



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

“Diseño y modelado virtual de una planta móvil dosificadora de
materia prima para la producción de hormigón”

TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

(Proyecto de Graduación)

Previo a la Obtención del Título de:

INGENIERO MÉCANICO

Presentado por:

César Fernando Mejía Loayza

Marlon Orlando Cando Paguay

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2015

AGRADECIMIENTO

A Dios por permitirnos culminar una etapa más de nuestras vidas.

A nuestros padres y hermanos por ser nuestra guía a lo largo de nuestra vida estudiantil.

Al Ing. Federico Camacho e Ing. Ernesto Martínez por su invaluable ayuda y apoyo durante el desarrollo de este proyecto de graduación.

César Mejía y Marlon Cando

DEDICATORIA

MIS PADRES

MI HERMANO

MI SOBRINO

MIS AMIGOS

Marlon

DEDICATORIA

A Dios, por su amor infinito hacia mí y por todas las bendiciones que siempre me ha dado en mi vida.

A mi hermana que con sus consejos me ha sabido orientar y guiar en todo lo que he hecho, y ella ha significado para mí un apoyo incondicional siempre.

A mis padres, que me han brindado su amor en todas las etapas de mi vida.

A mi enamorada Gianella, a quien amo mucho y me brinda su apoyo en todas mis decisiones.

César

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

Ing. Jorge Duque R.
DECANO DE LA FIMCP
PRESIDENTE

Ing. Federico Camacho B.
DIRECTOR DEL TFG

Ing. Ernesto Martínez L.
VOCAL PRINCIPAL

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido desarrollado en el presente trabajo final de graduación, nos corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la Escuela Superior Politécnica del Litoral”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL).

César Fernando Mejía Loayza.

Marlon Orlando Cando Paguay

RESUMEN

Ecuador se encuentra en un constante crecimiento desarrollándose en grandes proyectos constructivos en todo el país y según datos estadísticos emitidos por el “Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC)”, se identificó que del total de permisos de construcción emitidos en el año 2012, el 81% utilizó hormigón como material principal para desarrollar dichas construcciones.

Las grandes obras de construcción, así como proyectos de gran envergadura se realizan en zonas geográficas de difícil acceso, y por ende las empresas constructoras a cargo de estos tipos de trabajos, optan por adquirir plantas para producir hormigón en sitio, pero la mayor parte de éstas son importadas y de elevado costo; sin embargo, existen plantas fabricadas a nivel local que son menos costosas y elaboradas sin considerar la utilización de software ingenieriles que simulen los aspectos físicos dados durante su operación.

El presente proyecto contempló el diseño de una planta dosificadora de materias primas para producir hormigón y que pueda ser de fácil transporte de manera que sea capaz de acceder a cualquier obra de construcción.

El diseño de la planta fue analizado mediante la utilización de software ingenieriles como EES[®] (Engineering Equation Solver) y software CAE (Ingeniería Asistida por Computadora, acrónimo en inglés), tales como AutoCAD[®], Inventor Professional[®], y software de elementos finitos como ANSYS[®] y SAP 2000[®]. Dichos programas fueron utilizados para desarrollar la ingeniería básica, ingeniería detallada y simulaciones virtuales durante el desarrollo de la planta.

Finalmente se realizó el cálculo de los indicadores financieros tales como la tasa interna de retorno (TIR), el valor actual neto (VAN), la tasa mínima atractiva de retorno (TMAR) y el período de recuperación (PAYBACK), de manera que se obtuvo que la TIR de 55% superó a la TMAR de 50.71%, un VAN de \$19,668.17 y PAYBACK de 3.07 años; lo cual permitió concluir que la implementación del proyecto presenta una buena rentabilidad.

ÍNDICE GENERAL

	PÁG.
RESUMEN.....	ii
ÍNDICE GENERAL.....	iv
ABREVIATURAS	viii
SIMBOLOGÍA	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xv
ÍNDICE DE TABLAS	xxi
ÍNDICE DE PLANOS	xxiv
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1	
1. PROCESO DE HORMIGONADO	3
1.1 Introducción.....	3
1.2 Hormigón.....	6
1.2.1 Características y comportamiento	8
1.2.2 Clasificación.....	18
1.2.3 Materia prima para elaboración	20
1.3 Tipos de plantas hormigoneras	23
1.4 Proceso de hormigonado	28
1.4.1 Descripción del proceso.....	28
1.4.2 Equipos requeridos.....	28

1.5 Normalización	30
1.5.1 Normas nacionales	30
1.5.2 Normas internacionales	31
1.6 Justificación del proyecto	31
1.6.1 Análisis del mercado.....	31
1.6.2 Justificación técnica.....	37

CAPÍTULO 2

2. DISEÑO CONCEPTUAL	41
2.1 Factores de influencia	41
2.2 Dimensionamiento de la planta	43
2.2.1 Restricciones de diseño	43
2.2.2 Diseño de la mezcla para producción de hormigón	48
2.2.3 Análisis de capacidad y tiempos de producción.....	69
2.2.4 Dimensionamiento de la capacidad de los sistemas de almacenamiento.....	73
2.2.5 Dimensionamiento de capacidad de los sistemas de transporte	78
2.3 Diseño de forma.....	80

CAPÍTULO 3

3. DISEÑO DETALLADO	82
3.1 Sistemas de dosificación de materia prima	82

3.1.1	Diseño de tolvas.....	83
3.1.2	Selección de válvulas dosificadoras.....	113
3.1.3	Selección de sistema de dosificación de aditivos.....	115
3.2	Sistemas de transportes.....	117
3.2.1	Tornillos helicoidales.....	117
3.2.2	Bandas transportadoras.....	142
3.3	Diseño estructural.....	177
3.3.1	Estructura de la planta.....	178
3.3.2	Estructuras de tolvas.....	208
3.3.3	Estructuras de sistemas de transporte.....	209
3.3.4	Cuarto de control.....	212
3.4	Sistemas auxiliares.....	212
3.4.1	Sistema hidráulico.....	212
3.4.2	Sistema neumático.....	225
3.4.3	Sistema de despolvado.....	254
3.4.4	Sistema de seguridad personal.....	261
3.4.5	Sistemas eléctricos.....	266
3.5	Condiciones para el transporte e instalación de la planta.....	270
3.5.1	Transporte.....	272
3.5.2	Instalación y montaje.....	274

CAPÍTULO 4

4. PRESUSPUESTO DE IMPLEMENTACIÓN	285
4.1 Costos de fabricación local	287
4.2 Costos de equipos importados.....	289
4.3 Estimación del tiempo de recuperación de la inversión.....	290

CAPÍTULO 5

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	311
5.1 Conclusiones.....	311
5.2 Recomendaciones.....	312

APÉNDICES

BIBLIOGRAFÍA

ABREVIATURAS

ACI	American Concrete Institute
AISC	American Institute of Steel Construction
Al	Aluminio
Al_2O_3	Oxido de aluminio
ANSYS	Analysis Systems
ASTM	American Society for Testing and Materials
C_2S	Silicato Bicalcico
C_3A	Aluminato Tricálcico
C_3S	Silicato Tricálcico
C_4AF	Aluminatoferrito Tetracalcico
<i>Ca</i>	Calcio
CaO	Oxido de Calcio
$Ca(OH)_2$	Hidróxido de Calcio
CAD	Computer Aided Desing
CAPM	Capital Asset Pricing Model
CEMA	Conveyor Equipment Manufacturers Association
CPE	Codigo de Practica Ecuatoriana
EE.UU.	Estados Unidos
EES	Engineering Equation Solver
ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
<i>Fe</i>	Hierro
Fe_2O_3	Gramos
GPE	Guía Práctica Ecuatoriana
INEC	Instituto Nacional de Estadística y Censos
INEN	Instituto Ecuatoriano de Normalización
LRFD	Load and Resistance Factor Desing
O_2	Oxigeno Molecular
Si	Silicio
SiO_2	Oxido de Silicio
TMAR	Tasa Mínima Atractiva de Retorno
TIR	Tasa Interna de Retorno
UBC	Uniform Building Code
UNE	Una Norma Europea
VAN	Valor Actual Neto

SIMBOLOGÍA

$H_{th;i}$	Altura de inclinación del tornillo helicoidal
z_i	Altura de ducto de agua con respecto a suelo, siendo $i=1$ y 2
h	Altura total de la tolva
γ_a	Ángulo de abrazamiento
λ	Ángulo de inclinación de los rodillos
φ_w	Angulo de rozamiento de la pared
F_t	Ancho del tambor
α	Ángulo medio de inclinación respecto a la horizontal de la pared
A_{neta}	Área neta de filtración
A_t	Área transversal de la banda transportadora
A	Área transversal de la columna
β	Beta de la empresa comparable
Ba	Beta desapalancada
h_p	Cabezal de pérdidas
h_b	Cabezal para el cálculo de la potencia de la bomba
C_p	Calor específico
$\dot{V}_{c,i}$	Capacidad volumétrica requerida de un tornillo helicoidal, siendo $i=1$ y 2
P_{cr}	Carga crítica
S	Carga de nieve
Rr	Carga de lluvia
C_{ro}	Carga en los rodillos superiores
C_{ru}	Carga en los rodillos de retorno
D	Carga muerta
N	Carga sobre la sección cónica de la tolva
\dot{Q}	Carga térmica
$C_{ro,total}$	Carga total de los rodillos superiores
L	Carga viva
c	Carrera del cilindro neumático
k_2	Coeficiente convencional de rozamiento
f	Coeficiente de fricción
c_f	Coeficiente de fuerza
C_z	Coeficiente de Janssen

C_h	Coeficiente de mayoración de la presión horizontal
β	Coeficiente de mayoración de la presión local
C_b	Coeficiente de mayoración de la presión sobre el fondo
C_w	Coeficiente de mayoración debida al rozamiento con la pared
f	Coeficiente de rozamiento de los rodillos
μ_{agua}	Coeficiente de viscosidad dinámica del agua
U	Combinaciones de carga
γ	Densidad de la carga
ρ	Densidad
s, s_i	Desviación estándar, siendo $i=1$ y 2
\bar{s}	Desviación estándar promedio
d_c	Diámetro de la abertura de descarga de las tolvas
$d_{eje;t;bt}$	Diámetro del eje del tambor motriz
D_{tambor}	Diámetro del tambor
ϕ_{embolo}	Diámetro del embolo
d	Diámetro interior de la tubería
$d_{rodillos}$	Diámetro de los rodillos
$b_{material}$	Distancia que ocupa el material en la banda transportadora
D_{eam}	Distancia entre apoyos
D_{eanm}	Distancia entre apoyos del tambor no motriz
ε	Eficiencia mecánica de la transmisión
e_t	Eficiencia de la transmisión
s_y	Esfuerzo de fluencia del material
σ	Esfuerzo
S_i	Espacio entre rodillo, siendo $i=1$ y 2
λ_{colum}	Esbeltez mecánica
e_i	Excentricidad del material almacenado al eje vertical de la tolva
e_o	Excentricidad de la abertura de descarga al eje vertical
k_a	Factor de ajuste por tamaño de partículas del material
$k_{b;c}$	Factor de carga de transmisión
c_e	Factor de exposición
η_t	Factor de seguridad
CF_1	Factor debido al paso de la helicoidal
CF_2	Factor debido al tipo de la helicoidal
CF_3	Factor debido al uso de paletas
f_d	Factor del diámetro del transportador helicoidal
f_b	Factor del buje para colgante
f_f	Factor del tornillo helicoidal
f_m	Factor del material a transportar
f_p	Factor del helicoide
C_{dir}	Factor direccional
$C_{s;c;d}$	Factor estructural
C_{season}	Factor estacional

f_0	Factor de sobre carga
Q	Flujo másico del material que se transporta
\dot{m}	Flujo másico
$V_{c,muerta}$	Fuerza cortante en la viga
F_{Av}	Fuerza de avance
$F_{fricción}$	Fuerza de fricción
$F_{a;1}$	Fuerza en la columna cuando las tolvas están vacías
F_h	Fuerza horizontal
$F_{3,vertical}$	Fuerza necesaria para mover verticalmente el material
$F_{2,llena}$	Fuerza necesaria para mover el material
$F_{1,vacia}$	Fuerza necesaria para mover la banda vacía
$F_{A,vacia;sup}$	Fuerza necesaria para mover la faja vacía sobre los rodillos superiores
$F_{R,vacia;net}$	Fuerza necesaria para mover la faja vacía sobre los rodillos de retorno distancia
$R_{t;m;bti}$	Fuerza resultante sobre tambor motriz
$R_{t;no;m;bti}$	Fuerza resultante sobre tambor no motriz
$F_{total;bt;i}$	Fuerza total en la banda transportadora
$F_{W;TAi}$	Fuerza del viento en la tolva de almacenamiento
W	Fuerza del viento
ΔT	Gradiente de temperatura
g	Gravedad
I	Inercia
$L_{bt;i}$	Largo de la banda transportadora
L_{cr}	Longitud crítica
I_h	Longitud de la pared de la tolva
L_d	Longitud de la helicoidal
L_{viga}	Longitud de la viga
L	Longitud de la columna
L_{ta}	Longitud de tubería de agua
L_e	Longitud eficaz
L_{total}	Longitud total de tubería para sistema neumático
L_i	Longitud total del transportador helicoidal
θ	Máximo ángulo de sobre carga entre los materiales transportados
C_0	Máximo coeficiente de mayoración de la presión sobre las paredes
m_{faja}	Masa de la faja por metro lineal del transportador
$m_{rodillos}$	Masa de los rodillos a una distancia de un metro entre si
e	Mayor valor entre e_i y e_o
H	Medida de la trayectoria vertical cuando se eleva el material
b_{TAi}	Medida horizontal de la tolva
h_{TA2}	Medida vertical proyectada de la tolva

E	Módulo de elasticidad
I	Momento de inercia del tubo
$M_{C;muerta}$	Momento en viga por carga muerta
$M_{a;C;m}$	Momento en viga en nodo
$M_{bti;m}$	Momento flector en el tambor motriz
$M_{bti;no;m}$	Momento flector en el tambor no motriz
n_c	Numero de ciclos completos por minuto
n_i	Numero de ensayos consecutivos de resistencia
N_c	Numero de efectos del cilindro
Re_d	Numero de Reynolds
\dot{V}	Parámetro de caudal
η	Parámetro de eficiencia
t	Parámetro de tiempo
v	Parámetro de velocidad
x, z_0	Parámetro empleado en el cálculo de las presiones en la tolva
h_k	Perdidas debido a los accesorios utilizado en todo el ramal
h_p	Perdidas en la tubería
h_f	Perdidas por fricción
U_{pi}	Perímetro interior
b_0	Peso compactado del agregado grueso
W_{bl}	Peso de la faja
q_p	Peso de la faja y partes rodantes con respecto a 1 metro
W_m	Peso del material
q_m	Peso del material que se transporta por metro
$W_{C;muerta}$	Peso distribuido en la viga
$W_{d,i}$	Peso total de la helicoidal
$W_{faja;rod}$	Peso total de los rodillos y la faja
M_{pm}	Peso por metro lineal de material transportado
$W_{est;tpa}$	Peso propio de la tolva pesadora de agregados
$W_{est;ta}$	Peso propio de la tolva de agregados
W_{bti}	Peso propio de la banda transportadora
$M_{dis;C;m}$	Peso propio de diseño
W_a	Peso propio presente en la columna
b	Peso unitario seco del agregado grueso
a_g	Porcentaje de absorción del agregado grueso
a_f	Porcentaje de absorción del agregado fino
W_g	Porcentaje de humedad del agregado grueso
W_f	Porcentaje de humedad del agregado fino
q_p	Presión correspondiente a la velocidad pico
q_b	Presión correspondiente a la velocidad media
P_i	Presión de agua, siendo $i=1$ y 2

P	Presión de trabajo para sistema neumático
P_{wf}	Presión de rozamiento en la pared tras el llenado de las tolvas
p_t	Presión de rozamiento sobre la pared de la sección cónica
p_{wc}	Presión de rozamiento en la pared durante el vaciado
p_{hc}	Presión de rozamiento horizontal durante el vaciado
P_w	Presión de rozamiento en la pared en la sección vertical
P_{hf}	Presión horizontal tras el llenado de las tolvas
p_p	Presión local de vaciado
p_n, p_{ni}	Presión normal a la pared inclinada de la tolva, siendo $i=1,2$ y 3
p_r	Presión resultante sobre la sección cónica
P_v	Presión vertical de vida al material almacenado
p_{v0}	Presión vertical tras el llenado en la base de la sección de paredes verticales
\mathbb{P}	Potencia de la bomba de agua
$P_{motor;bti}$	Potencia del motor de la banda transportadora
$HP_{lift;i}$	Potencia para levantar el material
$HP_{m;i}$	Potencia para mover el material en el transportador helicoidal
$HP_{f;i}$	Potencia para mover el transportador helicoidal vacío
$P_{h;mat}$	Potencia para traslado horizontal
$P_{v;mat}$	Potencia para traslado vertical
$P_{fricción}$	Potencia por fricción
$P_{guías;bti}$	Potencia por guías
$HP_{total;i}$	Potencia total
$P_{teórica;bti}$	Potencia teórica de la banda transportadora
z	Profundidad
r_{giro}	Radio de giro
$R_{a;C;muerta}$	Reacción en nodo
K_s	Relación de presiones horizontal y vertical
f'_c	Resistencia a la compresión
V_c	Resistencia al Corte
X_i	Resistencia de la probeta de concreto
f'_{cr}	Resistencia promedio a la compresión
\bar{X}	Resistencia promedio de n probetas
Ke	Rentabilidad exigida por el inversionista
Rm	Rentabilidad del mercado
Rpm_{max}	Revoluciones por minuto máximo
$RPecu$	Riesgo país de Ecuador
ε_m	Rugosidad absoluta en el interior de los ductos
A_{ta}	Sección transversal de la tubería de agua
S_A	Superficie de avance
A	Superficie de la sección transversal de la sección de las paredes verticales

T	Tasa de impuesto a renta
R_f	Tasa libre de riesgo
T_{in}	Temperatura de entrada
T_{out}	Temperatura de salida
$t_{vuelta;bti}$	Tiempo que la faja tarda en dar una vuelta completa
$Torque_{bti}$	Torque del tambor de la banda transportadora
$Torque_{th;i}$	Torque del tornillo helicoidal
I_0	Valor destinado a aumentar la distancia entre ejes
μ	Valor de proyecto del coeficiente de rozamiento de la pared
$V_{b;0}$	Valor fundamental de la velocidad básica del viento
μ_m	Valor medio del coeficiente de rozamiento de la pared
$k_{s,m}$	Valor medio de la relación entre las presiones horizontal y vertical
Δz	Variación de altura
x	Variable de longitud
ω_T	Velocidad angular del tambor
ω_{ro}	Velocidad angular de los rodillos
V_b	Velocidad básica del viento
$V_{c, a1rpm}$	Velocidad del tornillo helicoidal a 1 rpm
N_i	Velocidad de un transportador helicoidal en rpm, siendo $i=1$ y 2

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.1. Diagrama de proceso de la utilización del hormigón.....	6
FIGURA 1.2. Gráfica probabilística de la resistencia de diseño a la compresión	11
FIGURA 1.3. Curva esfuerzo – deformación de muestras cilíndricas de hormigón .	12
FIGURA 1.4. Resistencia al corte del hormigón.....	14
FIGURA 1.5. Representación de la formación e hidratación del cemento Portland.	17
FIGURA 1.6. Planta de mezclado.....	23
FIGURA 1.7. Planta de dosificación.....	23
FIGURA 1.8. Planta de graba y cemento.....	24
FIGURA 1.9. Plantas Combinada.....	24
FIGURA 1.10. Planta fija.....	25
FIGURA 1.11. Planta móvil.....	25
FIGURA 1.12. Planta modular.....	26
FIGURA 1.13. Planta vertical.....	27
FIGURA 1.14. Planta horizontal.....	27
FIGURA 1.15. Diagrama del proceso de producción de hormigón.....	29
FIGURA 1.16. Distribución porcentual de permisos de construcción emitidos en el 2012	34
FIGURA 1.17. Superficies proyectadas con fines de construcción.....	34
FIGURA 1.18. Utilización del Hormigón	35
FIGURA 2.1. Dimensiones de camión mezclador.....	44
FIGURA 2.2. Capacidad máxima de hormigón	70
FIGURA 2.3. Vista interna del tambor de un camión mezclador	70
FIGURA 2.4. Cargador de ruedas para dosificación de agregados.....	76
FIGURA 2.5. Diseño de forma.....	81
FIGURA 3.1. Tolvas de cemento y agregados.....	82

FIGURA 3.2. Forma de los silos, dimensiones y notación de las presiones	85
FIGURA 3.3. Límite entre el flujo en masa y en embudo en tolvas cónicas y en forma de cuña.....	87
FIGURA 3.4. Cargas en la tolva y fuerzas de tracción en la parte superior de la tolva	90
FIGURA 3.5. Dimensionamiento de tolva de cemento	93
FIGURA 3.6. Presión vertical de llenado vs vaciado sobre el cuerpo de la tolva de almacenamiento de cemento	94
FIGURA 3.7. Presión horizontal de llenado vs vaciado sobre el cuerpo de la tolva de almacenamiento de cemento	94
FIGURA 3.8. Presiones sobre la sección cónica de la tolva de almacenamiento de cemento.....	95
FIGURA 3.9. Deformación total (a) y Esfuerzo equivalente von mises (b) en tolva de almacenamiento de cemento	96
FIGURA 3.10. Factor de seguridad estático (a) y factor de seguridad a fatiga (b) en tolva de almacenamiento de cemento.....	96
FIGURA 3.11. Espesor de las paredes de la tolva de almacenamiento de cemento	97
FIGURA 3.12. Dimensionamiento de tolva pesadora de cemento	98
FIGURA 3.13. Presión vertical de llenado vs vaciado sobre el cuerpo de la tolva pesadora de cemento	98
FIGURA 3.14. Presión horizontal de llenado vs vaciado sobre el cuerpo de la tolva pesadora de cemento	99
FIGURA 3.15. Presiones sobre la sección cónica de la tolva pesadora de cemento	99
FIGURA 3.16. Deformación total (a) y Esfuerzo equivalente von mises (b) en tolva pesadora de cemento	100
FIGURA 3.17. Factor de seguridad estático (a) y factor de seguridad a fatiga (b) en tolva pesadora de cemento.....	101
FIGURA 3.18. Espesor de las paredes de la tolva pesadora de cemento.....	101
FIGURA 3.19. Dimensionamiento de tolva de almacenamiento de agregados	102
FIGURA 3.20. Presión vertical de llenado vs vaciado sobre el cuerpo de la tolva de almacenamiento de agregados.....	103
FIGURA 3.21. Presión horizontal de llenado vs vaciado sobre el cuerpo de la tolva de almacenamiento de agregados	103

FIGURA 3.22. Deformación total (a) y Esfuerzo equivalente von mises (b) en tolva de almacenamiento de agregados.....	105
FIGURA 3.23. Factor de seguridad estático (a) y factor de seguridad a fatiga (b) en tolva de almacenamiento de agregados	106
FIGURA 3.24. Espesor de las paredes de la tolva de almacenamiento de agregados	107
FIGURA 3.25. Dimensionamiento de tolva pesadora de agregados	107
FIGURA 3.26. Presión vertical de llenado vs vaciado sobre el cuerpo de la tolva pesadora de agregados	108
FIGURA 3.27. Presión horizontal de llenado vs vaciado sobre el cuerpo de la tolva pesadora de agregados	109
FIGURA 3.28. Presiones sobre la sección cónica de la tolva pesadora de agregados	109
FIGURA 3.29. Deformación total (a) y Esfuerzo equivalente von mises (b) en tolva pesadora de agregados	111
FIGURA 3.30. Factor de seguridad estático (a) y factor de seguridad a fatiga (b) en tolva pesadora de agregados	112
FIGURA 3.31. Espesor de las paredes de la tolva pesadora de agregados.....	113
FIGURA 3.32. Válvulas rotativas	114
FIGURA 3.33. Tornillos helicoidales 1 y 2.....	119
FIGURA 3.34. Componentes de tornillo helicoidal 1	129
FIGURA 3.35. Helicoidal.....	131
FIGURA 3.36. Tornillos helicoidales con forma de helicoide y de paso tipo estándar	131
FIGURA 3.37. Tubo de tornillo helicoidal.	132
FIGURA 3.38. Tipos de ejes utilizados para los transportadores helicoidales 1 y 2	133
FIGURA 3.39. Artesa tubular	134
FIGURA 3.40. Tipos de bridas utilizadas en los tornillos helicoidales 1 y 2.....	134
FIGURA 3.41. Elementos de sujeción del eje	135
FIGURA 3.42. Sujetador	136
FIGURA 3.43. Bocín de fijación para chumacera.....	136
FIGURA 3.44. Bocas de entrada y salida	137
FIGURA 3.45. Chumacera.....	137

FIGURA 3.46. Motor	138
FIGURA 3.47. Forma de hélice	139
FIGURA 3.48 Configuración de trayectoria de los tornillos helicoidales 1 y 2	140
FIGURA 3.49. Ubicación de bandas transportadoras	143
FIGURA 3.50. Trayectoria de bandas transportadoras	149
FIGURA 3.51. Rodillos acanalados	150
FIGURA 3.52. Rodillos de retorno	151
FIGURA 3.53 Geometría de los rodillos acanalados	151
FIGURA 3.54. Tensión efectiva	159
FIGURA 3.55. Esquema de las estructuras de la planta	179
FIGURA 3.56. Dimensiones de los módulos A, B y C	181
FIGURA 3.57. Distribución de cargas en tolvas.	182
FIGURA 3.58. Distribución de cargas en equipos.	183
FIGURA 3.59. Prevención, acumulación de agua y suciedad	186
FIGURA 3.60. Eliminación de imperfecciones en la superficie de la soldadura.....	186
FIGURA 3.61. Esquema de distribución de fuerzas en las vigas y columnas.....	187
FIGURA 3.62. Caso de Pandeo.....	193
FIGURA 3.63. Leyenda de altura y área de referencia de áreas proyectadas.....	195
FIGURA 3.64. Espectro sísmico del Código Uniforme de Construcción (UBC 97)	198
FIGURA 3.65. Diagrama de Cuerpo libre del caso inicial de análisis en SAP 2000	199
FIGURA 3.66. Graficas de fuerzas cortantes y momentos del caso inicial de análisis en SAP 2000.	200
FIGURA 3.67. Menú de modelados de SAP 2000	201
FIGURA 3.68. Modelado de la estructura en 3D.....	202
FIGURA 3.69. Interfaz de selección de perfiles estructurales.	203
FIGURA 3.70. Fuerzas ingresadas en el modelado 3D de SAP 2000.....	204
FIGURA 3.71. Modelado Sísmico de SAP 2000.	204
FIGURA 3.72. Porcentaje de utilización en el modelado 3D de SAP 2000	205
FIGURA 3.73. Cargas para modelado de izaje en SAP 2000.	206
FIGURA 3.74. Porcentaje de utilización en el izaje del “modulo A” en SAP 2000.	206
FIGURA 3.75. Perfiles de la estructura de la planta	209

FIGURA 3.76. Esquema de soportes de los tornillos helicoidales 1 y 2	210
FIGURA 3.77. Esquema de soportes de las bandas transportadoras 1 y 2	211
FIGURA 3.78. Ubicación del cuarto de control.....	212
FIGURA 3.79. Diagrama del sistema hidráulico.....	213
FIGURA 3.80. Boquilla para agua.....	219
FIGURA 3.81. Distribución del sistema neumático en la planta	226
FIGURA 3.82. Diagrama de flujo del sistema de aire comprimido.....	227
FIGURA 3.83. Fuerzas de tracción en la parte inferior de la tolva.....	228
FIGURA 3.84. Tolva de transición para compuerta tipo almeja simple.....	229
FIGURA 3.85. Aperturas de compuerta tipo almeja simple	231
FIGURA 3.86. Máxima apertura de compuerta tipo almeja simple.....	231
FIGURA 3.87. Vista Lateral de tolva de agregados.....	231
FIGURA 3.88. Carrera de pistón a un giro de 48°	232
FIGURA 3.89. Carrera de pistón a un giro de 68°	232
FIGURA 3.90. Tolva de transición para compuerta tipo almeja doble	238
FIGURA 3.91. Apertura de 37° de compuerta tipo almeja doble	240
FIGURA 3.92. Apertura de 42° de compuerta tipo almeja doble	240
FIGURA 3.93. Máxima apertura de compuerta tipo almeja doble	240
FIGURA 3.94. Vista Lateral de tolva pesadora de agregados.....	241
FIGURA 3.95. Carrera de pistón a un giro de 37°	241
FIGURA 3.96. Carrera de pistón a un giro de 42°	242
FIGURA 3.97. Válvula guillotina.....	245
FIGURA 3.98. Diámetro de cuerpo y de salida de tolva de almacenamiento de cemento.....	245
FIGURA 3.99. Diámetro de cuerpo y de salida de tolva pesadora de cemento.....	247
FIGURA 3.100. Compresor de pistón Ingersoll Rand.....	252
FIGURA 3.101. Unidad de mantenimiento FESTO	253
FIGURA 3.102. Esquema de ubicación de filtros de mangas.....	254
FIGURA 3.103. WAMFLO® Flanged Round Dust Collectors	258
FIGURA 3.104. HOPPERTOP Weigh Hopper Venting Filter.....	261
FIGURA 3.105. Sistema de gestión de riesgos	262
FIGURA 1.106. Panel de control para mezclas de hormigón	268

FIGURA 3.107. Generador eléctrico GEP65-9.....	270
FIGURA 3.108. Arreglo de los grupos a ser transportados.	272
FIGURA 3.109. Espacio físico de los grupos en sus respectivas plataformas.....	274
FIGURA 3.110. Espacio físico requerido para la operación de la planta.	275
FIGURA 3.111. Montaje de tolva de agregados.....	276
FIGURA 3.112. Montaje de la tolva pesadora de cemento	277
FIGURA 3.113. Montaje de válvulas guillotina 2, rotatoria 2, tornillo helicoidal 2 y estructura de soporte.....	278
FIGURA 3.114. Montaje de la tolva de cemento.	279
FIGURA 3.115. Válvula guillotina 1, rotatoria 1, tornillo helicoidal 1 y estructura de soporte.	280
FIGURA 3.116. Montaje del taque de agua, generador eléctrico y compresor de aire.	281
FIGURA 3.117. Montaje de filtros de mangas y escalera.....	282
FIGURA 3.118 Medidas geométricas para realizar excavación de tierra	283
FIGURA 3.119. Medidas geométricas para la construcción de la rampa para dosificar materia prima en la tolva de agregados.....	284
FIGURA 4.1. Información de la empresa comparable	305

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1 Módulos de elasticidad de hormigones más comunes	12
TABLA 2 Índices de ductilidad	13
TABLA 3 Resistencia a la tracción	14
TABLA 4 Resistencia al corte	15
TABLA 5 Compuestos principales en el cemento portland.....	16
TABLA 6 Calor de hidratación para cementos	18
TABLA 7 Factor de corrección para desviación estándar.....	53
TABLA 8 Resistencia a la compresión promedio	55
TABLA 9 Consistencia y asentamiento	55
TABLA 10 Relación a/c y resistencia a la compresión del hormigón.....	56
TABLA 11 Requerimientos de agua de mezclado y de contenido de aire para diferentes valores de asentamiento y tamaños máximos de agregados.....	57
TABLA 12 Contenido de agua de mezcla	59
TABLA 13 Volumen de agregado grueso por unidad de volumen de hormigón	61
TABLA 14 Parámetros para diseño de mezcla	67
TABLA 15 Resultados en masa para 1 m ³ de hormigón	68
TABLA 16 Valores máximos de masa para dimensionamiento del sistema.....	68
TABLA 17 Dosificación de materias primas por ciclo.....	72
TABLA 18 Análisis de tiempos para la secuencia de dosificación de materias primas	72
TABLA 19 Densidad suelta de materias primas.....	73
TABLA 20 Propiedades de los materiales granulados	92
TABLA 21 Tipos de aditivos para la mezcla de hormigon	115
TABLA 22 Material a transportar en tornillo helicoidal	119
TABLA 23 Requerimiento de capacidad de transporte	120
TABLA 24 Código de Clasificación del Material	120

TABLA 25 Clasificación de componentes para cemento	121
TABLA 26 Diámetros del equipo	122
TABLA 27 Capacidad volumetrica del tornillo helicoidal	122
TABLA 28 Componentes para el tornillo helicoidal	123
TABLA 29 Capacidad torsional de los componentes del tornillo helicoidal	127
TABLA 30 Resultados del tornillo helicoidal 1	141
TABLA 31 Resultados del tornillo helicoidal 2.....	142
TABLA 32 Material a transportar en banda transportadora	145
TABLA 33 Requerimientos de bandas transportadoras.....	145
TABLA 34 Características de los materiales a transportar en banda transportadora.....	146
TABLA 35 Código de clasificación del agregado fino	147
TABLA 36 Código de clasificación del agregado grueso	147
TABLA 37 Parámetros y características de los materiales	148
TABLA 38 Parámetros y características de una banda transportadora.....	153
TABLA 39 Parámetros y características de una banda transportadora con respecto al material transportado	153
TABLA 40 Espacio recomendado entre rodillos	154
TABLA 41 Peso de la faja	154
TABLA 42 Peso de los rodillos	154
TABLA 43 Distancia entre apoyos	155
TABLA 44 Tensión mínima de montaje	160
TABLA 45 Selección de la calidad de la cubierta de la faja transportadora	161
TABLA 46 Numero de telas	163
TABLA 47 Espesor para la banda 2	164
TABLA 48 Eficiencia mecánica de equipos reductores de velocidad	168
TABLA 49 Diámetro recomendado del tambor	170
TABLA 50 Ancho mínimo recomendado del tambor	170
TABLA 51 Clasificación de rodillos	175
TABLA 52 Rango de cargas de rodillos	176
TABLA 53 Resultados de la banda transportadora 1	177
TABLA 54 Resultados de la banda transportadora 2	177
TABLA 55 Cargas de equipos y tolvas	188
TABLA 56 Resumen de resultados de la estructura.....	207
TABLA 57 Simulación de velocidad y diámetro de tubería de agua	215

TABLA 58 Listado de pérdidas menores en sistema hidráulico.....	219
TABLA 59 Boquillas para agua	220
TABLA 60 Records históricos de temperatura máxima absoluta mensual – semestre 2014.....	224
TABLA 61 Consumo teórico de aire a 6 bares por 10 mm de carrera	236
TABLA 62 Consumo total de aire comprimido	249
TABLA 63 Ventajas y desventajas de un filtro de mangas	255
TABLA 64 Consumo eléctrico de la planta.....	269
TABLA 65 Vehículos recomendador para transportar la planta.....	273
TABLA 66 Activos intangibles	287
TABLA 67 Inversión en activos de fabricación local.....	288
TABLA 68 Inversión en activos importados.....	289
TABLA 69 Total de inversión en activos tangibles	290
TABLA 70 Sueldos y beneficios.....	292
TABLA 71 Gastos de publicidad	293
TABLA 72 Gastos de servicios básicos	294
TABLA 73 Depreciación.....	294
TABLA 74 Coste de producción por m3 de hormigón	297
TABLA 75 Precio por m3 de hormigón.....	298
TABLA 76 Ingresos.....	300
TABLA 77 Balance Inicial	301
TABLA 78 Estructura de capital	302
TABLA 79 Apalancamiento de la empresa.....	302
TABLA 80 Datos del préstamo bancario	303
TABLA 81 Tabla de amortización anual.....	303
TABLA 82 Estado de resultados	304
TABLA 83 Información de la empresa comparable	305
TABLA 84 Beta de la empresa.....	306
TABLA 85 Índices de la empresa comparable	307
TABLA 86 Riesgo país Ecuador	307
TABLA 87 Tasa mínima requerida.....	308
TABLA 88 Flujo de caja	309
TABLA 89 Cálculo de la TMAR, VAN, TIR y PAYBACK.....	310

ÍNDICE DE PLANOS

- Plano N° 1 Vista general de la planta dosificadora - Apéndice H
- Plano N° 2 Instalaciones de la planta dosificadora - Apéndice H
- Plano N° 3 Vistas principales de la planta dosificadora - Apéndice H
- Plano N° 4 Grupo A para traslado - Apéndice H
- Plano N° 5 Grupo B para traslado - Apéndice H
- Plano N° 6 Grupo C para traslado - Apéndice H
- Plano N° 7 Grupo A montado - Apéndice H
- Plano N° 8 Grupo B montado - Apéndice H
- Plano N° 9 Grupo C montado - Apéndice H
- Plano N° 10 Tolva para almacenamiento de cemento (1) - Apéndice H
- Plano N° 11 Tolva para almacenamiento de agregados (2) - Apéndice H
- Plano N° 12 Tolva pesadora de cemento (3) - Apéndice H
- Plano N° 13 Tolva pesadora de agregados (4) - Apéndice H
- Plano N° 14 Modulo A (5) - Apéndice H
- Plano N° 15 Modulo B (6) - Apéndice H

Plano N° 16 Modulo C (7) - Apéndice H

Plano N° 17 Tornillo helicoidal I y II (8 y 9) - Apéndice H

Plano N° 18 Banda transportadora I (10) - Apéndice H

Plano N° 19 Banda transportadora II (11) - Apéndice H

INTRODUCCIÓN

El presente proyecto corresponde al diseño y modelado virtual de una planta dosificadora de materia prima para la producción de hormigón, ajustando el diseño a las condiciones y necesidades del país, y teniendo como finalidad el fácil acceso a las obras donde exista una gran demanda de hormigón, considerando la región sierra como el mercado más representativo, con el 58% del total de permisos de construcción emitidos en el país, seguido por la región costa que posee el 36%.

