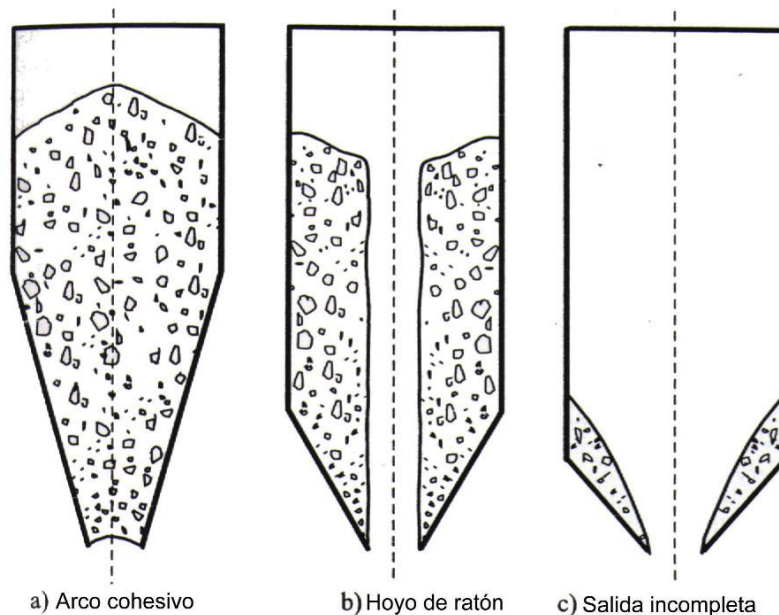
Fuente: Rotter [2001]

Figura 8.6 Problemas importantes en los silos

Generalmente, los silos con flujo de embudo llevan a la segregación³ del sólido, por lo que esta clase de flujo sólo debe usarse donde no sea un problema.

La vibración y el estremecimiento no son tan claros como los otros fenómenos y es probable que sean causados por diversas razones. El ruido fuerte es, a menudo, imprevisto y causado por un brote inesperado del silo durante la descarga.

³ Segregación: La partición de tamaños o tipos de partículas diferentes en situaciones espaciales diferentes. La segregación puede ocurrir con respecto del tamaño de la partícula, densidad de la partícula, químico o propiedades de la superficie. [Rotter, 2001]



Fuente: Rotter [2001]

Figura 8.7 Obstrucciones de flujo

C. Clasificación de fiabilidad estructural de los silos en el Eurocode 3 parte 4.1

La tabla 8.2 muestra la clasificación que presenta el Eurocode para silos de acero.

Tabla 8.2 Clasificación de situaciones de diseño

Clase de fiabilidad	Descripción
Clase 3	Silos apoyados en tierra o silos soportados en una falda extendida en la tierra con capacidad en exceso de 5000 toneladas. Silos con soportes discretos con capacidad en exceso de 1000 toneladas. Silos con capacidad en exceso de 200 toneladas con cualquier situación de diseño siguiente: <ol style="list-style-type: none"> 1. Descarga excéntrica. 2. Carga de parche 3. Llenado excéntrico
Clase 2	Todos los silos cubiertos por el Eurocode 3 parte 4.1 y no puestos en otra parte.
Clase 1	Silos con capacidad entre 10 y 100 toneladas.

Fuente: Rotter [2001]

D. Experiencia de diseño por parte del diseñador.

La experiencia del diseñador se puede calificar según Rotter[2001], de la siguiente manera:

1. Fiabilidad clase 1.

Un ingeniero de patentes con experiencia normal de diseño estructural para silos menores a 100 toneladas y a los que se use sólo descarga concéntrica.

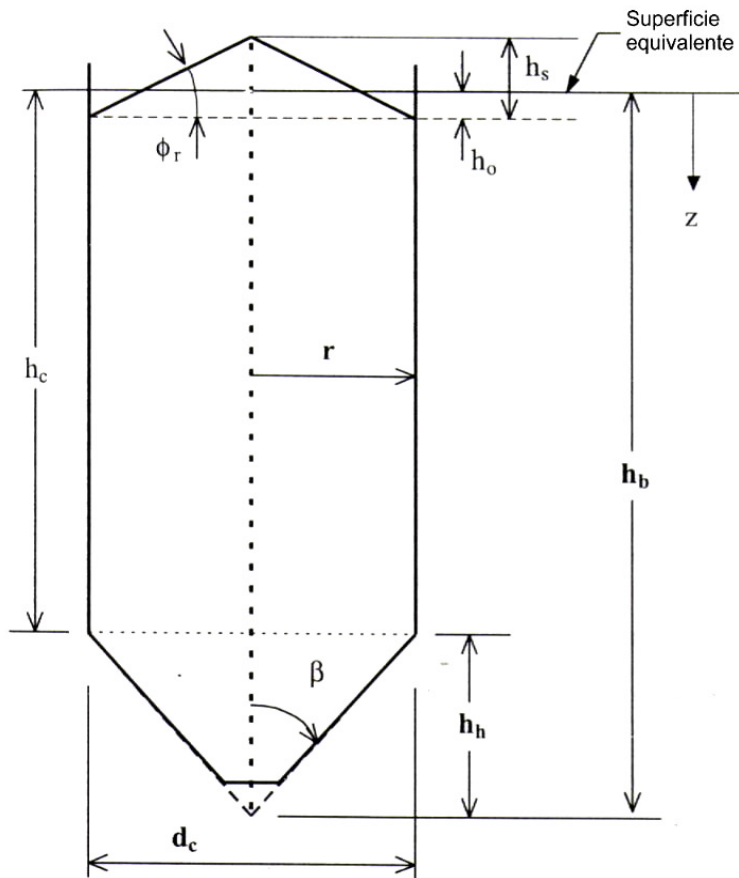
2. Fiabilidad clase 2.

Un ingeniero de patentes con experiencia especial en silos más grandes con descarga concéntrica o excéntrica.

3. Fiabilidad clase 3.

Un ingeniero de patentes con experiencia especial en silos muy grandes, y que presente atención cuidadosa a los requisitos del Eurocode 3 parte 4.1.

La geometría básica -usada para el diseño del silo propuesto en este documento- se muestran en la figura 8.8. (el detalle de la nomenclatura usada en esta figura se encuentra en la página vi)



Fuente: Rotter [2001]

Figura 8.8 Geometría básica del silo

E. Datos requeridos para el diseño

1. Peso por unidad de volumen γ y su variación

El peso por unidad de volumen γ es la densidad multiplicada por la aceleración debida a la gravedad ($\gamma = \rho g$). El peso por unidad de volumen tiene gran importancia en el diseño, por lo que se debe escoger con cuidado.

Para el diseño se usan valores máximos y mínimos del peso por unidad de volumen denotados como γ_u y γ_l .

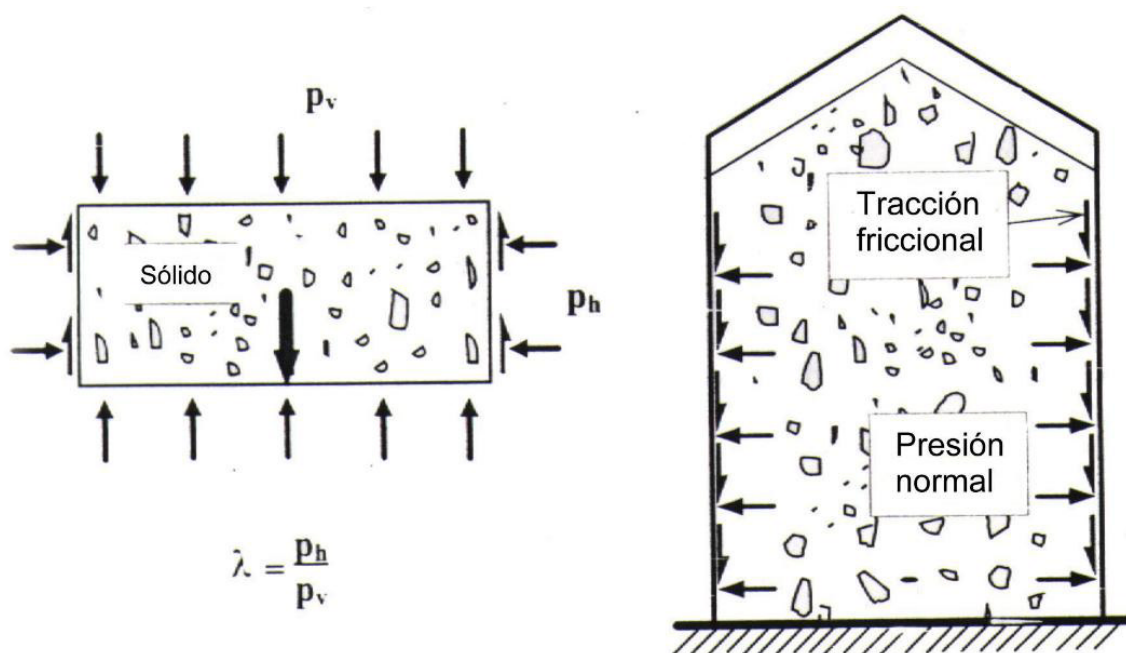
2. Coeficiente de fricción con la pared μ

El coeficiente de fricción con la pared es medido entre el sólido y la pared del silo. Este coeficiente se relaciona con el ángulo de fricción ϕ_w con la pared de la siguiente manera:

$$\mu = \tan \phi_w$$

3. Radio lateral de presión λ , K o k

El radio de presión lateral λ (o K o k), en la sección de pared vertical del silo, es definido como el radio de la fuerza horizontal en el sólido cerca de la pared y la fuerza media vertical (figura 8.9)



Fuente: Rotter [2001]

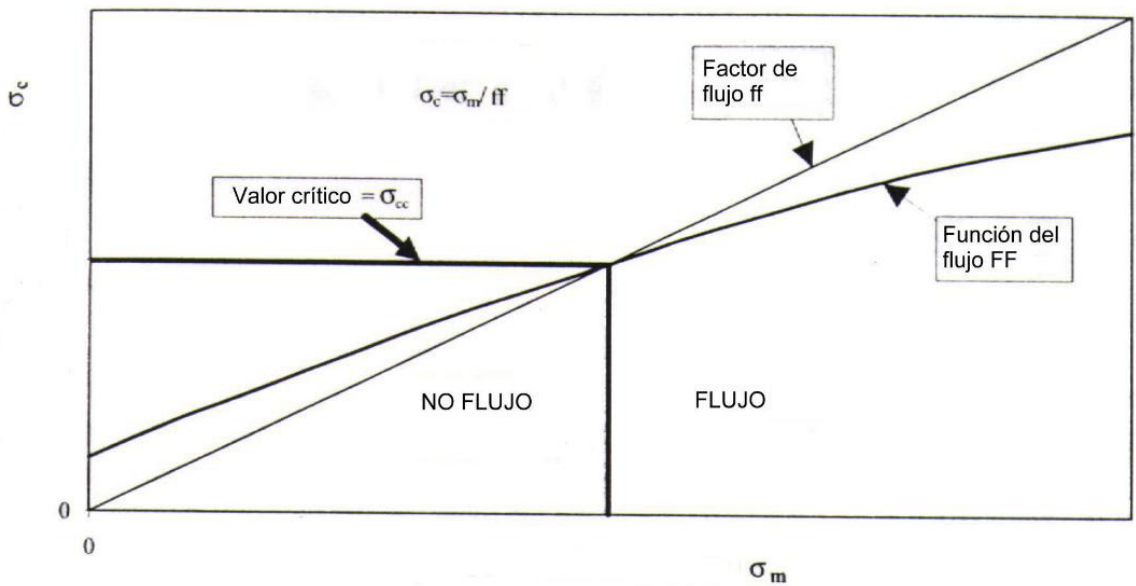
Figura 8.9 Radio de presión lateral

4. Ángulo eficaz de fricción interior ϕ_i

El ángulo efectivo de fricción interna controla las fallas del sólido para que fluya libremente en el silo. Es usado en cálculos como: obstrucciones de flujo, geometrías de cauca del flujo y presiones en el silo.