Dentro de la formulación del proyecto, en el capítulo 1 se definen todos los puntos preliminares con respecto a la planta y a la producción que resulta de la operación de la misma, considerando las normativas nacionales e internacionales para garantizar su diseño y que sea capaz de cumplir las mayores exigencias de control de calidad.

En el capítulo 2, se efectúa la ingeniería conceptual desarrollada para realizar un diseño acorde a las necesidades, requerimientos y condiciones del país, enfocado en los factores de influencia, las restricciones de diseño, el análisis de capacidad y de tiempos de producción; ya que con esta información se logra dimensionar las capacidades de todos los sistemas de

almacenamiento y los sistemas de transporte, para alcanzar el diseño de forma más adecuado para la planta.

Posteriormente en el capítulo 3, se desarrolla el diseño detallado de cada componente y sistema que componen la planta, llegando a analizar todos los sistemas de dosificación de materias primas, sistemas de transporte, diseño estructural, sistemas auxiliares y las condiciones para el transporte e instalación de la planta, utilizando software ingenieriles como EES[®] (Engineering Equation Solver) y software CAE (Ingeniería Asistida por Computadora, acrónimo en inglés), tales como AutoCAD[®], Inventor Professional[®], y software de elementos finitos como ANSYS[®] y SAP 2000[®].

A continuación en el capítulo 4, se analizó el presupuesto de implementación, donde se evaluó de manera cuantitativa la viabilidad de llevar a cabo este proyecto, enfocando el cálculo de los costos de fabricación local y de los equipos a importar, así como en la estimación del tiempo necesario para la recuperación de la inversión.

Finalmente en el capítulo 5 se describe las conclusiones y recomendaciones que resultan de los análisis realizados en el presente proyecto.

CAPÍTULO 1

1. PROCESO DE HORMIGONADO

1.1. Introducción

Dentro de la evolución creciente, tanto en el país como a nivel mundial, el hormigón ha significado un despunte extraordinario para las diferentes aplicaciones de la construcción; en Ecuador su desarrollo se ha expandido a diferentes campos como importante elemento en la construcción de carreteras, estructuras, edificaciones industriales, entre otras, siendo utilizado dentro y fuera de las ciudades donde pueden existir lugares de difícil acceso para transportar el hormigón pre-mezclado, por lo que los proyectistas acostumbran realizar el montaje de plantas provisionales para efectuar la mezcla.

Debido a este importante crecimiento en la construcción, la demanda de hormigón ha incrementado y las empresas proveedoras de este material se ven en la necesidad de colocar a sus clientes en listas de

espera al no tener disponibilidad para realizar despachos de lo requerido, causando dificultades a los constructores con el avance de sus obras.

Dado este sin número de inconvenientes que se evidencian como parte del día a día, este grupo de trabajo se enfoca en la oportunidad de buscar una solución razonable para diseñar una planta móvil desmontable capaz de dosificar materias primas para la mezcla de hormigón en cualquier sitio con un costo-beneficio razonable tanto para el usuario como para el proveedor del servicio.

Para la consecución de este proyecto de investigación; basado en lineamientos técnicos, logísticos y económicos, se procede a detallar los objetivos generales, específicos y la propuesta de valor a alcanzar en el presente proyecto.

OBJETIVOS GENERALES

- Diseñar una planta móvil dosificadora de materia prima para la producción de hormigón.
- Analizar las zonas críticas de los sistemas estructurales que conforman la planta dosificadora.

- Mejorar la compactibilidad de una planta móvil dosificadora para la elaboración de hormigón, para que sea de fácil transporte y montaje in-situ.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

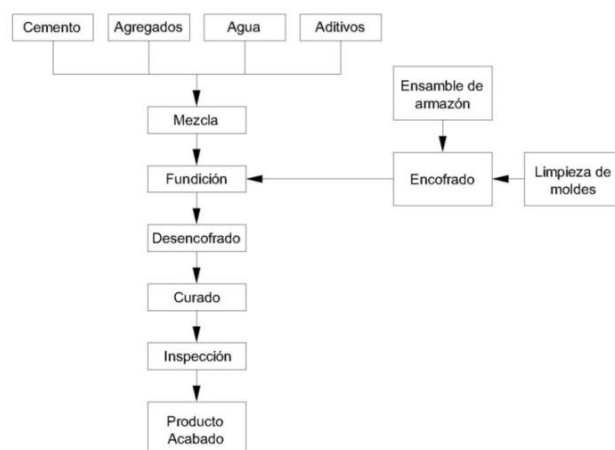
- Diseñar y analizar los elementos mecánicos correspondientes a la planta móvil dosificadora, mediante el uso de software CAD.
- Cumplir con las especificaciones y normativas vigentes nacionales e internacionales de la planta móvil dosificadora de materias primas para la elaboración de hormigón.
- Determinar la factibilidad económica de crear una planta móvil productora de hormigón.

PROPUESTA DE VALOR

Diseñar una planta que permita brindar un servicio de rápida obtención de hormigón en cualquier sitio con o sin limitaciones de acceso para todo tipo de construcción, mediante el uso de herramientas ingenieriles que favorezcan a la ejecución de la ingeniería básica, ingeniería detallada y simulaciones virtuales de todos los elementos y sistemas mecánicos a desarrollarse.

1.2. Hormigón

El hormigón es el resultado de la mezcla de cemento, agregados finos y gruesos, con o sin aditivos y agua; dosificado y mezclado previamente, donde el cemento actúa como conglomerante en la mezcla, ya que este material es capaz de unir uno o varios materiales y dar cohesión al conjunto mediante transformaciones químicas en su masa. El contacto del cemento con el agua da inicio a reacciones químicas de hidratación que convierte la mezcla en una pasta plástica con excelentes propiedades adherentes, confiriéndole al hormigón su fraguado, mientras que los agregados son materiales inertes sin participación directa en los mismos. El orden característico en el proceso de utilización del hormigón puesto en obra se describe en la figura a continuación:



Fuente: Tesis de grado ESPOL, Elaboración de un manual de gestión ambiental basado en la norma ISO 14001:2004 para una empresa hormigonera

FIGURA 1.1. Diagrama de proceso de la utilización del hormigón [1]

Detalle de los elementos constituyentes al proceso de utilización del hormigón.

El cemento, agregados, agua y aditivos, son las materias primas del hormigón.

Mezcla, resulta de la dosificación en cantidades definidas de las materias primas en un orden específico.

Ensamble de armazón, estructura metálica que debe estar limpia al momento de su colocación y sujetarse al encofrado entre sí; de forma que mantengan la posición prevista sin moverse en el vertido y compactación del hormigón.

Limpieza de moldes, al reutilizar un encofrado debe ser limpiado preferentemente con cepillos de alambre; eliminando los restos de mortero que hayan podido adherirse a la superficie.

Encofrado, capaz de contener y soportar el hormigón fresco durante su proceso de endurecimiento; y a su vez mantener la forma deseada sin que se deforme.

Fundición, se la realiza una vez que la armadura y el encofrado estén ubicados, el vertido del hormigón fresco en el interior del encofrado debe ser efectuado evitando que se produzcan segregaciones de la mezcla.

Desencofrado, es realizado cuando el hormigón ha alcanzado el suficiente endurecimiento. Para los cementos portland normales suele ser un periodo que oscila entre 3 y 7 días.

Curado, aplicación de abundante agua al hormigón debido a la perdida por evaporación en el fraguado.

Inspección, se debe reparar todo defecto superficial presente en el hormigón.

Producto acabado, producto confiable, capaz de soportar las cargas de diseño.

1.2.1. Características y comportamiento

Características físicas y mecánicas

Características Físicas

Estas son definidas de las propiedades del hormigón fresco, cuyo producto se obtiene una vez que se han mezclado las materias primas, de lo cual se destaca:

a) Trabajabilidad.- Es la cantidad de trabajo interno útil que se requiere para producir una compactación total. La trabajabilidad depende [2]:

1. *Cantidad de Agua de Amasado*
2. *Granulometría de Agregados*
3. *Forma de los Granos*
4. *Cantidad de cemento*
5. *Uso de Plastificantes*
6. *Temperatura*

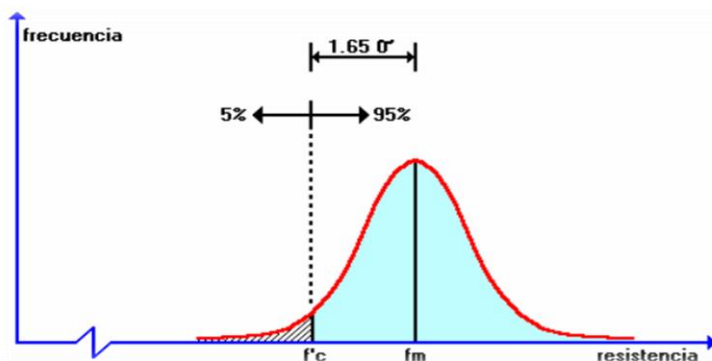
b) Consistencia (Revenimiento de la Mezcla).- Es el grado de viscosidad de una mezcla de hormigón no endurecido, también llamada revenimiento de la mezcla, siendo los más usuales el cono de abrams y la prueba de beve [3].

- c) **Densidad.-** Es importante la relación existente entre la compactación y la resistencia resultante, debido a que la mala compactación provoca una disminución de la resistencia; donde solo un 2% de cavidades provoca una disminución del 10% y un 5% alcanza hasta un 30% en la reducción de la resistencia del hormigón.
- d) **Tiempo de Fraguado.-** Es el tiempo que tarda el hormigón en alcanzar el primer endurecimiento, el cual varía según la relación del cemento con la mezcla, la temperatura del concreto al colarlo, el tipo, la marca del cemento y las condiciones ambientales [4].

Características Mecánicas

El hormigón presenta alta resistencia, cuando es sometido a esfuerzos de compresión, debido a las propiedades adherentes de la pasta de cemento, sin embargo su capacidad de resistencia a la tracción como al esfuerzo cortante son relativamente bajas, por lo tanto es recomendable utilizarlo en situaciones en las que las necesidades a soportar esfuerzos por tracción y cortante sean muy bajas [5].

- a) **Resistencia a la Compresión (f'_c).**- Medida en términos probabilísticos, definiendo que solo 5% de las muestras puedan tener resistencias inferiores a la especificada (figura 1.2).

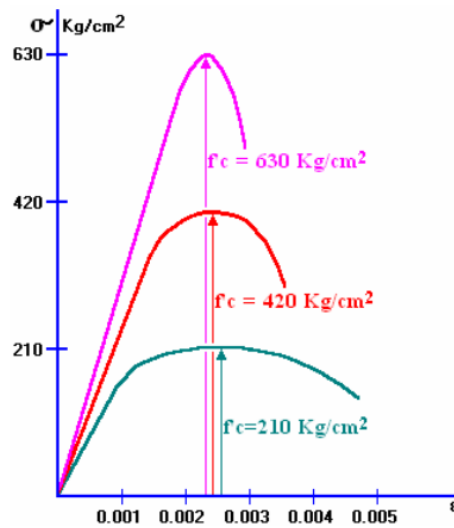


Fuente: Fundamentos de hormigón simple, Marcelo Romo Proaño

FIGURA 1.2. Gráfica probabilística de la resistencia de diseño a la compresión [5]

La resistencia a la compresión de hormigones normales presenta un rango de $(210 - 280 \text{ kg/cm}^2)$ y de mediana resistencia $(350 - 420 \text{ kg/cm}^2)$.

- b) **Módulo de Elasticidad (E_c).**- Es la pendiente de una curva esfuerzo-deformación de muestras cilíndricas de hormigón en el rango de comportamiento lineal.



Fuente: Fundamentos de hormigón simple, Marcelo Romo Proaño

FIGURA 1.3. Curva esfuerzo – deformación de muestras cilíndricas de hormigón [5]

A continuación se presenta una tabla que relaciona la resistencia de los hormigones utilizados con más frecuencia con su módulo de elasticidad.

TABLA 1

Módulos de elasticidad de hormigones más comunes [5]

Resistencia (kg/cm^2)	Módulo de Elasticidad (kg/cm^2)
210	217.000
280	251.000
350	281.000
420	307.000

Fuente: Fundamentos de hormigón simple, Marcelo Romo Proaño

c) Ductilidad.- El índice de ductilidad por deformación, es un excelente referente de la capacidad del hormigón para deformarse por encima de su límite de fluencia, mientras que el índice de ductilidad por energía de deformación se lo emplea como referente de la capacidad del hormigón para disipar energía cuando incursiona dentro del rango de comportamiento inelástico, como en el caso de sismos; en la siguiente tabla se presentan valores aproximados de ductilidad de hormigones en función de la resistencia a la compresión.

TABLA 2

Índices de ductilidad [5]

Resistencia a la Compresión (kg/cm^2)	Índice de Ductilidad por Deformación	Índice de Ductilidad por Energía de Deformación
210	4,5 - 6,0	8,0 - 10,0
280	3,5 - 4,5	6,0 - 8,0
350	3,0 - 3,5	5,0 - 6,0
420	2,5 - 3,0	4,0 - 5,0
630	2,0 - 2,5	3,0 - 4,0
840	1,5 - 2,0	2,0 - 3,0

Fuente: Fundamentos de hormigón simple, Marcelo Romo Proaño

d) Resistencia a la Tracción.- El hormigón es un material ineficiente resistiendo cargas de tracción, es por ello que

en el hormigón armado los esfuerzos de tracción son absorbidos por el acero de refuerzo.

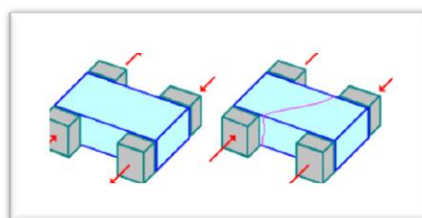
TABLA 3

Resistencia a la tracción [5]

Resistencia a la Compresión (kg/cm^2)	Resistencia a la Tracción (kg/cm^2)
210	22
280	25
350	28
420	31
630	38
840	43

Fuente: Fundamentos de hormigón simple, Marcelo Romo Proaño

- e) Resistencia al Corte (V_c).**— Debido a que las fuerzas cortantes se transforman en tracciones diagonales, la resistencia al corte del hormigón, tiene órdenes de magnitud y comportamiento similares a la resistencia a la tracción.



Fuente: Fundamentos de hormigón simple, Marcelo Romo Proaño

FIGURA 1.4. Resistencia al corte del hormigón [5]

TABLA 4

Resistencia al corte [5]

Resistencia a la Compresión (kg/cm^2)	Resistencia al Corte (kg/cm^2)
210	14
280	17
350	19
420	20
630	25
840	29

Fuente: Fundamentos de hormigón simple, Marcelo Romo Proaño

Características químicas

La pasta de cemento fraguado, es el producto de la reacción del cemento con el agua; es decir, que en presencia del agua los silicatos y aluminatos presentes en el cemento Portland forman productos de hidratación, que a su vez producen una firme y dura masa llamada la pasta de cemento endurecido, donde los compuestos presentes en el cemento son los siguientes [6]:

TABLA 5

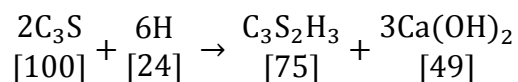
Compuestos principales en el cemento portland [6]

Compuestos principales en el cemento Portland		
Nombre del Compuesto	Nomenclatura Química	Abreviación
Silicato Tricálcico	$3CaO \cdot SiO_2$	C_3S
Silicato Bicálcico	$2CaO \cdot SiO_2$	C_2S
Aluminato Tricálcico	$3CaO \cdot Al_2O_3$	C_3A
Aluminatoferrito Tetracálcico	$4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$	C_4AF

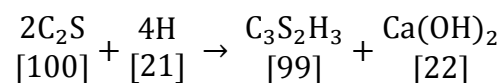
Fuente: Concrete technology, A. M. Neville

Los silicatos de calcio (C_3S y C_2S) son los principales compuestos del cemento; y sus respectivos procesos de hidratación se detallan a continuación:

Para C_3S

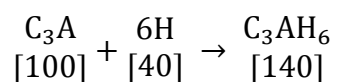


Para C_2S



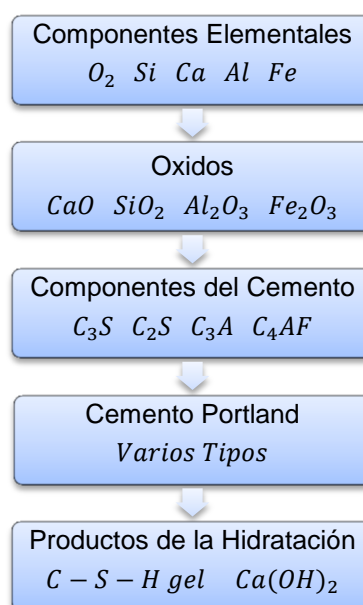
Los valores en corchetes representan la cantidad de masa requerida para la hidratación; donde se puede observar que ambos silicatos requieren aproximadamente la misma cantidad de agua para el proceso. La velocidad de reacción del C_3A es

más rápida que la de los silicatos de calcio; la ecuación de reacción que describe este proceso es la siguiente:



Se puede apreciar en las masas en corchetes que se requiere una mayor proporción de agua que para la hidratación de los silicatos.

A continuación se presenta un esquema donde se resume el patrón de la formación y la hidratación del cemento.



Fuente: Concrete technology, A. M. Neville [6]

FIGURA 1.5. Representación de la formación e hidratación del cemento Portland.

Calor de hidratación y Resistencia

Para muchas reacciones químicas, la hidratación de compuestos de cemento es común que sea exotérmica, para el cemento Portland cerca de la mitad del calor total es liberado entre 1 y 3 días, alrededor de las tres cuartas partes en 7 días y casi el 90 % en 6 meses; de hecho, el calor de hidratación depende de la composición química del cemento; valores típicos se muestran en la siguiente tabla:

TABLA 6

Calor de hidratación para cementos [6]

Calor de Hidratación para Compuestos Puros		
Compuesto	Calor de Hidratación	
	J/g	cal/g
C_3S	502	120
C_2S	260	62
C_3A	867	207
C_4AF	419	100

Fuente: Concrete technology, A. M. Neville

1.2.2. Clasificación

El desarrollo tecnológico del hormigón ha impulsado innumerables avances y mejoras dentro de la industria, ubicándose como elemento de gran importancia en la rama de

la construcción; a continuación se presenta la clasificación de acuerdo a su utilización [7]:

Hormigón Estructural, utilizado en estructuras de edificación u obra civil.

Hormigón para Cimentación, manejado para cimentaciones en las que se requiere un elevado asentamiento y baja o nula segregación.

Hormigón Solares, utilizado en solares con excelentes acabados superficiales.

Hormigón para Pavimentación, un material eficaz para ser sometido a esfuerzos de flexo tracción o cortantes.

Hormigón Autocompactable, es un hormigón que no necesita de energía adicional para su compactación y adecuado encofrado.

Hormigón de alta resistencia, utilizados para ambientes agresivos y donde las estructuras exijan índices de resistencia elevados.

Hormigón proyectado - gunita, permite su aplicación en superficies irregulares en las que no existen encofrados para el sostenimiento del hormigón fresco.

Hormigón ligero, presenta una baja densidad pero con excelentes propiedades de aislamiento térmico y acústico.

Hormigón pesado, material utilizado para la protección frente a radiaciones, gracias a su mayor densidad respecto al hormigón convencional.

Hormigón antibacteriano, caracterizado por la inhibición a la formación y crecimiento de bacterias y hongos; en su exterior e interior.

1.2.3. Materia prima para elaboración

Los materiales considerados como materia prima para la producción de hormigón, son los agregados finos y gruesos, cemento y agua, considerando además el uso de aditivos, de acuerdo al tipo de hormigón a diseñar; estos materiales en la producción de hormigón deben cumplir con parámetros establecidos según normas y especificaciones nacionales e internacionales.

AGUA, en la producción de hormigón generalmente se utiliza agua que debe satisfacer los requisitos establecidos en la norma INEN 1108:2011, considerando además que para agua de dudosa procedencia (no potable), se deben aplicar las

especificaciones de la norma técnica INEN 1855-1:2001 [4] [8] [9].

AGREGADOS, los agregados usados se obtienen de un estricto proceso de tamizado, el cual influye en la resistencia mecánica del hormigón; están clasificados en: agregados finos y agregados gruesos.

El agregado fino, se consideran a la arena natural, artificial, o una mezcla de ambas, donde la norma INEN 872 detalla los requisitos que el agregado fino debe cumplir antes de ser utilizado para la producción de hormigón [10].

El agregado grueso, contienen partículas de mayor tamaño que el agregado fino, se considera a la grava, grava triturada, piedra triturada o una mezcla de éstas como agregado grueso, siempre que cumplan con los requisitos de la norma INEN 872 [10].

En el apéndice A, se muestran las especificaciones y normas que deben ser consideradas antes de utilizar un agregado fino o grueso para la producción de hormigón, para mayor

información se puede consultar en la norma internacional ASTM C94 [11].

ADITIVOS, los aditivos son elementos que se agregan antes o durante el proceso de mezcla del hormigón, los cuales permiten mejorar ciertas propiedades, aunque puede causar afectaciones a otras [2].

Efectos de los aditivos en el hormigón

- Producción económica del hormigón
- Mejora de propiedades del hormigón
- Mantiene la calidad del hormigón en climas agresivos
- Facilita mezcla, transporte, colocación y curado

CEMENTO, actualmente, en Ecuador la producción de cemento se realiza según lo contemplado en la norma NTE INEN 2380:2011, ésta resolución no impone límites a los compuestos químicos que se utilizan para producir cementos, la misma que se encarga de clasificar a los cementos hidráulicos de acuerdo a sus requisitos de desempeño [12] [13].

1.3. Tipos de plantas hormigoneras

Las plantas hormigoneras se clasifican:

Según el tipo de producción de hormigón

- **Plantas de mezclado:** Productoras de hormigón pre mezclado, utilizando un sistema de mezclado y homogenización.



Fuente: Plantas dosificadoras de hormigón CIFA

FIGURA 1.6. Planta de mezclado.

- **Plantas de dosificación:** Realizan la mezcla de cada uno de los materiales dentro del camión hormigonero (Mixer).



Fuente: Plantas dosificadoras de hormigón CIFA

FIGURA 1.7. Planta de dosificación.

- **Plantas de grava y cemento:** Planta productora de hormigón, producto de la mezcla de grava con cemento.



Fuente: Plantas de hormigón BARYVAL

FIGURA 1.8. Planta de grava y cemento.

- **Plantas combinadas:** Combina la producción de hormigón de las plantas de mezclado y de dosificación.



Fuente: Plantas de hormigón BARYVAL

FIGURA 1.9. Plantas Combinada.

Según la movilidad de las plantas

- **Plantas fijas:** Son plantas diseñadas con el objeto de permanecer en un lugar específico, para la producción del hormigón.



Fuente: Plantas de hormigón BARYVAL

FIGURA 1.10. Planta fija.

- **Plantas móviles:** Plantas diseñadas para producir hormigón en un sitio y luego de culminar su trabajo, ser desmontada y trasladada a otro sitio, permitiendo que toda la planta sea de fácil transporte.



Fuente: Plantas dosificadoras de hormigón CIFA

FIGURA 1.11. Planta móvil.

- **Plantas modulares:** Son las plantas diseñadas con el fin de producir hormigón en varios lugares similar a las plantas móviles, con la diferencia que son fabricadas en varios módulos estructurales para fácil transportación.



Fuente: Plantas dosificadoras de hormigón CIFA

FIGURA 1.12. Planta modular.

Según el almacenaje de agregados

- **Plantas verticales:** Almacenan los agregados mediante un sistema de elevación, permitiendo que éstos se encuentren ubicados por encima de la entrada al tambor del camión hormigonero, facilitando una fácil dosificación del material.



Fuente: Plantas de hormigón BARYVAL

FIGURA 1.13. Planta vertical.

- **Plantas Horizontales:** Este tipo de plantas almacenan los agregados a nivel del suelo, por lo que para ser dosificado el agregado se eleva hasta llegar a la boca del tambor de camión hormigonero (Mixer).



Fuente: Plantas dosificadoras de hormigón CIFA

FIGURA 1.14. Planta horizontal.

1.4. Proceso de hormigonado

Para el presente trabajo de investigación se define al “**proceso de hormigonado**” como el agente encargado de dosificar y mezclar proporciones definidas de agregado fino, agregado grueso, cemento, agua y aditivos en el tambor de un carro mezclador (mixer).

1.4.1. Descripción del proceso

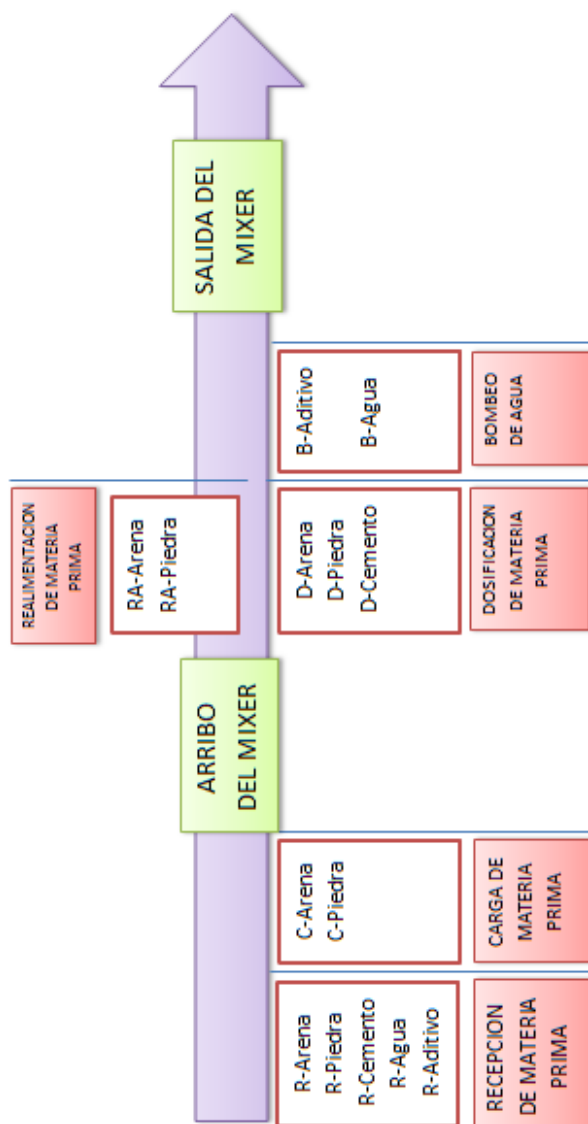
Diagrama del proceso de producción de la planta

En la figura 1.15 se indica gráficamente las actividades que están involucradas de manera general, durante el proceso de producción y despacho de hormigón.

1.4.2. Equipos requeridos

Para el diseño de la planta, se han considerado los equipos que satisfagan el buen aprovechamiento y uso de la misma, para lo cual se ha clasificado en tres grupos, como se indica a continuación:

- **Equipos principales**, son considerados, los que influyen directamente en el almacenamiento y en el proceso de dosificación de la materia prima, como son las tolvas de almacenamiento, tolvas pesadoras, banda transportadora y tanque de agua.



Elaborado por: César Mejía, Marlon Cando, 2015

FIGURA 1.15. Diagrama del proceso de producción de hormigón.

- **Equipos auxiliares**, están incluidos todos los sistemas de distribución que brindan su servicio a la planta, como son

los sistemas de aire comprimido, bombeo, recolector de polvo y generador eléctrico.

- **Equipos complementarios**, son los equipos adicionales que ayudan al correcto funcionamiento de la planta, siendo estos los dispositivos electrónicos, válvulas, filtros, celdas de carga, vibradores, controladores, etc.

En el apéndice B, se adjuntan las tablas con la distribución de los equipos por grupos.

1.5. Normalización

Las normativas nacionales e internacionales, son pautas establecidas y aprobadas por organismos competentes, las cuales proporcionan una serie de reglas, directrices y características para las actividades de control de calidad, a fin de lograr la optimización de la calidad.

1.5.1. Normas Nacionales

Para el desarrollo de este proyecto, se considera utilizar algunas de las normativas existentes en el País, las cuales se encuentran disponibles en el Instituto Nacional Ecuatoriano de Normalización (INEN), las mismas que son una importante

guía para el buen cumplimiento de las exigencias requeridas en el territorio ecuatoriano; este listado se encuentra detallado en el apéndice C, tabla C1.

1.5.2. Normas Internacionales

Un diseño debe cumplir con normativas propias de su País, lo cual permite constar dentro de las exigencias de calidad del producto que se ofrece, pero además se encuentran cierto grupo de normas internacionales que deben ser utilizadas cuando en el país no exista una norma nacional que respalde el diseño que se esté realizando, ya que estas ayudan a realzar, mejorar gestiones y controles operacionales que brindan una mayor competitividad en el mercado y mejora continua del producto. El listado de las normas utilizadas se encuentra detallado en el apéndice C, tabla C2.

1.6. Justificación del proyecto

1.6.1. Análisis de mercado

Con el propósito de evaluar de una manera clara, la estimación de la demanda del uso del hormigón en el Ecuador, consideramos que es de gran importancia realizar una

recopilación de datos secundarios; ya que el análisis de esta información, permitirá comprender e interpretar los datos, desde una perspectiva amplia y objetiva [14].

Serie histórica de permisos de construcción

Como fuente principal utilizamos el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), donde se obtiene información detallada acerca de los permisos concedidos en el año 2012, los cuales corresponden a un valor de 36,617 [14].

Para contar con una estadística de registro de construcciones, se obtuvo datos desde el año 2000 hasta el 2012, de construcciones residenciales, no residenciales y viviendas proyectadas en el mismo periodo, gráficos que se detallan en el apéndice D, gráfico D.1.

Número de permisos de construcción a nivel nacional

Dentro de los permisos de construcción en el País, se puede considerar que la Sierra registra el mayor número de permisos emitidos con el 57.9%; siendo la provincia con mayor participación la de Pichincha con el 24.4% en Ecuador y 42.2% en la Región.

La Costa posee el 36.1% de los permisos concedidos en Ecuador, donde la provincia del Guayas representa el 17.4% a nivel nacional y el 48.2% en esta Región, cabe indicar que la amazonia y la región insular emitieron el 6% de permisos para construcción en Ecuador [14].

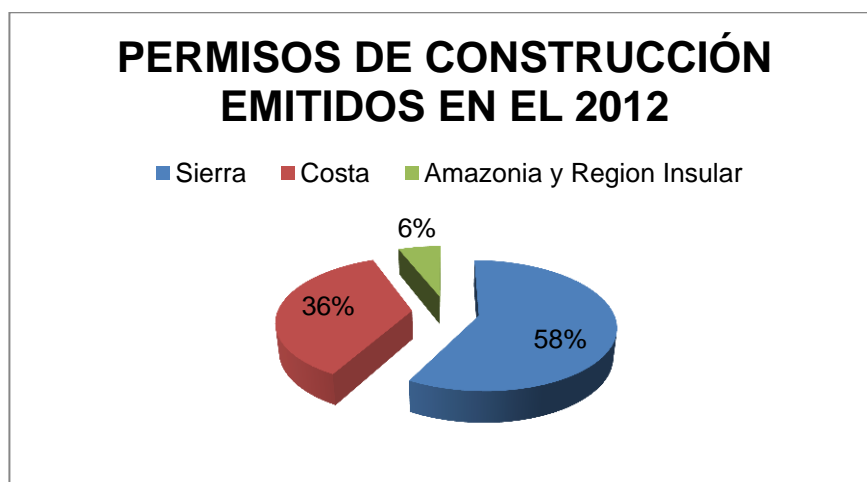
En la figura 1.16 se muestra de manera gráfica los datos mencionados de la información de los porcentajes de permisos de construcción en el Ecuador, tanto para la región sierra, costa y, amazonia y región insular, para la mejor visualización de la información.

En el apéndice D, grafico D.2., se encuentran gráficos detallados de la distribución porcentual de los permisos de construcción según las regiones y provincias del Ecuador.

Superficies

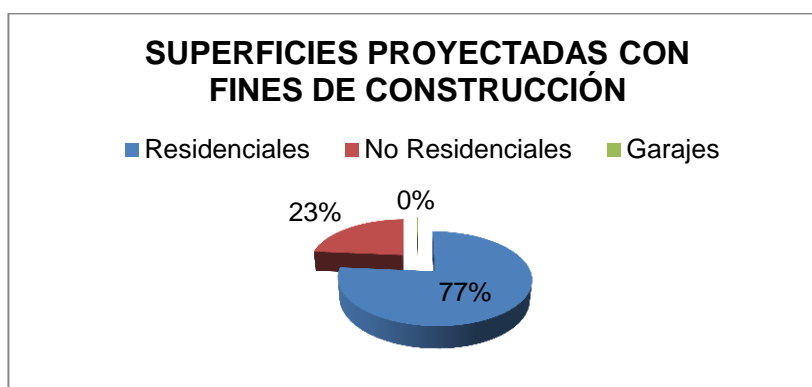
El año 2012 se proyectó 11'957,955 m² de superficie para la construcción; de esta cantidad el 76.4% fueron por requerimientos residenciales, con necesidades no

residenciales el 23.3% y para la construcción de garajes el 0.3%, lo cual se detalla en la figura 1.17 [14]



Fuente: Encuesta anual de edificaciones (Permisos de construcción) 2012

FIGURA 1.16. Distribución porcentual de permisos de construcción emitidos en el 2012 [14]



Fuente: Encuesta anual de edificaciones (Permisos de construcción) 2012

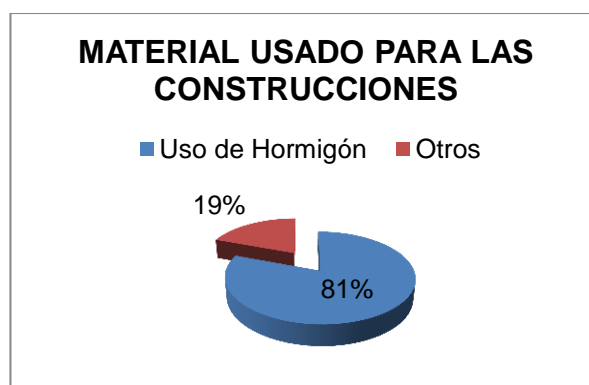
FIGURA 1.17. Superficies proyectadas con fines de construcción [14]

Materiales utilizados en la edificación

De los 36,617 permisos entregados para la construcción durante el año 2012, el 80.7% de las edificaciones proyectó el uso de hormigón para construir sus cimentaciones, del cual el 94.4% fue empleado para su estructura, como se muestra en la figura 1.18 [14].

Análisis

De los 36.617 permisos emitidos en el País durante el año 2012 para la construcción, la provincia de Pichincha ha efectuado un mayor porcentaje de construcciones, con el 24.4%; es decir 8,934, seguido por el Guayas con el 17.4% lo que equivale a 6,371.



Fuente: Encuesta anual de edificaciones (Permisos de construcción) 2012

FIGURA 1.18. Utilización del Hormigón [14]

De la información obtenida en el año 2012 que corresponde a 18'812,430 m² de superficie en el Ecuador, 11'957,955 m² de área se proyectó para la construcción, el 76.4% con requerimientos residenciales, es decir en la cantidad de 9'135,877 m² existe la mayor probabilidad de utilizar hormigón para construcciones residenciales.

Conclusiones del análisis

Del estudio efectuado, se puede mencionar que las provincias del Pichincha y Guayas, representan la mayor actividad de construcciones en el país, convirtiéndolas en el mercado más importante a nivel nacional y orientando a trabajar la planta hormigonera en dichas regiones. Otro punto relevante indica claramente que existe una fuerte tendencia a utilizar hormigón como material principal de construcción; como en: cimientos y estructuras.

Además que existe una mayor tendencia de construcción con fines residenciales, por lo que este proyecto de graduación está orientado a buscar satisfacer dicha demanda, siendo capaz de producir el tipo de hormigón necesario para este mercado.

1.6.2. Justificación técnica

El país se encuentra constantemente evolucionando y parte de este crecimiento se puede apreciar en proyectos que realiza Nuestros Gobiernos y Municipalidades, tales como: Plantas Energéticas, Escuelas, Carreteras, Edificios, Puentes, etc.

El hormigón es el material que frecuentemente se presenta en dichas construcciones, su presencia es esencial y dependiendo del proyecto se requiere en diferentes cantidades. En Ecuador existen empresas que ofrecen diferentes Tipos de Hormigones, dedicándose exclusivamente a la producción y venta del mismo.

Bajo estas circunstancias uno de los factores más influyentes para el avance de una obra de construcción es “el transporte”, esto ocurre por los elevados costos que se presentan debido al uso de diferente tipo maquinaria involucrada, estos valores varían dependiendo de la ubicación de la obra. Específicamente en el caso del hormigón, el traslado de los carros mezcladores que transportan el material (Mixer) dependerá del factor “tiempo”, es decir; Estos vehículos tienen

un tiempo determinado para llegar a su destino debido a que corren el riesgo de que el hormigón se endurezca, tornando como un tema delicado el asunto del transporte de hormigón. Y gran parte de estos proyectos son desarrollados en lugares que no brindan facilidades de acceso, por ende la complejidad de la obra se incrementa debido a su ubicación.

La solución para estos casos es “la producción de hormigón en obra”, lo cual facilita las construcciones afectando positivamente estos proyectos de construcción acelerando su tiempo de culminación.

En el medio industrial algunas empresas optan por improvisar una planta que les permita producir hormigón en obra. Las plantas hormigoneras desmontables fueron creadas justamente para funcionar bajo estas condiciones, estas plantas fueron evolucionando tecnológicamente con el fin de facilitar su traslado, montaje, funcionamiento y desmontaje.