5. Cohesión: función de flujo

La función de flujo es una curva localizada a través de los puntos resultantes de los valores de f (resistencia del arco) y p (Presión), obtenidos por el probador de corte (método desarrollado por Jenike). Esta curva se traza en función de un factor ff para la tolva que se diseña. En la figura 8.10 se observa esta relación.



Fuente: Rotter [2001]

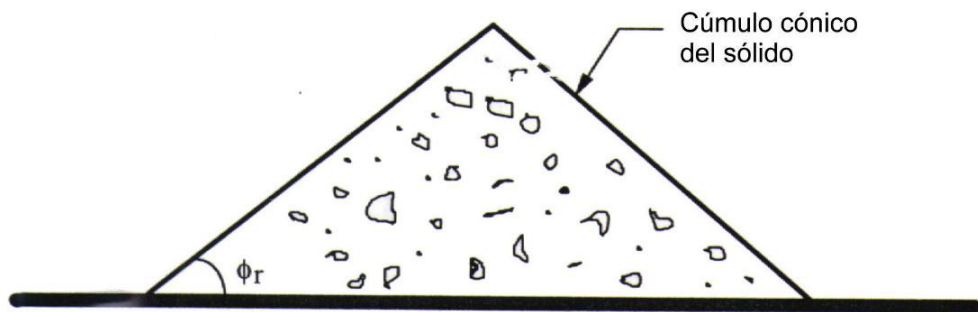
Figura 8.10 Función de flujo

6. Ángulo de reposo ϕ_r

El ángulo de reposo se define como el ángulo máximo horizontal, cuando la masa está en reposo y se ha vertido sobre la superficie (figura 8.11)

En el anexo A se muestra una tabla con valores característicos presentada por Rotter [2001]

En el anexo B se muestra la Hoja de datos específicos para el diseño del silo.



Fuente: Rotter [2001]

Figura 8.11 Ángulo de reposo

CAPÍTULO IX

DESARROLLO DEL PROYECTO DE DISEÑO: DISEÑO DE UN SILO.

A. Recolección de datos

Como primer paso se realizó la recolección de datos:

- Para la estructura se definieron los siguientes datos:

Información general

Empresa: Central Veterinaria

Sitio de la construcción: Cartago

Expectativas de vida: 15 años

Volumen a guardar: 75 m³

Medidas previas para el silo

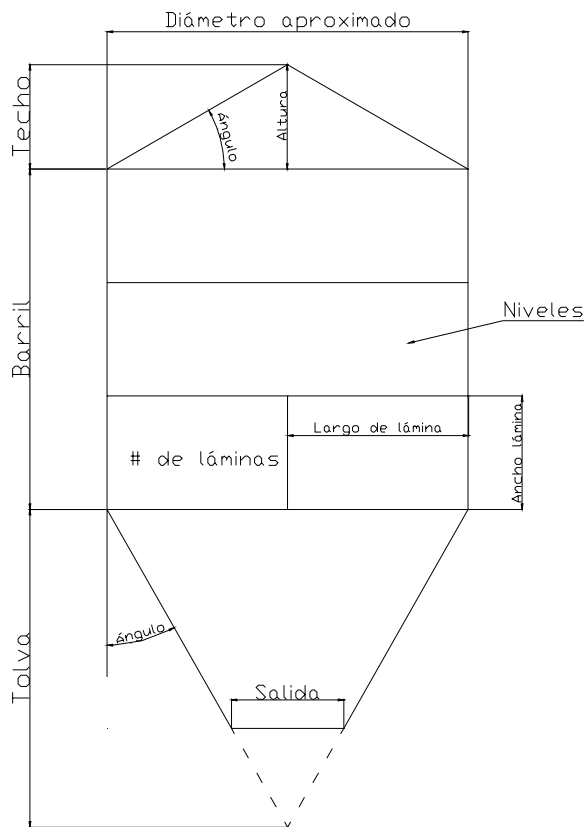
En la tabla 9.1 se muestran los valores para las medidas previas y la figura 9.1 muestra la geometría básica, que se utilizó para calcular las medidas previas del silo.

Tabla 9.1 Valores previos del silo

Barril	Tolva	Techo
Tamaño de las láminas de hierro negro: 4 x 8 pies	Ángulo: 30 grados	Ángulo: 30 grados
Número de laminas a utilizar por nivel: 6	Diámetro de salida: 1,2 m	Altura de la superficie equivalente (ho): 0,448 m
Número de niveles: 3	Altura hasta la salida: 3m	Altura: 1,8 m
Diámetro: 4,662 m	Altura de la tolva: 4 m	
Altura: 3,66 m	Volumen: 22,6 m ³	
Volumen: 62,46 m ³		

Volumen total aproximado: 85 m³

Fuente: Analista



Fuente: Analista

Figura 9.1 Geometría previa del silo

- Para las Propiedades Físicas (Tomadas de Tabla 4.1 de Rotter [2001], Ver anexo A), se tiene la siguiente tabla:

Tabla 9.2 Propiedades físicas del sólido por almacenar

Variación durante la vida del silo	Mínimo	Promedio	Máximo
Unidad de peso (γ) (kN/m ³)	7	7,75	8,5
Angulo de reposo (ϕ_r)		30	
Angulo de fricción interna (ϕ_i)	28	30,5	33
Angulo de fricción en la pared (barril)	20	25	30
Angulo de fricción en la pared (tolva)	20	25	30
Coefficiente de fricción (μ)	0,364	0,466	0,577
Radio de presión lateral (λ)	0,45	0,52	0,58
Radio de Poisson ν	0,31	0,342	0,367
Multiplicador de presión del flujo (C_0)			1,4

Fuente: Rotter [2001]

B. Cálculos

1. Garantía de flujo

➤ Agujero de rata

Para asegurar que el agujero de rata no se dé, se debe utilizar un diámetro de la salida adecuado; para determinarlo se utiliza la siguiente ecuación:

$$B_r = 0.71 \frac{\sigma_c}{\gamma_l} e^{(\phi_i / 25)} \text{ (m)}$$

Para determinar σ_c se debe tener la gráfica de función de flujo FF-Grafica de la figura 8.10-; sin embargo, para obtener esta gráfica es necesario realizar un ensayo de laboratorio mediante un probador de corte, como se explicó en el capítulo anterior. Por razones de tiempo y costo no se pudo realizar la prueba; ya que en Costa Rica no se encontró ningún laboratorio que lo pudiera realizar.

➤ Arqueamiento

En cuanto al arqueamiento, se puede hablar de dos tipos; a saber:

- Arqueamiento mecánico

Este se puede prevenir si el diámetro de salida excede 8 veces al diámetro máximo de la partícula por almacenar; sin embargo se puede aumentar a 10 veces, en el caso de partículas ásperas como la roca o el carbón y se puede reducir a 6 veces, en partículas redondeadas lisas, como granos agrícolas.

En nuestro caso debido a que utilizamos granos agrícolas y la salida prevista es de 1,2 m, se excede en más de 100 veces el diámetro de la partícula; por lo tanto se asegura que el arco mecánico no se va a dar.

- Arqueamiento cohesivo

Para prevenir el arqueamiento cohesivo se debe asegurar que el diámetro mínimo se defina de la siguiente manera:

$$B_a = \frac{G_1 \sigma_{cc}}{\gamma_l} \text{ (m)}$$

Sin embargo, al igual que sucedió con el agujero de rata, es necesario determinar la gráfica FF, para determinar σ_{cc} , por esta razón no se puede resolver la ecuación que garantice que no exista arco cohesivo.

A pesar de que no se tiene la gráfica de función de flujo, no es preocupante la formación de agujero de rata o de arco cohesivo; debido a que la salida es bastante amplia y se pretende poner un mecanismo en esta que ayude al flujo. Cabe recalcar que el diámetro de la salida se determinó en relación con este mecanismo.

➤ Zonas muertas

Se consideran zonas muertas aquellas en las que la salida es incompleta, como se observa en la figura 8.7, y se habla de silos autolimpiadores cuando esta porción de material puede salir por el efecto de la gravedad.

Para que este fenómeno de silos autolimpiadores se dé, es necesario que el ángulo entre la pared de la tolva y la coordenada horizontal exceda el ángulo de fricción con la pared de la tolva en un valor conveniente, -por sugerencia de Rotter (2001), debe exceder la siguiente relación en 10°-.

$$B < 80^\circ - \phi_{wu}$$

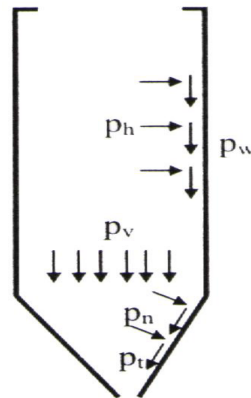
Al principio de este capítulo se definieron estas variables y según esta relación se obtiene el siguiente resultado:

$$30^\circ < 50^\circ$$

Por este resultado se comprueba que sí se cuenta con un silo autolimpiador.

2. Presiones en las paredes durante la carga

Se deben determinar las presiones en las paredes del barril y en las paredes de la tolva, las cuales varían según la profundidad (ver figura 9.2 y 9.3)



Fuente: Rotter [2001]

Figura 9.2 Presiones en el Silo

Para determinar las presiones en el barril se tienen las siguientes ecuaciones:

$$p_{hf} = p_{ho} (1 - e^{-z/z_0})$$

$$p_{wff} = \mu p_{hf} = \mu p_{ho} (1 - e^{-z/z_0})$$

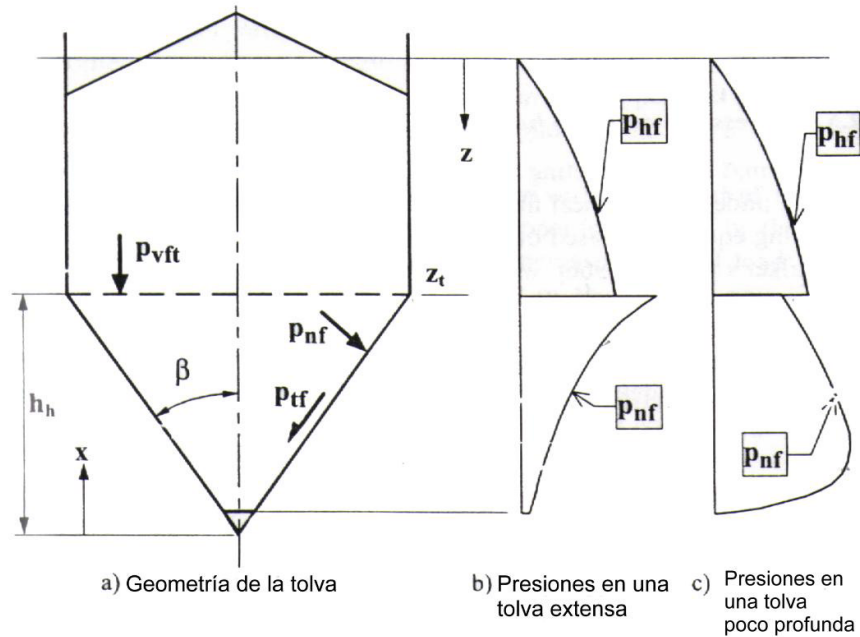
$$p_{vft} = p_{vo} (1 - e^{-z_t/z_0})$$

donde:

p_{hf} es la presión horizontal durante o después del llenado

p_{wff} es la tracción debido a la fricción durante o después del llenado

p_{vft} es el esfuerzo medio vertical en el sólido en la transición

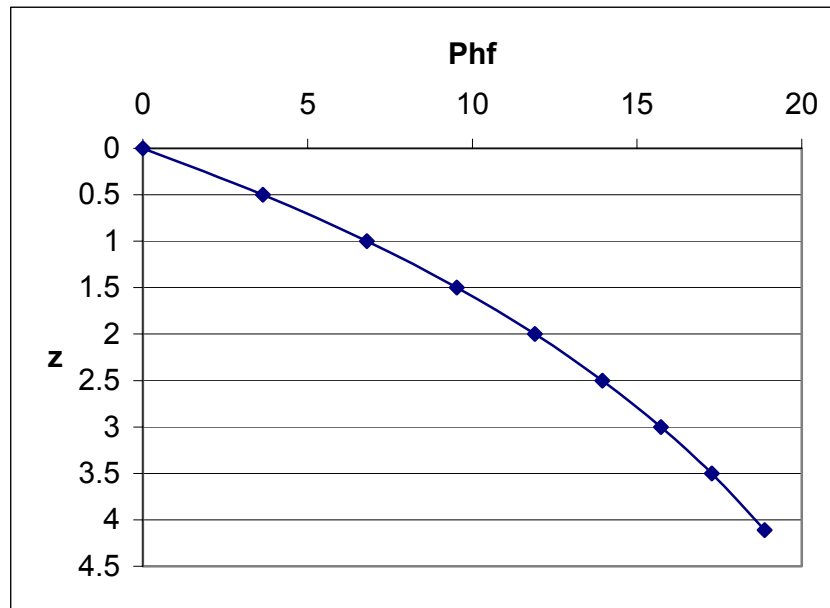


Fuente: Rotter [2001]

Figura 9.3 Variación de la presión en las paredes

Del cálculo de las presiones en el barril durante la carga se obtuvo la siguiente gráfica de presiones (ver Apéndice A. “Muestra de cálculos”):

Gráfica 9.1 Presiones horizontales en el barril durante el llenado



Fuente: Analista

Para el cálculo de las presiones en la tolva se utilizan las siguientes ecuaciones:

$$p_{nf} = F_f p_{vf}$$

$$p_{tf} = \mu_h p_{nf}$$

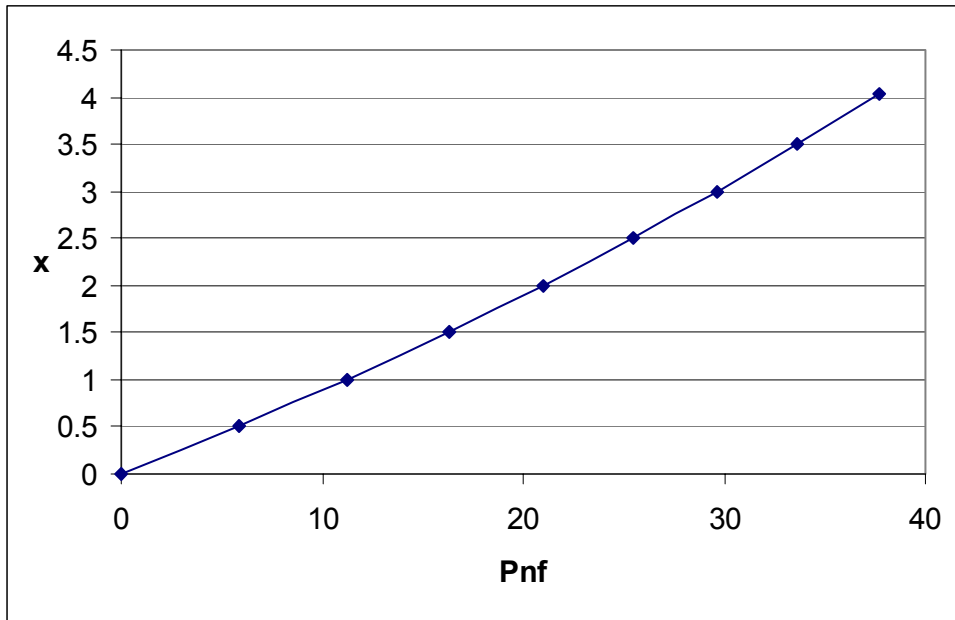
donde:

p_{nf} es la presión normal en las paredes de la tolva durante o después de llenar

p_{tf} es la tracción debido a la fricción en la tolva durante o después del llenado

Del cálculo de las presiones en la tolva durante la carga se obtuvo la siguiente gráfica de presiones (ver Apéndice A. “Muestra de cálculos”):

Gráfica 9.2 Presiones horizontales en la Tolva durante el llenado



Fuente: Analista

3. Presiones en las paredes durante la descarga

En la descarga, igualmente, se calculan las presiones en el barril y en la tolva.

Para calcular las presiones en el barril, durante la descarga se utilizan las siguientes ecuaciones:

$$p_{he} = C_h p_{hf}$$
$$p_{we} = C_w p_{wf}$$

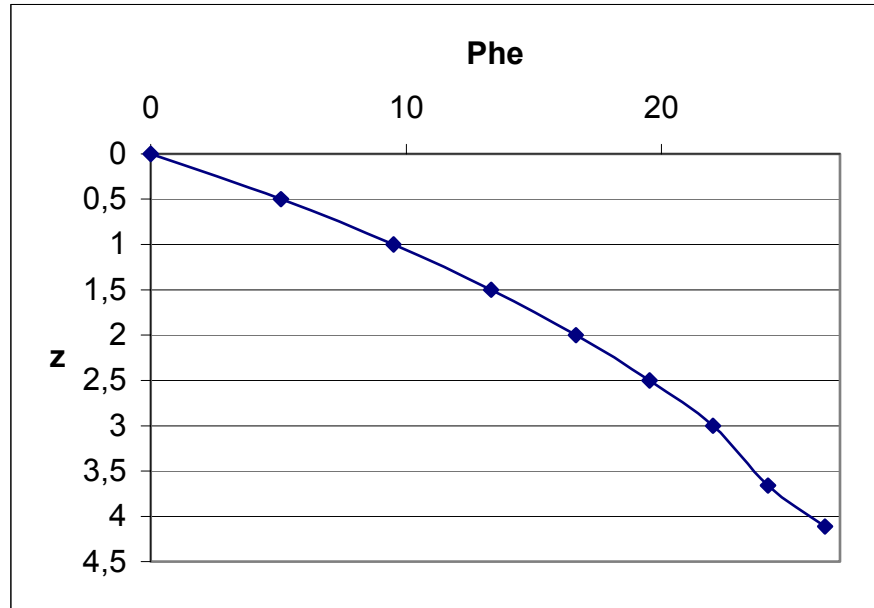
donde

p_{he} es la presión normal en las paredes del barril durante la descarga

p_{we} es la tracción, debido a la fricción, en el barril durante la descarga

Del cálculo de las presiones en el barril se obtuvo la siguiente gráfica:

Gráfica 9.3 Presiones en el barril durante la descarga



Fuente: Analista

Para el cálculo de las presiones en la tolva durante la descarga se utilizaron las siguientes ecuaciones:

$$p_{ne} = F_e p_{ve}$$

$$p_{te} = \mu_h p_{ne}$$

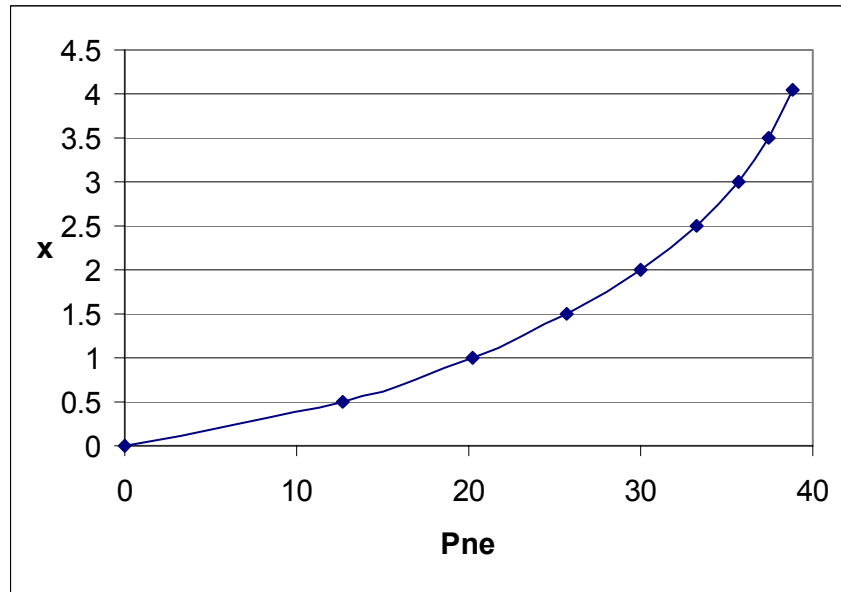
donde

p_{ne} es la presión normal en las paredes de la tolva durante la descarga

p_{te} es la tracción, debido a la fricción en la tolva, durante la descarga

De estas ecuaciones se obtuvieron los siguientes resultados:

Gráfica 9.4 Presiones en la tolva durante la descarga.



Fuente: Analista

4. Análisis estructural

Para iniciar el análisis estructural, se deben calcular las tensiones resultantes en las paredes del silo, cabe mencionar que se realizara un análisis de membrana -también conocido como teoría de membrana de cáscara-. Es importante destacar que existen distintos tipos de análisis: Teoría de torsión de cáscaras, Análisis de elementos finitos lineales y Análisis de elementos finitos no lineales.

A continuación se muestran las tensiones resultantes y el espesor mínimo necesario para las paredes del silo.

La tensión de membrana se relaciona con la tensión resultante de membrana -fuerza por unidad de anchura de la pared-, y el espesor de la pared, como se muestra en la siguiente ecuación:

$$\sigma_m = \frac{n}{t}$$

Para calcular las tensiones resultantes se utilizó el valor mayor de la presión en la pared; pues como se observa en los gráficos de presiones, la presión varía con respecto de la profundidad, tanto en el barril como en la tolva.