Todas estas plantas están formadas por los mismos elementos, tolvas, compuertas y sistemas de transporte. Esto se debe a que las plantas hormigoneras usan elementos

básicos para la elaboración del hormigón, en este caso serían; agregado fino, agregado grueso, cemento, agua y aditivos.

La variación del hormigón nace de la necesidad de construir en lugares donde existen diferentes condiciones ambientales, por lo que; se desarrolla un hormigón que sometido a estas condiciones no presente problemas y se encuentre estable estructuralmente. Generalmente la variación del hormigón se da por: la proporción de cada material en la mezcla, como también por la variedad y calidad de los elementos que se usan para su producción.

Actualmente empresas industriales que comercializan hormigón se vienen desarrollando en el país, motivo por el cual existen normas de producción tanto para la materia prima como para las plantas involucradas con el hormigón y sus elementos.

Existe una variedad de plantas para producir hormigón, cada una diseñada y fabricada de manera que facilite y acelere la producción proporcionando mayor versatilidad, para el

desarrollo de esta planta se utiliza como guía la norma ecuatoriana GPE INEN 040:1993 [15].

CAPÍTULO 2

2. DISEÑO CONCEPTUAL

2.1. Factores de influencia

Los factores que influyen directamente en el dimensionamiento, tamaño, forma, geometría, es decir, en el diseño global de la planta hormigonera son los siguientes:

- *Demanda de producción*, este es el factor más importante en el dimensionamiento de la planta dosificadora, ya que afecta de forma directa el tamaño y capacidad de los sistemas de almacenamiento y transporte.
- *Propiedades de los materiales a manipular*, cada tipo de material presenta propiedades físicas, químicas y mecánicas diferentes, lo cual influye en la geometría del silo y tolvas de nuestro sistema de almacenamiento y el sistema de transporte; entre las propiedades más relevantes se tiene: Abrasividad del material, ángulo de reposo, densidad, entre otras.

- Facilidad de transporte, uno de los objetivos de este proyecto de graduación es el desarrollo de una planta hormigonera móvil, es decir, que sea fácilmente transportable, ya que con ello se busca llegar a producir hormigón en lugares lejanos de difícil acceso y con esto tener un impacto positivo en el costo de la producción del hormigón.
- Facilidad de montaje de la planta, se plantea obtener la mínima cantidad de personas para la instalación y montaje de la planta dosificadora, así como los riesgos que este tipo de trabajo representa.
- Compactibilidad de la estructura y sistema dosificador de agregados, ya que el objetivo de este trabajo es tener la capacidad de mover una planta hormigonera a diferentes lugares de una manera ágil e inmediata, es necesario que esta sea compacta, es decir, que requiera la menor cantidad posible de transporte para su movilización.
- Facilidad de alimentación de agregados a tolvas dosificadoras, una de las limitantes es la altura a la cual se encuentran las tolvas dosificadoras de los agregados fino y grueso, ya que si se incrementa este valor, se crea la necesidad de diseñar un sistema que sea capaz de permitir que el carro cargador de agregados alcance a dosificar los materiales en las tolvas.

- Sistema de desempolvado, este sistema es necesario para evitar que se creen problemas de polución por partículas de cemento en el aire, y con esto reducir el impacto ambiental que la planta pueda presentar; y cumplir con las ordenanzas municipales.
- Cantidad de energía demandada por el uso de la planta, como la planta dosificadora se plantea como un proyecto capaz de ser transportado a cualquier zona del país, es necesario que cuente con sistema autónomo que sea capaz de suplir todo el consumo energético que su trabajo conlleve.

2.2. Dimensionamiento de la planta

Para el dimensionamiento de la planta dosificadora, se analiza los siguientes puntos que se detallan a continuación:

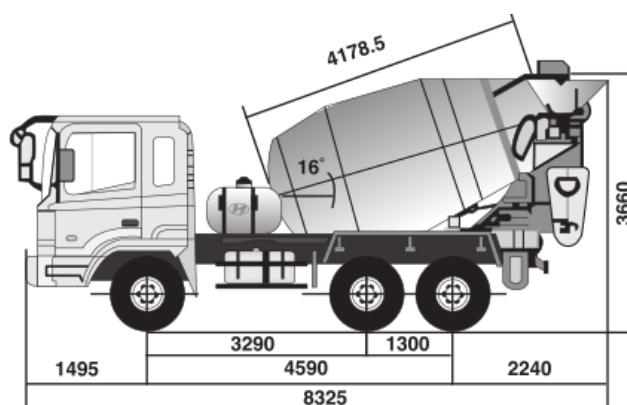
2.2.1. Restricciones de diseño

Las restricciones en el diseño, parten de los factores de influencia mencionados en la sección 2.1; estos conceptos brindan una idea mucho más detallada de la forma y capacidades que debe tener la planta. Las mismas que se mencionan a continuación:

Dimensionamiento de banda transportadora

El diseño de las bandas transportadoras está relacionado con:

- *Inclinación*, depende del mínimo ángulo de inclinación que pueda existir entre el agregado fino (Arena – 17°) y el agregado grueso (Piedra – 18°); por lo tanto la banda no debe exceder de los 17° [16].
- *Longitud*, depende de la máxima altura hacia la tolva del camión mezclador (mixer); en la siguiente imagen se observa las dimensiones completas del camión.



Fuente: HYUNDAI Camiones & Buses, Camión pesado modelo HD270 mixer

FIGURA 2.1. Dimensiones de camión mezclador.

- *Capacidad*, está ligada a la velocidad de producción de la planta hormigonera, valor que será detallado más adelante en la sección 2.2.5

Dimensionamiento de tornillo helicoidal

El diseño de los tornillos debe satisfacer los siguientes requerimientos:

- *Inclinación*, depende del máximo ángulo de inclinación para el cemento el cual tiene un rango de (20° a 23°); el valor seleccionado será detallado en el diseño de forma en la sección 2.3 [16].
- *Longitud*, la longitud de cada tornillo depende de la ubicación final de la tolva de cemento, pesadora de cemento y camión mezclador, valor que será detallado en la sección 3.2.1.
- *Capacidad*, está ligada a la velocidad de producción de la planta hormigonera, valor que será detalla más adelante en la sección 2.2.5

Dimensionamiento de la tolva de cemento

El diseño de la tolva debe satisfacer los siguientes requerimientos:

- *Capacidad*, depende del máximo volumen requerido para la producción de la planta, este valor será analizado en la sección 2.2.4

- *Geometría*, la restricción en la geometría está dada en el cono de descarga ya que deberá tener un ángulo de inclinación mayor o igual al ángulo de reposo del cemento (39°), este valor será analizado en el diseño detallado en la sección 3.1.1 [16].

Dimensionamiento de la tolva pesadora de cemento

El diseño de la tolva pesadora debe satisfacer los siguientes requerimientos:

- *Capacidad*, depende del máximo volumen requerido para la dosificación hacia el camión mezclador, este valor será analizado en la sección 2.2.4.
- *Geometría*, la restricción en la geometría está dada por el ángulo de inclinación en la tolva de descarga ya que deberá tener un valor mayor o igual al ángulo de reposo del cemento (39°), este valor será analizado en el diseño detallado en el sección 3.1.1.

Dimensionamiento de la tolva de agregados

El diseño de la tolva de agregados debe satisfacer los siguientes requerimientos:

- *Capacidad*, depende del máximo volumen requerido para la dosificación hacia la tolva pesadora de agregados; valor que será analizado en la sección 2.2.4.
- *Geometría*, la restricción en la geometría está dada por el ángulo de inclinación en las paredes de la tolva ya que deberá tener un valor mayor o igual al mínimo ángulo de reposo entre el agregado grueso (Piedra – 30°) y el agregado fino (Arena – 35°); este valor será analizado en el diseño detallado en la sección 3.1.1.

Se debe tener en cuenta que el diseño de la tolva de agregados debe permitir el fácil montaje y desmontaje para su transporte.

Dimensionamiento de tolva pesadora de agregados

El diseño de la tolva pesadora de agregados debe satisfacer los siguientes requerimientos:

- *Capacidad*, máximo volumen requerido para la dosificación hacia el camión mezclador; valor que será analizado en la sección 2.2.4.
- *Geometría*, la restricción en la geometría está dada por el ángulo de inclinación en las paredes de la tolva ya que

deberá tener un valor mayor o igual al mínimo ángulo de reposo entre el agregado grueso (Piedra – 30°) y el agregado fino (Arena – 35°); este valor será analizado en el diseño detallado en la sección 3.1.1.

Dimensionamiento del tanque de agua

El diseño del tanque de agua debe satisfacer los siguientes requerimientos:

- *Capacidad*, máximo volumen requerido para satisfacer la demanda de producción de la planta; valor que será analizado en la sección 2.2.4.

2.2.2. Diseño de la mezcla para producción de hormigón.

Para dimensionar los diferentes sistemas de transporte y de almacenamiento de la planta hormigonera, se debe conocer el volumen requerido para la dosificación de las materias primas y esto se calcula en base al método de diseño de mezclas para hormigón del comité 211 del ACI (American Concrete Institute).

Para lo cual se sigue la siguiente metodología [17]:

Información necesaria para el diseño de mezclas de hormigón

- Análisis granulométrico de los agregados
- Peso unitario compactado de los agregados (fino y grueso)
- Peso específico de los agregados (fino y grueso)
- Contenido de humedad y porcentaje de absorción de los agregados (fino y grueso)
- Perfil y textura de los agregados
- Tipo y marca del cemento
- Peso específico del cemento
- Relaciones entre resistencia y la relación agua/cemento, para combinaciones posibles de cemento y agregados.

Pasos para el Diseño de mezclas

Se puede resumir la secuencia del diseño de mezclas de la siguiente manera [18]:

- a) Especificaciones técnicas de obra.
- b) Selección de la resistencia promedio (f'_{cr}).
- c) Cálculo de la resistencia promedio requerida.
- d) Selección del asentamiento (Slump).
- e) Selección de la relación agua/cemento (a/c).
- f) Estimación del agua de mezclado y contenido de aire.

- g) Cálculo del contenido de cemento.
- h) Estimación del contenido de agregado grueso y agregado fino.
- i) Ajustes por humedad y absorción.
- j) Cálculo de proporciones en peso.
- k) Cálculo de proporciones en volumen.

A continuación se detalla cada uno de los pasos en mención.

a) Especificaciones técnicas de la obra

Al realizar el diseño de una mezcla de hormigón se debe analizar:

- Planos
- Especificaciones técnicas de la obra

Donde se encontrará todos los requisitos que fijó el ingeniero proyectista para que la obra pueda cumplir los requisitos necesarios durante su vida útil.

b) Selección de la resistencia promedio (f'_{cr})

b.1. Cálculo de la desviación estándar

Primer Método

Si se posee un registro de resultados de ensayos en obras anteriores, deberá calcularse la desviación estándar.

Este registro deberá contener los siguientes puntos:

- Presentar materiales, procedimientos de control, calidad y condiciones similares a aquellos que se espera en la obra que se va a iniciar.
- Concretos preparados para alcanzar una resistencia de diseño f'_c que este dentro del rango de $\pm 70 \text{ kg/cm}^2$ de la especificada para el trabajo que se va a iniciar.

Si se posee un registro de 3 ensayos consecutivos la desviación estándar se calculará aplicando la siguiente fórmula:

$$s = \sqrt{\frac{\sum(X_i - \bar{X})^2}{(n-1)}} \quad (1)$$

Dónde:

s = Desviación estándar, en kg/cm^2

$X_i =$ Resistencia de la probeta de concreto, en kg/cm^2

$\bar{X} =$ Resistencia promedio de n probetas, en kg/cm^2

$n =$ Número de ensayos consecutivos de resistencia

- Si existen por lo menos 30 ensayos consecutivos o dos grupos de ensayos consecutivos que totalicen por lo menos 30 ensayos, la desviación estándar promedio se calculará en base a siguiente fórmula:

$$\bar{s} = \sqrt{\frac{(n_1-1)(s_1)^2 + (n_2-1)(s_2)^2}{(n_1+n_2-2)}} \quad (2)$$

Dónde:

$\bar{s} =$ Desviación estándar promedio, en kg/cm^2

$s_1, s_2 =$ Desviación estándar calculada para los grupos 1 y 2 respectivamente, en kg/cm^2

$n_1, n_2 =$ Número de ensayos en cada grupo respectivamente.

Segundo Método

Si solo se posee un registro de 15 a 29 ensayos consecutivos, se calculará la desviación estándar “s” correspondiente a dichos ensayos y se multiplicará por

el factor de corrección indicado en la tabla 7 para obtener el nuevo valor de “s”.

El registro de ensayos al cual se hace referencia en este método deberá cumplir con los requisitos a), b) del Primer método y presentar un registro de ensayos consecutivos que comprenda un periodo de no menos de 45 días calendario.

TABLA 7

Factor de corrección para desviación estándar [18]

MUESTRAS	FACTOR DE CORRECCION
menos de 15	Usar tabla 2.2
15	1.16
20	1.08
25	1.03
30	1.00

Fuente: Diseño de mezclas de concreto, Samuel Laura Huanca

c) Cálculo de la resistencia promedio requerida

La resistencia a la compresión promedio requerida (f'_{cr}) se obtiene como el mayor valor de las ecuaciones (3) y (4). La ecuación (3) proporciona una probabilidad de 1 en 100, de que el promedio de tres ensayos consecutivos estará por debajo de la resistencia especificada f'_c . La ecuación (4)

proporciona una probabilidad similar, de que ensayos individuales estén 35 kg/cm² por debajo de la resistencia especificada f'_c .

Si la desviación estándar se ha calculado de acuerdo a lo indicado en el Primer Método o el Segundo Método, la resistencia promedio requerida será el mayor de los valores determinados por las siguientes ecuaciones usando la desviación estándar “s” calculada.

$$f'_{cr} = f'_c + 1.34 s \quad (3)$$

$$f'_{cr} = f'_c + 2.33 s - 35 \quad (4)$$

Dónde:

s = Desviación estándar, en kg/cm²

Si se desconoce el valor de la desviación estándar, se utilizará la tabla 8 para la determinación de la resistencia promedio requerida.

TABLA 8

Resistencia a la compresión promedio [18]

f'_c	f'_{cr}
Menos de 210	$f'_c + 70$
210 a 350	$f'_c + 84$
Sobre 350	$f'_c + 98$

Fuente: Diseño de mezclas de concreto, Samuel Laura Huanca

d) Selección del asentamiento (Slump)

Si las especificaciones técnicas de obra requieren que el concreto tenga una determinada consistencia, el asentamiento puede ser elegido de la siguiente tabla:

TABLA 9

Consistencia y asentamiento [18]

Consistencia	Asentamiento
Seca	0" (0mm) a 2" (50mm)
Plástica	3" (75mm) a 4" (100mm)
Fluida	≥ 5" (125mm)

Fuente: Diseño de mezclas de concreto, Samuel Laura Huanca

e) Selección de la relación agua/cemento (a/c).

Para hormigones preparados con cemento Portland o cementos comunes, puede tomarse la relación a/c de la tabla 10.

TABLA 10

Relación a/c y resistencia a la compresión del hormigón [18]

RESISTENCIA A LA COMPRESION A LOS 28 DIAS (f'_{cr}) (kg/cm ²)*	RELACION AGUA/CEMENTO DE DISEÑO EN PESO	
	CONCRETO SIN AIRE INCORPORADO	CONCRETO CON AIRE INCORPORADO
450	0.38	---
400	0.43	---
350	0.48	0.40
300	0.55	0.46
250	0.62	0.53
200	0.70	0.61
150	0.80	0.71

Fuente: Diseño de mezclas de concreto, Samuel Laura Huanca

* Los valores corresponden a resistencias promedio estimadas para concretos que no contengan más del porcentaje de aire mostrado en la tabla 5.1. Para una relación agua/cemento constante, la resistencia del concreto se reduce conforme aumenta el contenido de aire

f) Estimación del agua de mezclado y contenido de aire.

La tabla 11, preparada en base a las recomendaciones del Comité 211 del ACI, nos proporciona una primera estimación del agua de mezclado para concretos hechos con diferentes tamaños máximos de agregado con o sin aire incorporado.

TABLA 11

Requerimientos de agua de mezclado y de contenido de aire para diferentes valores de asentamiento y tamaños máximos de agregados [18]

ASENTAMIENTO O SLUMP (mm)		Agua en lit/m^3 de concreto para los tamaños máximos de agregados gruesos y consistencia indicados.							
		10mm (3/8")	12.5mm (1/2")	20mm (3/4")	25mm (1")	40mm (1½")	50mm (2")	70mm (3")	150mm (6")
CONCRETOS SIN AIRE INCORPORADO									
30 a 50 (1" a 2")		205	200	185	180	160	155	145	125
80 a 100 (3" a 4")		225	215	200	195	175	170	160	140
150 a 180 (6" a 7")		240	230	210	205	185	180	170	---
Cantidad aproximada de aire atrapado (%).		3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
CONCRETOS CON AIRE INCORPORADO									
30 a 50 (1" a 2")		180	175	165	160	145	140	135	120
80 a 100 (3" a 4")		200	190	180	175	160	155	150	135
150 a 180 (6" a 7")		215	205	190	185	170	165	160	---
Contenido total de aire incorporado (%), en función del grado de exposición.	Exposición suave	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5*	1.0*
	Exposición moderada	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5*	3.0*
	Exposición severa	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5*	4.0*

Fuente: Diseño de mezclas de concreto, Samuel Laura Huanca

Los valores del asentamiento para hormigón con agregado más grande que 40mm (1½") se basan en las pruebas de Slump hechas después de retirar las partículas mayores de 40mm (1½") por tamizado húmedo.

Estos contenidos de agua de mezclado son valores máximos para agregado grueso angular y bien formado, y cuya granulometría está dentro de las especificaciones aceptadas (ASTM C 33 o ITINTEC 400.037).

* Para concreto que contiene agregado grande será tamizado húmedo por una malla de 40mm (1½") antes de evaluar el contenido de aire, el porcentaje de aire esperado en material más pequeño que 40mm (1½") debe ser el tabulado en la columna de 40mm (1½"). Sin embargo, los cálculos iniciales de las proporciones deben basarse en el contenido de aire como un porcentaje de la mezcla completa.

** Estos valores se basan en el criterio de que se necesita un 9% del contenido de aire en la fase de mortero del concreto.

Como se observa, la tabla 11 no toma en cuenta para la estimación del agua de mezclado las incidencias del perfil, textura y granulometría de los agregados.

Se debe tener presente que estos valores tabulados son lo suficientemente aproximados para una primera estimación y que dependiendo del perfil, textura y granulometría de los agregados, los valores requeridos de agua de mezclado pueden estar algo por encima o por debajo de dichos valores.

Al mismo tiempo, se puede usar la tabla 12 para calcular la cantidad de agua de mezcla tomando en consideración, además de la consistencia y tamaño máximo del agregado, el perfil del mismo. Los valores de la tabla 12 corresponden a mezclas sin aire incorporado.

TABLA 12

Contenido de agua de mezcla [18]

Tamaño máximo nominal del agregado grueso		Contenido de agua en el concreto, expresado en lit/m^3 , para los asentamientos y perfiles de agregado grueso indicados.					
		25mm a 50mm (1"-2")		75mm a 100mm (3"-4")		150mm a 175mm (6"-7")	
mm.	Pulg.	Agregado redondeado	Agregado anguloso	Agregado redondeado	Agregado anguloso	Agregado redondeado	Agregado anguloso
9.5	3/8"	185	212	201	227	230	250
12.7	1/2"	182	201	197	216	219	238
19.1	3/4"	170	189	185	204	208	227
25.4	1"	163	182	178	197	197	216
38.1	1½"	155	170	170	185	185	204
50.8	2"	148	163	163	178	178	197
76.2	3"	136	151	151	167	163	182

Fuente: Diseño de mezclas de concreto, Samuel Laura Huanca

La tabla 11 muestra también el volumen aproximado de aire atrapado, en porcentaje, a ser esperado en un concreto sin aire incorporado y los promedios recomendados del contenido total de aire, en función del grado de exposición, para concretos con aire incorporado intencionalmente por razones de durabilidad a ciclos de congelamiento y deshielo, agua de mar o sulfatos.

Obtenidos los valores de cantidad de agua y de aire atrapado para un metro cúbico de hormigón, se procede a calcular el volumen que ocupan dentro de la unidad de volumen de concreto:

$$\begin{aligned} \text{Volumen de agua (m}^3\text{)} = \\ \frac{\text{contenido de agua de mezclado (litros/m}^3\text{)}}{\text{Peso específico del agua (1000 Kg/m}^3\text{)}} \end{aligned} \quad (3)$$

g) Cálculo del contenido de cemento.

Una vez que la cantidad de agua y la relación a/c han sido estimadas, la cantidad de cemento por unidad de volumen del concreto es determinada dividiendo la cantidad de agua por la relación a/c. Sin embargo es posible que las especificaciones del proyecto establezcan una cantidad de cemento mínima. Tales requerimientos podrían ser especificados para asegurar un acabado satisfactorio, determinada calidad de la superficie vertical de los elementos o trabajabilidad.

$$\begin{aligned} \text{Contenido de cemento (Kg/m}^3\text{)} = \\ \frac{\text{Contenido de agua de mezclado (litros/m}^3\text{)}}{\text{Relación a/c (para } f'_{cr}\text{)}} \end{aligned} \quad (4)$$

$$\text{Volumen de cemento (m}^3\text{)} = \frac{\text{Contenido de cemento (Kg)}}{\text{Peso específico del cemento (Kg/m}^3\text{)}} \quad (5)$$

h) Estimación del contenido de agregado grueso y agregado fino.

Se determina el contenido de agregado grueso mediante la tabla 13, elaborada por el Comité 211 del ACI, en función del tamaño máximo nominal del agregado grueso y del módulo de fineza del agregado fino. La tabla 13 permite obtener un coeficiente b/b_0 resultante de la división del peso seco del agregado grueso entre el peso unitario seco y compactado del agregado grueso expresado en Kg/m^3 .

TABLA 13

Volumen de agregado grueso por unidad de volumen de hormigón [18]

TAMAÑO MAXIMO DEL AGREGADO GRUESO		Volumen de agregado grueso, seco y compactado (*) por unidad de volumen de concreto, para diferentes módulos de fineza del agregado fino.			
		MODULO DE FINEZA DEL AGREG. FINO			
mm.	Pulg.	2.40	2.60	2.80	3.00
10	3/8"	0.50	0.48	0.46	0.44
12.5	1/2"	0.59	0.57	0.55	0.53
20	3/4"	0.66	0.64	0.62	0.60
25	1"	0.71	0.69	0.67	0.65
40	1 1/2"	0.76	0.74	0.72	0.70
50	2"	0.78	0.76	0.74	0.72
70	3"	0.81	0.79	0.77	0.75
150	6"	0.87	0.85	0.83	0.81

Fuente: Diseño de mezclas de concreto, Samuel Laura Huanca

* Los volúmenes de agregado grueso mostrados, está en condición seca y compactada, tal como se describe en la norma ASTM C29.

Estos volúmenes han sido seleccionados a partir de relaciones empíricas para producir concretos con un grado adecuado de trabajabilidad para construcciones armadas usuales.

Para concretos menos trabajables, tales como el requerido en la construcción de pavimentos, pueden incrementarse los valores en 10% aproximadamente.

Para hormigones más trabajables, tales como los que pueden requerirse cuando la colocación es hecha por bombeo, los valores pueden reducirse hasta en un 10%

Obtenido b/b_0 se procede a calcular la cantidad de agregado grueso necesario para un metro cúbico de concreto, de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} \text{Peso seco del A. grueso (Kg/m}^3\text{)} = \\ \frac{b}{b_0} (\text{Peso unitario compactado A. grueso}) \end{aligned} \quad (6)$$

Entonces los volúmenes de los agregados grueso y fino serán:

$$\text{Vol. Agregado grueso (m}^3\text{)} = \frac{\text{Peso seco del A.grueso}}{\text{Peso específico del A.grueso}} \quad (7)$$

$$\text{Vol. Agregado fino (m}^3\text{)} = 1 - (\text{Vol. Agua} + \text{Vol. Aire} + \text{Vol. Cemento} + \text{Vol. Agregado grueso}) \quad (8)$$

Por consiguiente el peso seco del agregado fino será:

$$\text{Peso del A. fino (kg/m}^3\text{)} = (\text{Vol. A. fino})(\text{Peso específico del A. fino}) \quad (9)$$

i) Ajustes por humedad y absorción.

El contenido de agua añadida para formar la pasta será afectada por el contenido de humedad de los agregados. Si ellos están secos, con el aire absorberán agua y disminuirán la relación a/c y la trabajabilidad. Por otro lado si ellos tienen humedad libre en su superficie (agregados mojados) aportarán algo de esta agua a la pasta aumentando la relación a/c, la trabajabilidad y disminuyendo la resistencia a compresión.

Por lo tanto estos efectos deben ser estimados y la mezcla debe ser ajustada tomándolos en cuenta.

Si:

$$\text{Agregado Grueso} \begin{cases} \text{Humedad} = \%W_g \\ \% \text{ absorción} = \%a_g \end{cases}$$

$$\text{Agregado Fino} \begin{cases} \text{Humedad} = \%W_f \\ \% \text{ absorción} = \%a_f \end{cases}$$

Pesos de agregados húmedos

$$\text{Peso A. grueso húmedo (kg)} = (\text{Peso A. grueso seco}) \left(1 + \frac{\%W_g}{100}\right) \quad (10)$$

$$\text{Peso A. fino húmedo (kg)} = (\text{Peso A. fino seco}) \left(1 + \frac{\%W_f}{100}\right) \quad (11)$$

Agua efectiva

$$\text{Agua en A. grueso} = (\text{Peso A. grueso seco}) \left(\frac{\%W_g - \%a_g}{100}\right) = X \quad (12)$$

$$\text{Agua en A. fino} = (\text{Peso A. fino seco}) \left(\frac{\%W_f - \%a_f}{100}\right) = Y \quad (13)$$

$$\text{Agua efectiva (Litros)} = \text{Agua de diseño} - (X + Y) \quad (14)$$

j) Cálculo de proporciones en peso.

Con los valores antes obtenidos, se calcula la proporción en peso de la siguiente manera:

Cemento : Agregado Fino : Agregado Grueso / Agua

$$\frac{\text{Peso Cemento}}{\text{Peso Cemento}} : \frac{\text{Peso A. fino humedo}}{\text{Peso Cemento}}$$

$$: \frac{\text{Peso A. grueso humedo}}{\text{Peso Cemento}} / \frac{\text{Agua efectiva}}{\text{Peso Cemento}}$$

k) Cálculo de proporciones en volumen.

k.1. Datos necesarios

- Peso unitario suelto del cemento
- Pesos unitarios sueltos de los agregados fino y grueso (en condición de humedad a la que se determina la dosificación en peso).

k.2. Volúmenes en estado suelto

Cemento

$$\text{Vol. Cemento (m}^3\text{)} = \frac{\text{Peso cemento (Kg)}}{\text{P.U.Cemento (Kg/m}^3\text{)}} \quad (15)$$

Agregado Grueso

$$\text{Vol. A. Grueso (m}^3\text{)} = \frac{\text{Peso A.Grueso humedo (Kg)}}{\text{P.U.A.Grueso humedo (Kg/m}^3\text{)}} \quad (16)$$

Agregado Fino

$$\text{Vol. A. Fino (m}^3\text{)} = \frac{\text{Peso A.Fino humedo (Kg)}}{\text{P.U.A.Fino humedo (Kg/m}^3\text{)}} \quad (17)$$

k.3. Proporciones en volumen

Volúmenes en estado suelto

$$\% \text{ Cemento} = \frac{\text{Vol. Cemento}}{\text{Vol. Cemento}} \quad (18)$$

$$\% \text{ Agregado Fino} = \frac{\text{Vol. A.fino}}{\text{Vol. Cemento}} \quad (19)$$

$$\% \text{ Agregado Grueso} = \frac{\text{Vol. A.grueso}}{\text{Vol. Cemento}} \quad (20)$$

En el caso del agua, este se calculará en litros por bolsa de cemento (L/Bl), de la siguiente manera

$$\text{Agua (L/Bl)} = \frac{\text{Cantidad de agua por m}^3}{\left(\frac{\text{Peso del cemento por m}^3}{\text{Peso del cemento por bolsa (42.5)}} \right)} \quad (21)$$

Proporciones en volumen

Cemento : Agregado Fino

: Agregado Grueso / Agua (L/Bl)

$$\frac{\text{Vol. Cemento}}{\text{Vol. Cemento}} : \frac{\text{Vol. A. fino}}{\text{Vol. Cemento}}$$

$$: \frac{\text{Vol. A. grueso}}{\text{Vol. Cemento}} / \text{Agua (L/Bl)}$$

Como se mencionó en la sección 1.6, este proyecto está orientado a la producción de hormigón para fines de construcciones residenciales y estructurales, por ello se diseñará la mezcla basados en el método de diseño de mezclas para hormigón del comité 211 del ACI que se detalló

anteriormente; y se selecciona hormigones con resistencia a la compresión de 210 Kg/cm², 240 Kg/cm² y 280 Kg/cm² para el dimensionamiento de la planta.

Los parámetros de diseño que se utiliza son:

TABLA 14

Parámetros para diseño de mezcla

	AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO
PESO ESPECÍFICO SECO (kg/m³)	2.610	2.640
ABSORCIÓN (%)	3,2	1,9
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	4	2
MÓDULO DE FINEZA	2,7	****
TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL (in)	****	3/4
PESO UNITARIO COMPACTADO (kg/m³)	****	1.450
PESO UNITARIO SUELTO (kg/m³)	1.400	1.300

PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO (kg/m³)	2.950
---	-------

SLUMP (ASENTAMIENTO)	3"
RESISTENCIA DESEADA (kg/cm²)	210
ADITIVOS INCORPORADORES DE AIRE	Si
GRADO DE EXPOSICIÓN DEL AGREGADO GRUESO	Normal

Fuente: César Mejía, Marlon Cando, 2015

A continuación se muestra la tabla 15 con los resultados obtenidos del diseño de la mezcla para 1 m^3 de cada uno de los tres tipos de hormigones antes mencionados:

TABLA 15

Resultados en masa para 1 m^3 de hormigón

MATERIAL	210 kg/cm^2	240 kg/cm^2	280 kg/cm^2
Agua	184 kg	184 kg	184 kg
Cemento	315,1 kg	343,3 kg	384,9 kg
Piedra (seca)	913,5 kg	913,5 kg	913,5 kg
Arena (seca)	856,5 kg	831,6 kg	794,7 kg
Aire	0 kg	0 kg	0 kg
TOTALES	2269,1 kg	2272,4 kg	2277,2 kg

Fuente: César Mejía, Marlon Cando, 2015

De estos resultados se extrae los valores máximos de masa para cada materia prima y se presentan en la tabla 16.

TABLA 16

Valores máximos de masa para dimensionamiento del sistema

MATERIAL	MÁXIMA MASA REQUERIDA POR 1 m^3 DE HORMIGÓN
Agua	184,0 kg
Cemento	384,9 kg
Piedra (seca)	913,5 kg
Arena (seca)	856,5 kg

Fuente: César Mejía, Marlon Cando, 2015

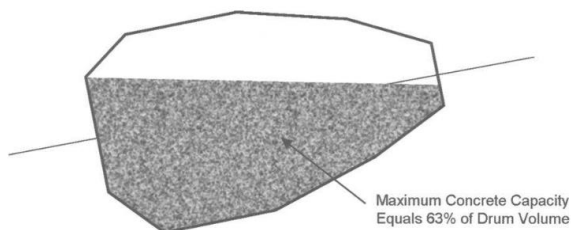
Por lo tanto estos valores representaran la línea base para el dimensionamiento de las tolvas de cemento y agregados

2.2.3. Análisis de capacidad y tiempos de producción

En este análisis se estima la capacidad de producción y la secuencia en la dosificación de las materias primas a la cual será capaz de trabajar la planta hormigonera; para esto se debe tener en cuenta la siguiente información recopilada de la norma ASTM C94 [11]:

- a) Cuando el hormigón es mezclado en el tambor de un camión mezclador (mixer) el volumen de la mezcla no debe exceder del 63% del volumen total del tambor; en cambio si se lo elabora en una central, el volumen no debe superar al 80% del volumen total del tambor o contenedor.

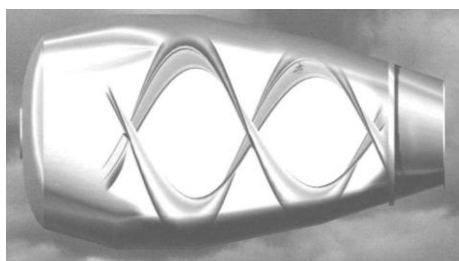
El 63% del volumen total permite un espacio vacío lo suficiente para que los materiales se mezclen con las paletas de mezcla en el interior del tambor, tal como lo muestra la siguiente figura.



Fuente: ASTM Specification C 94 on Ready-Mixed Concrete

FIGURA 2.2. Capacidad máxima de hormigón [11]

La secuencia o método de carga de la mezcladora tendrá un efecto importante en la uniformidad del hormigón; el fenómeno de mezcla que ocurre dentro del camión mezclador se presenta en la siguiente figura.



Fuente: ASTM Specification C 94 on Ready-Mixed Concrete

FIGURA 2.3. Vista interna del tambor de un camión mezclador [11]

b) Así mismo se debe tener en cuenta que varios estudios han concluido que la secuencia de dosificación es un factor importante en la producción de hormigón homogéneo y que varias secuencias de carga podrían ser utilizadas de

manera satisfactoria. La inyección de agua es un componente importante del procedimiento de dosificación. Si un procedimiento ya antes probado parece ir mal de manera inesperada, el primer lugar para comenzar a buscar una solución es un cambio en las secuencias de adición de agua o proporciones. Existen un sinnúmero de otras posibilidades, pero el agua es la causa más común.

Para efectos de cálculo se estimará el uso de camiones mezcladores (mixer) de una capacidad nominal de 8 m³; y siguiendo lo estipulado en la norma ASTM C94, que el máximo volumen ocupado por el hormigón debe ser del 63%, entonces se tiene:

$$8 \text{ m}^3 * 63\% = 5 \text{ m}^3 \text{ Masa de Hormigón}$$

Por lo que cada mixer será llenado con 5 m³ de materias primas para la mezcla de hormigón.

En el cuadro a continuación se muestra la cantidad de masa y volumen necesario para el almacenamiento y despacho de materias primas para la dosificación a un camión mezclador.

TABLA 17

Dosificación de materias primas por ciclo

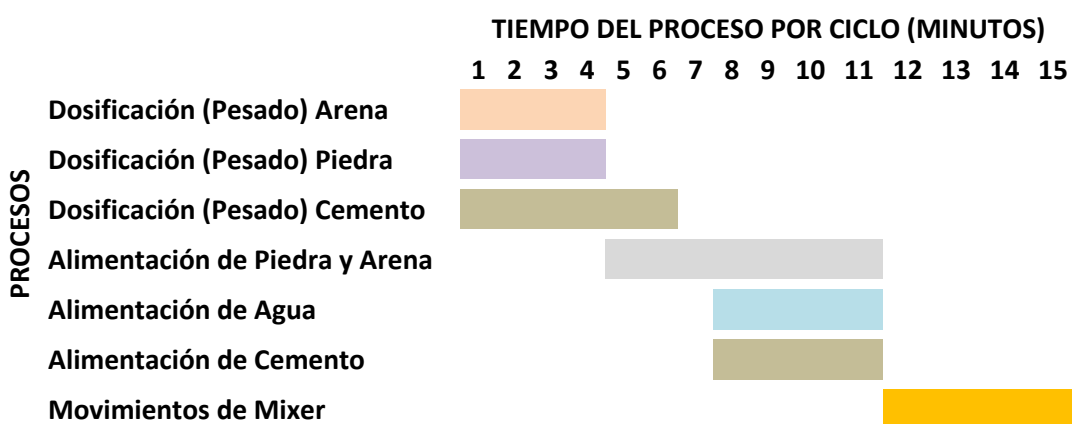
MATERIAL	MASA PARA 1 m ³ DE HORMIGON	MASA PARA 5 m ³ DE HORMIGON	PESO UNITARIO COMPACTADO	VOLUMEN DE LLENADO POR CICLO
Agua	184,0 kg	927,4 kg	1000,0 kg/m ³	0,93 m ³
Cemento	384,9 kg	1939,9 kg	2950,0 kg/m ³	0,66 m ³
Piedra	913,5 kg	4604,0 kg	2640,0 kg/m ³	1,74 m ³
Arena	856,5 kg	4316,8 kg	2610,0 kg/m ³	1,65 m ³

Elaborado por: César Mejía, Marlon Cando, 2015

La dosificación de las materias primas se la realizará de la siguiente manera:

TABLA 18

Análisis de tiempos para la secuencia de dosificación de materias primas



Elaborado por: César Mejía, Marlon Cando, 2015

Con los cálculos antes realizados, se procede a determinar la capacidad nominal y real de producción de la planta hormigonera.