➤ Tensiones en el barril.

Para el cálculo de la tensión resultante en la coordenada circunferencial $n_{\theta,Sd}$, se utilizó la siguiente ecuación:

$$n_{\theta,Sd} = -\gamma_F C_h p_{ho} r \left(1 - e^{-z/z_o}\right)$$

Para calcular la tensión resultante en la coordenada vertical $n_{x,Sd}$, se utilizó la siguiente ecuación:

$$n_{x,Sd} = -\gamma_F C_w \mu p_{ho} z_o \left[\frac{z}{z_o} - 1 + e^{-z/z_o} \right]$$

Para determinar el valor de diseño resultante de tensión eficaz $n_{e,Sd}$, se usó el criterio de von Mises como:

$$n_{e,Sd} = \sqrt{n_{xSd}^2 - n_{xSd} n_{\theta Sd} + n_{\theta Sd}^2}$$

Los valores de los cálculos se muestra a continuación:

$$n_{\theta,Sd} = 92,37 \text{ kN/m}$$

$$n_{x,Sd} = -44,01 \text{ kN/m}$$

$$n_{e,Sd} = 120,60 \text{ kN/m}$$

➤ Tensiones en la tolva.

Para el cálculo de la tensión resultante en la coordenada circunferencial $n_{\theta Sd}$, se utilizó la siguiente ecuación:

$$n_{\theta Sd} = \gamma_F \left[\frac{\gamma_h}{n-1} \left(\frac{x}{h_h} \right)^2 + \left(p_{vt} - \frac{\gamma_h}{n-1} \right) \left(\frac{x}{h_h} \right)^{n+1} \right] F h_h \sec \beta \tan \beta$$

Para calcular la tensión resultante en la coordenada meridional $n_{\phi Sd}$, se utilizó la siguiente ecuación:

$$n_{\phi Sd} = \gamma_F \left[\frac{\mathcal{M}_h}{3(n-1)} \left(\frac{x}{h_h} \right)^2 + \frac{1}{n+2} \left(P_{vft} - \frac{\mathcal{M}_h}{n-1} \right) \left(\frac{x}{h_h} \right)^{n+1} \right] F h_h \sec \beta (\tan \beta + \mu_h)$$

Para determinar el valor de diseño resultante de tensión eficaz n_{eSd} , se usó el criterio de von Mises:

$$n_{eSd} = \sqrt{n_{\phi Sd}^2 - n_{\phi Sd} n_{\theta Sd} + n_{\theta Sd}^2}$$

Los valores de los cálculos se muestran a continuación:

$$n_{\theta Sd} = 156,61 \text{ kN/m}$$

$$n_{\phi Sd} = 110,76 \text{ kN/m}$$

$$n_{eSd} = 139,46 \text{ kN/m}$$

Para calcular los espesores de las paredes, tanto en el barril como en la tolva, se utilizó el esfuerzo último del acero 1020; tomado de la tabla de propiedades de aceros de Mott [1996], la cual se encuentra en el anexo E.

$$f_u = 393 \text{ Mpa}$$

Se utilizó, también, un factor de seguridad (F.S.) de 4, siguiendo los criterios de Mott [1996], y considerando un diseño conservador.

En el barril el espesor mínimo es determinado por la siguiente ecuación:

$$t = \frac{n}{f_u / F.S.}$$

$$t = \left(\frac{120,6 \times 10^3}{393 \times 10^6 / 4} \right) * 1000 = 1,227 \text{ mm}$$

Para la tolva, se utilizó la misma ecuación, y se obtuvo el siguiente resultado:

$$t = \left(\frac{139,5 \times 10^3}{393 \times 10^6 / 4} \right) * 1000 = 1,420 \text{ mm}$$

5. Valoración de fuerza en la estructura

➤ Paredes cilíndricas

Para valorar el estado plástico límite se utilizó la siguiente desigualdad:

$$\sqrt{n_{xSd}^2 - n_{xSd} * n_{\theta Sd} + n_{\theta Sd}^2} \leq t * f_y / \gamma_{M1a}$$

$$120553 \leq 330176$$

Para valorar la resistencia meridional se utilizó esta ecuación:

$$n_{xSd} \leq f_u * t / \gamma_{M1b}$$

$$44009 \leq 385770$$

Para valorar la resistencia circunferencial, la ecuación utilizada fue la siguiente:

$$n_{\theta Sd} \leq f_u * t / \gamma_{M1b}$$

$$92365 \leq 385770$$

La valoración de la compresión axial es más compleja y requiere de varios pasos, que se describen en el apéndice A; pero el resultado es:

$$n_{xSd} \leq t * \sigma_{xRk} / \gamma_{M3}$$

$$44009 \leq 4877$$

Como se puede observar, la desigualdad no se cumple; por lo tanto, el espesor calculado no es suficiente para la compresión axial. Por esta razón se debe ajustar el espesor de pared (t) a 2.9mm, para obtener

$$44009 \leq 46220$$

Con este ajuste sí se cumple con la compresión axial; a pesar de que se afecten las demás valoraciones; los efectos logrados son positivos.

➤ Tolva

Para la tolva es necesario satisfacer la condición:

$$n_{\phi sd} \leq 0,8 * t * f_u / \gamma_{M1b}$$

Se obtuvo:

$$110800 \leq 318667$$

➤ Unión de transición

Se debe cumplir con la siguiente desigualdad:

$$\frac{N_{Sd}}{A_{et}} \leq f_y / \gamma_{M1a}$$

De donde se obtuvo:

$$6188891 \leq 269090909$$

6. Cálculo de los soportes

Para calcular los soportes se utilizaron las tablas de perfiles de Mott [1996]. Se escogió un perfil cuadrado de 4x4x1/4. (Ver Anexo G).

Para realizar la comprobación se realizó un análisis de columnas y se obtuvo que la carga permisible por columna es:

$$P_a = 204 \text{ kN}$$

Debido a que se desea almacenar 85 m³ y la densidad del material es de aproximadamente 8,5 kN/m³, la carga total sería de:

$$P_{total} = 85 * 8,5 = 722,5 \text{ kN}$$

Esto significa que se necesitarían como mínimo 4 columnas para soportar esta carga.

C. Selección de materiales y dimensionado

El material seleccionado para la construcción del silo fue acero estructural -conocido como hierro negro-. También, cabe la posibilidad de utilizar acero inoxidable, el cual por tener mayor resistencia que el acero 1020, puede ser una buena opción; sin embargo, si se utilizara este último, sería necesario realizar nuevamente algunos cálculos para determinar el espesor de la lámina. Por otra parte, de utilizarlo, habría que tomar en cuenta el aspecto: costo-beneficio; pues este material tiene un valor cercano a tres veces más que el valor del acero 1020.

En cuanto al espesor de las láminas por utilizar, sería mayor a 2,9 mm en el caso del barril y mayor a 1,42 mm en el caso de la tolva; por lo que se puede utilizar láminas de 1/8 de pulgada, que se encuentran fácilmente en el mercado, tanto para el barril como para la tolva.

D. Presentación de resultados

A continuación se presentarán las dimensiones finales para el silo, propuesto en este trabajo:

-Techo

Espesor: 1/8 de pulgada

Diámetro inferior: 4,662 m

Diámetro superior: 0,4 m

Ángulo respecto de la horizontal: 30°

Detalle del desarrollo en figura 9,4

-Barril

Espesor: 1/8 de pulgada

Diámetro: 4,662 m

Altura: 3,66 m

Detalle del desarrollo en figura 9,5

-Tolva

Espesor: 1/8 de pulgada

Diámetro superior: 4,662 m

Diámetro inferior: 1,2 m

Ángulo respecto de la vertical: 30°

Detalle de desarrollo en figura 9,6

-Anillo

Espesor: 1//8 de pulgada

Largo: 0,30 m

-Falda

Espesor: 1/8 de pulgada

Altura: 0,40 m

-Soportes

Perfil: cuadrado de 4 x 4 x ¼.

Cantidad mínima: 4 columnas.

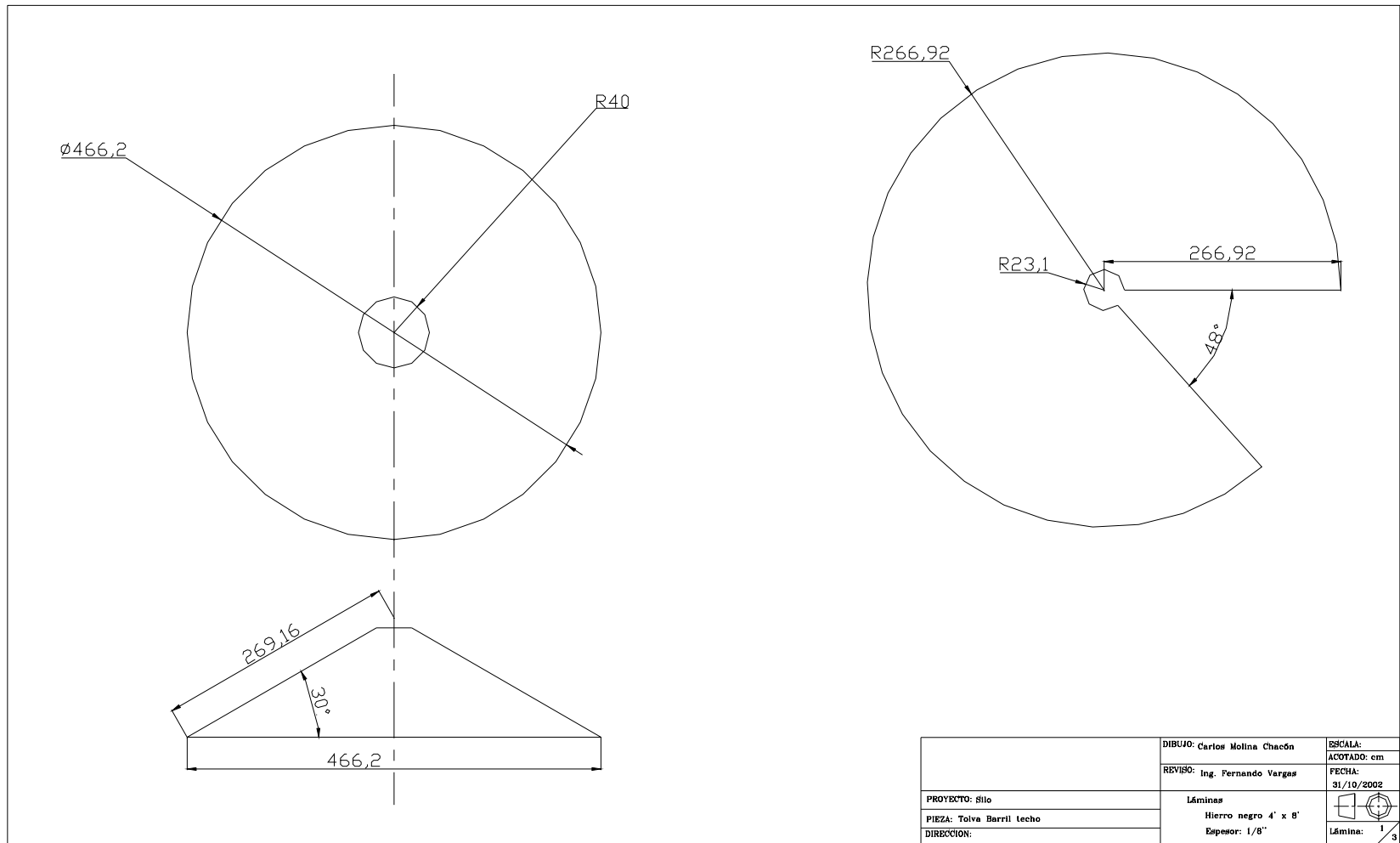


Figura 9.4. Desarrollo del techo

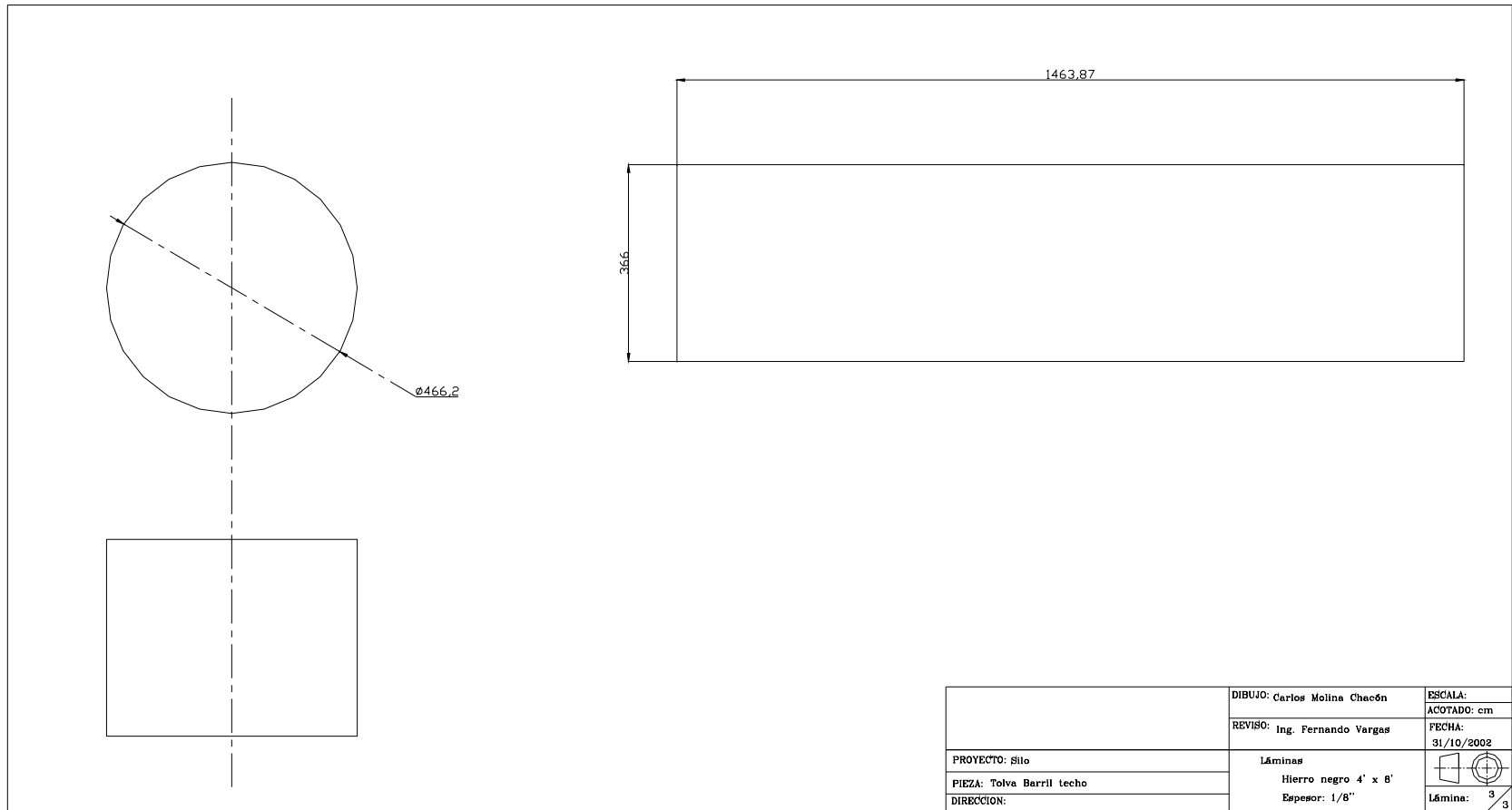


Figura 9.5. Desarrollo del barril

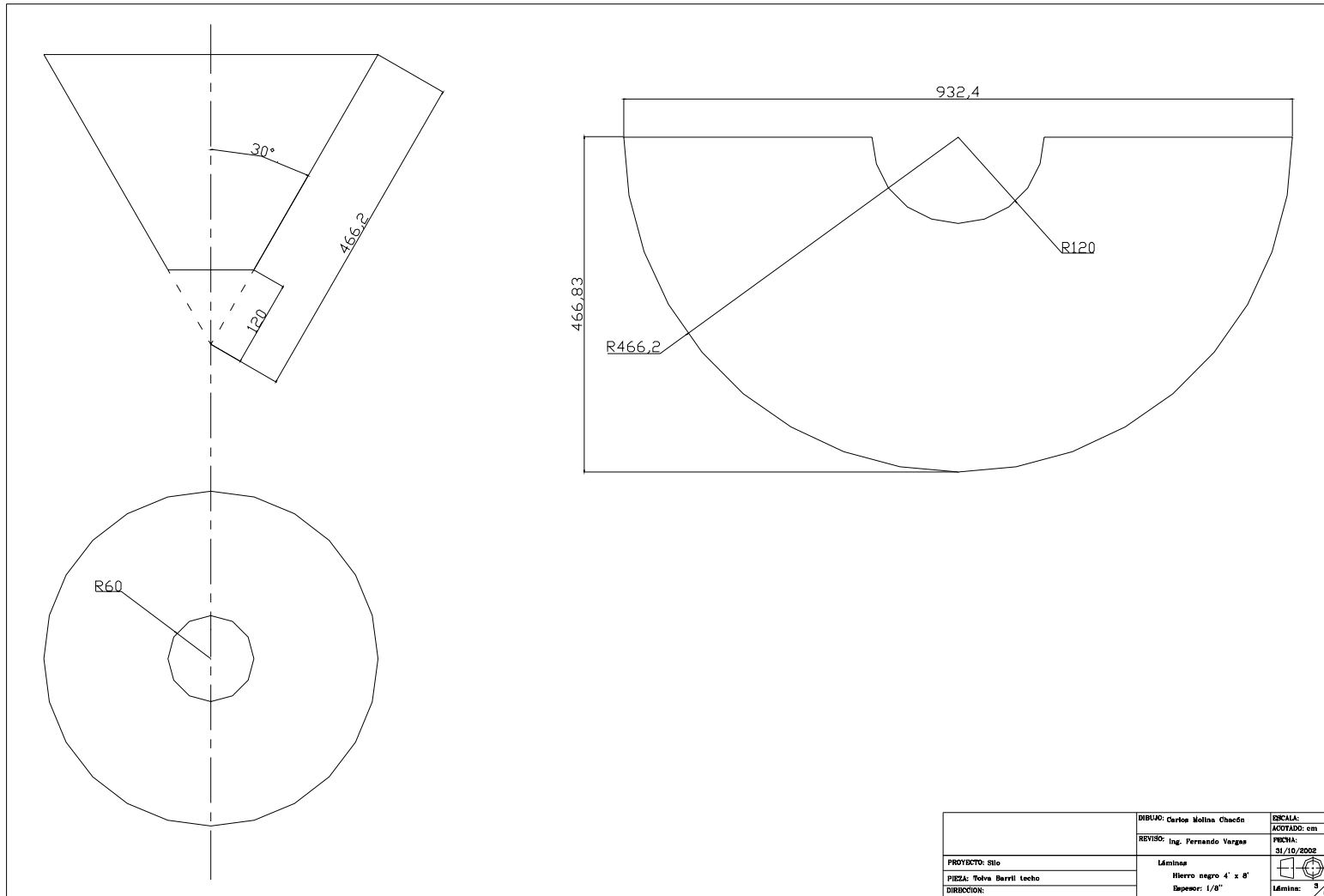


Figura 9.6. Desarrollo de la Tolve

CAPÍTULO X

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A. Conclusiones

- Se deben seleccionar correctamente las características del sólido por almacenar, las cuales van a ser usadas para los cálculos.
- En el diseño de un silo, se debe prestar especial atención al cálculo de las presiones en las paredes.
- El espesor mínimo es de 2,9 mm para el barril y de 1,4 mm para la tolva, la falda y el anillo.
- Para calcular los espesores de las paredes se utilizó un factor de seguridad de 4.
- Se necesitan como mínimo 4 columnas de perfil cuadrado de 4 x 4 x 1/4, para soportar la carga.
- Realizar un análisis de elementos finitos puede ayudar a comprobar los cálculos realizados.
- En diseños, donde se requiere, se deben considerar otras cargas como el viento, la lluvia, la probabilidad de temblores, la velocidad de llenado, la posibilidad de cargas y descargas asimétricas.

B. Recomendaciones

- Se recomienda utilizar un espesor de 1/8 pulgada, tanto para el barril como para la tolva, la falda y el anillo.

- Utilizar 6 u 8 columnas de perfil cuadrado de 4 x 4 x 1/4 para soportar la carga total.

- Realizar un análisis de elementos finitos.

- La construcción debe ser realizada por personal calificado.

APÉNDICES

APÉNDICE A. MUESTRA DE CÁLCULOS

A.1. Para los cálculos de las presiones en las paredes se llevó a cabo el siguiente procedimiento:

1. Se deben calcular primero las presiones en el barril después de llenado, las cuales se averiguan con las siguientes ecuaciones:

- Presión horizontal

$$p_{hf} = p_{ho} (1 - e^{-z/z_0})$$

donde

$$z_0 = \frac{A}{\lambda \mu U} = \frac{1}{\lambda \mu} \frac{r}{2}; \text{ y } p_{ho} = \frac{\gamma A}{\mu U} = \frac{\gamma}{\mu} \frac{r}{2}$$

sustituyendo

$$z_0 = \frac{1}{0,58 * 0,577} \frac{2,331}{2} = 3,483m$$

$$p_{ho} = \frac{8,5}{0,364} \frac{2,331}{2} = 27,24kPa$$

z es un valor entre 0 y 4,11 m. Para este ejemplo se tomará el valor máximo.