Si se llena 5 m³ de hormigón en un mixer cada 15 minutos, entonces se estima una producción nominal de:

$$\frac{1 \text{ mixer}}{15 \text{ min}} * \frac{5 \text{ m}^3}{1 \text{ mixer}} * \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} = 20 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

2.2.4. Dimensionamiento de la capacidad de los sistemas de almacenamiento

Para el dimensionamiento de los sistemas de almacenamiento de materias primas, es necesario trabajar con los parámetros de la densidad suelta de cada producto, la misma que se detalla a continuación:

TABLA 19

Densidad suelta de materias primas

MATERIAL	DENSIDAD SUELTA (kg/m3)
Agua	1000.0
Cemento	1100.0
Piedra (seca)	1300.0
Arena (seca)	1400.0

Fuente: César Mejía, Marlon Cando, 2015

Tolva de almacenamiento de cemento

La tolva donde se almacenará el cemento tendrá una capacidad máxima de 60 toneladas, es decir, el volumen necesario será:

$$\frac{60 \text{ t}}{\text{tolva}} * \frac{1000 \text{ kg}}{1 \text{ t}} * \frac{\text{m}^3}{1100 \text{ kg}} = 54.5 \frac{\text{m}^3}{\text{tolva}}$$

A este valor se le añade 20% de volumen adicional para evitar problemas de sobrellenado de la tolva.

$$54.5 \frac{\text{m}^3}{\text{tolva}} * 1.20 = 65.4 \frac{\text{m}^3}{\text{tolva}}$$

Posteriormente se procede a calcular el tiempo de vaciado de la tolva:

$$60 \text{ t} * \frac{1 \text{ mixer}}{1939.9 \text{ kg}} * \frac{15 \text{ min}}{\text{mixer}} * \frac{1000 \text{ kg}}{1 \text{ t}} * \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} = 7.73 \text{ h}$$

Por lo tanto, este sería el tiempo máximo de respuesta necesario para que llegue otro tanque cisterna a recargar la tolva con cemento.

Tolva de almacenamiento de agregados

Cada tolva de agregado cuenta con una capacidad volumétrica de 10 m³ de almacenamiento para que la planta sea capaz de tener material suficiente para más de dos cargas completas, es decir:

$$\frac{10 \text{ m}^3}{\text{Tolva}} * \frac{\text{Descarga completa}}{4604 \text{ kg Piedra}} * \frac{1300 \text{ kg}}{\text{m}^3} = 2.82 \frac{\text{Descarga completa}}{\text{Tolva Piedra}}$$

$$\frac{10 \text{ m}^3}{\text{Tolva}} * \frac{\text{Descarga completa}}{4316.8 \text{ Arena}} * \frac{1400 \text{ kg}}{\text{m}^3} = 3.24 \frac{\text{Descarga completa}}{\text{Tolva Arena}}$$

Además debe ser capaz de soportar una capacidad de carga de:

$$\frac{10 \text{ m}^3}{\text{Tolva}} * \frac{1300 \text{ kg Piedra}}{\text{m}^3} * \frac{1 \text{ t}}{1000 \text{ kg}} = 13 \frac{\text{t Piedra}}{\text{Tolva}}$$

$$\frac{10 \text{ m}^3}{\text{Tolva}} * \frac{1400 \text{ kg Arena}}{\text{m}^3} * \frac{1 \text{ t}}{1000 \text{ kg}} = 14 \frac{\text{t Arena}}{\text{Tolva}}$$

Para el llenado de las tolvas se utilizará un cargador de ruedas marca CATERPILLAR modelo 930H, que es capaz de cargar el material a razón de 5 m³ cada 7 minutos.



Fuente: Catalogo CATERPILLAR, Cargador de ruedas, modelo 930H

FIGURA 2.4. Cargador de ruedas para dosificación de agregados

Tolva pesadora de cemento

La capacidad volumétrica de la pesadora será de 2.3 m^3 , lo cual implica que la capacidad másica máxima será de:

$$2.3 \text{ m}^3 * \frac{1100 \text{ kg}}{\text{m}^3} = 2530 \text{ kg cemento}$$

Para cada ciclo se pesará 1939.9 kg de cemento, es decir, que la tolva cuenta con un 30% de capacidad adicional libre.

Tolva pesadora de agregados

El volumen máximo de las tolvas pesadoras será de 4.2 m^3 , el cual brinda la capacidad suficiente para realizar las descargas

tanto de piedra como de arena previstas para cada ciclo, es decir:

$$\frac{4.2 \text{ m}^3}{\text{tolva}} * \frac{\text{Descarga de Piedra}}{4604 \text{ kg}} * \frac{1300 \text{ kg}}{\text{m}^3} = 1.2 \frac{\text{Descarga de Piedra}}{\text{Tolva}}$$

$$\frac{4.2 \text{ m}^3}{\text{tolva}} * \frac{\text{Descarga de Arena}}{4316.8 \text{ m}^3} * \frac{1400 \text{ kg}}{\text{m}^3} = 1.36 \frac{\text{Descarga de Arena}}{\text{Tolva}}$$

Lo cual significa que para la piedra se tendrá 20 % de volumen libre y para la arena de un 36 %.

Adicionalmente se debe tener en cuenta la capacidad másica máxima para la cual deben diseñarse las tolvas pesadoras, las mismas que se detallan a continuación:

$$\frac{4.2 \text{ m}^3}{\text{tolva}} * \frac{1300 \text{ kg Piedra}}{\text{m}^3} = 5460 \frac{\text{kg Piedra}}{\text{Tolva}}$$

$$\frac{4.2 \text{ m}^3}{\text{tolva}} * \frac{1400 \text{ kg Arena}}{\text{m}^3} = 5880 \frac{\text{kg Arena}}{\text{Tolva}}$$

Tanque – reservorio de agua

Para mantener una producción constante durante un turno de trabajo es necesario dimensionar la capacidad de un tanque reservorio para el almacenamiento del agua, por lo tanto:

$$\frac{0.93 \text{ m}^3 \text{ H}_2\text{O}}{1 \text{ mixer}} * \frac{1 \text{ mixer}}{15 \text{ min}} * \frac{8 \text{ h}}{1 \text{ turno}} * \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} = 29.76 \frac{\text{m}^3}{\text{turno}}$$

Se utilizará un tanque de PE de gran volumen con una capacidad de 20,000 litros, marca PLASTIGAMA. Este tanque será llenado por medio de un tanquero de 6000 galones, es decir, que se harán dos cargas hacia el tanque durante 1 turno de 8 horas.

2.2.5. Dimensionamiento de la capacidad de los sistemas de transporte

La planta hormigonera trabaja con dos sistemas de transporte, de bandas transportadores y tornillo helicoidal.

Banda Transportadora

Este sistema tiene como objetivo el transporte de los agregados finos y grueso desde las tolvas pesadoras hasta la alimentación del camión mezclador (mixer), la capacidad de transporte de dichas bandas es la siguiente:

$$\frac{(4604.0 + 4316.8) \text{ kg}}{7 \text{ min}} * \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} * \frac{1 \text{ t}}{1000 \text{ kg}} = 77 \frac{\text{t}}{\text{h}}$$

Tornillo HelicoidalDosificación de cemento para pesaje

La dosificación del cemento ocurre desde la salida del producto en la tolva de almacenamiento de cemento hasta su tolva pesadora, la capacidad de transporte es:

$$\frac{1939.9 \text{ kg}}{6 \text{ min}} * \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} * \frac{1 \text{ t}}{1000 \text{ kg}} = 20 \frac{\text{t}}{\text{h}}$$

Dosificación de cemento para descarga

El cemento una vez que es pesado en la tolva pesadora es trasladado por el mismo medio hacia la alimentación del camión mezclador, donde este tornillo debe tener la siguiente capacidad de transporte:

$$\frac{1939.9 \text{ kg}}{4 \text{ min}} * \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} * \frac{1 \text{ t}}{1000 \text{ kg}} = 29 \frac{\text{t}}{\text{h}}$$

Dosificación de flujo de agua

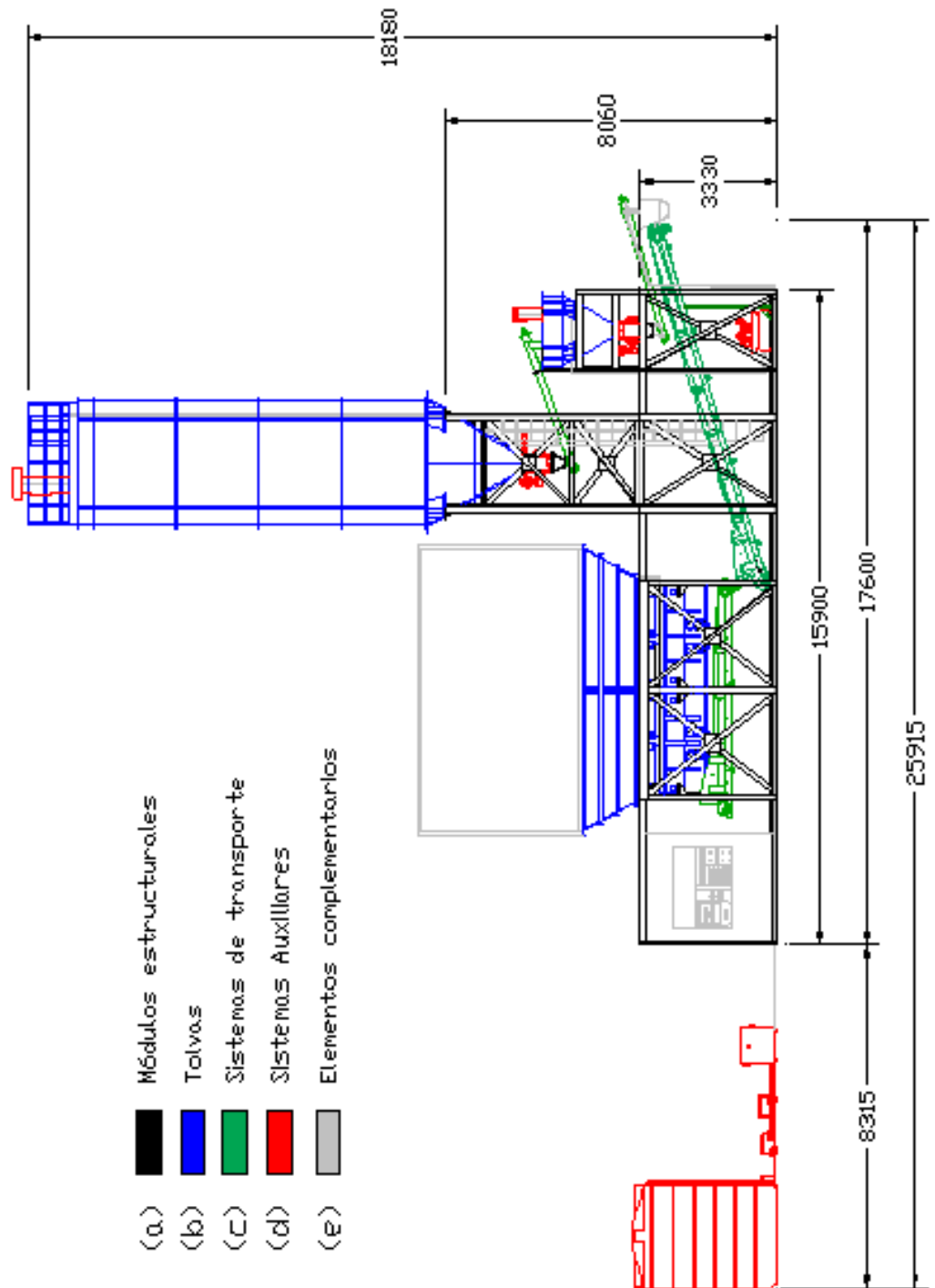
La dosificación de agua se la realiza por medio de un tanque reservorio y debe contar con una bomba capaz de suministrar el siguiente caudal de agua hacia la alimentación del camión mezclador.

$$\frac{0.93 \text{ m}^3}{4 \text{ min}} * \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} = 14 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

2.3. Diseño de forma

El presente proyecto contempla el diseño de una planta que pueda producir hormigón y que funcionalmente no se vea afectada por los factores mencionados en la sección 2.1 y que adicionalmente sus equipos, tolvas y demás accesorios cumplan con los requerimientos de diseño descritos en la sección 2.2.1

En la sección 1.4.1 se detalla el proceso de hormigonado, en el cual se puede reconocer que el proceso culmina con el despacho del material hacia el camión mezclador (Mixer), por ende; este escenario se torna como el primer punto para dimensionar los sistemas de la planta. La figura 2.5 muestra la propuesta de diseño del presente proyecto, el cual está compuesto por 3 módulos estructurales que podrán ser fácilmente montables y desmontables (a), 5 tolvas de las cuales 2 alojarán los materiales utilizados para la producción de hormigón y 3 realizarán el pesado de los mismos (b), también contará con 4 equipos que se encargarán del transporte de los materiales conformados por 2 bandas transportadoras y 2 tornillos helicoidales (c) y finalmente sus sistemas auxiliares los cuales se encargarán de brindar las condiciones adecuadas para la correcta operación de la planta (d), los detalles de diseño de la planta serán mencionados en el capítulo 3.



Elaborado por: Cesar Mejía, Marlon Cando, 2015

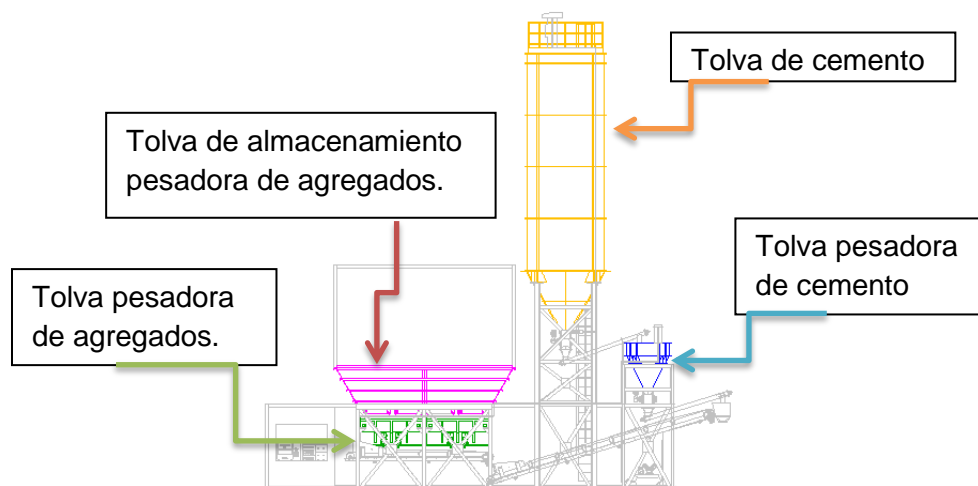
FIGURA 2.5. Diseño de forma

CAPÍTULO 3

3. DISEÑO DETALLADO

3.1. Sistemas de dosificación de materia prima

En esta sección se analizará más a fondo los temas relacionados al diseño y dimensionamiento de las capacidades de los sistemas de almacenamiento tratados en el capítulo 2, los mismos que se detallan en la siguiente figura.



Elaborado por: César Mejía, Marlon Cando, 2015

FIGURA 3.1. Tolvas de cemento y agregados

3.1.1. Diseño de tolvas

Para el desarrollo del diseño de las tolvas de cemento y agregados se utiliza el EUROCÓDIGO 1, Bases de proyecto y acciones en estructuras, parte 4: acciones en silos y depósitos [19].

De las normas de diseño para silos se aplicaran las siguientes limitaciones:

- La forma de la sección transversal de los silos se limita a las mostradas en la figura 3.2
- El llenado produce unos efectos de inercia y unas cargas de impacto despreciables.
- El diámetro máximo de las partículas del material almacenado no será mayor de $0.3 d_c$
- El material almacenado será suelto.
- La excentricidad e_i , del material almacenado debido al llenado es menor de $0.25 d_c$
- La excentricidad e_o del centro de la salida es menor de $0.25 d_c$; y ninguna parte de la salida está a una distancia mayor de $0.3 d_c$ del plano central de un silo con flujo plano, o de la línea central en los demás silos.

- Cuando se empleen mecanismos de vaciado el flujo del material será suave y centrado, dentro de los límites de excentricidad indicados arriba.
- La transición se encontrará en un único plano horizontal.
- Se aplicaran las siguientes limitaciones geométricas:

$$h / d_c < 10$$

$$h < 100 \text{ m}$$

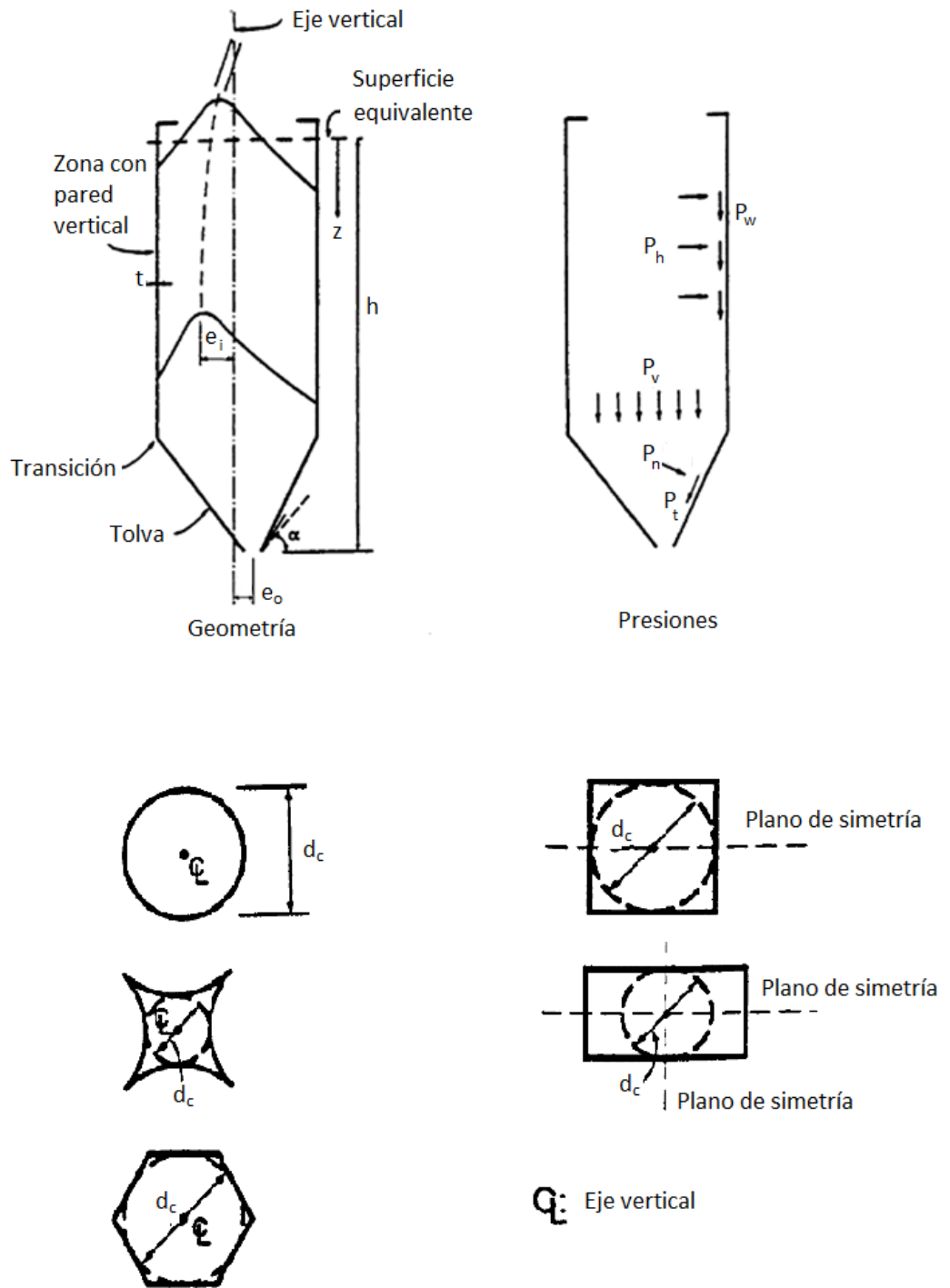
$$d_c < 50 \text{ m}$$

- Cada silo se proyectará para un rango definido de propiedades de los material granulares.
- Se deben tener en cuenta las siguientes definiciones:

Silo Esbelto: Silo en el que $h / d_c \geq 1.5$

Silo Corto: Silo en el que $h / d_c < 1.5$

Silo circular de pared delgada: Silo de sección transversal circular sin rigidizadores en el que $d_c / t > 200$.



Fuente: Eurocódigo 1, Parte 4: Acciones en silos y depósitos

FIGURA 3.2. Forma de los silos, dimensiones y notación de las presiones [19]

CARGAS EN LOS SILOS DEBIDO A MATERIALES GRANULARES

Generalidades

- a) Las cargas debidas a materiales granulares dependen de:
- Las propiedades del material granular
 - La variación en las condiciones de rozamiento de la superficie
 - La geometría del silo
 - Los métodos de llenado y vaciado
- b) El tipo de flujo (flujo en masa o en embudo)
- c) Para la determinación del tipo de flujo, el ángulo de rozamiento de la pared se puede obtener bien por medio de ensayos, tal y como se describe en el apartado 5.5.2 del EUROCÓDIGO 1, parte 4, o bien mediante la siguiente formula, empleando los valores aproximados del coeficiente de rozamiento dado en la tabla 20.
- $$\varphi_w = \arctan(\mu_m) \quad (22)$$
- d) Los valores característicos para las presiones de llenado y vaciado se definen para los siguientes tipos de silo:

- Silos esbeltos.
- Silos cortos.
- Silos de homogeneización y silos de alta velocidad de llenado.

e) En el cálculo de las presiones se puede despreciar cualquier ayuda a las paredes del silo debida a la rigidez del material granulado. Esto significa que la interacción entre la deformación de la pared y la carga del material almacenado se considera despreciable.

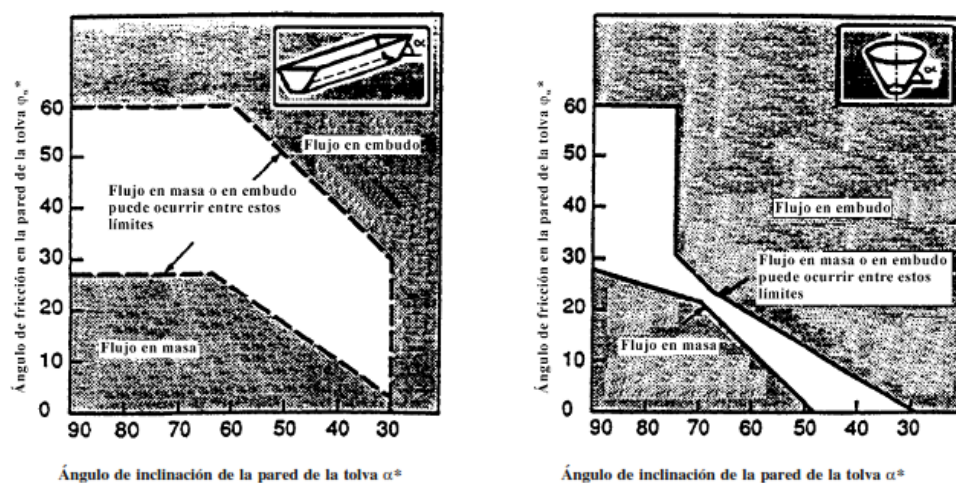


Fig. 5.1 – Límite entre el flujo en masa y en embudo en tolvas cónicas y en forma de cuña

Fuente: Eurocódigo 1, Parte 4: Acciones en silos y depósitos

FIGURA 3.3. Límite entre el flujo en masa y en embudo en tolvas cónicas y en forma de cuña [19]

PRESIONES DE LLENADO

Tras el llenado los valores de la presión de rozamiento sobre la pared de las tolvas P_{wf} , la presión horizontal P_{hf} y la presión vertical P_v , a cualquier profundidad son:

$$P_{wf}(z) = \gamma \frac{A}{U_{pi}} C_z(z) \quad (23)$$

$$P_{hf}(z) = \frac{\gamma A}{\mu U_{pi}} C_z(z) \quad (24)$$

$$P_v(z) = \frac{\gamma A}{K_s \mu U_{pi}} C_z(z) \quad (25)$$

Dónde:

$$C_z(z) = 1 - e^{(-z/z_0)} \quad (26)$$

$$z_0 = \frac{A}{K_s \mu U_{pi}} \quad (27)$$

Dónde:

γ : Densidad de la carga

μ : Valor de proyecto del coeficiente de rozamiento de la pared

K_s : Relación de presiones horizontal y vertical

z : Profundidad

U_{pi} : Perímetro interior

La fuerza vertical resultante sobre una pared $P_w(z)$ por unidad de longitud del perímetro actuando a una profundidad z es:

$$P_w(z) = \int_0^z P_{wf}(z) dz = \gamma \frac{A}{U_{pi}} [z - z_0 C_z(z)] \quad (28)$$

ACCIONES SOBRE LA TOLVA

Cuando $\alpha > 20^\circ$ la presión perpendicular a la pared inclinada (p_n) se calcula de la siguiente forma:

$$p_n = p_{n3} + p_{n2} + (p_{n1} - p_{n2}) \frac{x}{l_h} \quad (29)$$

$$p_{n1} = p_{v0} (C_b \cos^2 \alpha + \operatorname{sen}^2 \alpha) \quad (30)$$

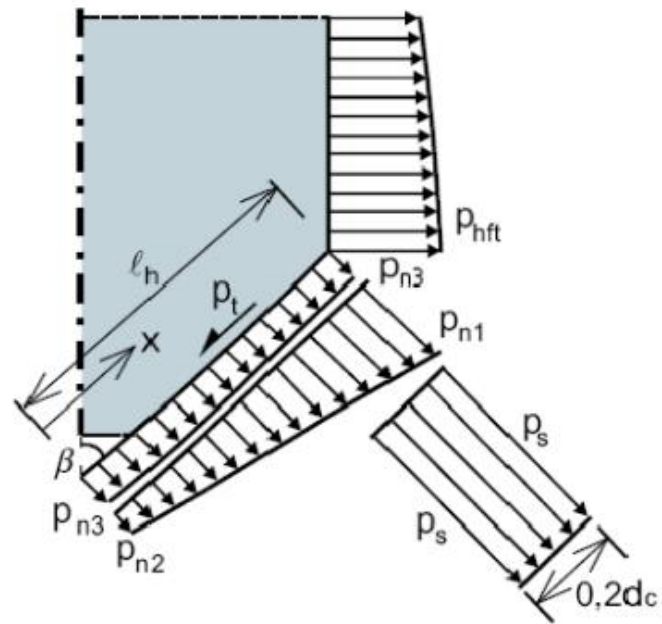
$$p_{n2} = C_b p_{v0} \cos^2 \alpha \quad (31)$$

$$p_{n3} = 3 \frac{A}{U_{pi}} \frac{\gamma K_s}{\sqrt{\mu}} \operatorname{sen}^2 \alpha \quad (32)$$

El valor de la presión de rozamiento sobre la pared p_t se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$p_t = p_n \mu \quad (33)$$

Estas cargas que actúan sobre la tolva se las puede observar en la siguiente figura.



Fuente: Eurocódigo 1, Parte 4: Acciones en silos y depósitos

FIGURA 3.4. Cargas en la tolva y fuerzas de tracción en la parte superior de la tolva

PRESIONES DE VACIADO

Sección de paredes verticales

Las presiones de vaciado se componen de una presión fija y una presión libre llamada presión local.

Las presiones fijas p_{wc} , p_{hc} se obtienen de:

$$p_{wc} = C_w p_{wf} \quad (34)$$

$$p_{hc} = C_h p_{hf} \quad (35)$$

Dónde:

p_{wc} : Presión de rozamiento en la pared durante el vaciado

p_{hc} : Presión horizontal durante el vaciado

Para silos esbeltos los coeficientes de mayoración de la presión sobre las paredes y de la presión horizontal serán:

$$\begin{aligned} C_w &= 1.1 \\ C_h &= C_0 \end{aligned} \quad (36)$$

La magnitud de la presión local de vaciado p_p es:

$$p_p = 0.2 \beta p_{hc} \quad (37)$$

Dónde:

$$\beta = 1 + 4e/d_c \quad (38)$$

PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

Propiedades de los materiales granulares

Las propiedades de los materiales granulares se encuentran determinados en la tabla 20, la misma que es suministrada por el EUROCÓDIGO.

TABLA 20

Propiedades de los materiales granulados [19]

Material granular	Densidad γ [kN/m ³]	Relación de presiones ($K_{s,m}$)	Coeficiente de rozamiento de la pared μ_m		Máximo coeficiente de mayoración de la presión C_0
			Acero	Hormigón	
cebada	8,5	0,55	0,35	0,45	1,35
cemento	16,0	0,50	0,40	0,50	1,40
<i>clinker</i> de cemento	18,0	0,45	0,45	0,55	1,40
arena seca	16,0	0,45	0,40	0,50	1,40
harina	7,0	0,40	0,30	0,40	1,45
ceniza volante	14,0	0,45	0,45	0,55	1,45
maíz	8,5	0,50	0,30	0,40	1,40
azúcar	9,5	0,50	0,45	0,55	1,40
trigo	9,0	0,55	0,30	0,40	1,30
carbón	10,0	0,50	0,45	0,55	1,45

Fuente: Eurocódigo 1, Parte 4: Acciones en silos y depósitos

Para tener en cuenta la variabilidad inherente de las propiedades de los materiales granulares, y para obtener los valores que representen las propiedades extremas de los materiales, se deben aplicar los factores de conversión 0.9 y 1.15 a los valores de μ_m y $k_{s,m}$. De modo para calcular las presiones máximas se emplearán las siguientes combinaciones:

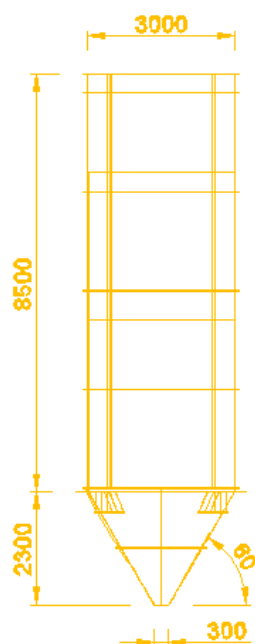
$$\text{Máx. } p_h \text{ para } K_s = 1.15 K_{s,m} \text{ y } \mu = 0.9 \mu_m$$

$$\text{Máx. } p_v \text{ para } K_s = 0.9 K_{s,m} \text{ y } \mu = 0.9 \mu_m$$

$$\text{Máx. } p_w \text{ para } K_s = 1.15 K_{s,m} \text{ y } \mu = 1.15 \mu_m$$

DISEÑO DE TOLVA DE ALMACENAMIENTO DE CEMENTO

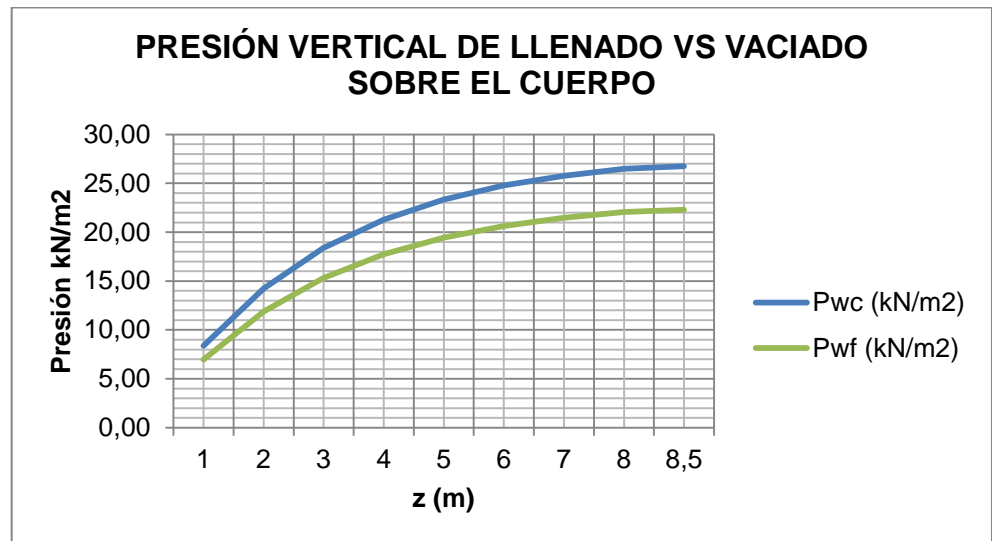
La tolva de cemento está diseñada para una capacidad de almacenamiento de 60 toneladas y cuenta con las siguientes dimensiones que se muestran en la figura 3.5:



Elaborado por: César Mejía, Marlon Cando, 2015

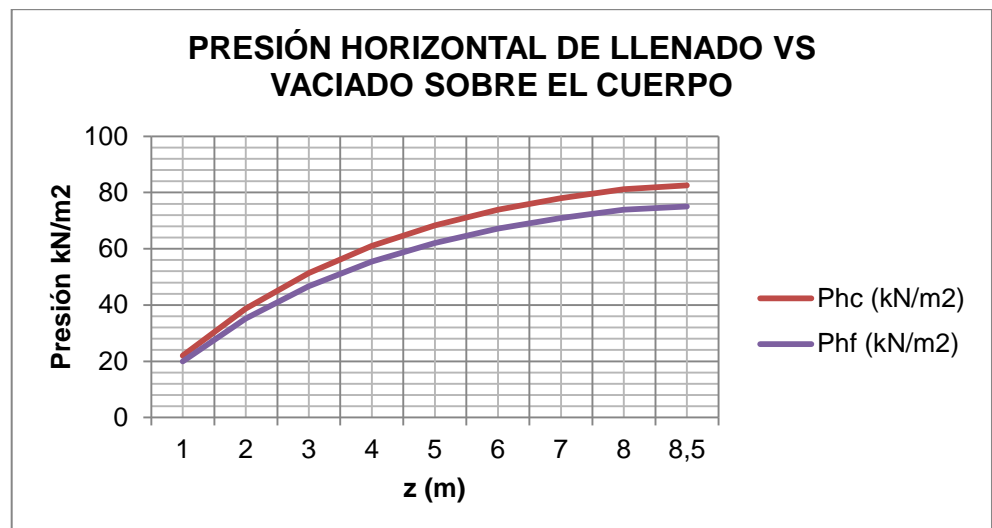
FIGURA 3.5. Dimensionamiento de tolva de cemento

El cálculo de las presiones sobre la tolva se las realizó con ayuda del software EES, donde se obtuvo los resultados que se detallan en las gráficas a continuación:



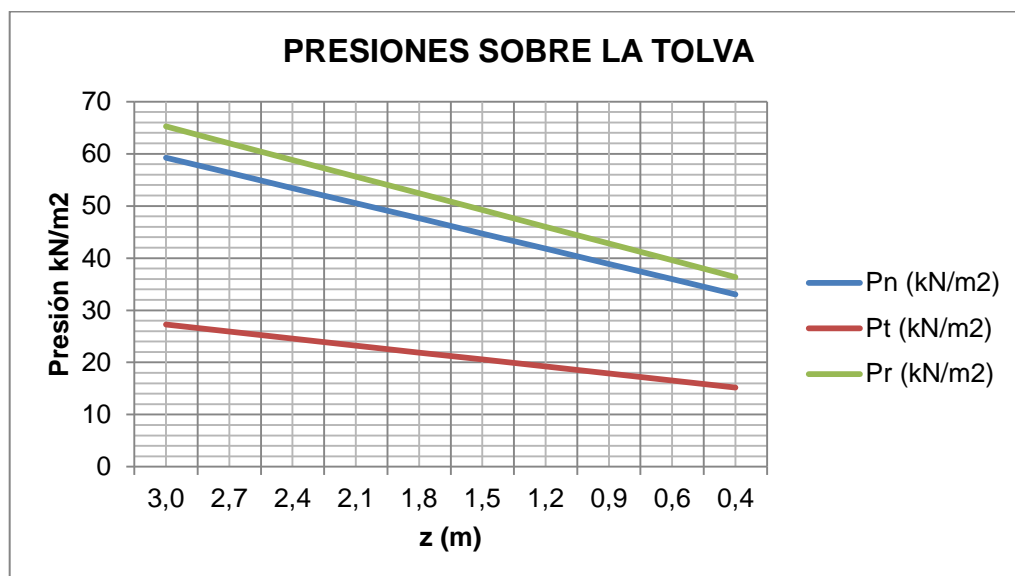
Elaborado por: César Mejía, Marlon Cando, 2015

FIGURA 3.6. Presión vertical de llenado vs vaciado sobre el cuerpo de la tolva de almacenamiento de cemento



Elaborado por: César Mejía, Marlon Cando, 2015

FIGURA 3.7. Presión horizontal de llenado vs vaciado sobre el cuerpo de la tolva de almacenamiento de cemento

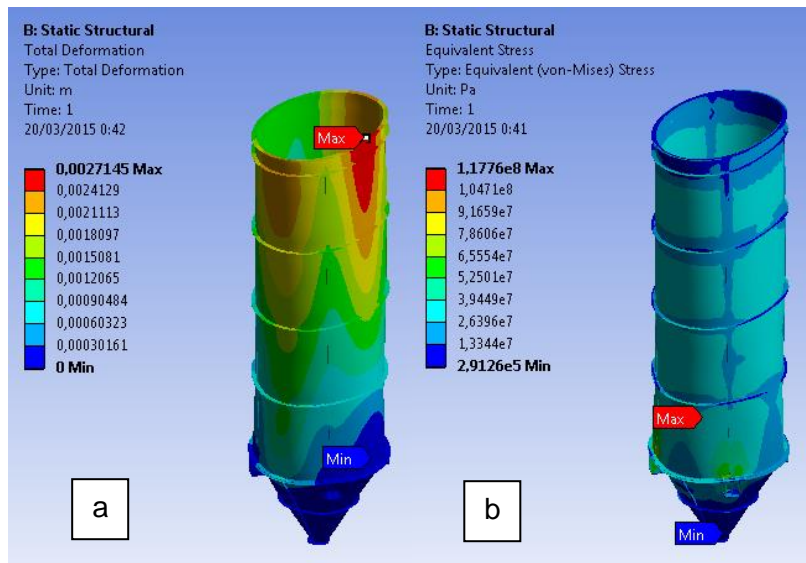


Elaborado por: César Mejía, Marlon Cando, 2015

FIGURA 3.8. Presiones sobre la sección cónica de la tolva de almacenamiento de cemento

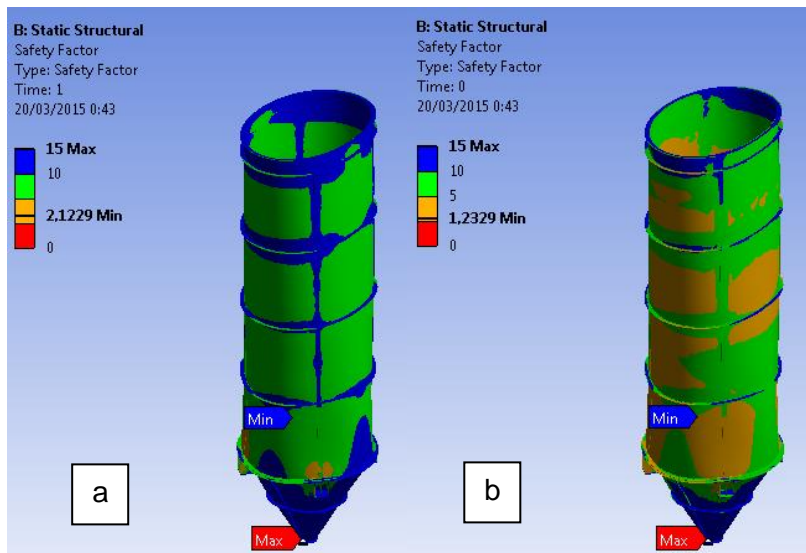
Se puede apreciar que las presiones de vaciado p_{wc} y p_{hc} representan las mayores cargas sobre el cuerpo de la tolva y la presión p_r representa la carga resultante sobre la sección cónica.