Por tanto la presión horizontal es:

$$p_{hf} = 27,24(1 - e^{-4,11/3,483}) = 18,87kPa$$

- Tracción debido a la fricción

$$p_{wf} = \mu p_{hf} = \mu p_{ho} (1 - e^{-z/z_0})$$

donde

$$\mu = 0,577$$

De tal forma:

$$p_{vf} = 0,577 * 18,87 = 10,89kPa$$

- Esfuerzo vertical medio:

$$p_{vf} = p_{vo} (1 - e^{-z/z_0})$$

donde

$$p_{vo} = \frac{\gamma A}{\lambda \mu U} = \frac{r}{\lambda \mu} \frac{r}{2}$$

sustituyendo

$$p_{vo} = \frac{8,5}{0,364 * 0,45} \frac{2,331}{2} = 60,52kPa$$

Así:

$$p_{vf} = 60,52(1 - e^{-4,11/3,483}) = 41,93kPa$$

2. Se deben calcular las presiones en la tolva, después de la carga:

- Presión normal:

$$p_{nf} = F_f p_{vf}$$

donde

$$F_f = \frac{1 + a\mu \cot \beta}{1 + \mu \cot \beta}; \text{ y } p_{vf} = \frac{\gamma h_h}{n-1} \left\{ \left(\frac{x}{h_h} \right) - \left(\frac{x}{h_h} \right)^n \right\} + p_{vft} \left(\frac{x}{h_h} \right)^n$$

x es la altura de la tolva, que va entre 0 y 4,04. Para el ejemplo se tomó el valor 4,04; con el cual se obtiene el valor máximo de la presión normal

h_h es la altura total de la tolva.

a es un valor empírico que está entre 0 y 1, por recomendación de Rotter [2001], se utilizó el valor 0,8.

p_{vft} es el valor p_{vf} durante la carga en la transición, es decir cuando $z = z_t = 4,11$.

n se determina de la fórmula: $n = 2a\mu_h \cot \beta$,

sustituyendo $n = 2 * 0,8 * 0,577 * \cot 30^\circ = 1,6$

Sustituyendo

$$F_f = \frac{1 + 0,8 * 0,577 \cot 30}{1 + 0,577 \cot 30} = 0,9 ; \text{ y}$$

$$p_{vf} = \frac{8,5 * 4,04}{1,6 - 1} \left\{ \left(\frac{4,04}{4,04} \right) - \left(\frac{4,04}{4,04} \right)^{1,6} \right\} + 41,92 \left(\frac{4,04}{4,04} \right)^{1,6} = 41,92 kPa$$

Por tanto el valor de la presión normal es:

$$p_{nf} = 0,9 * 41,92 = 37,72 kPa$$

- Tracción debida a la fricción en la tolva:

$$p_{tf} = \mu_h p_{nf}$$

sustituyendo

$$p_{tf} = 0,577 * 37,72 = 21,77 kPa$$

3. Cálculo de las presiones durante la descarga en el barril:

- Presión normal:

$$p_{he} = C_h p_{hf}$$

donde

$$C_h = C_0 = 1,4.$$

sustituyendo

$$p_{he} = 1,4 * 18,87 = 26,41 kPa$$

- Tracción debida a la fricción:

$$p_{we} = C_w p_{wf}$$

donde

$$C_w = 1,1.$$

sustituyendo

$$p_{ve} = 1,1 * 10,89 = 11,97 kPa$$

4. Cálculo de las presiones durante la descarga en la tolva:

- Presión normal en la tolva

$$p_{ne} = F_e p_{ve}$$

donde

$$F_e = \frac{1 + \sin \phi_i \cos \varepsilon}{1 - \sin \phi_i \cos(2\beta + \varepsilon)}; \text{ y } p_{ve} = \frac{\gamma h_h}{n-1} \left\{ \left(\frac{x}{h_h} \right) - \left(\frac{x}{h_h} \right)^n \right\} + p_{vft} \left(\frac{x}{h_h} \right)^n$$

para calcular n se utiliza la siguiente fórmula $n = 2(F_e \mu_h \cot \beta + F_e - 1)$

para determinar ε se utiliza la ecuación: $\varepsilon = \tan^{-1}(\mu_h) + \sin^{-1} \left\{ \frac{1}{\sin \phi_i} \sqrt{\frac{\mu_h^2}{1 + \mu_h^2}} \right\}$

Sustituyendo

$$\varepsilon = \tan^{-1}(0,364) + \sin^{-1} \left\{ \frac{1}{\sin 28} \sqrt{\frac{0,364^2}{1 + 0,364^2}} \right\} = 66,79$$

$$F_e = \frac{1 + \sin 28 \cos 66,79}{1 - \sin 28 \cos(2 * 30 + 66,79)} = 0,926$$

$$n = 2(0,926 * 0,364 \cot 30 + 0,926 - 1) = 1,018$$

$$p_{ve} = \frac{8,5 * 4,04}{1,018 - 1} \left\{ \left(\frac{4,04}{4,04} \right) - \left(\frac{4,04}{4,04} \right)^{1,018} \right\} + 41,92 \left(\frac{4,04}{4,04} \right)^{1,018} = 41,92 kPa$$

Por tanto la presión normal es:

$$p_{ne} = 0,926 * 41,92 = 38,8 kPa$$

- Tracción debido a la fricción en la tolva:

$$p_{te} = \mu_h p_{ne}$$

sustituyendo

$$p_{te} = 0,577 * 38,8 = 22,39kPa$$

A.2. Para calcular las tensiones resultantes en las paredes del silo se debe realizar el siguiente procedimiento:

1. Se debe calcular la presión resultante en el barril, que no dependa del llenado o de la descarga; para esto se utiliza un factor de seguridad, como se observa en la siguiente ecuación.

$$p_h = C_h p_{ho} (1 - e^{-z/z_o})$$

De igual forma es necesario calcular la tracción debida a la fricción.

$$p_w = C_w \mu p_h = C_w \mu p_{ho} (1 - e^{-z/z_o})$$

sustituyendo:

$$p_h = 1,4 * 27,24 (1 - e^{-4,11/3,483}) = 26,41kPa$$

$$p_w = 1,1 * 0,577 * 26,41 = 16,76kPa$$

2. Determinar el valor de las tensiones resultantes, como se muestra a continuación:

$$n_{\theta, Sd} = \gamma_F C_h p_{ho} r (1 - e^{-z/z_o})$$

$$n_{x, Sd} = -\gamma_F C_w \mu p_{ho} z_o \left[\frac{z}{z_o} - 1 + e^{-z/z_o} \right]$$

donde $\gamma_F = 1,5$ (Ver anexo C)

sustituyendo:

$$n_{\theta, Sd} = 1,5 * 1,4 * 27,24 * 2,331 (1 - e^{-4,11/3,483}) = 92,37kN / m$$

$$n_{x, Sd} = -1,5 * 1,1 * 0,577 * 27,24 * 3,483 \left[\frac{4,11}{3,483} - 1 + e^{-4,11/3,483} \right] = -44,01kN / m$$

y el resultado usando el criterio de von Mises es:

$$n_{e, Sd} = \sqrt{n_{x, Sd}^2 - n_{x, Sd} n_{\theta, Sd} + n_{\theta, Sd}^2}$$

sustituyendo:

$$n_{e,Sd} = \sqrt{(-44,01)^2 - (-44,01) * 92,37 + (92,37)^2} = 120,6kN / m$$

3. Determinar la tensión resultante desarrollada en la tolva

Para determinar esta resultante se utilizaron las siguientes ecuaciones:

$$n_{\theta Sd} = \gamma_F \left[\frac{\gamma_h}{n-1} \left(\frac{x}{h_h} \right)^2 + \left(p_{vft} - \frac{\gamma_h}{n-1} \right) \left(\frac{x}{h_h} \right)^{n+1} \right] F h_h \sec \beta \tan \beta$$

$$n_{\phi Sd} = \gamma_F \left[\frac{\gamma_h}{3(n-1)} \left(\frac{x}{h_h} \right)^2 + \frac{1}{n+2} \left(p_{vft} - \frac{\gamma_h}{n-1} \right) \left(\frac{x}{h_h} \right)^{n+1} \right] F h_h \sec \beta (\tan \beta + \mu_h)$$

$$n_{eSd} = \sqrt{n_{\phi Sd}^2 - n_{\phi Sd} n_{\theta Sd} + n_{\theta Sd}^2}$$

Sustituyendo se tienen que:

$$n_{\theta Sd} = 1,5 \left[\frac{8,5 * 4,04}{1,6-1} \left(\frac{4,04}{4,04} \right)^2 + \left(41,92 - \frac{8,5 * 4,04}{1,6-1} \right) \left(\frac{4,04}{4,04} \right)^{1,6+1} \right] 0,926 * 4,04 \sec 30 \tan 30$$

$$n_{\theta Sd} = 156,6kN / m$$

$$n_{\phi Sd} = 1,5 \left[\frac{8,5 * 4,04}{3(1,6-1)} \left(\frac{4,04}{4,04} \right)^2 + \frac{1}{1,6+2} \left(41,92 - \frac{8,5 * 4,04}{1,6-1} \right) \left(\frac{4,04}{4,04} \right)^{1,6+1} \right] 0,926 * 4,04 \sec 30 (\tan 30 + 0,577)$$

$$n_{\phi Sd} = 110,8kN / m$$

$$n_{eSd} = \sqrt{(110,8)^2 - 110,8 * 156,6 + (156,6)^2} = 139,5kN / m$$

Para determinar el espesor mínimo para el barril se utilizó la siguiente ecuación:

$$t = \frac{n}{fu / F.S.}$$

Sustituyendo

$$t = \left(\frac{120,6 \times 10^3}{393 \times 10^6 / 4} \right) * 1000 = 1,227 \text{ mm}$$

De igual forma se obtuvo el espesor mínimo para la tolva:

$$t = \left(\frac{139,5 \times 10^3}{393 \times 10^6 / 4} \right) * 1000 = 1,420 \text{ mm}$$

A.3. Para la valoración de fuerzas en la estructura se realizó el siguiente procedimiento de cálculo:

➤ Paredes cilíndricas

Para valorar el estado plástico límite se utilizó la siguiente desigualdad:

$$\sqrt{n_{xSd}^2 - n_{xSd} * n_{\theta Sd} + n_{\theta Sd}^2} \leq t * f_y / \gamma_{M1a}$$

sustituyendo:

$$\sqrt{(92365)^2 - (-44001)(92365) + (-44001)^2} \leq (0,00123)(296 \times 10^6) / 1,1$$

$$120553 \leq 330176$$

Para valorar la resistencia meridional se utilizó:

$$n_{xSd} \leq fu * t / \gamma_{M1b}$$

sustituyendo:

$$44009 \leq (0,00123)(393 \times 10^6) / 1,25$$

$$44009 \leq 385770$$

Para valorar la resistencia circunferencial se utilizó:

$$n_{\theta sd} \leq f_u * t / \gamma_{M1b}$$

sustituyendo:

$$92365 \leq (0,00123)(393 \times 10^6) / 1,25$$

$$92365 \leq 385770$$

La valoración de la compresión axial requiere de varios pasos que se describen a continuación:

$$\alpha = \frac{0,62}{1 + 0,035 \left(\frac{r}{t} \right)^{0,72}}$$

sustituyendo:

$$\alpha = \frac{0,62}{1 + 0,035 \left(\frac{2,331}{0,00123} \right)^{0,72}} = 0,06865$$

Luego se calcula

$$\sigma_{xRc} = 0,605 E \frac{t}{r}, \text{ donde } E = 200000 \text{ Mpa}$$

sustituyendo:

$$\sigma_{xRc} = 0,605 * 200000 \times 10^6 \frac{0,00123}{2,331} = 63686852 \text{ Pa}$$

también es necesario obtener los siguientes factores:

$$\bar{\lambda}_x = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{xRc}}} = \sqrt{\frac{296 \times 10^6}{63686852}} = 2,16;$$