Por lo tanto con esta información se procede a efectuar los análisis sobre el diseño utilizando el software ANSYS y con ello calcular el espesor efectivo para la tolva de almacenamiento de cemento. Los resultados obtenidos son los siguientes:



Elaborado por: César Mejía, Marlon Cando, 2015

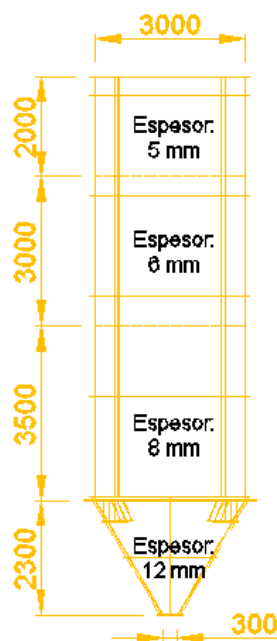
FIGURA 3.9. Deformación total (a) y Esfuerzo equivalente von mises (b) en tolva de almacenamiento de cemento



Elaborado por: César Mejía, Marlon Cando, 2015

FIGURA 3.10. Factor de seguridad estático (a) y factor de seguridad a fatiga (b) en tolva de almacenamiento de cemento

Los espesores recomendados para soportar las presiones sobre la tolva de almacenamiento de cemento son los siguientes:

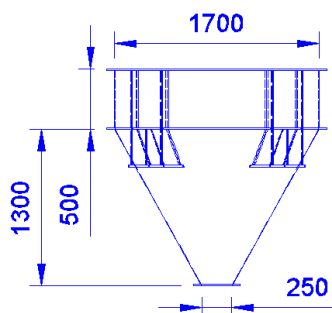


Elaborado por: César Mejía, Marlon Cando, 2015

FIGURA 3.11. Espesor de las paredes de la tolva de almacenamiento de cemento

DISEÑO DE TOLVA PESADORA DE CEMENTO

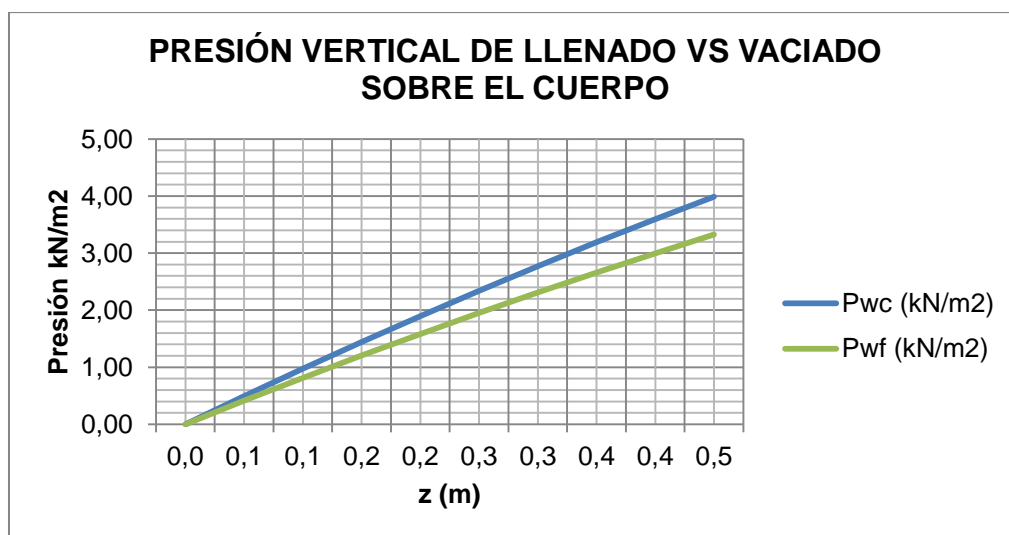
La tolva pesadora de cemento está diseñada para una capacidad de almacenamiento de 2500 kilogramos y cuenta con las siguientes dimensiones que se muestran en la figura 3.12:



Elaborado por: César Mejía, Marlon Cando, 2015

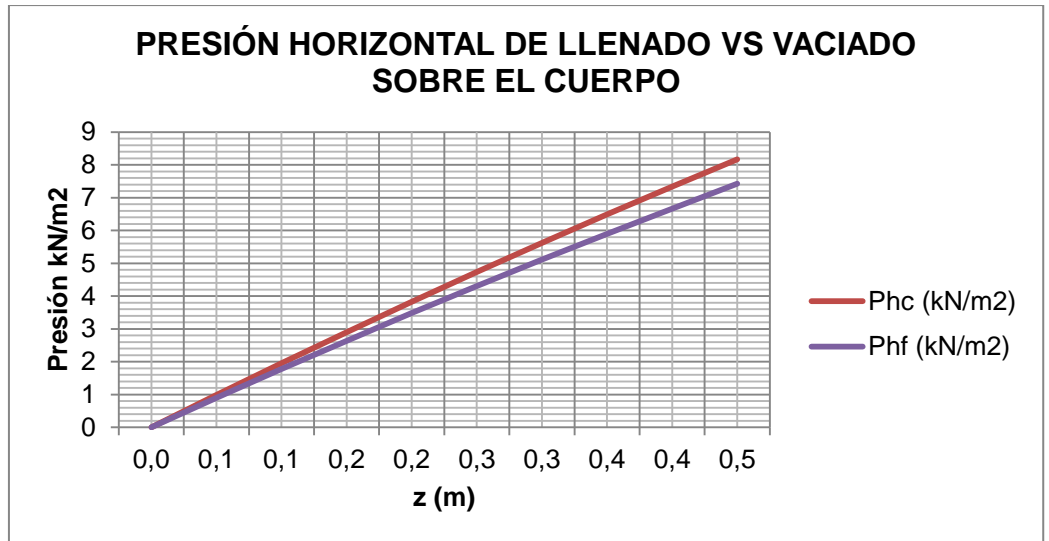
FIGURA 3.12. Dimensionamiento de tolva pesadora de cemento

El cálculo de las presiones sobre la tolva se las realizó con ayuda del software EES, donde se obtuvo los resultados que se detallan en las gráficas a continuación:



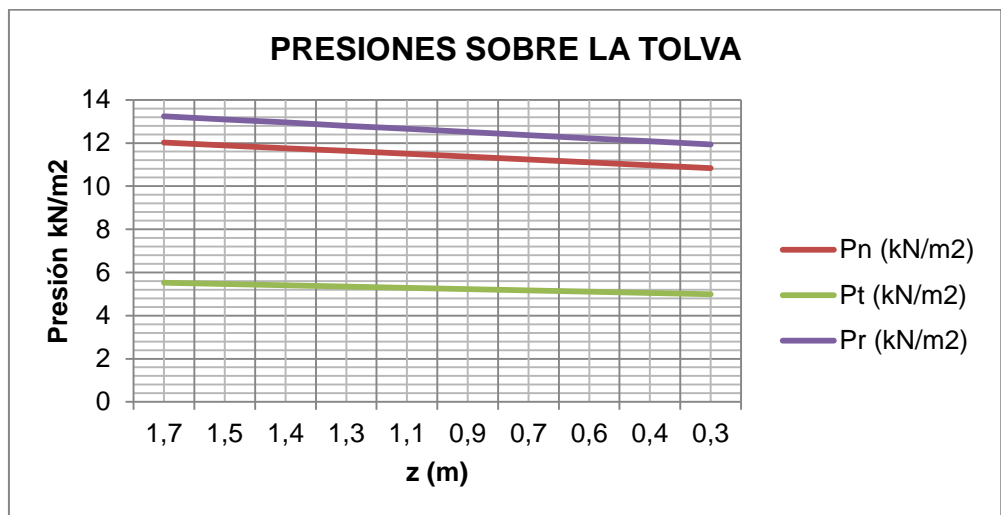
Elaborado por: César Mejía, Marlon Cando, 2015

FIGURA 3.13. Presión vertical de llenado vs vaciado sobre el cuerpo de la tolva pesadora de cemento



Elaborado por: César Mejía, Marlon Cando, 2015

FIGURA 3.14. Presión horizontal de llenado vs vaciado sobre el cuerpo de la tolva pesadora de cemento

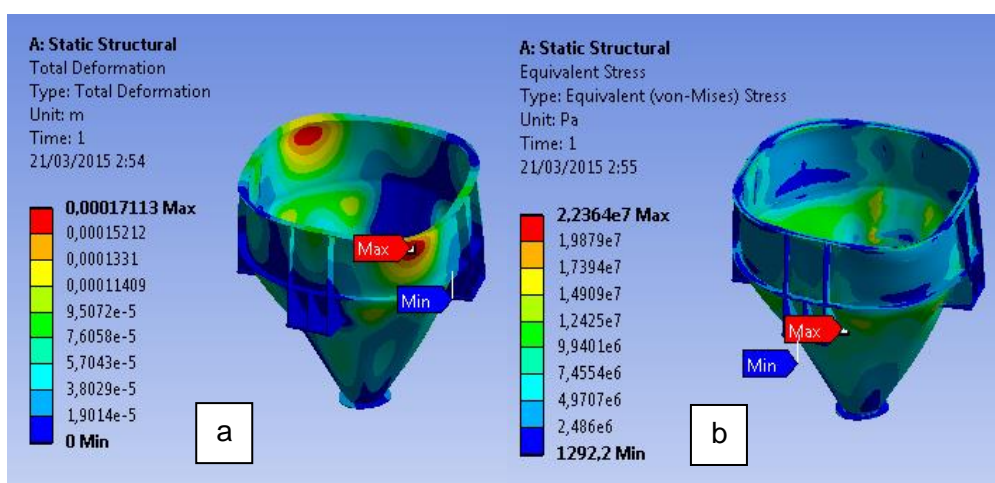


Elaborado por: César Mejía, Marlon Cando, 2015

FIGURA 3.15. Presiones sobre la sección cónica de la tolva pesadora de cemento

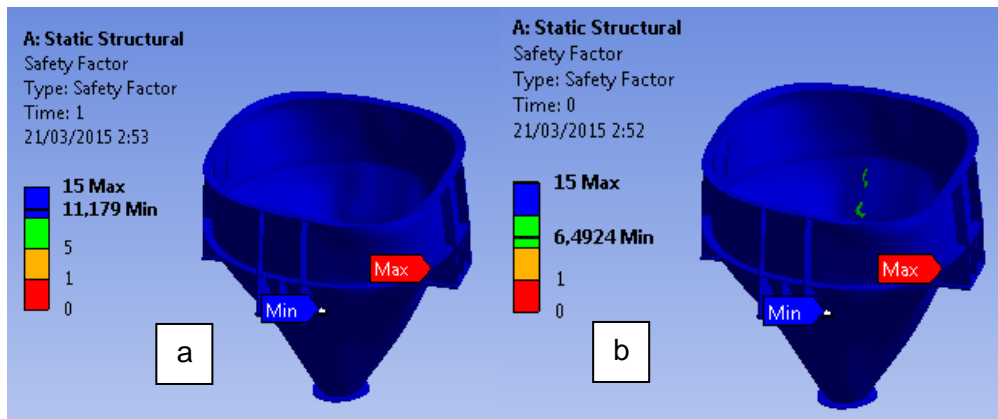
Se puede apreciar que las presiones de vaciado p_{wc} y p_{hc} representan las mayores cargas sobre el cuerpo de la tolva y la presión p_r representa la carga resultante sobre la sección cónica; la misma que representa la mayor parte de la estructura. Por lo tanto con esta información se procede a efectuar los análisis sobre el diseño utilizando el software ANSYS y con ello calcular el espesor efectivo para la tolva de pesadora de cemento.

Los resultados obtenidos son los siguientes:



Elaborado por: César Mejía, Marlon Cando, 2015

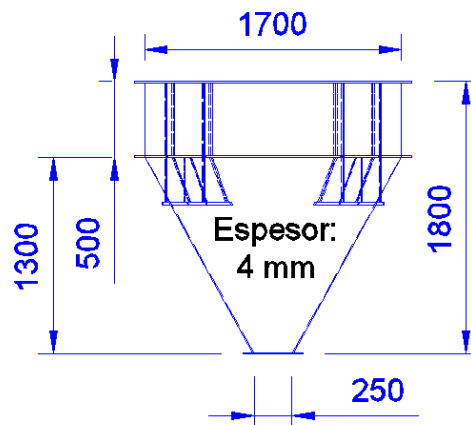
FIGURA 3.16. Deformación total (a) y Esfuerzo equivalente von mises (b) en tolva pesadora de cemento



Elaborado por: César Mejía, Marlon Cando, 2015

FIGURA 3.17. Factor de seguridad estático (a) y factor de seguridad a fatiga (b) en tolva pesadora de cemento

Los espesores recomendados para soportar las presiones sobre la tolva pesadora de cemento son los siguientes:

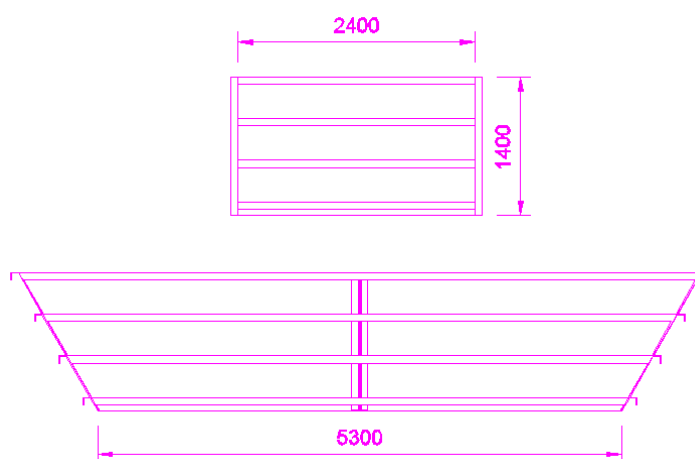


Elaborado por: César Mejía, Marlon Cando, 2015

FIGURA 3.18. Espesor de las paredes de la tolva pesadora de cemento

DISEÑO DE TOLVA DE ALMACENAMIENTO DE AGREGADOS

La tolva de almacenamiento de agregados fino y grueso está diseñada para una capacidad de almacenamiento de 14 y 13 toneladas de arena y piedra respectivamente; y cuenta con las siguientes dimensiones que se muestran en la figura 3.19:

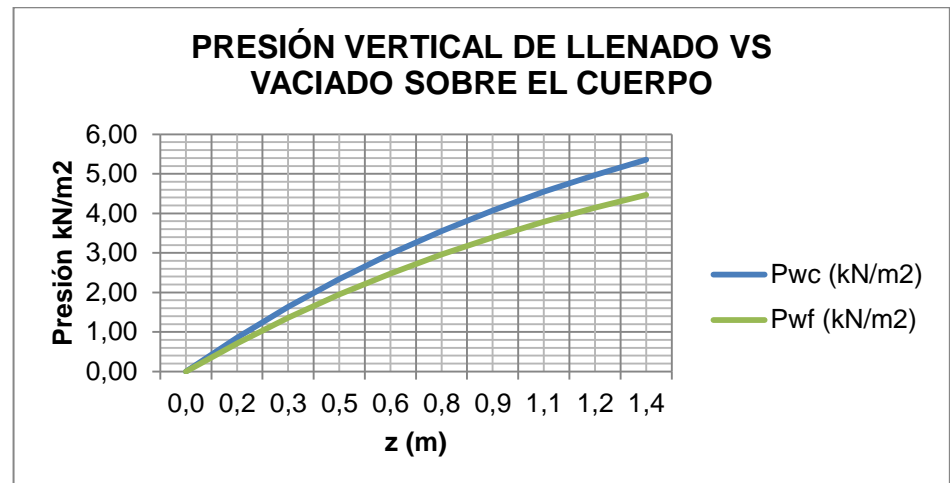


Elaborado por: César Mejía, Marlon Cando, 2015

FIGURA 3.19. Dimensionamiento de tolva de almacenamiento de agregados

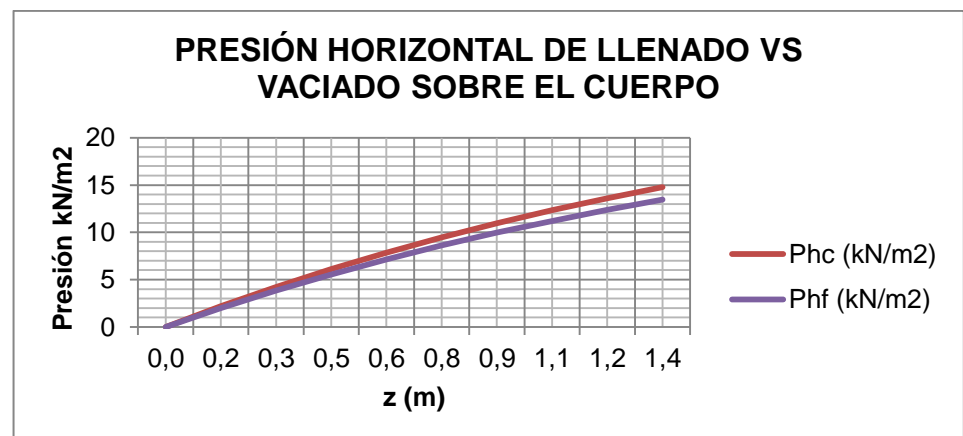
El cálculo de las presiones sobre la tolva de agregados fino y grueso se las realiza en base a la capacidad de almacenamiento de arena debido a que este material presenta las cargas críticas de diseño sobre la tolva de almacenamiento

de agregados. Con ayuda del software EES se obtuvo los resultados que se detallan en las gráficas a continuación:



Elaborado por: César Mejía, Marlon Cando, 2015

FIGURA 3.20. Presión vertical de llenado vs vaciado sobre el cuerpo de la tolva de almacenamiento de agregados



Elaborado por: César Mejía, Marlon Cando, 2015

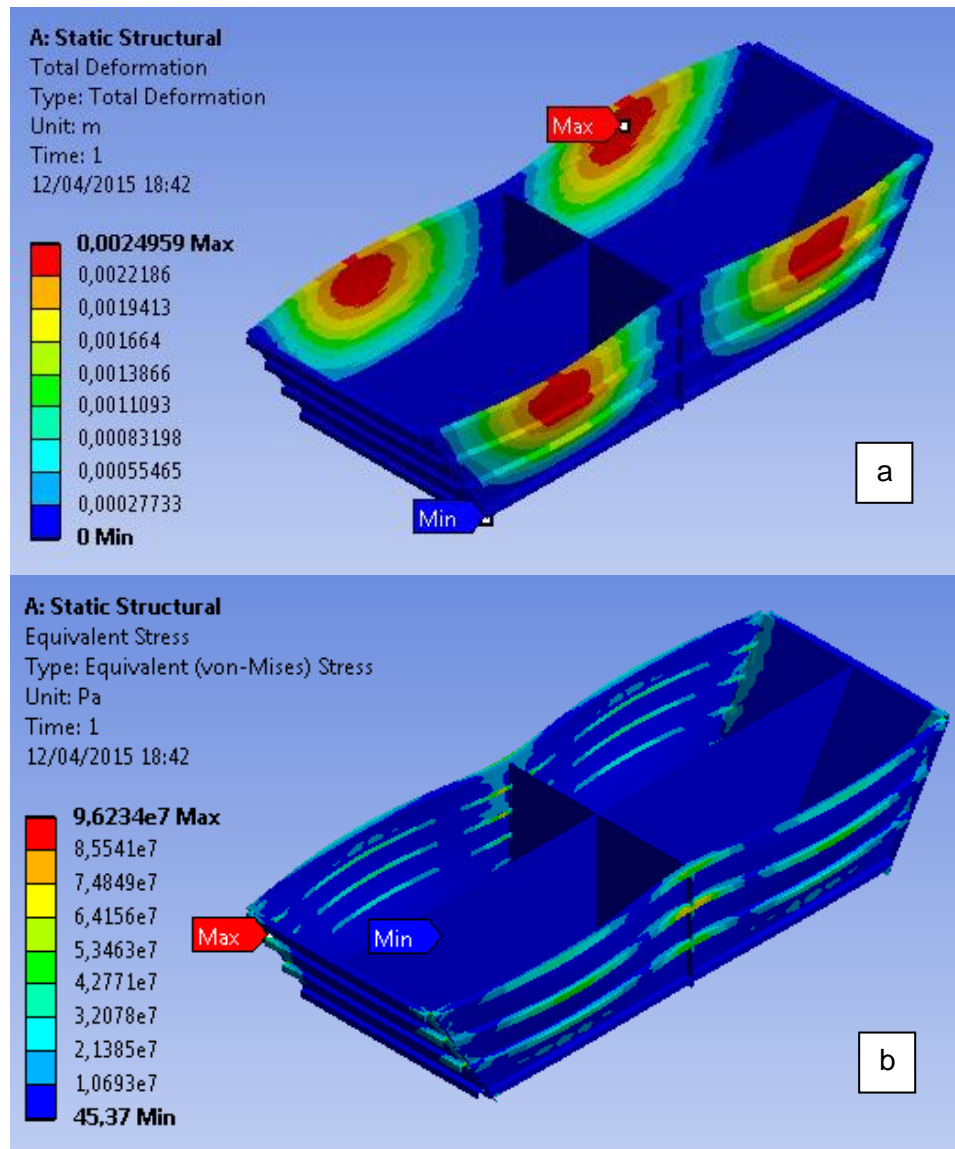
FIGURA 3.21. Presión horizontal de llenado vs vaciado sobre el cuerpo de la tolva de almacenamiento de agregados

Se puede apreciar que para este caso en particular se trabajará con las presiones de vaciado p_{wc} y p_{hc} , las cuales representan las mayores cargas sobre el cuerpo de la tolva.

Con esta información se procede a efectuar los análisis sobre el diseño utilizando el software ANSYS y con ello calcular el espesor efectivo para la tolva de almacenamiento de agregados fino y grueso.

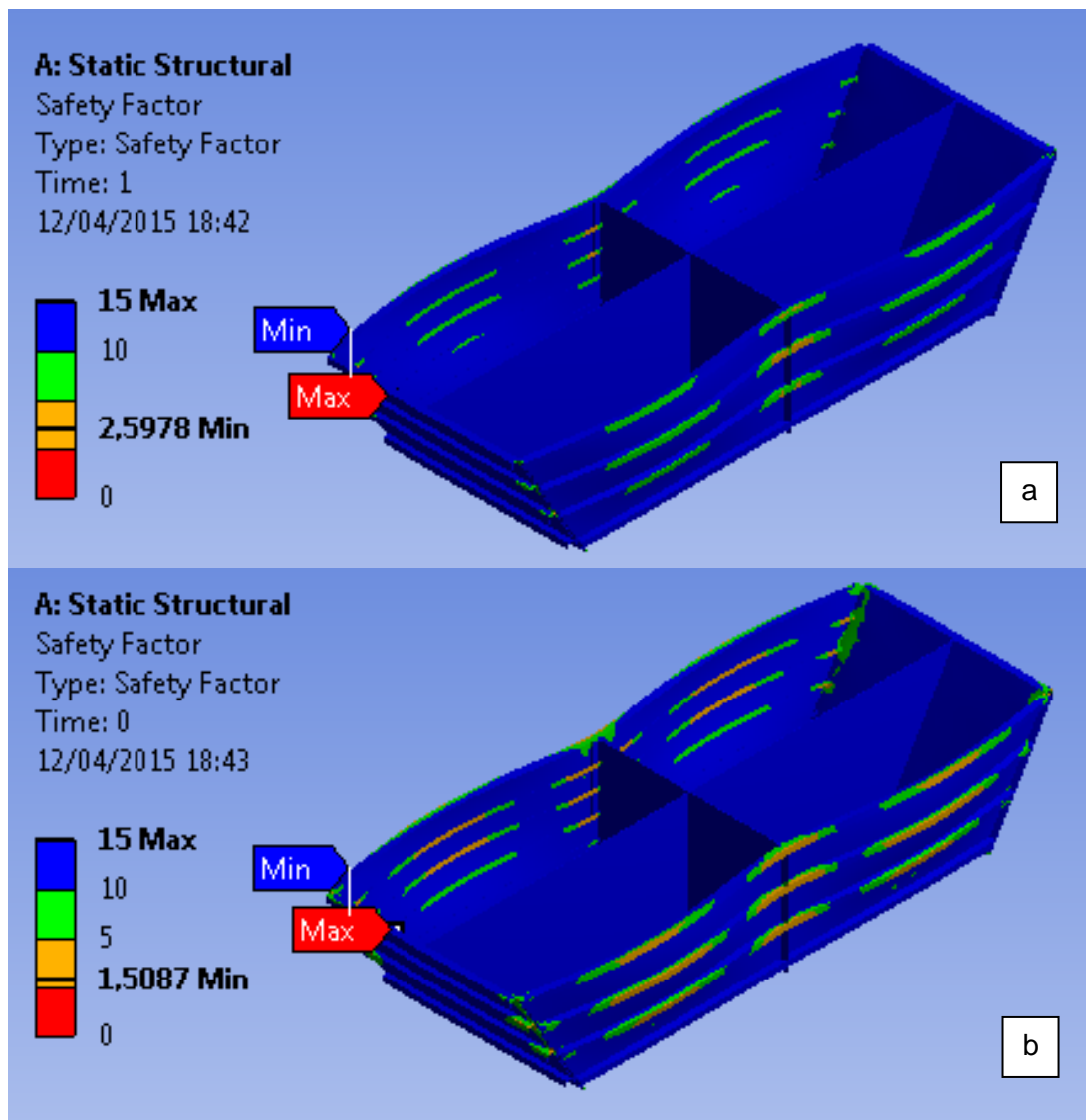
Los resultados obtenidos se los presentan en las figuras 3.22 y 3.23 a continuación:

Los espesores recomendados para soportar las presiones sobre la tolva de almacenamiento de agregados fino y grueso se detallan en la figura 3.24.



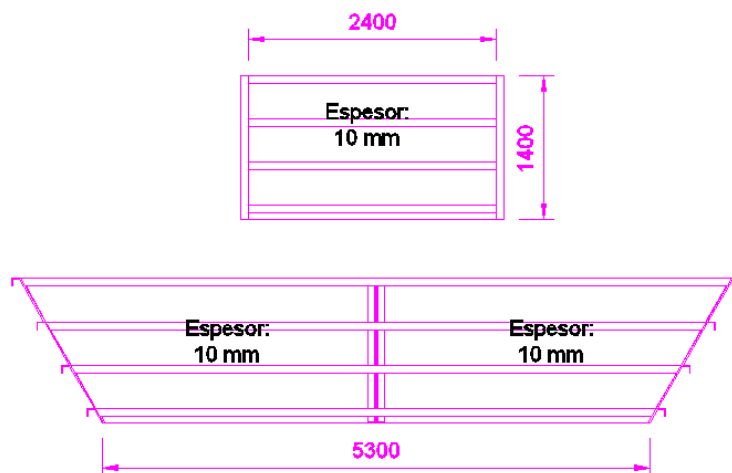
Elaborado por: César Mejía, Marlon Cando, 2015

FIGURA 3.22. Deformación total (a) y Esfuerzo equivalente von mises (b) en tolva de almacenamiento de agregados



Elaborado por: César Mejía, Marlon Cando, 2015

FIGURA 3.23. Factor de seguridad estático (a) y factor de seguridad a fatiga (b) en tolva de almacenamiento de agregados

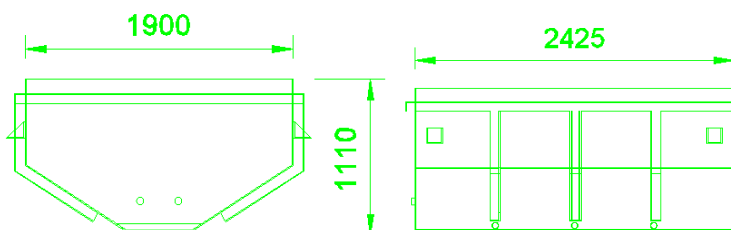


Elaborado por: César Mejía, Marlon Cando, 2015

FIGURA 3.24. Espesor de las paredes de la tolva de almacenamiento de agregados

DISEÑO DE TOLVA PESADORA DE AGREGADOS

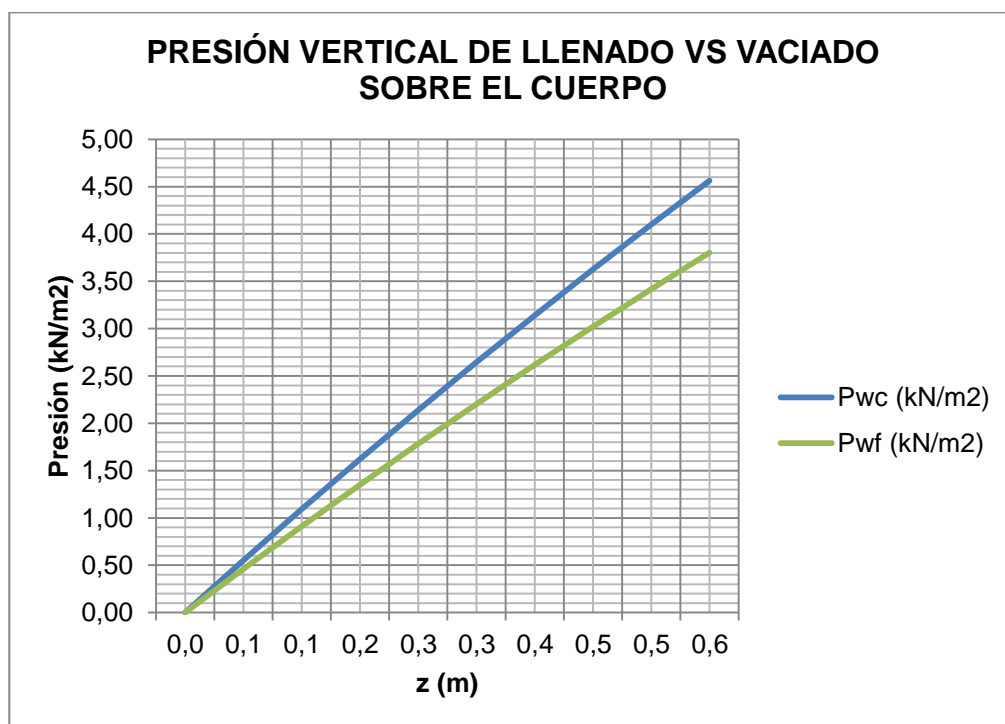
Las tolvas pesadoras de agregados fino y grueso están diseñadas para una capacidad de 5900 y 5500 kilogramos de arena y piedra respectivamente; y cuentan con las siguientes dimensiones que se muestran en la figura 3.25.:



Elaborado por: César Mejía, Marlon Cando, 2015

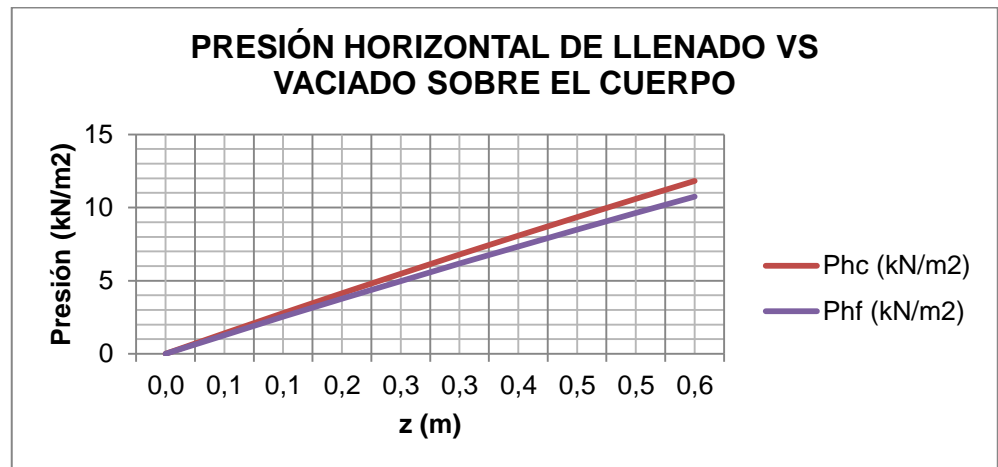
FIGURA 3.25. Dimensionamiento de tolva pesadora de agregados

El cálculo de las presiones sobre la tolva pesadora de agregados fino y grueso se las realiza en base a la capacidad de pesaje de la arena debido a que este material presenta las cargas críticas de diseño sobre la tolva pesadora. Con ayuda del software EES se obtuvo los resultados que se detallan en las gráficas a continuación:



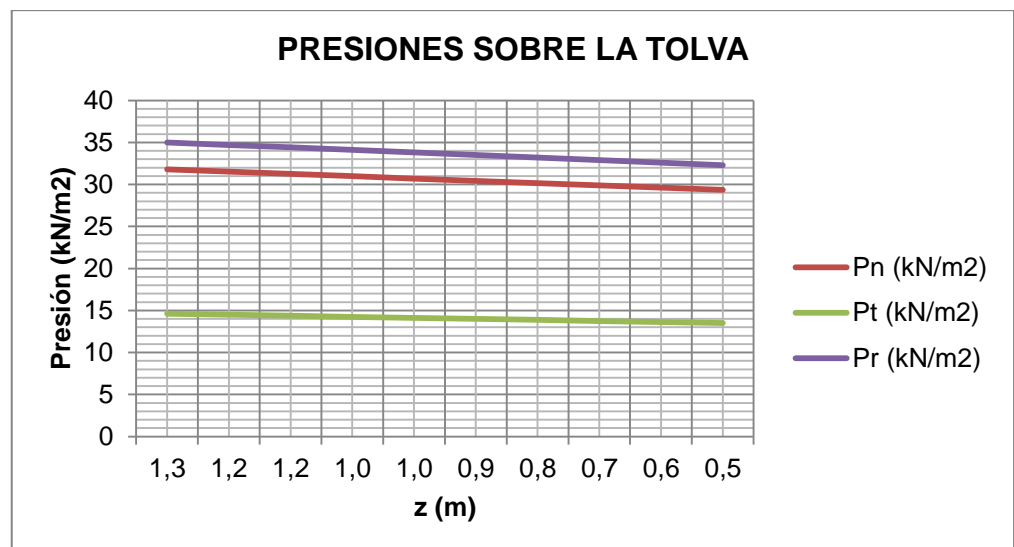
Elaborado por: César Mejía, Marlon Cando, 2015

FIGURA 3.26. Presión vertical de llenado vs vaciado sobre el cuerpo de la tolva pesadora de agregados



Elaborado por: César Mejía, Marlon Cando, 2015

FIGURA 3.27. Presión horizontal de llenado vs vaciado sobre el cuerpo de la tolva pesadora de agregados



Elaborado por: César Mejía, Marlon Cando, 2015

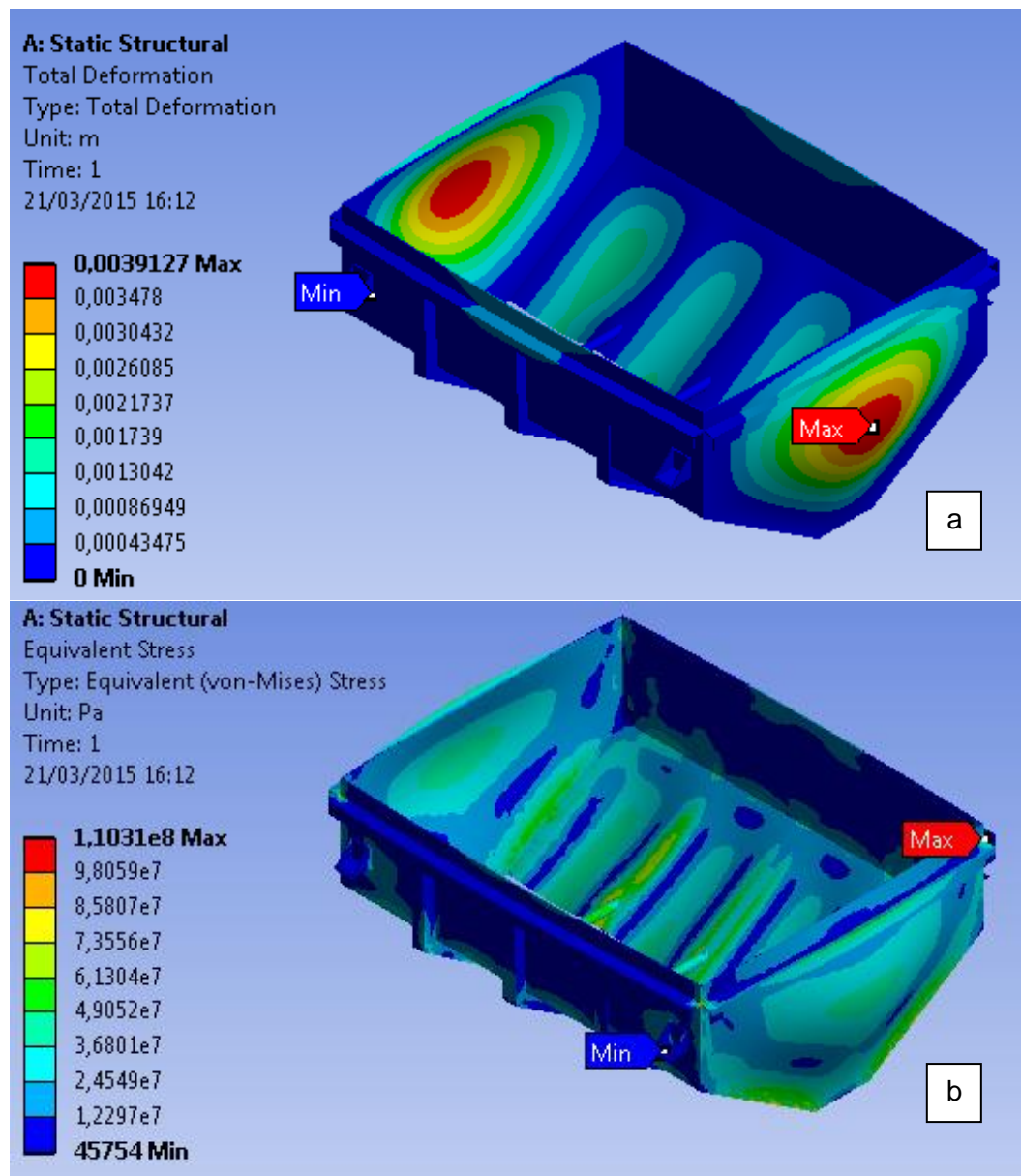
FIGURA 3.28. Presiones sobre la sección cónica de la tolva pesadora de agregados

Se puede apreciar que las presiones de vaciado p_{wc} y p_{hc} representan las mayores cargas sobre el cuerpo de la tolva y la presión p_r representa la carga resultante sobre la sección cónica.