$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{2,5\alpha} = \sqrt{2,5 * 0,06865} = 0,4142, \text{ y}$$

$$\bar{\lambda}_0 = 0,2, \text{ siempre}$$

Así se calcula el factor de reducción del esfuerzo según las siguientes consideraciones:

$$X_x = 1 \text{ cuando } \bar{\lambda}_x \leq \bar{\lambda}_0$$

$$X_x = 1 - 0,6 \left(\frac{\bar{\lambda}_x - \bar{\lambda}_0}{\bar{\lambda}_p - \bar{\lambda}_0} \right) \text{ cuando } \bar{\lambda}_0 < \bar{\lambda}_x < \bar{\lambda}_p$$

$$X_x = \frac{\alpha}{\bar{\lambda}_x^2} \text{ cuando } \bar{\lambda}_p \leq \bar{\lambda}_x$$

En nuestro caso el valor que se aplica es:

$$X_x = \frac{\alpha}{\bar{\lambda}_x^2} = \frac{0,06865}{2,16^2} = 0,01477$$

Con este valor calculado se puede obtener:

$$\sigma_{xRk} = X_x f_y = 0,01477 * 296 \times 10^6 = 4372364$$

$$n_{xSd} \leq t * \sigma_{xRk} / \gamma_{M3}$$

sustituyendo:

$$92365 \leq (0,00123)(4372364) / 1,1$$

$$44009 \leq 4877$$

Como se puede observar la desigualdad no se cumple por lo tanto el espesor calculado no es suficiente para la compresión axial, es por esta razón que se debe ajustar el espesor de pared (t) a 2,9mm, para obtener una relación satisfactoria como se muestra:

$$44009 \leq 46220$$

Con lo cual si se cumple con la compresión axial, aunque se afecten las demás valoraciones, pero son efectos positivos los que se logran.

➤ Tolva

Para la tolva es necesario satisfacer la condición:

$$n_{\phi sd} \leq 0,8 * t * fu / \gamma_{M1b}$$

$$110800 \leq 0,8 * 0,00142 * 393 \times 10^6 / 1,4$$

obteniendo:

$$110800 \leq 318667$$

➤ Unión de transición

Se debe realizar el siguiente procedimiento:

$$A_{et} = A_p + 0,4\sqrt{r} \left\{ t_c^{3/2} + t_s^{3/2} + \frac{t_h^{3/2}}{\sqrt{\cos \beta}} \right\}$$

sustituyendo:

$$A_{et} = 0,0208 + 0,4\sqrt{2,331} \left\{ 0,00123^{3/2} + 0,00142^{3/2} + \frac{0,00142^{3/2}}{\sqrt{\cos 30}} \right\} = 0,0209$$

Luego se calcula:

$$N_{sd} = n_{\phi sd} r \text{sen} \beta$$

sustituyendo:

$$N_{sd} = 110800 * 2,331 * \text{sen} 30 = 129137$$

Con estos valores se debe cumplir con la siguiente desigualdad:

$$\frac{N_{Sd}}{A_{et}} \leq f_y / \gamma_{M1a}$$

$$\frac{129137}{0,02087} \leq 296 \times 10^6 / 1,1$$

De donde se obtuvo:

$$6188891 \leq 269090909$$

A.4. Para determinar los soportes a utilizar, se realizó el siguiente procedimiento de cálculo:

Se determinó el tipo de apoyo, para así obtener el factor de fijación. Como ambos extremos son fijos, se tiene un factor de fijación:

$$K = 0,65$$

Como la longitud es:

$$L = 5 \text{ m}$$

Se puede calcular la longitud equivalente de la siguiente manera:

$$L_e = L * k$$

sustituyendo:

$$L_e = 5 * 0,65 = 3,25 \text{ m}$$

El siguiente paso es determinar el radio de giro mínimo:

$$r_{\min} = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

sustituyendo:

$$r_{\min} = \sqrt{\frac{3,4142 \times 10^{-6}}{0,00231612}} = 0,03843 \text{ m}$$

Con el valor del radio de giro se puede calcular la razón máxima de esbeltez con:

$$SR = \frac{L_e}{r}$$

$$SR = \frac{3,25}{0,038434} = 84,64$$

Con el módulo de elasticidad, E, y la resistencia a la cedencia, S_y , se calcula la constante de columna como:

$$Cc = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{S_y}}$$

$$Cc = \sqrt{\frac{2 * \pi^2 * (200 \times 10^9)}{441 \times 10^6}} = 94,57$$

Debido a que la $Cc > SR$, se utilizó la ecuación de Jonson para calcular la carga crítica como:

$$P_{cr} = AS_y \left[1 - \frac{S_y (SR)^2}{4\pi^2 E} \right]$$

$$P_{cr} = 0,002316 * 441 \times 10^6 \left[1 - \frac{441 \times 10^6 (84,64)^2}{4 * \pi^2 * (200 \times 10^9)} \right] = 612 \text{ kN}$$

Por recomendación de Mott [1996], se utilizó un factor de diseño igual a:

$$N = 3$$

Por tal motivo se obtuvo una carga permisible de:

$$P_a = \frac{P_{cr}}{N}$$

$$P_a = \frac{612}{3} = 204 \text{ kN}$$

Como la capacidad de almacenaje es de 85 m^3 y la densidad del material es $8,5 \text{ kN/m}^3$, la carga total es:

$$P_{Total} = 85 * 8,5 = 722,5 \text{ kN}$$

Por esta razón se determina que como mínimo se requieren cuatro columnas para soportar esta carga.

ANEXOS

ANEXO A. PROPIEDADES FÍSICAS DE ALGUNOS SÓLIDOS

Table A.1 Physical properties of bulk solids: characteristic values †

Type of bulk solid	Unit weight		Angle of response	Effective angle of internal friction		Lateral pressure ratio		Wall friction angle [‡]						Maximum flow pressure multiplier C _o
	γ		ϕ_r	ϕ_i		λ		ϕ_w		$(\mu = \tan \phi_w)$				
	Lower kN/m ³	Upper kN/m ³	degrees	Lower degrees	Upper degrees	Lower	Upper	Wall type D1	Wall type D2	Wall type D3	Lower degrees	Upper degrees	Lower degrees	
Default material *	6.0	20.0	40	25	55	0.35	0.65	10	30	12	35	14	45	1.45
Alumina	10.0	12.0	27	25	40	0.42	0.53	20	25	25	30	30	35	1.40
Barley	7.0	8.5	20	26	33	0.50	0.63	15	24	18	27	25	32	1.35
Cement	13.0	16.0	28	40	50	0.45	0.58	20	25	23	28	28	33	1.40
Cement clinker	15.0	18.0	33	42	52	0.41	0.52	20	25	25	30	30	35	1.40
Coal: black	8.5	11.0	35	40	60	0.45	0.58	15	25	25	35	25	40	1.45
Coal: brown	7.0	9.0	33	45	65	0.35	0.45	18 [§]	25 [§]	25	35	35	45	1.45
Coal: powdered	6.0	9.0	38	40	50	0.35	0.45	20	24	24	28	27	32	1.45
Coke: breeze	7.0	8.0	40	35	45	0.35	0.45	22	27	26	33	28	35	1.45
Coke: petroleum	6.5	7.5	38	37	47	0.35	0.45	24	29	28	35	30	37	1.45
Concrete aggregate (to 28 mm, moist)	17.0	19.0	34	30	40	0.35	0.45	15	25	18	30	25	35	1.40
Flour (wheat)	6.5	7.0	40	23	30	0.36	0.46	15	23	25	28	25	35	1.45
Fly ash	8.0	14.0	22	30	35	0.50	0.63	18	25	25	35	30	40	1.45
Iron ore pellets	19.0	22.0	35	35	45	0.35	0.45	20	25	26	33	28	35	1.40
Lime, hydrated	6.0	8.0	40	35	45	0.35	0.45	18	25	25	33	30	40	1.40
Limestone powder	11.0	13.0	30	40	60	0.35	0.45	15	25	23	30	28	40	1.45
Maize	7.0	8.5	30	28	33	0.45	0.58	15	25	20	30	25	32	1.40
Phosphate rock	16.0	19.0	27	35	55	0.35	0.45	19	25	22	30	25	32	1.40
Sand: coarse dry	14.0	17.0	30	30	40	0.41	0.52	15	25	22	28	25	35	1.40
Sand: quartz	15.0	17.0	30	35	40	0.35	0.45	15	22	15	22	20	26	1.40
Slag: granular, dry	10.5	12.0	40	35	38	0.36	0.47	16	22	20	25	24	28	1.40
Soya beans	7.0	8.0	23	25	32	0.47	0.60	10	15	12	18	14	20	1.30
Sugar	8.0	9.5	29	33	38	0.45	0.58	15	25	20	35	25	40	1.40
Wheat	7.5	9.0	20	26	32	0.36	0.46	15	25	18	30	25	32	1.30

†Where this table does not contain the material to be stored, testing should be undertaken. The "default material" is offered as a substitute for situations where the cost implications of using a wide property range for the design are minor, so that it is difficult to justify the cost of testing.

‡Properties for a "default material" are shown here, for conditions where no data is available. §For Wall Type D4 (corrugated wall), see Appendix D4. ¶Values tabulated are for a polyethylene wall liner.

Fuente: Rotter [2001]

ANEXO B. HOJA DE RECOLECCIÓN DE DATOS PARA EL DISEÑO

Hoja de datos específicos para un silo

Información general

Cliente: Archivo #:
 Propietario: Fecha:
 Sitio de construcción:
 Nombre de la planta: Señas:
 Expectativa de vida del silo: años Localización:

Propiedades de la masa sólida

Volumen de sólido a ser guardado
 Temperatura de la masa sólida: Mínima °C Máxima °C
 Contenido de humedad del sólido: Mínima % Máxima % d.b.

Propiedades físicas, medidas por el cliente

Variación durante la vida del silo	Mínimo	Promedio	Máximo	Desviación estandar
Unidad de peso				
Angulo de reposo				
Angulo de fricción interna				
Angulo de fricción en la pared (barril)				
Angulo de fricción en la pared (tolva)				

Características especiales del sólido

Distribución de tamaño	Media:	D10:	D50:	D90:
------------------------	--------	------	------	------

Flujabilidad Abrasión Corrosión Potencial de polvo Proporción de relleno (medio y máximo) (tonnes/hr) Proporción de descarga (medio y máximo) (tonnes/hr)	
--	--

Silo contenedor:

Capacidad requerida (Tonnes)	Nominal:		Trabajo neto:	
Material de construcción				
En tierra o elevado				
Dimensiones	Dimensiones planeadas:			
	Altura:			
	Angulo medio vertical de la tolva			
	Altura sobre la tierra de la salida			
Modelo de flujo deseado	Flujo de masa requerido			
Excentricidades	Salida		Entrada	
Método de relleno				
Tipo dispositivo de descarga				
Requerimientos del deposito				
Presión interior o succión				
Explosión potencial				
Cargas del techo	Vida uniforme:		Carga especial:	
Carga del viento	Velocidad:		Categoría del terreno:	
Condiciones ambientales	Lluvia (max.)			
	Nevada (max. acumulado)			
Temperatura mínima				
Temperatura Máxima				
Zona de terremoto				
Tipo de fundación				

Comentarios:

Fuente: Rotter [2001]

----- Page Break -----

ANEXO C. FACTORES PARCIALES PARA SITUACIONES DE DISEÑO

Partial factors for actions for persistent and transient design situations			
<i>Effect of action</i>	<i>Stored solid type</i>	<i>Variable actions (%)</i>	<i>Permanent actions (%)</i>
Unfavourable effect	Toxic, corrosive or dangerous solids	1.75	1.35
Unfavourable effect	Other solids	1.50	1.35
Favourable effect that is coexistent with the unfavourable effect	All solids	1.00	0.80
Favourable effect that is not coexistent with the unfavourable effect	All solids	0.00	0.80

Fuente: Rotter [2001]

ANEXO D. FACTORES PARCIALES SOBRE LA RESISTENCIA ESTRUCTURAL

Partial factors on structural resistance

<i>Resistance to failure mode</i>	<i>Relevant γ_M</i>	<i>Value of γ_M</i>
Resistance of welded or bolted shell wall to plastic limit state	γ_{M1a}	1.10
Resistance of welded or bolted shell wall to rupture	γ_{M1b}	1.25
Resistance of shell wall to cyclic plasticity	γ_{M2}	1.00
Resistance of shell wall to stability	γ_{M3}	1.10
Resistance of shell wall to fatigue	γ_{M4}	1.10
Resistance of connections	γ_{M5}	1.25

Fuente: Rotter [2001]

ANEXO E. PROPIEDADES DE LOS ACEROS

Propiedades representativas de aceros aleados y al carbón*

Material AISI núm.	Condición [†]	Resistencia última, s_u		Resistencia a la cedencia, s_y		Porcentaje de alargamiento
		ksi	MPa	ksi	MPa	
1020	Recocido	57	393	43	296	36
1020	Laminado en caliente	65	448	48	331	36
1020	Estirado en frío	75	517	64	441	20
1040	Recocido	75	517	51	352	30
1040	Laminado en caliente	90	621	60	414	25
1040	Estirado en frío	97	669	82	565	16
1040	WQT 700	127	876	93	641	19
1040	WQT 900	118	814	90	621	22
1040	WQT 1100	107	738	80	552	24
1040	WQT 1300	87	600	63	434	32
1080	Recocido	89	614	54	372	25
1080	OQT 700	189	1303	141	972	12
1080	OQT 900	179	1234	129	889	13
1080	OQT 1100	145	1000	103	710	17
1080	OQT 1300	117	807	70	483	23
1141	Recocido	87	600	51	352	26
1141	Estirado en frío	112	772	95	655	14
1141	OQT 700	193	1331	172	1186	9
1141	OQT 900	146	1007	129	889	15
1141	OQT 1100	116	800	97	669	20
1141	OQT 1300	94	648	68	469	28
4140	Recocido	95	655	60	414	26
4140	OQT 700	231	1593	212	1462	12
4140	OQT 900	187	1289	173	1193	15
4140	OQT 1100	147	1014	131	903	18
4140	OQT 1300	118	814	101	696	23
5160	Recocido	105	724	40	276	17
5160	OQT 700	263	1813	238	1641	9
5160	OQT 900	196	1351	179	1234	12
5160	OQT 1100	149	1027	132	910	17
5160	OQT 1300	115	793	103	710	23

*Otras propiedades aproximadamente iguales para todos los aceros aleados y al carbón:

Módulo de elasticidad a tensión = 30 000 000 lb/plg² (207 GPa)

Módulo de elasticidad a cortante = 11 500 000 lb/plg² (80 GPa)

Densidad = 0.283 lb_m/plg³ (7680 kg/m³)

[†]OQT significa templado y enfriado en aceite (oil-quenched and tempered). WQT significa templado y enfriado en agua (water-quenched and tempered.)

Fuente: Mott [1996]

ANEXO F. EUROCODE

El siguiente documento es un extracto del informe del: Prof Haig Gulvanessian Director, Construction Division, BRE Visiting Professor, Imperial College, London; donde se da una breve descripción sobre el Eurocode.

There are strong initiatives at the present time by the Construction Industry in Europe to improve its performance. For example, in particular areas of Europe, Governments have set targets for their Construction Industry to reduce costs to the client by as much as 30% within a three year span. This effort will require contributions from all sectors of industry including product manufacturers and those involved in design, delivery of materials, execution and maintenance.

An essential ingredient to the whole process is to ensure that

- The Requirements and Safety Factors for achieving safety and serviceability, and
- The Actions that buildings and civil engineering works are subjected to during their design life

Are accurately identified and quantified.

OBJECTIVES OF THE EUROCODES

The forthcoming Eurocodes will, quoting the European Commission

"...establish a set of common technical rules for the design of buildings and civil engineering works which will ultimately replace the differing rules in the various Member States"

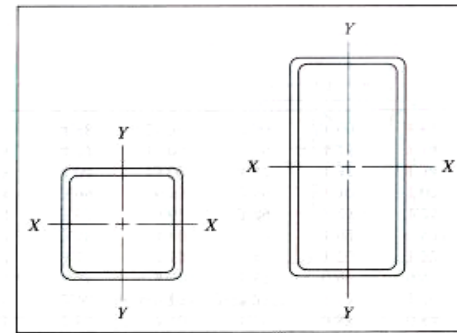
The Eurocodes are also intended to be recognised by authorities of the member states for

- As a means of compliance of building and civil engineering works with the essential requirements of the Construction Products Directive (Council Directive 89/106/EEC)
- As a basis of specifying contracts for the execution of construction works and related engineering services in the area of public works. This relates to Council Procurement Directives 93/37/EEC (Works Directive) and 92/50/EEC (Service Directive).
- as a framework for drawing up harmonised technical specifications for construction products.

In addition the Eurocodes are foreseen to:

- improve the functioning of the single market for products and engineering services, by removing obstacles arising from different nationally codified practices for the assessment of structural reliability.
- improve the competitiveness of the European construction industry and the professionals and industries connected to it, in countries outside the European Union.

ANEXO G. TABLA DE PERFILES PARA COLUMNAS



A-9 Propiedades de tubería estructural de acero Cuadrada y rectangular*

Tamaño	Área (plg ²)	Peso por pie (lb)	Eje X-X			Eje Y-Y		
			<i>I</i> (plg ⁴)	<i>S</i> (plg ³)	<i>r</i> (plg)	<i>I</i> (plg ⁴)	<i>S</i> (plg ³)	<i>r</i> (plg)
8 × 8 × $\frac{1}{2}$	14.4	48.9	131	32.9	3.03	131	32.9	3.03
8 × 8 × $\frac{1}{4}$	7.59	25.8	75.1	18.8	3.15	75.1	18.8	3.15
8 × 4 × $\frac{1}{2}$	10.4	35.2	75.1	18.8	2.69	24.6	12.3	1.54
8 × 4 × $\frac{1}{4}$	5.59	19.0	45.1	11.3	2.84	15.3	7.63	1.65
8 × 2 × $\frac{1}{4}$	4.59	15.6	30.1	7.52	2.56	3.08	3.08	0.819
6 × 6 × $\frac{1}{2}$	10.4	35.2	50.5	16.8	2.21	50.5	16.8	2.21
6 × 6 × $\frac{1}{4}$	5.59	19.0	30.3	10.1	2.33	30.3	10.1	2.33
6 × 4 × $\frac{1}{4}$	4.59	15.6	22.1	7.36	2.19	11.7	5.87	1.60
6 × 2 × $\frac{1}{4}$	3.59	12.2	13.8	4.60	1.96	2.31	2.31	0.802
4 × 4 × $\frac{1}{2}$	6.36	21.6	12.3	6.13	1.39	12.3	6.13	1.39
4 × 4 × $\frac{1}{4}$	3.59	12.2	8.22	4.11	1.51	8.22	4.11	1.51
4 × 2 × $\frac{1}{4}$	2.59	8.81	4.69	2.35	1.35	1.54	1.54	0.770
3 × 3 × $\frac{1}{4}$	2.59	8.81	3.16	2.10	1.10	3.16	2.10	1.10
3 × 2 × $\frac{1}{4}$	2.09	7.11	2.21	1.47	1.03	1.15	1.15	0.742
2 × 2 × $\frac{1}{4}$	1.59	5.41	0.766	0.766	0.694	0.766	0.766	0.694

*Datos tomados de varias fuentes. Los tamaños relacionados son una pequeña muestra de los tamaños disponibles.

Ejemplo de tamaño: 6 × 4 × $\frac{1}{4}$

6 = peralte vertical (plg), 4 = ancho (plg), $\frac{1}{4}$ = espesor de pared (plg)

I = momento de inercia, *S* = módulo de sección, *r* = radio de giro

Fuente: Mott[1996]

BIBLIOGRAFÍA

Brown, C.J. and Nilsen J. (1998) “Silos. Fundamentals of theory, behaviour and desing”, E & FN Spon, an imprint of Routledge, London and New York.

Dounce, E. (2000) “La Productividad en el Mantenimiento Industrial”, CECSA, México.

Enciclopedia Microsoft® Encarta® 98 © (1993-1997) Microsoft Corporation.

Gere, J.M. y Timoshenko, S.P. (1997) “Mecánica de materiales”, Cuarta edición, International Tomson Editores, México.

Martín sprocket & gear, inc. (1995) “Catálogo 1090”, Arlington, Texas, U.S.A.

Méndez, J. (2001) “Proyectos de Graduación”, Carrera Ingeniería en Mantenimiento Industrial, Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Mott, R. L. (1996) “Resistencia de Materiales Aplicada”, Tercera edición, Prentice Hall, México.

Perry, R. H. (1993) “Manual del Ingeniero Químico”, Tomo II, Tercera edición en español, Editorial McGraw Hill.

Peytin, C. (1997) “Access 97: Soluciones prácticas”, Primera edición, Editorial Marcombo, España.

Popov, E. P. (2000) “Mecánica de sólidos”, Segunda edición, Person educación, México.

Puzzi, D. (1984) “Manual de almacenamiento de granos”, Editorial Hemisferio Sur, Buenos Aires, Argentina.

- Rotter, J.M. (2001) "Guide for the Economic Design Of Circular Metal Silos", Spon Press, London and New York.
- Sánchez, R. A. (2002) "Proyecto de Graduación", Carrera Ingeniería en Producción Industrial, Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Shigley, J. E. y Mischke, C. R. (1990) "Diseño en ingeniería mecánica", Cuarta edición en español, McGraw Hill, México.
- Solórzano, E.F. (2001) "Proyectos de Graduación", Carrera Ingeniería en Mantenimiento Industrial, Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Tavares, L. (1999) "Administración Moderna de Mantenimiento", Novo Polo Publicacoes, Brasil.
- Valverde, J. (2000a) "Curso Administración de Mantenimiento 1", Carrera Ingeniería en Mantenimiento Industrial, Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Valverde, J. (2000b) "Curso Diseño de Bases de Datos para Mantenimiento", Carrera Ingeniería en Mantenimiento Industrial, Instituto Tecnológico de Costa Rica.