Con esta información se procede a efectuar los análisis sobre el diseño utilizando el software ANSYS y con ello calcular el espesor efectivo para la tolva pesadora de agregados fino y grueso.

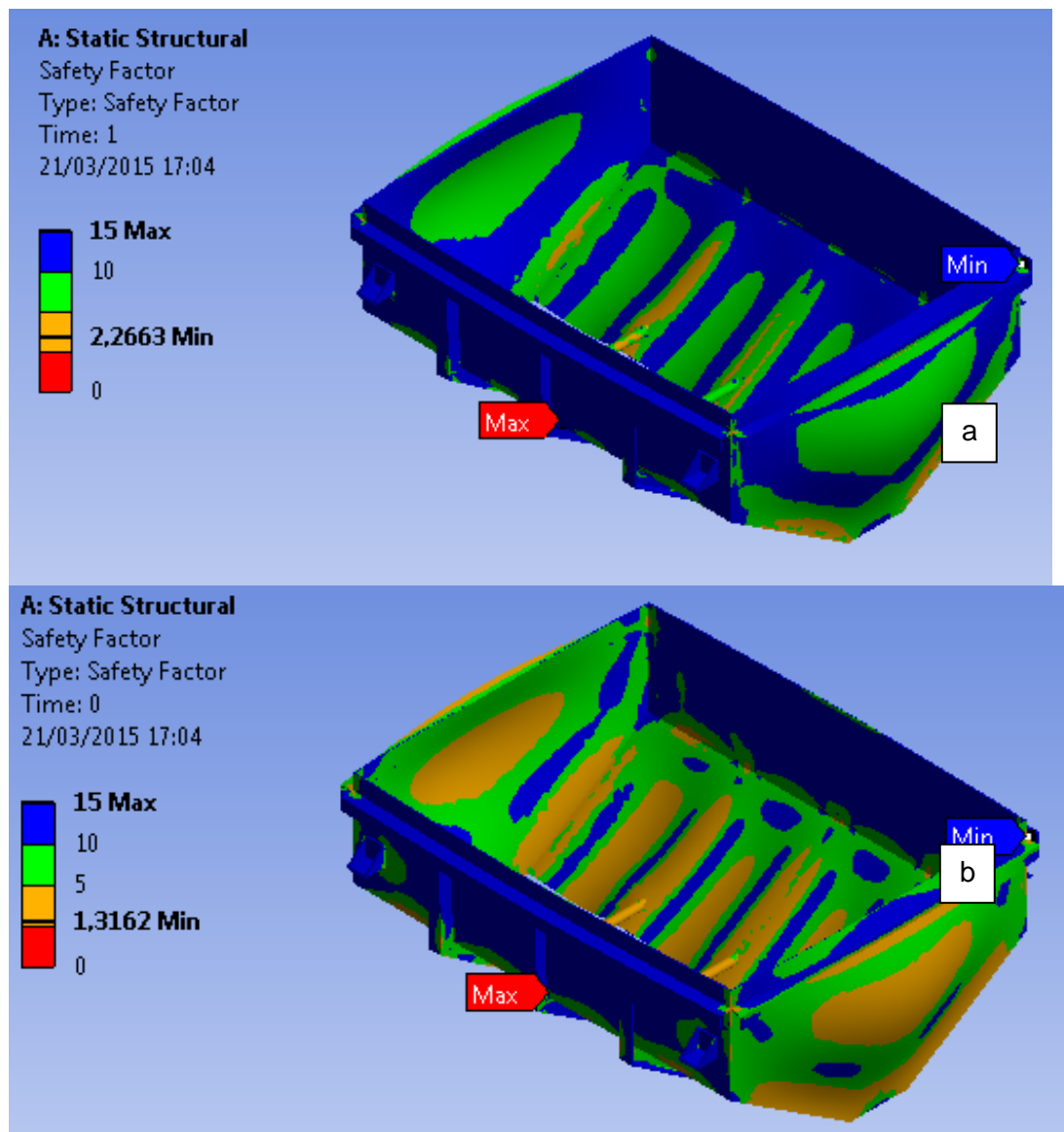
Los resultados obtenidos se los presentan en las figuras 3.29 y 3.30 a continuación:

Los espesores recomendados para soportar las presiones sobre la tolva de almacenamiento de agregados fino y grueso se detallan en la figura 3.31.



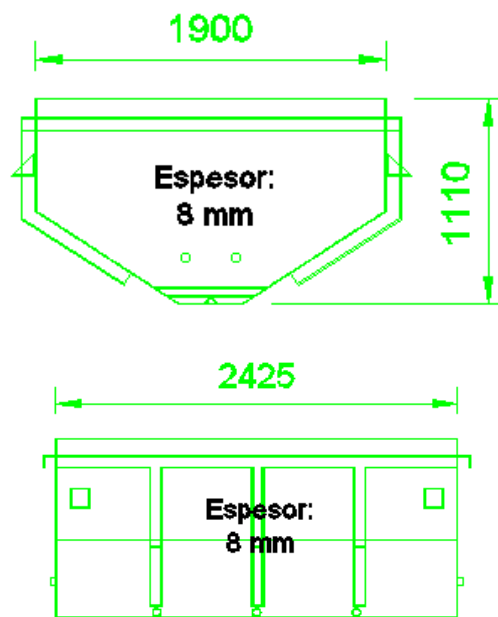
Elaborado por: César Mejía, Marlon Cando, 2015

FIGURA 3.29. Deformación total (a) y Esfuerzo equivalente von mises (b) en tolva pesadora de agregados



Elaborado por: César Mejía, Marlon Cando, 2015

FIGURA 3.30. Factor de seguridad estático (a) y factor de seguridad a fatiga (b) en tolva pesadora de agregados



Elaborado por: César Mejía, Marlon Cando, 2015

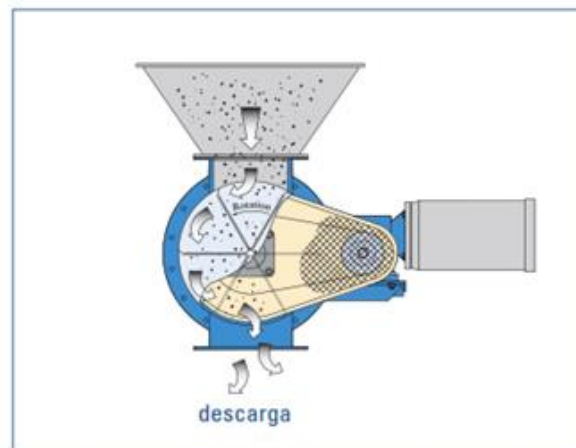
FIGURA 3.31. Espesor de las paredes de la tolva pesadora de agregados

3.1.2. Selección de válvulas dosificadoras

Para la correcta descarga de forma uniforme del cemento entre las diferentes etapas del proceso productivo, es indispensable el uso de válvulas rotativas, las mismas que serán ubicadas entre:

- Tolva de almacenamiento y la tolva pesadora de cemento
- Tolva pesadora de cemento y tornillo helicoidal hacia el camión mezclador (mixer)

En la figura 3.32 se muestra en detalle el funcionamiento de una válvula rotativa.



Fuente: Válvulas rotativas DONALDSON TORIT

FIGURA 3.32. Válvulas rotativas

El flujo de cemento a mover es:

$$\frac{1940 \text{ kg}}{\text{ciclo}} * \frac{1 \text{ ciclo}}{4 \text{ min}} * \frac{m^3}{1100 \text{ kg}} * \frac{35.3 \text{ ft}^3}{1 \text{ m}^3} = 15.6 \frac{\text{ft}^3}{\text{min}}$$

Por lo tanto se selecciona una válvula rotativa modelo AN tamaño 10 marca DONALDSON TORIT, la misma que presenta las siguientes características:

- Velocidad: 22 rpm
- Capacidad de válvula: $1.3 \text{ ft}^3/\text{rev}$
- Peso: 290 libras

3.1.3. Selección de sistema de dosificación de aditivos

Los aditivos son componentes que se agregan a la mezcla principalmente para brindar determinada calidad o para mejorar las cualidades normales del hormigón sin aditivos. En la tabla 21 se muestra un listado de los típicos aditivos que se utilizan en el mercado.

TABLA 21

Tipos de aditivos para la mezcla de hormigón

ADITIVOS	
Acelerantes	Colorante
Retardante	Para mejorar la trabajabilidad
Superplastificante	Para mejorar la adherencia
Inclisor de aire	Aprueba de humedad
Reductor de agua y controlador de fraguado	Impermeabilizante
Aditivo mineral finamente dividido	Para lechadas
Para concreto sin revenimiento	Anti deslave
Polímero	Espumante
De control de hidratación	Auxiliar de bombeo
Inhibidor de corrosión	

Elaborado por: César Mejía, Marlon Cando, 2015

Para la descarga de los aditivos en la mezcla se efectuará una previa dosimetría en recipientes con medidas de hasta 20 litros sobre una balanza para posteriormente ser bombeado hacia el tambor del mixer.

Selección de bomba

Se calcula el diámetro de la tubería para aditivo utilizando una velocidad de movimiento de 1.2 m/s, lo cual arroja una ducto de $\frac{3}{4}$ pulgadas.

Con esta información se procede a calcular las pérdidas por fricción en la tubería, con lo cual se tiene:

$$Re_d = \frac{998 \text{ kg/m}^3 * 1.2 \text{ m/s} * \frac{3}{4} \text{ in} * 0.0254 \text{ m/in}}{1.003 \times 10^{-3} \text{ N s/m}^2}$$

$$Re_d = 22.807 \times 10^3$$

$$Rugosidad \text{ relativa} = \frac{0.046}{50.8} = 0.000906$$

Con estos valores se ingresa al diagrama de Moody que se encuentra en el apéndice H, y se obtiene el valor del coeficiente de fricción, el mismo que es igual a:

$$f = 0.0711$$

Por lo tanto el cabezal requerido es:

$$h_b = \frac{v^2}{2g} + z + h_p$$

$$h_b = \frac{1.2^2}{2 * 9.81} + 2.6 + \left(0.0711 * \frac{7}{0.01905}\right)$$

$$h_b = 28.79m$$

La potencia de la bomba será:

$$\mathbb{P} = \rho g \dot{V} h_b$$

$$\mathbb{P}_{nominal} = 998 * 9.81 * 0.000333 * 28.79 * \left(\frac{1 \text{ hp}}{735 \text{ watts}}\right)$$

$$\mathbb{P}_{nominal} = 0.13 \text{ hp}$$

Entonces si la bomba trabaja a una eficiencia de 80%, se tiene

$\mathbb{P}_{requerido} = \mathbf{0.16 \text{ hp}}$, por lo tanto se selecciona una bomba de

$\frac{1}{4}$ hp para dosificar los aditivos.

3.2. Sistemas de transporte

3.2.1. Tornillos helicoidales

Para el diseño de los tornillos helicoidales se utilizará el procedimiento establecido en “El Gran Catálogo 4000 de Martin Sprocket & Gear” [20].

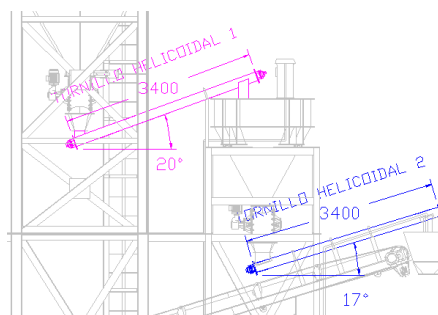
Adicionalmente se usa como fuente de información la tesis de grado “Software para Diseño de Transportadores de Tornillo Sinfín de la ESPOL” [21].

Metodología

- a) Establecer factores conocidos
- b) Clasificación del material a transportar
- c) Determinar el diámetro y capacidad del tornillo helicoidal
- d) Selección de componentes para el tornillo helicoidal
- e) Determinación de la velocidad, capacidad equivalente, potencia, torque y deflexión del tornillo helicoidal
- f) Obtención de medidas geométricas del tornillo helicoidal y sus componentes
- g) Arreglo de transportador
- h) Resultados

a) Establecer factores conocidos

Para iniciar con el diseño se especifica la ubicación de los equipos y las magnitudes requeridas para cada tornillo helicoidal, las mismas que se muestran en la figura 3.33.



Elaborado por: Cesar Mejía, Marlon Cando, 2015

FIGURA 3.33. Tornillos helicoidales 1 y 2

En la figura 3.33 se puede visualizar que las longitudes del tornillo helicoidal 1 y 2 son similares, por lo tanto; dicha medida geométrica será la misma para los dos equipos pero sus ángulos de trabajo difieren debido al requerimiento operativo de la planta.

Posteriormente se identifica el tipo de material que será transportado por el tornillo Helicoidal, se identifican los requerimientos del equipo y los diferentes factores que fueron expuestos en las secciones 2.2.4 y 2.3. A continuación se detalla los datos obtenidos:

TABLA 22

Material a transportar en tornillo helicoidal

Tipo de Material	Cemento Portland
Densidad	181 lbm/ft ³

Elaborado por: César Mejía, Marlon Cando, 2015

TABLA 23**Requerimiento de capacidad de transporte**

REQUERIMIENTO	TORNILLO HELICOIDAL 1	TORNILLO HELICOIDAL 2
Flujo Volumétrico	220,9 ft ³ /h	320,4 ft ³ /h
Flujo Másico	20 t/h	29 t/h

Elaborado por: César mejía, Marlon cando, 2015

b) Clasificación del material a transportar

El material que será transportado se clasifica a través de un código, el mismo que se detalla en la tabla 24 a continuación:

TABLA 24**Código de clasificación del material [20]**

CLASE	CODIGO	CARACTERISTICA DEL MATERIAL
Tamaño de Grano	B6	Fino-Malla No. 6 (0,132) y menor
Fluidez	3	Fluido Promedio
Abrasividad	5	Abrasividad Media
Propiedades Misceláneas o Peligrosas	Q	Degradable-Afecta Uso

Fuente: El gran catálogo 4000, Martin Sprocket & Gear

El código correspondiente al cemento (B6-35Q) también permite conocer más información acerca los componentes

del tornillo helicoidal. Dichos requerimientos se exponen en la siguiente tabla.

TABLA 25

Clasificación de componentes para cemento [20]

Selección de Rodamientos	H
Series de componentes	3
Factor de Material F_n	3
Carga de Artesa	30A

Fuente: El gran catálogo 4000, Martin Sprocket & Gear

c) Determinar el diámetro y capacidad del tornillo helicoidal

El cálculo del diámetro del tornillo helicoidal inicia determinando el tamaño de las partículas del material que será transportado, en el caso del cemento portland que se utiliza en los procesos de producción de hormigón las medidas en promedio son menores a ½ pulgadas. Posteriormente se procede a clasificar el tamaño de las partículas como clase 3 considerando la situación más crítica [20].

A continuación en la tabla 26 se proporcionan los siguientes datos para el diseño del tornillo helicoidal:

TABLA 26**Diámetros del equipo [20]**

Diámetro de Helicoidal	6	in
Diámetro exterior del tubo	2 ³ / ₈	in
Separación Radial	2 ⁵ / ₁₆	in

Fuente: El gran catálogo 4000, Martin Sprocket & Gear

Para el transporte de cemento se diseñará un tornillo helicoidal tubular, el cual posee una carga de artesa de hasta el 90%, sin embargo; los fabricantes de estos equipos consideran un valor máximo del 45%.

El valor de la carga de artesa y el diámetro del helicoidal permiten obtener otros parámetros de diseño los cuales pueden ser visualizados en la tabla 27.

TABLA 27**Capacidad volumétrica del tornillo helicoidal [20]**

Capacidad (Flujo Volumétrico) a 1RPM	1,49
Capacidad (Flujo Volumétrico) a máx. RPM	180
Máximo RPM	120

Fuente: El gran catálogo 4000, Martin Sprocket & Gear

d) Selección de componentes para el tornillo helicoidal

La tabla 24 “Código de clasificación del material” indica la serie de componentes para el diseño y con el diámetro de la helicoidal se pueden obtener los datos que se muestran la tabla 28.

TABLA 28

Componentes para el tornillo helicoidal [20]

Helicoidales Seccionales	6S312
Helicoidales Continuos	6H312
Artesa	calibre 10
Cubierta	calibre 16

Fuente: El gran catálogo 4000, Martin Sprocket & Gear

Cabe recalcar que los diseños contemplan helicoides seccionales continuos para los tornillos helicoidales. Los tornillos helicoidales poseerán únicamente artesa tubular debido a la facilidad que tiene el cemento para viajar con ayuda del aire.

e) Determinación de la velocidad, capacidad equivalente, potencia, torque y deflexión del tornillo helicoidal

VELOCIDAD DEL TRANSPORTADOR

La ecuación para determinar la velocidad de un transportador helicoidal se calcula utilizando la siguiente ecuación [20]:

$$N = \frac{V_{c,1}}{V_{c,1rpm}} \quad (39)$$

Dónde:

$V_{c,1}$: Capacidad volumétrica requerida del tornillo helicoidal.

$V_{c,1rpm}$: Velocidad del tornillo helicoidal a 1 RPM.

N : Velocidad del transportador helicoidal 1 en rpm.

CAPACIDAD EQUIVALENTE

La capacidad equivalente corresponde al flujo volumétrico real del tornillo helicoidal, se expresa de la siguiente manera [20]:

$$\left(\begin{array}{l} \text{Capacidad equivalente} \\ \text{en pies cúbicos por hora} \end{array} \right) = (V_{c,1})(CF_1)(CF_2)(CF_3) \quad (40)$$

En este caso en particular, los valores de CF_1 , CF_2 y CF_3 son iguales a 1, por lo tanto; la capacidad equivalente es

igual a la capacidad requerida que se determinó en la sección 2.2.5.

POTENCIA

Para el cálculo de la potencia de un tornillo helicoidal inclinado se utilizan las siguientes ecuaciones [21]:

Potencia para mover el transportador helicoidal 1 en vacío.

$$HP_{f;1} = \frac{L_1 N_1 f d f_b}{1'000,000} \quad (41)$$

Potencia para mover el material en el transportador helicoidal 1

$$HP_{m;1} = \frac{C_1 L_1 W_1 f f_m f_p}{1'000,000} \quad (42)$$

Potencia para levantar el material

$$HP_{lift;1} = \frac{H_{th;1} W_1 C_1}{33,000 * 60} \quad (43)$$

Potencia total

$$HP_{total;1} = \frac{(HP_{f;1} + HP_{m;1}) f_0 + HP_{lift;1}}{e_t} \quad (44)$$

Dónde:

$HP_{f;1}$: Potencia para mover el transportador helicoidal vacío.

$HP_{m,1}$: Potencia para mover el material en el tornillo helicoidal 1

$HP_{lift,1}$: Potencia para levantar el material en el tornillo helicoidal 1

$HP_{total,1}$: Potencia total del tornillo helicoidal 1

L_1 : Longitud total del transportador helicoidal 1

N_1 : Velocidad del transportador helicoidal 1 en rpm.

f_d : Factor del diámetro del transportador helicoidal [20]

f_b : Factor del buje para colgante [20]

$H_{th,1}$: Altura de inclinación del tornillo helicoidal 1

W_1 : Densidad del cemento.

f_f : Factor del tornillo helicoidal [20]

f_m : Factor del material a transportar [20]

f_p : Factor de las paletas [20]

f_0 : Factor de sobre carga [20]

e_t : Eficiencia de transmisión [20]

TORQUE

A continuación se determina la capacidad torsional de los componentes. El diámetro exterior del tubo del transportador helicoidal es de 2 $\frac{3}{8}$ " , para los tubos cédula 40 el diámetro interior del tubo es 2", lo cual induce a

diseñar un eje con diámetro de 2", por lo tanto; en la tabla 29 se exponen los siguientes datos correspondientes a la capacidad torsional de los componentes del tornillo helicoidal [20]:

TABLA 29
Capacidad torsional de los componentes del tornillo helicoidal
[20]

Torque de los ejes	7,6	lb in
Torque del tubo de cedula 40	14,25	lb in
Diámetro de pernos	$\frac{5}{8}$	in
No. de pernos	2	und
Torque de pernos	7,6	lb in

Fuente: El gran catálogo 4000, Martin Sprocket & Gear

El torque del transportador helicoidal se calcula utilizando la siguiente ecuación [20]:

$$Torque_{th} = \frac{63,025HP_{total}}{Rpm_{max}} \quad (45)$$

DEFLEXIÓN

El cálculo de la deflexión es fundamental para diseñar tornillos helicoidales, una excesiva deflexión puede provocar que la helicoidal rose con la artesa lo cual

provocaría daños severos. Para calcular la deflexión se empleará la siguiente ecuación [20]:

$$Deflexión = \frac{5W_d L_d}{384 * 2,9 * 10^7 * I} \quad (46)$$

Dónde:

W_d : Peso total de la helicoidal [20]

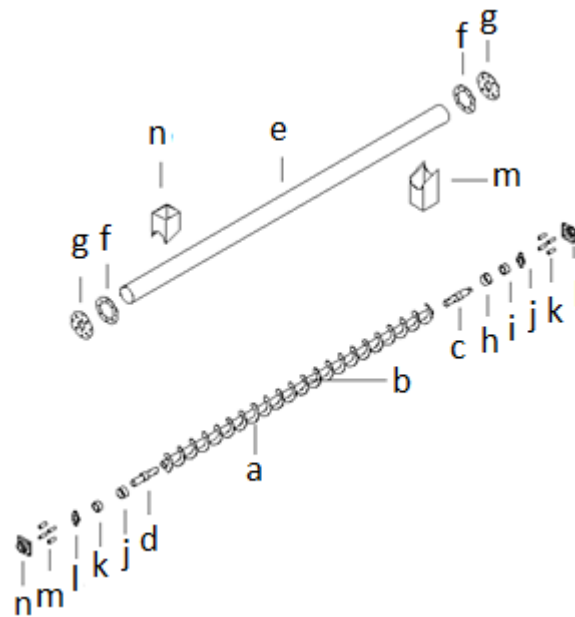
L_d : Longitud de la helicoidal

I : Momento de inercia del tubo [20]

f) Obtención de medidas geométricas del tornillo helicoidal y sus componentes

La metodología de diseño permitió determinar ciertos parámetros y requerimientos de algunos componentes para los tornillos helicoidales, a continuación se establecen ciertas medidas geométricas que se deben cumplir para un diámetro de helicoide determinado [20].

En la figura 3.34 se visualizan los componentes de cada transportador helicoidal [21].



Elaborado por: Cesar Mejía, Marlon Cando, 2015

FIGURA 3.34. Componentes de tornillo helicoidal 1

- a) helicoidal
- b) Tubo del tornillo helicoidal
- c) Eje motriz
- d) Eje terminal
- e) Artesa
- f) Brida
- g) Tapa de artesa
- h) Cajetín
- i) Empaque de grafito
- j) Sujetador
- k) Bocín de fijación para chumacera

- l) Chumacera
- m) Boca de entrada
- n) Boca de salida
- o) Motor

A continuación se clasifican los componentes del transportador helicoidal como:

Componentes móviles, componentes estáticos y componentes estándares [21].

Componentes móviles

Los componentes móviles son aquellos que tienen movimiento rotacional en el interior del transportador de tornillo helicoidal.

HELICOIDAL

La helicoidal es la parte más importante del tornillo helicoidal, su forma y sentido de giro permiten que el material se transporte de un lugar a otro. El helicoide se encuentra fijado alrededor del tubo del transportador. En el caso de que existan 2 helicoidales en el interior de una artesa, la manera de asegurar que el flujo del material sea

continuo en la zona donde está ubicado el colgante es colocando los extremos de la helicoidal de forma opuesta a 180° .

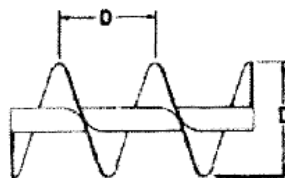


Elaborado por: Cesar Mejía, Marlon Cando, 2015

FIGURA 3.35. Helicoidal

El diseño de los tornillos helicoidales será de tipo estándar, en los cuales el paso de la hélice es de igual magnitud que el diámetro y debido a la facilidad de transportar material, La forma de las espiras serán sólidas y completas.

La figura 3.36 muestra el helicoide seleccionado [21]:



Fuente: Software para diseño de transporte de tornillo Sinfín, ESPOL, 2005

FIGURA 3.36. Tornillos helicoidales con forma de helicoide y de paso tipo estándar [21]

TUBO DEL TORNILLO HELICOIDAL

Este elemento sirve como soporte del helicoides, su rigidez es de vital importancia para que el tornillo helicoidal no presente deflexión.



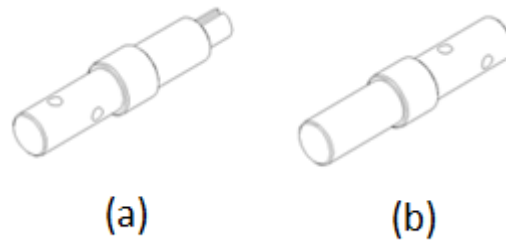
Elaborado por: Cesar Mejía, Marlon Cando, 2015

FIGURA 3.37. Tubo de tornillo helicoidal.

TIPOS DE EJES

Eje motriz, es utilizado en los tornillos helicoidales 1 y 2, su función es de transmitir el movimiento rotacional proveniente del motor, de manera que se efectúe el transporte del material a través de la artesa desde la entrada hacia la salida de cada transportador, figura 3.40 (a).

Eje Terminal, este elemento permite que se realice el movimiento rotacional a lo largo de los tornillos helicoidales 1 y 2, figura 3.38 (b).



Elaborado por: Cesar Mejía, Marlon Cando, 2015

FIGURA 3.38. Tipos de ejes utilizados para los transportadores helicoidales 1 y 2

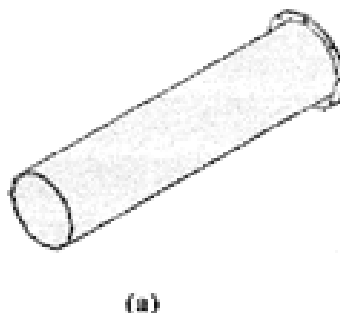
Componentes estáticos

Son todos los componentes que se mantienen fijos cuando el transportador está en funcionamiento.

ARTESA

La artesa básicamente es considerada como el cuerpo del tornillo helicoidal. En el interior del transportador se alojará el cemento, el cual es un material que puede viajar fácilmente con el aire, para este caso se determinó un diseño de artesa de tipo tubular.

Las artesas tubulares como su nombre lo indica tienen la forma de tubo, el cual brinda seguridad en el transporte, rigidez, facilidad de montaje y desmontaje.

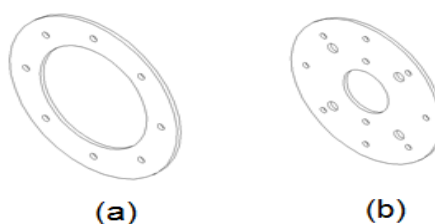


Fuente: Software para diseño de transporte de tornillo Sinfín, ESPOL, 2005 [20]

FIGURA 3.39. Artesa tubular

BRIDAS

Estos elementos sirven como conectores de varios componentes, su utilización brinda estabilidad, la figura 3.40 (a) corresponde a una brida simple de sujeción y (b) es una tapa bridada que impide la salida de las partículas desde la artesa de los tornillos helicoidales hacia el exterior de los mismos.



Elaborado por: Cesar Mejía, Marlon Cando, 2015

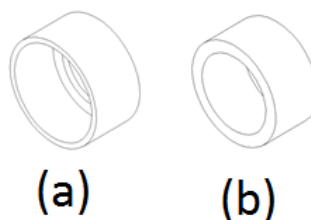
FIGURA 3.40. Tipos de bridas utilizadas en los tornillos helicoidales 1 y 2

CAJETÍN

Este es un elemento rígido sirve como un punto de apoyo para el tornillo helicoidal, aloja en su interior un empaque de grafito, la figura 3.41 (a) muestra la forma del cajetín.

EMPAQUE DE GRAFITO

Este material se encuentra en contacto con el eje a medida que gira, sirve como material de sacrificio, puesto que su función principal es de sostener el eje del tornillo helicoidal cuando rote sin afectarlo, la figura 3.41 (b) muestra la forma que debe tener el empaque para poder ser introducido dentro del cajetín.



Elaborado por: Cesar Mejía, Marlon Cando, 2015

FIGURA 3.41. Elementos de sujeción del eje

SUJETADOR

Sirve para fijar el empaque de grafito con el cajetín que lo aloja en su interior.

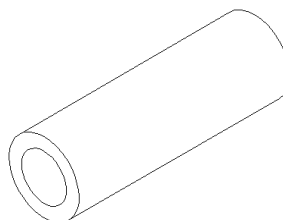


Elaborado por: Cesar Mejía, Marlon Cando, 2015

FIGURA 3.42. Sujetador

BOCÍN DE FIJACIÓN PARA CHUMACERA

El bocín sirve para facilitar la instalación de la chumacera del tornillo helicoidal, son elementos rígidos y están acoplados en la tapa de la artesa.



Elaborado por: Cesar Mejía, Marlon Cando, 2015

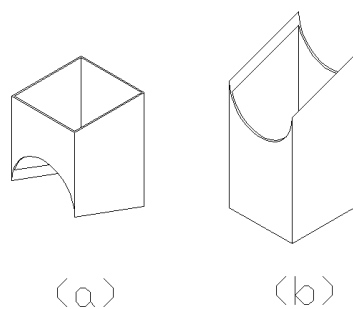
FIGURA 3.43. Bocín de fijación para chumacera

BOCA DE ENTRADA

Este elemento está ubicado donde debe ingresar el material, la figura 3.44 (a) muestra el diseño de este componente.

BOCA DE SALIDA

Es el componente al que llega finalmente el material luego de haber sido transportado a través del tornillo helicoidal, la figura 3.44 (b) muestra la forma de la boca de salida.



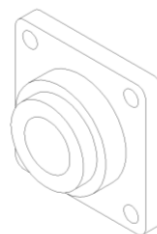
Elaborado por: Cesar Mejía, Marlon Cando, 2015

FIGURA 3.44. Bocas de entrada y salida

Componentes estándares

CHUMACERA

Es un elemento que permite que el eje descansa y gire, transmitiendo la rotación en el helicoide.

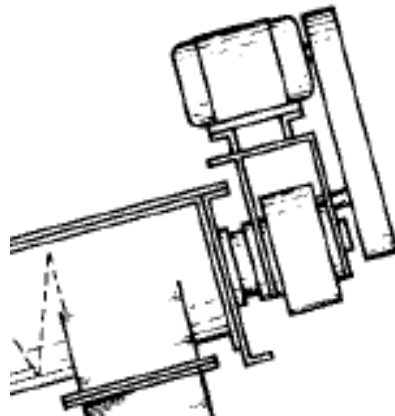


Elaborado por: Cesar Mejía, Marlon Cando, 2015

FIGURA 3.45. Chumacera

MOTOR

Es el equipo motriz del tornillo helicoidal, induce el giro en el eje motriz que a su vez la trasmite hasta el eje terminal. Su accionamiento permite la rotación necesaria para que se pueda transportar el material a través de la artesa del equipo.



Fuente: Catálogo 4000, Martin Sprocket & Gear, 2013

FIGURA 3.46. Motor [20]

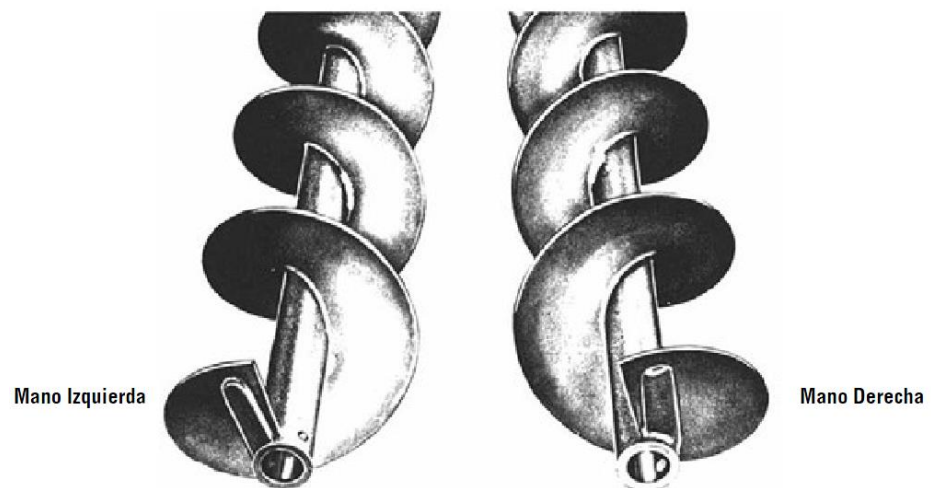
g) Arreglo de transportador helicoidal

SENTIDO DE FLUJO

La forma de hélice que se encuentra alrededor del tubo es la variable que influye directamente en el sentido de giro del tornillo helicoidal.

La hélice que se visualiza a la izquierda de la figura 3.47 se encuentra enrollada en el sentido contrario de las manecillas del reloj, lo cual permite denominarlo como helicoidal mano izquierda [21].

En la figura 3.47 se muestra a su derecha una hélice que esta enrollada en el sentido de las manecillas del reloj, de manera que se lo clasifica como helicoidal mano derecha.



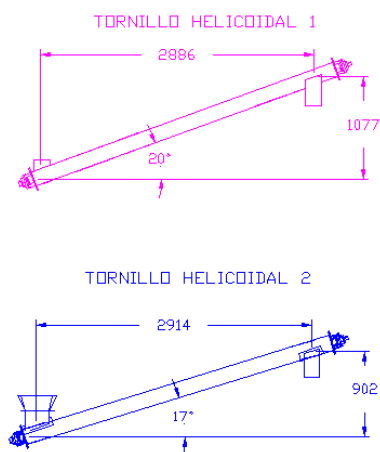
Fuente: Catálogo 4000, Martin Sprocket & Gear, 2013

FIGURA 3.47. Forma de hélice [20]

El sentido se lo puede establecer con la regla de la mano derecha o izquierda, el giro dependerá del motor (horario o anti horario).

CONFIGURACIÓN DEL TORNILLO HELICOIDAL

La figura 3.48 muestra la configuración de los tornillos helicoidales 1 y 2.



Elaborado por: Cesar Mejía, Marlon Cando, 2015

FIGURA 3.48 Configuración de trayectoria de los tornillos helicoidales 1 y 2

Los transportadores helicoidales inclinados poseen consideraciones importantes que se deben tomar en cuenta para el diseño, este tipo de equipos requieren mayor potencia y presentan menor capacidad que los horizontales, dichas variaciones dependen del ángulo de inclinación al cual trabajará y de las características que posee el material a transportar. El cemento es un material

al cual se aconseja transportar a inclinaciones máximas de 20° a 23°, su ángulo de reposo varía entre 30° y 44° [16].

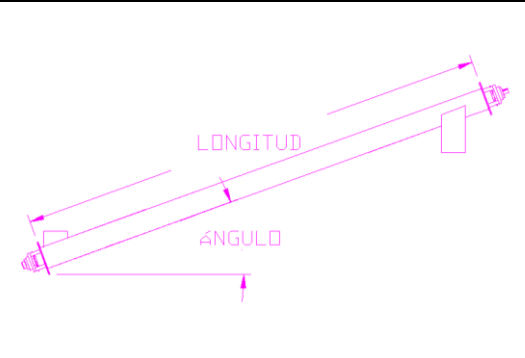
Este tipo de transportadores presentan mayor eficiencia que los transportadores helicoidales horizontales [20].

h) Resultados

A continuación en las tablas 30 y 31 se muestran los resultados del diseño de cada tornillo helicoidal, y el detalle de los cálculos se encuentran en el apéndice E.

TABLA 30

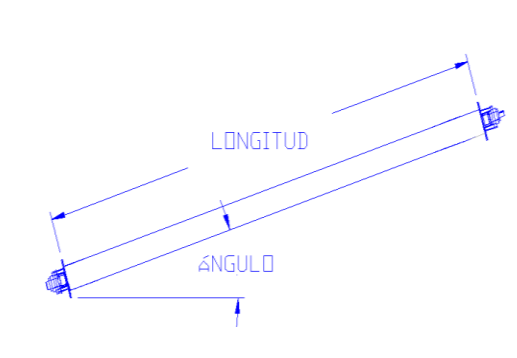
Resultados del tornillo helicoidal 1

	Tornillo Helicoidal 1 para Transporte de Cemento		
	Descripción	Cantidad	Unidad
Longitud	3,4	m	
Diámetro del tornillo helicoidal	6	in	
Paso del helicoidal	6	in	
Angulo de inclinación	20	°	
Capacidad de transporte másico	20	t/h	
Capacidad de transporte volumétrico	220,9	ft ³ /h	
Potencia de Motor	3	hp	
Torque del equipo	1,4	lb in	
Revoluciones por minuto	148	rpm	

Elaborado por: César Mejía, Marlon Cando, 2015

TABLA 31

Resultados del tornillo helicoidal 2

	Tornillo Helicoidal 2 para Transporte de Cemento		
	Descripción	Cantidad	Unidad
Longitud	3,4	m	
Diámetro del tornillo helicoidal	6	in	
Paso del helicoidal	6	in	
Angulo de inclinación	17	º	
Capacidad de transporte másico	29	t/h	
Capacidad de transporte volumétrico	320	ft ³ /h	
Potencia de Motor	7	hp	
Torque del equipo	4	lb in	
Revoluciones por minuto	215	rpm	

Elaborado por: César Mejía, Marlon Cando, 2015

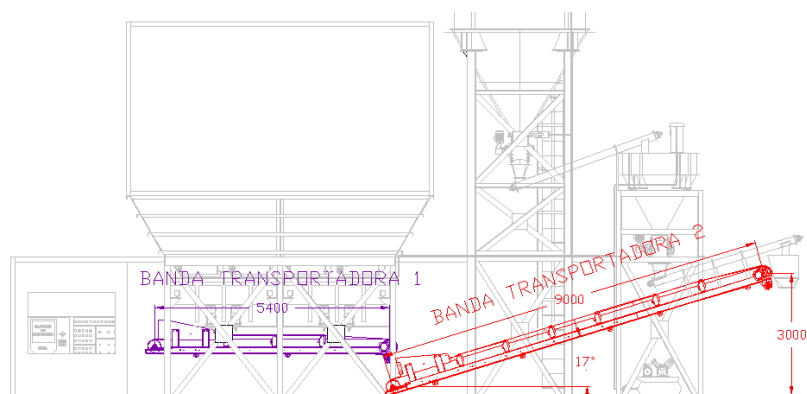
3.2.2. Bandas transportadoras

Para el diseño de las dos bandas transportadoras, se considera la utilización del catálogo “cálculo de cintas transportadoras de PIRELLI” [22].

También se consultaron los datos técnicos establecidos en el manual “transportadores de cintas para materiales a granel del CEMA” [16]. Finalmente se complementó el cálculo con lo descrito en la tesis “software para diseño de transportadores de banda de la ESPOL” [23].

La figura 3.49 muestra la forma de operación de las bandas transportadoras, la banda transportadora 1 trabaja

horizontalmente mientras que la banda transportadora 2 lo hace de forma inclinada.



Elaborado por: Cesar Mejía, Marlon Cando, 2015

FIGURA 3.49. Ubicación de bandas transportadoras

A continuación se describe la metodología de diseño empleado para el cálculo de la banda transportadora con mayores requerimientos técnicos (banda transportadora 2).

Metodología

- a) Establecer factores conocidos
- b) Características de los materiales a transportar
- c) Trayectoria de la banda transportadora
- d) Configuración de los rodillos de portantes
- e) Selección y obtención de parámetros de diseño en función del ancho de banda

- f) Cálculo de esfuerzos de banda
- g) Cálculo de tensiones
- h) Selección de faja
- i) Cálculo de potencias
- j) Diseño y selección de tambor
- k) Cálculo de carga en los rodillos
- l) Resultados

a) Establecer factores conocidos

El procedimiento de cálculo para bandas transportadoras requiere la recopilación y obtención de todo lo que esté relacionado con el transporte de material en las bandas transportadoras [23].

MATERIAL A TRANSPORTAR

Conocer los parámetros del material a transportar son los datos más importantes al momento de seleccionar las bandas transportadoras, esto debido a que sus componentes están siempre en función del material y sus propiedades. La tabla 32 muestra las características básicas de los materiales que serán transportados en las bandas transportadoras.

TABLA 32

Material a transportar en banda transportadora

Material a Transportar		
Descripción	Cantidad	unidad
Densidad de la arena	2717	kg/m ³
Densidad de la piedra	2597	kg/m ³
Tamaño máximo de la arena	4,76	mm
Tamaño máximo de la piedra	50,8	mm

Elaborado por: Cesar Mejía, Marlon Cando, 2015

DATOS CONOCIDOS

Los diseños de las bandas transportadoras están en función de las necesidades de transporte que tiene una planta, la recopilación de datos implica la obtención de información y parámetros que se deben cumplir estrictamente cuando se encuentre el equipo en funcionamiento.

TABLA 33

Requerimientos de bandas transportadoras

Datos Conocidos		
Descripción	Cantidad	Unidad
Ancho de salida de tolva pesadora	360	mm
Capacidad	77	t/h
Angulo de inclinación de Banda transportadora 1	0	°
Angulo de inclinación de Banda transportadora 2	17	°

Elaborado por: Cesar Mejía, Marlon Cando, 2015

b) Características de los materiales a transportar

Las bandas transportadoras son equipos que llevan un material de un lado a otro, las características de un material pueden delimitar el alcance de un diseño mecánico, ya sea modificando la forma, tamaño y colocación de un equipo.

A continuación se recopila la información y parámetros de cada uno de los materiales que serán transportados de manera que se establezcan las variables más críticas para que el diseño de la banda transportadora se ajuste a dichos requerimientos.

TABLA 34

Características de los materiales a transportar en banda transportadora [16]

Material	Peso promedio [lb/ft³]	Ángulo de reposo [°]	Inclinación máxima recomendada [°]	Código
Arena	90-100	39	22	D37
Piedra	125-145	20-29	22	D26

Fuente: Asociación de fabricantes de equipos de cadena, CEMA

La tabla 36 y 37 expone otras características que deben considerarse para el diseño de una banda transportadora según los materiales que serán transportados.

TABLA 35

Código de clasificación del agregado fino [16]

Descripción de la clasificación del agregado fino		
CLASE	CÓDIGO	CARACTERISTICA DEL MATERIAL
Tamaño	D	En trozos : de más de 1/2"
Fluidez, ángulo de reposo	3	Fluidez promedio-ángulo de reposo entre 30° a 39°
Abrasividad	7	Muy abrasivo

Fuente: Asociación de fabricantes de equipos de cadena, CEMA

TABLA 36

Código de clasificación del agregado grueso [16]

Descripción de la clasificación del agregado grueso		
Tamaño	D	En trozos : de más de 1/2"
Fluidez, ángulo de reposo	2	Fluidez buena: Angulo de reposo entre 20°-29°
Abrasividad	6	Abrasivo

Fuente: Asociación de fabricantes de equipos de cadena, CEMA

A continuación en la tabla 37 se muestran más datos que deben ser considerados durante la selección y diseño de cada componente de las bandas transportadoras.

TABLA 37

Parámetros y características de los materiales [22]

Material		Peso específico	Máxima Inclinación recomendable	Abrasividad	Angulo de reposo del material	Angulo de sobre carga
Tipo	Condición	kg/m ³	Grados		Grados	Grados
Arena	húmeda	1800-2100	22	Poco Abrasivo	45	30
Piedra	triturada	2100	18	Muy Abrasivo	30	20

Fuente: Manual de cálculo de cintas transportadoras, PIRELLI

c) Trayectoria de la banda transportadora

Para realizar el diseño de una banda transportadora es de fundamental importancia conocer la trayectoria que debe seguir el material transportado [23].

PROYECCIÓN HORIZONTAL

Se encuentra definido por suma algebraica de todas las distancias horizontales a la cual debe viajar el material transportado [23].

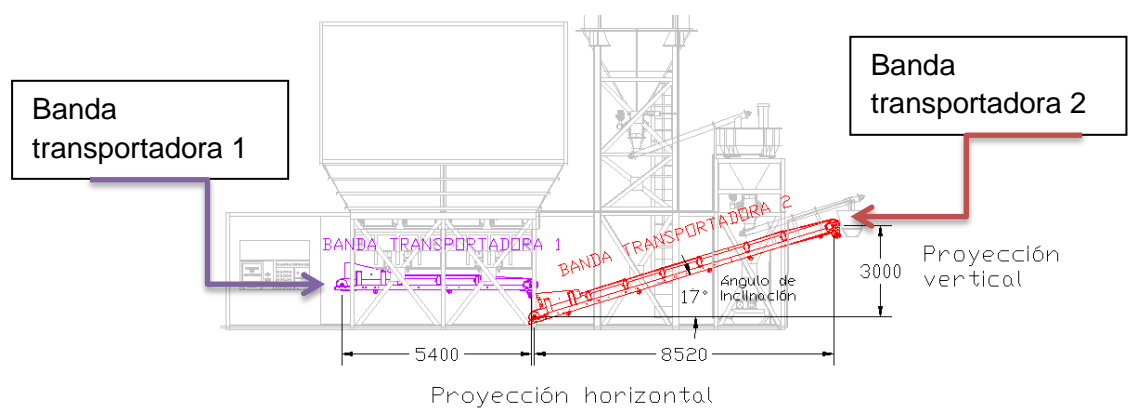
En el caso de una banda horizontal, la proyección horizontal es una sola. En las bandas transportadoras ascendentes y descendentes la proyección horizontal resulta de la suma todas las proyecciones adyacentes de la inclinación.

ALTURA

La altura de una banda transportadora específicamente se refiere a bandas ascendentes y descendentes, y se trata de suma de todas las proyecciones en el cateto opuesta de la inclinación de la banda [23].

ANGULO DE INCLINACIÓN

El ángulo de inclinación es aquel que se forma entre el tramo adyacente y el opuesto de una banda transportadora inclinada [23].



Elaborado por: Cesar Mejía, Marlon Cando, 2015

FIGURA 3.50. Trayectoria de bandas transportadoras

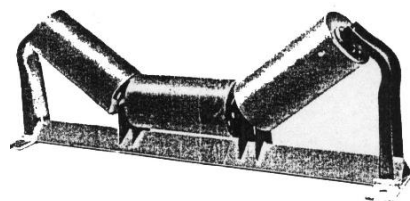
d) Configuración de los rodillos de portantes

Los rodillos son los elementos encargados de soportar la carga de los materiales que están siendo transportados,

adicionalmente estos elementos brindan protección a la faja [16].

Existen dos tipos de rodillos funcionando en una banda transportadora, los que soportan el tramo con carga y los que sostienen el tramo vacío de retorno [16].

Para el diseño de las bandas transportadoras el arreglo que se implementará es el de los rodillos acanalados, el cual consiste en dos rodillos inclinados a 20° debido a la facilidad de construcción en el medio industrial y uno en el centro colocado de manera horizontal como se muestra en la figura 3.51. La forma en la que se colocan los rodillos impide que las partículas de los materiales salpiquen o resbalen hacia fuera de la banda.



Fuente: Asociación de fabricantes de equipos de cadena, CEMA, 2002

FIGURA 3.51. Rodillos acanalados [16]

La configuración de los rodillos de retorno consiste en la colocación de los rodillos de manera horizontal a lo largo de la banda transportadora como se visualiza en la figura 3.52.

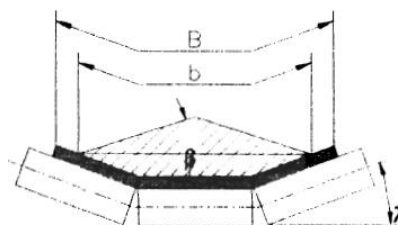


Fuente: Asociación de fabricantes de equipos de cadena, CEMA, 2002

FIGURA 3.52. Rodillos de retorno [16]

Datos geométricos de la banda transportadora

Al determinar el ancho de la banda transportadora, la configuración de los rodillos tanto de carga como los de retorno y ciertos parámetros de los materiales que serán transportados con la banda, se puede emplear la siguiente ecuación con el fin de calcular otros detalles de diseño que deberán ser considerados al realizar el levantamiento de los planos del equipo.



Fuente: Software para diseño de transportadores de banda, ESPOL, 2002

FIGURA 3.53 Geometría de los rodillos acanalados [23]

$$A_t = \frac{1 * b_{material}^2 (\tan(\theta) + 0.75 \tan(\lambda))}{4} \quad (47)$$

Dónde:

A_t : Área transversal de la banda transportadora.

θ : Máximo ángulo de sobre carga entre los materiales transportados.

λ : Ángulo de inclinación de los rodillos.

$b_{material}$: Distancia que ocupa el material en la banda transportadora.

e) Selección y obtención de parámetros de diseño en función del ancho de banda

Las bandas transportadoras tendrán un ancho de faja de 1 metro, esto debido al máximo tamaño de las partículas entre los materiales que serán transportados y para prever las salpicaduras que se podrían generar debido a la salida violenta de los agregados cuando se accionen las compuertas de las tolvas.

A continuación se exponen los diferentes parámetros que están en función del ancho de la faja del transportador; de acuerdo a la tabla 38 para una banda de 20° de inclinación de rodillos.

TABLA 38**Parámetros y características de una banda transportadora****[16]**

Parámetros	Banda transportadora	Unidades
Ancho de banda	39.37	in
Capacidad de transporte	154,000	ft ³ /h
Angulo de sobre carga	30	°
Sección transversal de carga	1.169	ft ²

Fuente: Asociación de fabricantes de equipos de cadena,
CEMA, 2002

Con el ancho de la banda se encuentran otros parámetros importantes para el diseño, a continuación se muestra una recopilación de los datos más relevantes en las siguientes tablas:

TABLA 39

**Parámetros y características de una banda transportadora
con respecto al material transportado [22]**

Parámetros	Banda transportadora	Unidades
Densidad de materiales	2500	kg/m ³
Capacidad de transporte	399	t/h
Ancho de banda	1000	mm
Tamaño máximo del material en trozos	200	mm
Tamaño máximo del material mezclado	400	mm
Velocidad de la banda transportadora	0.5	m/s

Fuente: Manual de cálculo de cintas transportadoras, PIRELLI

TABLA 40

Espacio recomendado entre rodillos [16]

Parámetros	Banda transportadora	Unidades
Peso del material	169,6	lb/ft ³
Ancho de faja	39,37	in
Espacio normal recomendado para rodillos superiores	3,2	ft
Espacio de rodillos de retorno	10	ft

Fuente: Asociación de fabricantes de equipos de cadena,
CEMA, 2002

TABLA 41

Peso de la faja [16]

Parámetros	Cantidad	Unidades
Peso de material	169,6	lb/ft ³
Ancho de faja	39,37	in
Peso de faja estimado promedio con pliegues múltiples y reducidos	13,12	lb/ft

Fuente: Asociación de fabricantes de equipos de cadena,
CEMA, 2002

TABLA 42

Peso de los rodillos [23]

Parámetros	Cantidad	Unidades
Peso de material	2,7	t/m ³
Ancho de faja	1000	mm
Peso rodillos superiores retorno	19,5	kg

Fuente: Software para diseño de transportadores de banda,
ESPOL, 2002

TABLA 43
Distancia entre apoyos [23]

Ancho de banda		Distancia entre apoyos		
		Tambor motriz y de cabeza	Tambor de cola y contrapeso	Tambor adicional y desviador
pulgadas	mm	mm	mm	mm
42	1050	1520	1520	1300

Fuente: Software para diseño de transportadores de banda,
ESPOL, 2002

f) Cálculo de fuerzas de la bandas trasportadoras

Se parte del cálculo analítico de la distribución de la fuerza debido a la tensión a lo largo de las bandas trasportadoras.

FUERZA NECESARIO PARA MOVER LA BANDA VACÍA

Esta fuerza se genera debido a los rozamientos que existen entre la faja del transportador, los rodillos y los tambores [22].

Se calcula mediante el empleo de la siguiente ecuación:

$$F_{1,vacia} = f * q_p(1 + I_0) \quad (48)$$

Siendo

$$I_0 = 60 - 0,2L_{bt;2} \quad (49)$$

$$F_{A;vacia;sup} = \frac{2F_{1;vacia}}{3} \quad (50)$$

$$F_{R;vacia;net} = \frac{F_{1;vacia}}{3} \quad (51)$$

Dónde:

$F_{1;vacia}$: Fuerza necesaria para mover la banda vacía.

f : Coeficiente de rozamiento de los rodillos [22]

q_p : Peso de la faja y partes rodantes con respecto a 1 metro de distancia.

I_0 : Valor destinado a aumentar la distancia entre ejes.

$L_{bt;2}$: Largo de la banda transportadora 2

$F_{A;vacia;sup}$: Fuerza necesaria para mover la faja vacía sobre los rodillos superiores.

$F_{R;vacia;net}$: Fuerza necesaria para mover la faja vacía sobre los rodillos de retorno.

FUERZA NECESARIA PARA MOVER EL MATERIAL

Es la fuerza que se necesita para vencer los rozamientos que existen durante el transporte del material [22].

El cálculo se realiza utilizando la siguiente ecuación:

$$F_{2,llena} = f * q_m(1 + I_0) \quad (52)$$

Siendo

$$q_m = \frac{Q}{3,6 v} \quad (53)$$

Dónde:

$F_{2,llena}$: Fuerza necesaria para mover el material

q_m : Peso del material que se transporta por metro

Q : Flujo másico del material que se transporta

v : Velocidad de la banda transportadora

FUERZA NECESARIA PARA MOVER VERTICALMENTE EL MATERIAL

Es el fuerza que se necesita para poder transportar verticalmente el material y se calcula mediante el uso de la siguiente ecuación [22]:

$$F_{3,vertical} = \frac{Q H}{3,6 v} \quad (54)$$

Dónde:

$F_{3,vertical}$: Fuerza necesaria para mover verticalmente el material

H : Es la medida de la trayectoria vertical cuando se eleva el material.

FUERZA GENERADA DEBIDO A LA FRICCIÓN

Esta fuerza se debe a la fricción que existe en la banda transportadora cuando se encuentre en funcionamiento, se calcula utilizando la siguiente ecuación [22]:

$$F_{fricción} = k_2 F_{total;bt;2} \quad (55)$$

Siendo

$$F_{total;bt;2} = F_{R;vacía;net} + F_{A;vacía;sup} + F_{2;llena} + F_{3;vertical} \quad (56)$$

Donde:

$F_{fricción}$: Fuerza de fricción

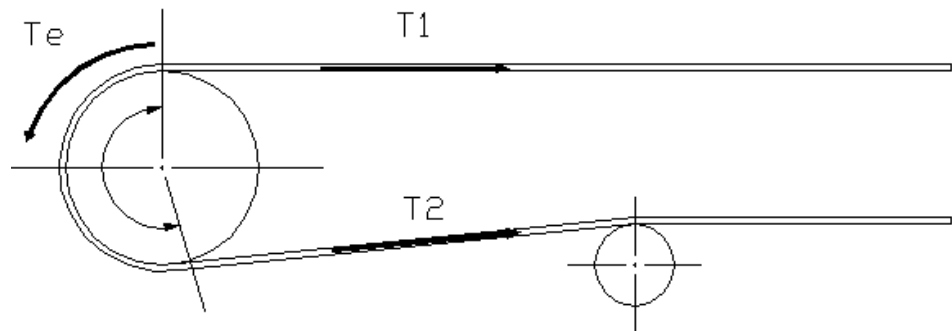
$F_{total;bt;2}$: Fuerza total en la banda transportadora 2

k_2 : Coeficiente convencional de rozamiento [22]

g) Cálculo de tensiones

Todos los equipos en los que exista transmisión de potencia, elevación o transporte por medio de la utilización de bandas requieren una diferencia entre la tensión que

se genera en la trayectoria de envío de los materiales y la tensión generada durante el retorno de la faja (ver figura 3.54) [23].



Elaborado por: Software para diseño de transportadores de banda, ESPOL,

2002

FIGURA 3.54. Tensión efectiva [23]

Cálculo de tensión mínima de montaje para evitar flexión entre las hileras de los rodillos

Los problemas de flexión usualmente se ven reflejados cuando el material está sobre la faja, y debido a la poca tensión existente, el material tiende a bajar la faja en los tramos que hay entre los rodillos, por lo tanto; Se procede al cálculo de la tensión mínima que se debe emplear cuando se realice el montaje de la faja sobre los rodillos del transportador.

Se inicia por realizar el cálculo del peso total de los rodillos y la faja mediante el uso de la siguiente ecuación:

$$W_{faja,rod} = m_{faja} + m_{rodillos} \quad (57)$$

Dónde:

$W_{faja,rod}$: Peso total de los rodillos y la faja

m_{faja} : Masa de la faja por metro lineal del transportador

$m_{rodillos}$: Masa de los rodillos a una distancia de un metro entre sí.

Finalmente la tabla 44 muestra el valor de la tensión de montaje sugerida por un fabricante de fajas.

TABLA 44

Tensión mínima de montaje [22]

Distancia entre rodillos	Peso de la faja y material transportado	Tensión mínima de montaje
cm	kg/m	kg
98,12	39,03	258,3

Fuente: Manual de cálculo de cintas transportadoras, PIRELLI,

h) Selección de faja

La faja es el elemento más importante del equipo, generalmente está compuesta por dos componentes principales que son: CARCASA y COBERTURA [23].

Determinación del tipo de faja

La faja es el elemento que está siempre en contacto con los materiales, por lo tanto; la selección del material del que esta echo la faja es un punto muy importante. La tabla 45 muestra la selección de la calidad de la cubierta de la faja y según el grado se determina el elemento del que debe estar construida la faja [16].

TABLA 45

Selección de la calidad de la cubierta de la faja transportadora [16]

Grado de la cubierta	Ventajas principales			Aplicaciones generales
	Resistencia al corte y al impacto	Resistencia a la abrasión	Resistencia al aceite	
Grado 1	Excelente	Excelente	No recomendado	Grandes trozos de mineral, materiales de bordes cortantes servicio extremadamente fuerte

Fuente: Asociación de fabricantes de equipos de cadena,

CEMA, 2002

La faja de grado 1 posee como principales componentes cubiertas de caucho natural, sintético, combinaciones de caucho natural y sintético, o combinaciones de cauchos sintéticos [16].

Entre los materiales utilizados comúnmente para fabricar las fajas de las bandas transportadoras se tiene: algodón, polyester, polyamida, algodón-nylon, polyester-polyamida, nylon-nylon [23].

Se selecciona la combinación Nylon-Nylon, debido a su fácil obtención en el País y debido a su alta resistencia a la abrasión y su unión será vulcanizada de manera que no se generen daños en los rodillos.

Determinación del número de telas

La determinación del número de telas para la faja seleccionada se la realiza mediante el uso de la tabla 46 en el cual se establece una cantidad de capas correspondiente al material en función del ancho de la banda transportadora, la potencia, tensor y la velocidad de transporte [22].

TABLA 46

Numero de telas [22]

Numero de telas			
tamaño de banda	potencia	velocidad	No. De telas
mm	cv	m/s	-
1000	8.5	0.5	2

Fuente: Manual de cálculo de cintas transportadoras, PIRELLI,
2011

Determinación de los espesores de la cobertura

La determinación de los espesores de la cobertura es un punto importante, esto debido a que al realizarlos se tiene un valor mínimo de referencia al momento de adquirir una banda transportadora.

Primeramente se debe realizar el cálculo del tiempo que tarda en dar una vuelta completa la faja de la banda transportadora, por lo que se plantea la siguiente ecuación:

Para la banda transportadora 2.

$$v = \frac{L_{bt;2}}{t_{vuelta;bt2}} \quad (58)$$

Dónde:

$L_{bt;2}$: Es la longitud de la banda transportadora 2

$t_{vuelta;bt2}$: Tiempo que la faja tarda en dar una vuelta completa en la banda transportadora 2

Con la obtención de los tiempos de vuelta de cada banda, seleccionada la calidad de la cobertura, el tamaño de las partículas de los materiales y la abrasividad al que estarán sometidas las bandas, se procede a encontrar el valor geométrico del espesor según lo muestra la tabla 47.

TABLA 47

Espesor para la banda 2 [22]

Tiempo empleado en una vuelta completa de la faja	Calidad de la cobertura	Material transportado	Tamaño del material	Espesor de la faja
Segundos	-	-	mm	mm
24	Dumafer A	muy abrasivo	35-125	7.02

Fuente: Manual de cálculo de cintas transportadoras, PIRELLI,

2011

i) Cálculo de potencias

En esta sección se realiza el cálculo de la potencia necesaria en cada una de las bandas transportadoras de

manera que puedan transportar los materiales sin problema, las ecuaciones que se describen son empíricas las cuales son establecidas por fabricantes de bandas transportadoras con años de experiencia en diseño y construcción de estos equipos.

Potencia teórica

La obtención de la potencia teórica se realiza mediante la suma algebraica de las potencias necesarias para trasladar el material, para dicho cálculo se emplea la siguiente ecuación [23]:

Para la banda transportadora 2

$$P_{teorica;total;bt2} = P_{h;mat} + P_{v;mat} + P_{fricción} + P_{giuas;bt2} \quad (59)$$

Dónde:

$P_{teorica;total;bt2}$: Potencia teórica de la banda transportadora

2

$P_{h;mat}$: Potencia para traslado horizontal

$P_{v;mat}$: Potencia para traslado vertical

$P_{fricción}$: Potencia por fricción

$P_{guias;bt2}$: Potencia por guías

Potencia para traslado horizontal

Es la potencia requerida para que la banda transportadora pueda transportar el material a lo largo de su longitud en una superficie plana.

$$P_{h;mat} = \frac{(F_{1;vacia} + F_{2;llena})g*v}{1.000} \quad (60)$$

Dónde:

g : Gravedad

Potencia para traslado vertical

Es la potencia que permite a la banda transportadora trasladar verticalmente el material, se calcula mediante el uso de la siguiente ecuación:

$$P_{v;mat} = \frac{F_{3;vertical}*g*v}{1.000} \quad (61)$$

Potencia por fricción

Es la potencia requerida para que el motor de la banda transportadora venza el rozamiento que existe entre sus componentes, se calcula mediante el uso de la siguiente ecuación:

$$P_{fricción} = \frac{k_2(F_{1;vacía} + F_{2;llena} + F_{3;vertical}) * g * v}{1.000} \quad (62)$$

Potencia por guías

Es la potencia necesaria para vencer la fricción entre el caucho de la faja y las guías de carga, el cálculo se realiza mediante el uso de la siguiente ecuación [23]:

Para la banda transportadora 2

$$P_{guías;bt2} = 0,08 * v * L_{bt;2} \quad (63)$$

Dónde:

$P_{guías;bt2}$: Potencia por guías para la banda transportadora

2

$L_{bt;2}$: Longitud de la banda transportadora 2

Potencia del motor

Se considera solamente a la potencia en el tambor motriz. El método de conexión entre el motor y el tambor de la banda puede ser con el uso de bandas-poleas, cadenas-catalinas, engranajes, cajas reductoras o una combinación entre estas. Dependiendo el tipo de transmisión se dan las pérdidas mecánicas, por lo tanto; para estos diseños se

considera el uso de bandas-poleas debido a su facilidad de adquisición en el medio.

La eficiencia de los motores se pueden estimar debido a que están alrededor del 85% y 95%, por motivos de seguridad al momento de seleccionar un motor se empleará la menor eficiencia con el fin de prever posibles problemas externos que forcejeen al motor.

La tabla 48 muestra valores de eficiencias mecánicas según el tipo de reductor [23].

TABLA 48

Eficiencia mecánica de equipos reductores de velocidad [23]

Tipo de reducción	Eficiencia
Poleas y bandas en V	94%

Fuente: Software para diseño de transportadores de banda,
ESPOL, 2002

El cálculo de la potencia del motor se determina con el empleo de la siguiente ecuación:

Para la banda transportadora 2

$$P_{motor;bt2} = \frac{P_{teorica;bt2}}{\eta \varepsilon} \quad (64)$$

Dónde:

$P_{motor;bt2}$: Potencia del motor de la banda transportadora 2

$P_{teorica;bt2}$: Potencia teórica total de la banda transportadora 2

η : Eficiencia del motor

ε : Eficiencia mecánica de la transmisión

j) Diseño y selección de tambor

El diseño de un tambor implica el cálculo y selección de todos los parámetros que permitan construir o seleccionar un tambor.

Determinación del diámetro y ancho del tambor

Primeramente se inicia con la obtención de los valores geométricos de los tambores de la banda transportadora, la tabla 49 muestra el valor de diámetro mínimo recomendado de los tambores en función del número de telas y tensión de la faja.

TABLA 49

Diámetro recomendado del tambor [22]

DIAMETRO RECOMENDADO DE LAS POLEAS		
Parámetro	valor	Unidad
Numero de telas	2	und
Diámetro de polea motriz	410	mm
Diámetro de polea de reenvió y tensora	260	mm
Diámetro de polea desviadora	260	mm

Fuente: Manual de cálculo de cintas transportadoras, PIRELLI,
2011

Posteriormente se determina un nuevo valor geométrico, la tabla 50 muestra el valor adicional al ancho de la faja al cual debe estar diseñado el ancho del tambor.

TABLA 50

Ancho mínimo recomendado del tambor [22]

ANCHO MINIMO RECOMENDADO DEL TAMBOR		
Ancho de la banda	< 460	mm
Ancho mayor al ancho de la banda	25	mm

Fuente: Manual de cálculo de cintas transportadoras, PIRELLI,
2011

Determinación del diámetro mínimo del eje del tambor

A continuación se describe el procedimiento para determinar el diámetro mínimo del eje del tambor, el cual

debe transmitir el movimiento circular en el tambor y al mismo tiempo a la banda [23].

Fuerza resultante sobre tambor

Se inicia con la obtención de la fuerza resultante que soportan los tambores, el cálculo se realiza empleando la siguiente ecuación [23]:

Para la banda transportadora 2

$$R_{t,m;bt2} = (k_2 + 1) F_{total;bt;2} \sin\left(\frac{\gamma_a}{2}\right) \quad (65)$$

$$R_{t,no;m;bt2} = 2 F_{fricción} \sin\left(\frac{\gamma_a}{2}\right) \quad (66)$$

Dónde:

$R_{t,m;bt2}$: Fuerza resultante sobre tambor motriz de la banda transportadora 2

$R_{t,no;m;bt2}$: Fuerza resultante sobre tambor no motriz de la banda transportadora 2

γ_a : Ángulo de abrazamiento

Torque del tambor

Para la obtención del torque presente en el tambor motriz de la banda transportadora, se emplea la siguiente ecuación [23]:

Para la banda transportadora 2.

$$Torque_{bt2} = \frac{P_{motor;bt2} * 60 * 10^6}{2\pi\omega_T} \quad (67)$$

Siendo

$$\omega_T = \frac{60000 v}{\pi D_{tambor}} \quad (68)$$

Dónde:

$Torque_{bt2}$: Torque del tambor de la banda transportadora 2

ω_T : Velocidad angular del tambor

D_{tambor} : Diámetro del tambor

Momento flector

El momento flector que soporta el eje se lo puede calcular utilizando la siguiente ecuación [23]:

Para la banda transportadora 2

$$M_{bt2;m} = \frac{R_{t;m;bt2}(D_{eam} - F_t)}{4} \quad (69)$$

$$M_{bt2;no;m} = \frac{R_{t;no;m;bt2}(D_{aenm} - F_t)}{4} \quad (70)$$

Dónde:

$M_{bt2;m}$: Momento flector en el tambor motriz de la banda transportadora 2

$M_{bt2;no;m}$: Momento flector en el tambor no motriz de la banda transportadora 2

F_t : Ancho del tambor

D_{eam} : Distancia entre apoyos del tambor motriz

D_{eanm} : Distancia entre apoyos del tambor no motriz

Finalmente se determina el diámetro mínimo que debe tener el eje del tambor, el cálculo se realiza mediante la utilización de la siguiente ecuación en la cual se considera la combinación de esfuerzos al que está sometido el eje [23].

Para la banda transportadora 2

$$d_{eje;t;bt2} = \left[\frac{16\eta_t}{\pi s_{y;4340}} \sqrt{(k_{b;c} M_{bt2;m})^2 + Torque_{bt2}^2} \right]^{1/3} \quad (71)$$

Dónde:

$d_{eje;t;bt2}$: Diámetro del eje del tambor motriz de la banda transportadora 2

η_t : Factor de seguridad (5.8 para fatiga)

$s_{y;4340}$: Esfuerzo de fluencia del material del eje

$k_{b;c}$: Factor de carga de transmisión (2.5)

k) Cálculo de carga en los rodillos

Para selección de los rodillos tanto en los tramos de carga como en la de retorno se lo realiza con la obtención de la carga que deben soportar los mismos [23].

Cálculo de carga en los rodillos superiores

El cálculo de carga en los rodillos superiores se lo realiza mediante el empleo de la siguiente ecuación:

$$C_{ro} = (W_{bl} + k_a M_{pm}) S_1 \quad (72)$$

$$C_{ro;total} = 3 C_{ro} \quad (73)$$

Dónde:

C_{ro} : Carga en los rodillos superiores

W_{bl} : Peso de la faja

k_a : Factor de ajuste por tamaño de partículas del material

M_{pm} : Peso por metro lineal de material transportado

S_1 : Espacio entre rodillos superiores

$C_{ro;total}$: Carga total de los rodillos superiores

Cálculo de carga en los rodillos de retorno

Se emplea la siguiente ecuación para el cálculo de carga en los rodillos de retorno.

$$C_{ru} = W_{bl} S_2 \quad (74)$$

Dónde:

C_{ru} : Carga en los rodillos de retorno

S_2 : Espacio entre los rodillos de retorno

La tabla 51 muestra la clasificación seleccionada de rodillos según CEMA para las bandas transportadoras.

TABLA 51
Clasificación de rodillos [23]

Clase de servicio	Clase según CEMA		Diámetro	Tipo de rodamiento	Ancho de banda
	nueva	antigua	pulgadas		pulgada
carga mediana	C	III	5	bolas	18 - 60

Fuente: Software para diseño de transportadores de banda, ESPOL, 2002

Con los valores de las cargas, ancho de banda, ángulo de inclinación y configuración de los rodillos se determina el tipo de rodillos que se deben utilizar en las bandas transportadoras.

TABLA 52

Rango de cargas de rodillos [23]

Ancho de banda		Angulo de rodillos		Rodillos de retorno	
		20 °		2 en V	
mm	in	lb	kg	lb	kg
1050	42	850	386	500	227

Fuente: Software para diseño de transportadores de banda,
ESPOL, 2002

Velocidad angular de los rodillos

La velocidad angular de los rodillos puede ser cálculo mediante el empleo de la siguiente ecuación [23]:

$$\omega_{ro} = \frac{60000 v}{\pi d_{rodillos}} \quad (75)$$

Dónde:

ω_{ro} : Velocidad angular de los rodillos


$d_{rodillos}$: Diámetro de los rodillos

I) Resultados

A continuación se expone los resultados de los parámetros que resultaron del diseño de las bandas transportadoras; el detalle de los cálculos se detalla en el apéndice F.

TABLA 53

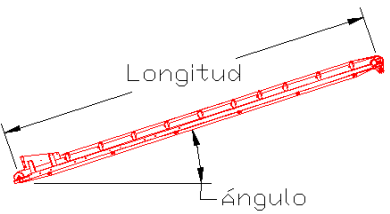
Resultados de la banda transportadora 1

	Banda Transportadora 1 para Transporte de Agregados		
	Descripción	Cantidad	Unidad
Longitud	5,4	m	
Capacidad de transporte másico	77	t/h	
Angulo de inclinación	0	°	
Diámetro de tambor	0,4	m	
Diámetro de rodillos	0,1	m	
Ancho de banda	1	m	
Potencia de Motor	5	hp	
Torque del equipo	1481	N m	
Revoluciones por minuto	30	rpm	

Elaborado por: Cesar Mejía, Marlon Cando, 2015

TABLA 54

Resultados de la banda transportadora 2

	Banda Transportadora 2 para Transporte de Agregados		
	Descripción	Cantidad	Unidad
Longitud	9	m	
Capacidad de transporte másico	77	t/h	
Angulo de inclinación	17	°	
Diámetro de tambor	0,4	m	
Diámetro de rodillos	0,1	m	
Ancho de banda	1	m	
Potencia de Motor	8	hp	
Torque del equipo	2351	N m	
Revoluciones por minuto	30	rpm	

Elaborado por: Cesar Mejía, Marlon Cando, 2015

3.3. Diseño estructural

Para el diseño de la estructura de la planta dosificadora se utilizó principalmente las normas CPE INEN5 parte 1:2001, requisitos generales de diseño, el método de diseño LRFD del American

Institute of Steel Construction (AISC), el código uniforme de construcción (UBC-97) y el Eurocódigo UNE-EN 1993-1-3:2012 Proyecto de estructuras de acero. Parte 1-3: Reglas generales. Reglas adicionales para perfiles y chapas de paredes delgadas conformadas en frío [24] [25] [26] [27].

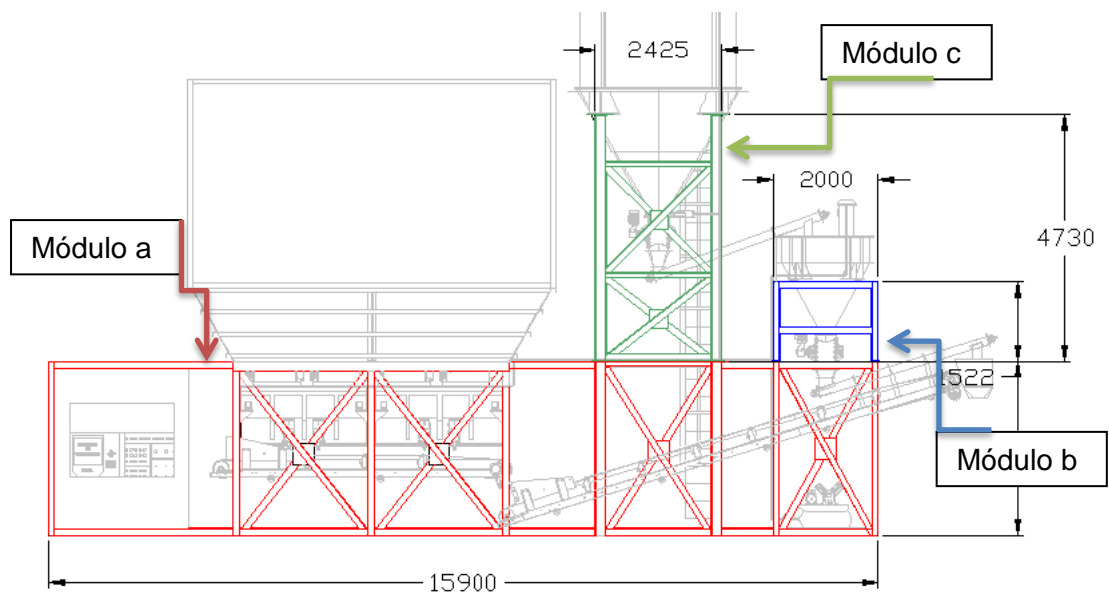
3.3.1. Estructura de la planta

Una estructura metálica es un conjunto de perfiles de acero unidos entre sí; y para este análisis se requiere el diseño de 3 módulos estructurales que cumplan las funciones de estructuras, las cuales alojan tolvas, compuertas, equipos y una gama de accesorios.

Adicionalmente servirá de soporte y estará diseñado de manera que pueda ejercer sus funciones en cualquier lugar donde se la ubique.

La figura 3.55 muestra la forma de la estructura cuando se encuentra montada de manera que la planta pueda producir hormigón.

A continuación se describe la metodología de diseño empleado para el cálculo de la estructura.



Elaborado por: Cesar Mejía, Marlon Cando, 2015

FIGURA 3.55. Esquema de las estructuras de la planta

Metodología

- a) Establecer factores conocidos
- b) Características de las cargas en la estructura
- c) Consideraciones de diseño de estructuras
- d) Cálculo de fuerzas
- e) Cálculo de esfuerzos
- f) Esbeltez
- g) Fuerza del viento

- h) Sismo
- i) Método LRFD
- j) Modelado en SAP 2000

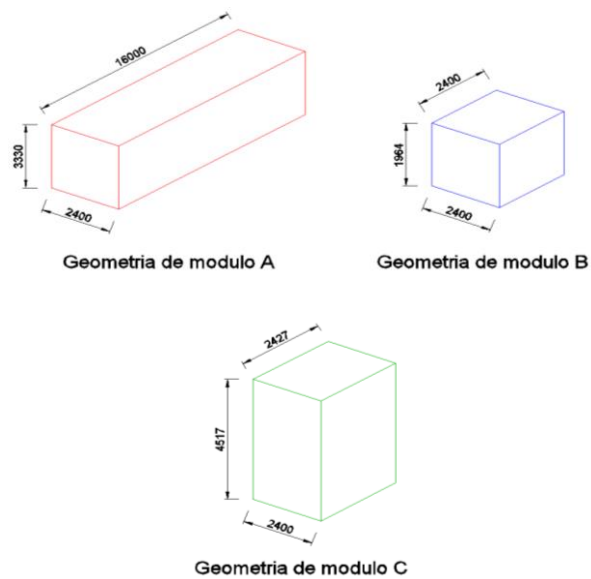
a) Establecer factores conocidos

Los factores relevantes para el diseño de la estructura de la planta son los límites geométricos mencionados en la sección 2.2.1.

Esto sucede debido a que la estructura deberá tener dimensiones menores o iguales a la plataforma de un semiremolque de un eje cuyas dimensiones son 20.5x2.6 m de manera que pueda transportarse fácilmente, que facilite y brinde estabilidad a los procesos de producción.

En la sección 2.3 se estableció la forma de la planta y en la misma se determinó un diseño correspondiente a las plantas modulares dividiendo la estructura en tres módulos A, B y C.

En la figura 3.56 se muestran las dimensiones de los módulos de cada una de las estructuras de la planta.



Elaborado por: Cesar Mejía, Marlon Cando, 2015

FIGURA 3.56. Dimensiones de los módulos A, B y C

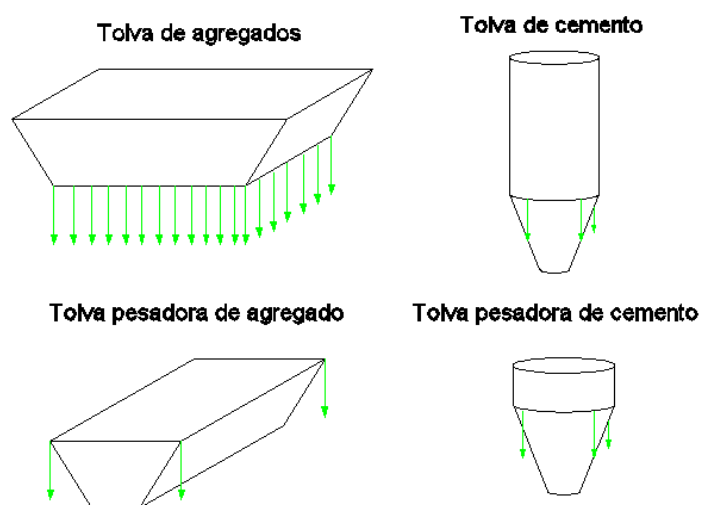
b) Características de las cargas en la estructura

Conocer los puntos o la manera en la que se distribuirán las cargas es de vital importancia para cualquier diseño mecánico, el peso del cuerpo se concentra su centro de gravedad y dichas fuerzas pueden considerarse como cargas puntuales solo cuando se realiza el diagrama de cuerpo libre de todo el sistema [28].

Las cargas de los elementos que ejercen una fuerza significativa en la estructura serán clasificados se la siguiente manera:

- Tolvas

En el caso de las tolvas de la planta el peso en su centroide será reemplazado por su fuerza equivalente en los apoyos de la armadura donde repose.

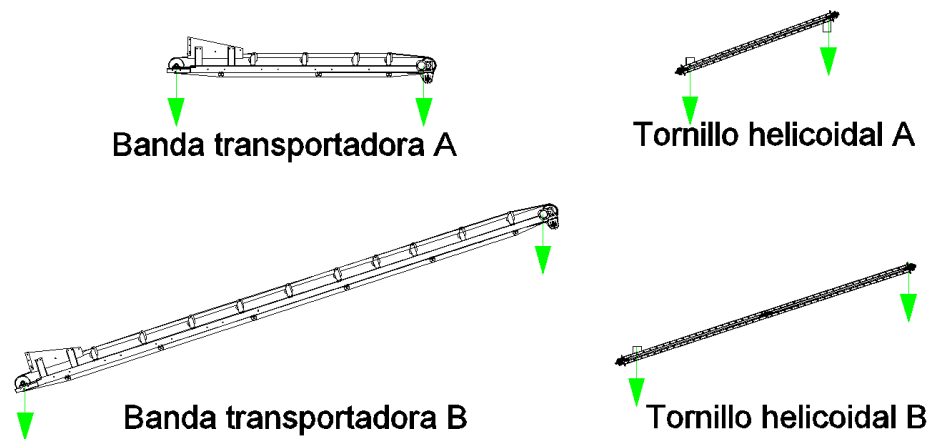


Elaborado por: Cesar Mejía, Marlon Cando, 2015

FIGURA 3.57. Distribución de cargas en tolvas.

- Equipos

Los equipos de la planta son figuras regulares, se consideran como un cuerpo simétrico aquellos cuyo centroide esté ubicado en el centro de los mismos despreciando los efectos que produzcan el motor, cubierta y demás accesorios.



Elaborado por: Cesar Mejía, Marlon Cando, 2015

FIGURA 3.58. Distribución de cargas en equipos.

Clasificación de carga

Las cargas en un cuerpo estructural se clasifican de la siguiente manera [24]:

- Carga muerta
- Carga viva
- Carga del viento
- Sismo

Carga muerta

Es la carga que se encuentra permanentemente presente en la estructura metálica.

Carga viva

Es la carga que se presenta de manera cíclica en la estructura metálica.

Carga del viento

La carga del viento es aquella que se produce debido al flujo del aire en la atmósfera, su cálculo se realiza para evitar esfuerzos que provoquen una falla en la estructura de la planta y para prevenir posibles efectos climáticos.

Sismo

La actividad sísmica ocurre debido al desplazamiento de las placas tectónicas de la tierra, en la historia del país se registra la presencia de dichos fenómenos distintas épocas y debido al cambio de ubicación de la planta se procede al análisis sísmico de la estructura de la planta de manera que se prevengan este tipo de fenómenos.

Existen normas internacionales que registran diferentes tipos de espectros sísmicos que pueden ser utilizados para realizar el cálculo de estructuras frente a estos fenómenos naturales, el presente proyecto contempla la utilización del

espectro sísmico dado en el Código Uniforme de Construcción (UBC-97).

c) Consideraciones para diseño de estructuras

Tipo de acero

Existen varios tipos de acero, sin embargo; para el diseño de la estructura de la planta contempla la utilización de aceros no aleados laminados en caliente, los poseen características corrientes de resistencia a la corrosión, mecánica y con microestructura normal de ferrita-perlita [29].

Materiales

Para el diseño de la estructura metálica en general se contempla la utilización de acero ordinario ASTM A36 y A500 que está dentro de la lista de materiales establecido por la norma española EN 10025 [30].

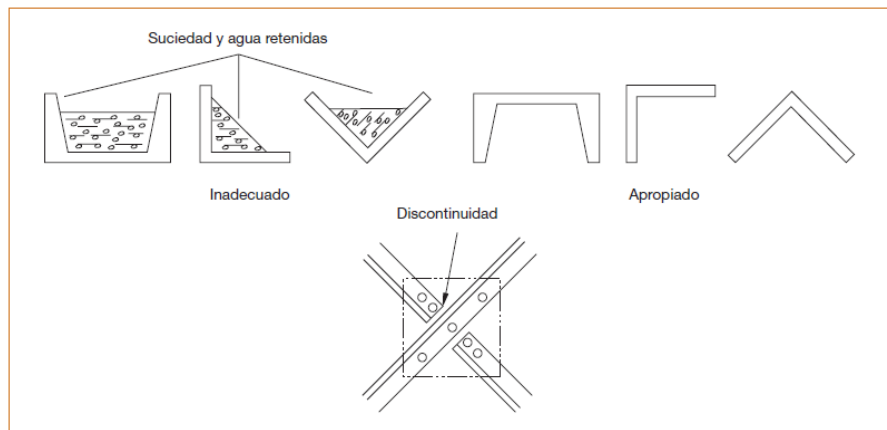
Características mecánicas

Las características mecánicas fundamentales para diseñar una estructura de acero son:

- Limite elástico
- Límite de rotura (resistencia a la tracción)

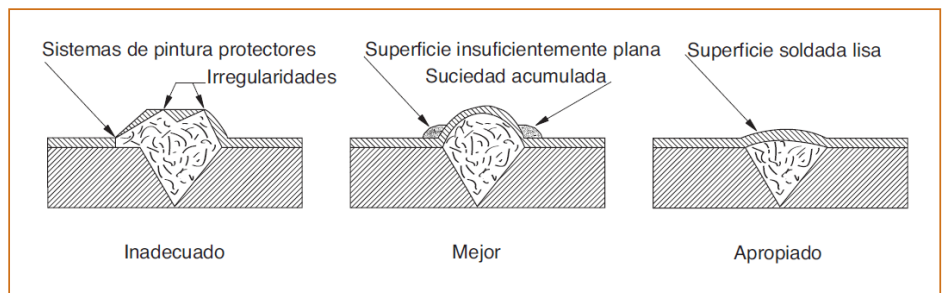
Detalles constructivos

Las siguientes figuras muestran detalles que deben ser tomados en cuenta durante la construcción de estructuras metálicas [29].



Fuente: Instrucción de Acero Estructural, EAE, 2012

FIGURA 3.59. Prevención, acumulación de agua y suciedad [29]



Fuente: Instrucción de Acero Estructural, EAE, 2012

FIGURA 3.60. Eliminación de imperfecciones en la superficie de la soldadura [29]

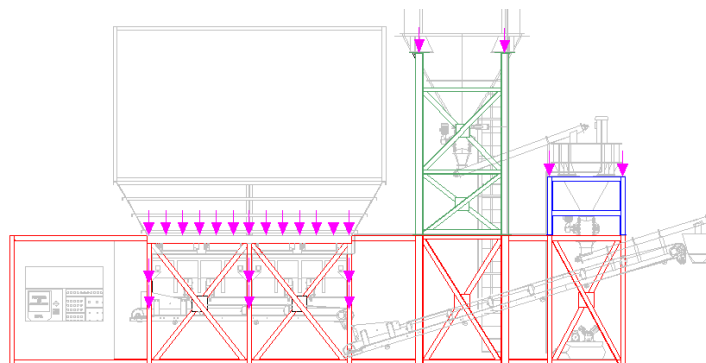
d) Cálculo de fuerzas

El procedimiento de diseño se inicia por identificar el esquema matemático para el cálculo de las fuerzas sobre un elemento.

Como se mencionó anteriormente la estructura está compuesta por los módulos A, B y C los que a su vez se obtienen de la unión de vigas y columnas.

Esquema de fuerzas

A continuación la figura 3.61 muestra un esquema de distribución de fuerzas para las columnas y vigas de la estructura.



Elaborado por: Cesar Mejía, Marlon Cando, 2015

FIGURA 3.61. Esquema de distribución de fuerzas en las vigas y columnas

Para iniciar el cálculo, se identifican los casos a los que estos elementos deben ser capaces de resistir.

- Cuando las tolvas están vacías
- Cuando las tolvas están llenas

Claramente se evidencia la existencia de una variación de esfuerzos en las vigas y columnas producida por el despacho frecuente de materia prima para la producción de hormigón. Debido a esto se diseñará utilizando la normativa AISC siguiendo la metodología de diseño LRFD 99 [25].

Se continúa con la obtención de las cargas en la estructura. La tabla 55 muestra una recopilación de las cargas de cada uno de los elementos de la estructura.

TABLA 55

Cargas de equipos y tolvas

EQUIPO/TOLVA	CARGA MUERTA (kg)	CARGA VIVA (kg)
Tolva de agregados	2245	36,860
Tolva de cemento	6000	60,000
Tolva pesadora de agregado fino	1117	1500
Tolva pesadora de agregado grueso	1117	1500
Tolva pesadora de cemento	1300	6000
Tornillo helicoidal 1	116	46
Tornillo helicoidal 2	183	86
Banda transportadora 1	863	1582
Banda transportadora 2	1918	3521

Elaborado por: Cesar Mejía y Marlon Cando

Citando los valores de peso de la tabla 55, se procede a calcular las fuerzas.

Columnas

En una columna de la estructura, se calculan las fuerzas utilizando la siguiente ecuación (caso a):

$$F_1 = F_{a,1} \quad (76)$$

Siendo:

$$F_{a,1} = \frac{W_a g}{6} \quad (77)$$

$$W_a = W_{est,tpa} + W_{est,ta} + W_{bt1} \quad (78)$$

Dónde:

F_1 : Fuerza en columna

$F_{a,1}$: Fuerza en la columna cuando las tolvas están vacías

W_a : Peso propio presente en la columna

$W_{est,tpa}$: Peso propio de la tolva pesadora de agregados

$W_{est,ta}$: Peso propio de la tolva de agregados

W_{bt1} : Peso propio de la banda transportadora 1

Posteriormente se realiza el cálculo de la fuerza resultante producida en el caso "b" utilizando el mismo procedimiento.

Vigas

En las vigas se procede a determinar las fuerzas cortantes y los momentos.

Fuerza cortante

$$V_{c;muerta} = W_{c;muerta} x - R_{a;c;muerta} \quad (79)$$

Siendo

$$R_{a;c;muerta} = \frac{W_{c;muerta} L_{viga}}{2} \quad (80)$$

$$W_{c;muerta} = \frac{M_{dis;c;m} g}{L_{viga}} + W_{viga;IPE200} \quad (81)$$

$$M_{dis;c;m} = W_{est;ta} \quad (82)$$

Dónde:

$V_{c;muerta}$: Fuerza cortante en viga

$W_{c;muerta}$: Peso distribuido en la viga

$R_{a;c;muerta}$: Reacción en nodo

L_{viga} : Longitud de la viga

$M_{dis;c;m}$: Peso propio de diseño

x : Variable de longitud

$W_{est;ta}$: Peso propio de la tolva de agregados

Momento

$$M_{C;muerta} = - \left[W_{C;muerta} \frac{L_{viga}}{2} x - W_{C;muerta} x \frac{x}{2} + M_{a;C;m} \right] \quad (83)$$

Siendo

$$M_{a;C;m} = \frac{-W_{C;muerta} L_{viga}^2}{12} \quad (84)$$

Dónde:

$M_{C;muerta}$: Momento en viga

$M_{a;C;muerta}$: Momento en viga en nodo

e) Cálculo de esfuerzos**Esfuerzos en las columnas**

Las columnas que se visualizan en la figura 3.61 se encuentran sometidas a carga axial lo cual genera un esfuerzo normal en el área perpendicular del perfil de las columnas, por lo tanto, el cálculo se realiza utilizando la siguiente expresión mostrada [31]:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (85)$$

Dónde:

F: Fuerza en la columna

A: Área transversal de la columna

Esfuerzos en las vigas

Las vigas de las planta sometidas a las cargas vistas en la figura 3.61 generan momentos flexionantes, el esfuerzo adquiere su máximo en los bordes más lejanos al centroide y se calcula mediante la utilización de la siguiente ecuación [31].

$$\sigma_{viga} = \frac{Momento}{Z} \quad (86)$$

Dónde:

σ_{viga} : Esfuerzo en viga

M_{omento} : Momento en la viga

f) Esbeltez

La esbeltez de las columnas de la planta se calcula mediante la implementación de la siguiente ecuación:

$$\lambda_{colum} = \frac{L_e}{r_{giro}} \quad (87)$$

Siendo

$$L_e = \frac{L}{2} \quad (88)$$

Dónde:

λ_{column} : Esbeltez mecánica

L_e : Longitud eficaz

r_{giro} : Radio de giro

L : Longitud de la columna

La figura 3.62 muestra el caso de pandeo y la longitud eficaz para las columnas de la estructura cuando soportan los pesos de los materiales contenidos en las tolvas.



Fuente: Norma Española, UNE-EN 1993-1-3:2012

FIGURA 3.62. Caso de Pandeo [27]

El cálculo de la esbeltez permite encontrar el valor de la carga crítica, la cual representa la fuerza máxima que pueden soportar las columnas antes de que se presente el

pandeo; la carga crítica se encuentra definida por la siguiente ecuación [31]:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 E I}{L_{cr}^2} \quad (89)$$

Siendo

$$L_{cr} = L_e \quad (90)$$

Dónde:

E : Módulo de elasticidad

I : Inercia

L_{cr} : Longitud Crítica

g) Fuerza del viento

La norma Europea UNE-EN-1991-1-4 proporciona el cálculo para determinar influencia del viento en una estructura metálica, La fuerza del viento que actúa sobre una estructura, se puede determinar directamente mediante la expresión: [32]

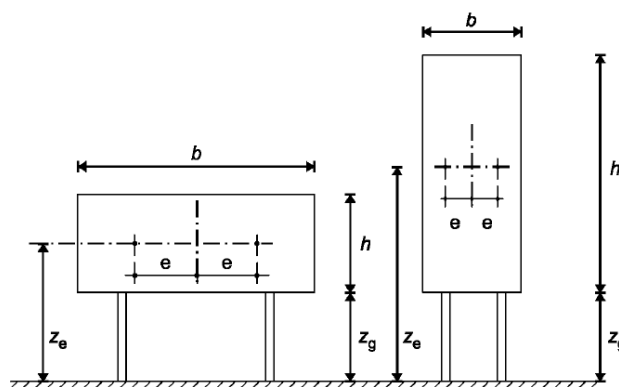
$$F_{W;TA2} = C_{s;C;d} c_f q_p A_{ref;TA2} \quad (91)$$

Determinación de CsCd

Conocido como factor estructural y contempla la ocurrencia de la presión del viento sobre la superficie junto con las vibraciones provocadas en la armadura metálica debido a la turbulencia del viento. La planta posee una altura máxima de 13.33 metros cuya cifra es menor a 15 m, en dicho caso CsCd puede tomar el valor de 1 [32].

Determinación de altura y área de referencia

La figura 3.63 muestra la metodología de cálculo de la altura de referencia empleada en las tolvas debido a forma de las mismas, para las cuales se utilizará el área proyectada de las tolvas [32].



Fuente: Norma Española, UNE-EN 1992-1-4, 2010 [32]

FIGURA 3.63. Leyenda de altura y área de referencia de áreas proyectadas.

El cálculo del área de referencia se realiza mediante la siguiente ecuación:

$$A_{ref;TA2} = b_{TA2} h_{TA2} \quad (92)$$

Dónde:

b_{TA2} : Medida horizontal proyectada de la tolva de cemento

h_{TA2} : Medida vertical proyectada de la tolva de cemento

Determinación del coeficiente de fuerza para la estructura

Para el caso de los arreglos mostrados en la figura 3.62, cuya distancia entre el suelo y la parte inferior de la tolva sea mayor que $h/4$, los coeficientes se determinan por la siguiente expresión [32]:

$$c_f = 1,8$$

Determinación de presión correspondiente a la velocidad pico

La presión correspondiente a la velocidad pico se calcula mediante la utilización de la siguiente ecuación [32]:

$$q_p = c_e q_b \quad (93)$$

Siendo

$$q_b = \frac{\rho_{aire} V_b^2}{2} \quad (94)$$

$$V_b = C_{dir} C_{season} V_{b,o} \quad (95)$$

Dónde:

q_p : Presión correspondiente a la velocidad pico

c_e : Factor de exposición [32]

q_b : Presión correspondiente a la velocidad media

ρ_{aire} : Densidad del aire

V_b : Velocidad básica del viento

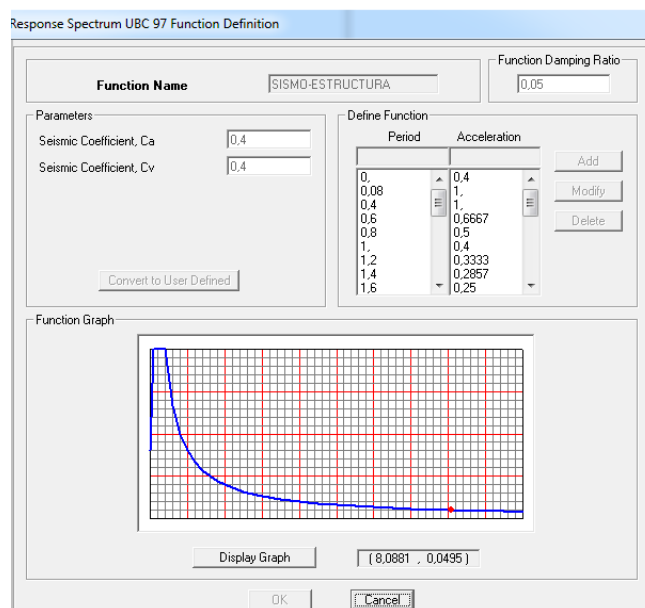
C_{dir} : Factor direccional [32]

C_{season} : Factor estacional [32]

$V_{b,o}$: Valor fundamental de la velocidad básica del viento [33].

h) Sismo

Para el cálculo sísmico de la estructura de la planta hormigonera se utilizará el espectro contemplado en las normas UBC-97, el mismo que se detalla en la figura 3.64.



Fuente: Código Uniforme de Construcción, UBC 97, 2012 [26]

FIGURA 3.64. Espectro sísmico del Código Uniforme de Construcción (UBC 97)

i) Método LRFD

La estructura será calculada de acuerdo a la metodología de diseño LRFD (Diseño por Factor de Carga y Resistencia), la cual considera un análisis para el caso en el que los elementos estructurales dejan de cumplir su función [34].

Para la estructura de la planta, la combinación de carga empleada será la siguiente:

$$U = 1,2 D + 1,3 W + 0,5 L + 0,5 (Lr \text{ o } S \text{ o } Rr) \quad (96)$$

Dónde:

U : Combinaciones de carga

D : Carga muerta

L : Carga viva

W : Fuerza de viento

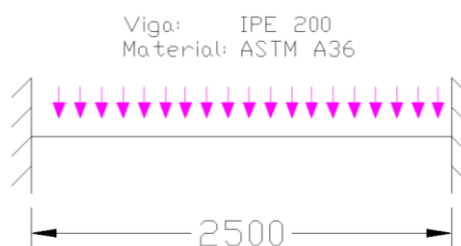
L_r : Carga viva de techo

S : Carga de nieve

R_r : Carga de lluvia

j) Modelado en SAP 2000

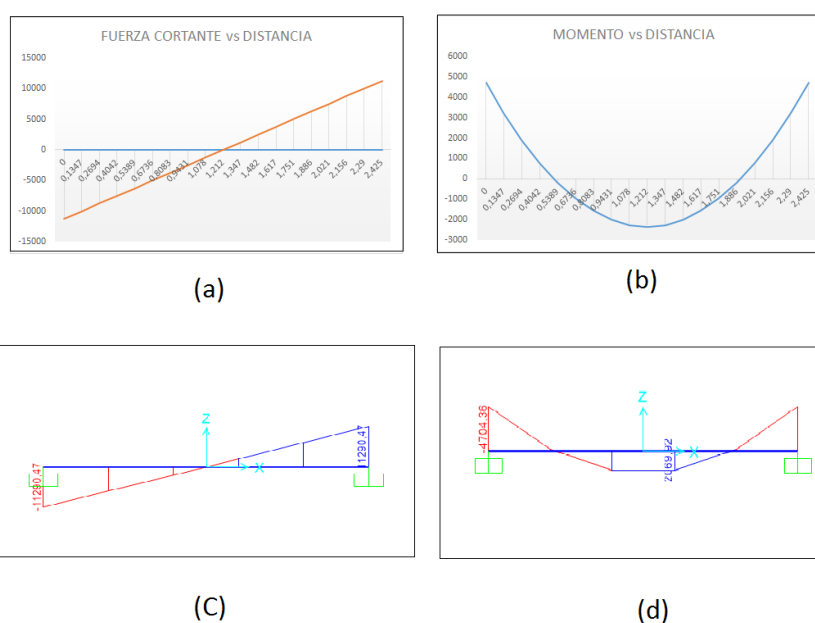
Previo a realizar el análisis de la estructura de la planta en el software, se compara los cálculos teóricos de los esfuerzos cortantes y momentos de una viga con respecto a los resultados obtenidos al modelar el mismo caso en SAP 2000, la figura 3.65 muestra el caso de análisis de una viga.



Elaborado por: Cesar Mejía, Marlon Cando, 2015

FIGURA 3.65. Diagrama de Cuerpo libre del caso inicial de análisis en SAP 2000

La figura 3.66 (a) muestra los gráficos obtenidos al realizar el cálculo analítico de los esfuerzos cortantes, la figura 3.66 (b) muestra los momentos de la viga; mientras que en la figura 3.66 (c) se muestra los resultados al calcular las fuerzas cortantes y la figura 3.65 (d) visualiza los momentos al simular el mismo caso en SAP 2000.



Elaborado por: Cesar Mejía, Marlon Cando, 2015

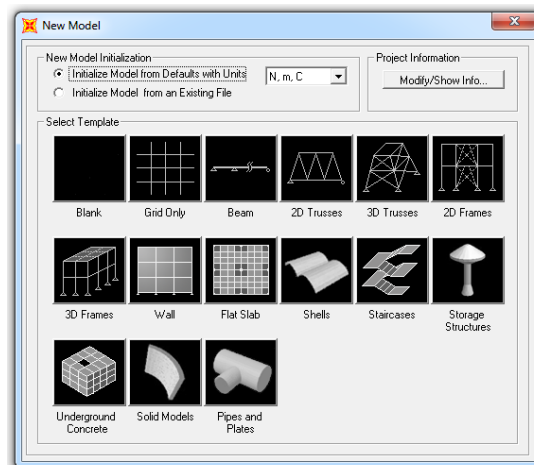
FIGURA 3.66. Graficas de fuerzas cortantes y momentos del caso inicial de análisis en SAP 2000.

Los esfuerzos cortantes calculados analíticamente difieren de los resultados del software en 0.53 centésimas, mientras

que los momentos se diferencian por 0.64 centésimas, El menor valor corresponde a los calculados con SAP 2000 para cada caso.

Debido a la baja diferencia entre los cálculos analíticos y el software, se procede a realizar el cálculo en SAP 2000. El análisis en el software se realizará para los módulos A, B y C.

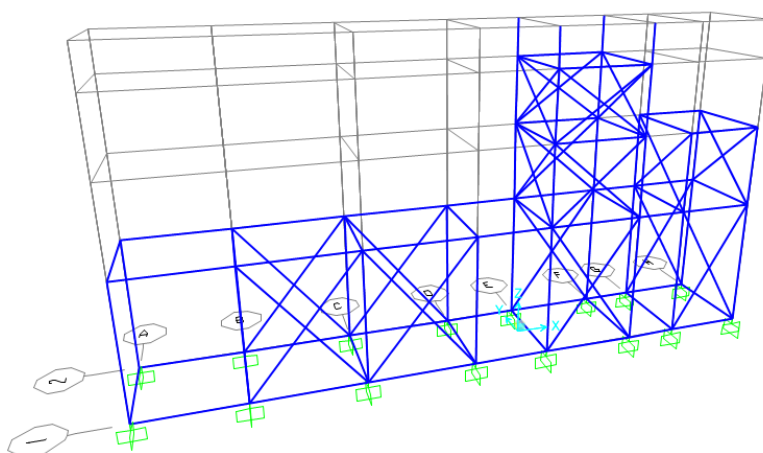
El cálculo inicia por identificar el tipo de estructura a analizar, la figura 3.67 muestra los diferentes tipos de modelos que se pueden utilizar para analizar cada caso estructural.



Fuente: Software SAP 2000

FIGURA 3.67. Menú de modelados de SAP 2000

Se procede a formar la estructura 3D en el software utilizando las herramientas proporcionadas por el mismo programa. Se realiza el modelado de la estructura la cual deberá cumplir con las dimensiones determinadas en la sección 2.3, la figura 3.68 muestra la vista isométrica de la planta en el programa.

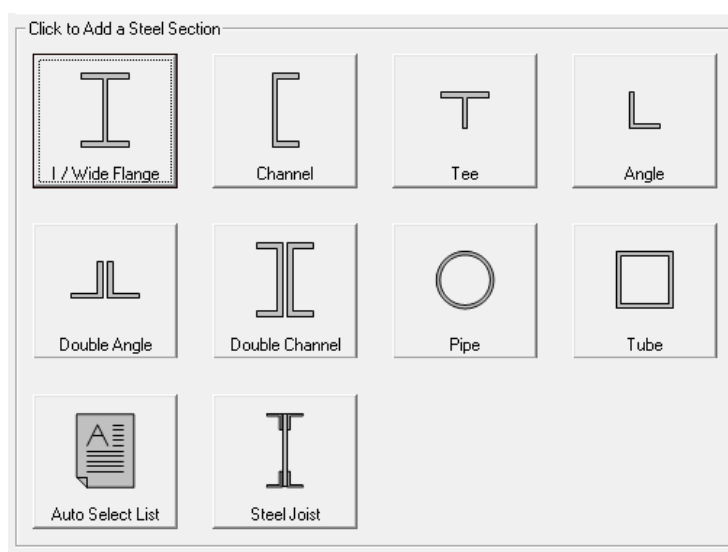


Elaborado por: Cesar Mejía, Marlon Cando, 2015

FIGURA 3.68. Modelado de la estructura en 3D

Se procede a cargar todos los perfiles previamente seleccionados y que cumplan con todas las consideraciones de diseño antes descritas, los elementos que no se encuentren en la biblioteca del software pueden ser cargados por el diseñador.

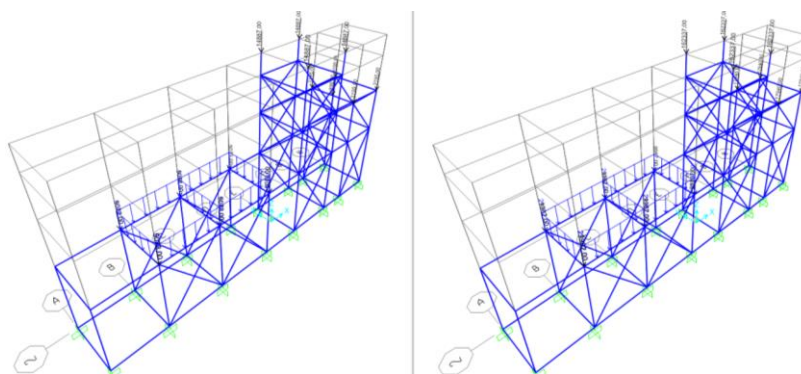
Se selecciona la lista pre cargada para cada elemento graficado en el interfaz de manera que el software automáticamente calcule el perfil adecuado para la estructura. La figura 3.69 muestra la pantalla de opciones para agregar todos los elementos estructurales.



Fuente: Software SAP 2000

FIGURA 3.69. Interfaz de selección de perfiles estructurales.

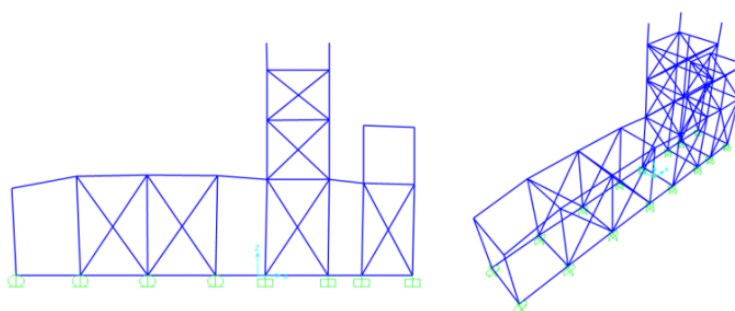
A continuación se coloca en el software los valores de todas las cargas a la que estará sometida la estructura, ya sea carga viva, muerta y viento según lo definido anteriormente. La figura 3.70 muestra las cargas ingresadas en la estructura.



Elaborado por: Cesar Mejía, Marlon Cando, 2015

FIGURA 3.70. Fuerzas ingresadas en el modelado 3D de SAP 2000.

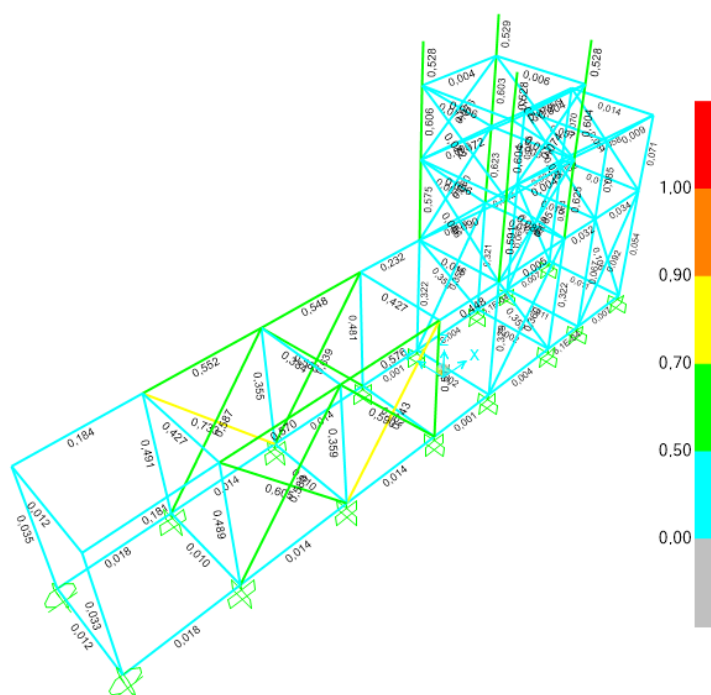
Se procede a seleccionar el espectro sísmico y distribuirlo en todos los niveles de la estructura. Se continúa con la selección del tipo de combinaciones de las cargas y seleccionar el método de análisis que realizará el software, para el diseño se contempla el código de diseño AISC-LRFD99 para el cálculo de estructuras metálicas.



Elaborado por: Cesar Mejía, Marlon Cando, 2015

FIGURA 3.71. Modelado Sísmico de SAP 2000.

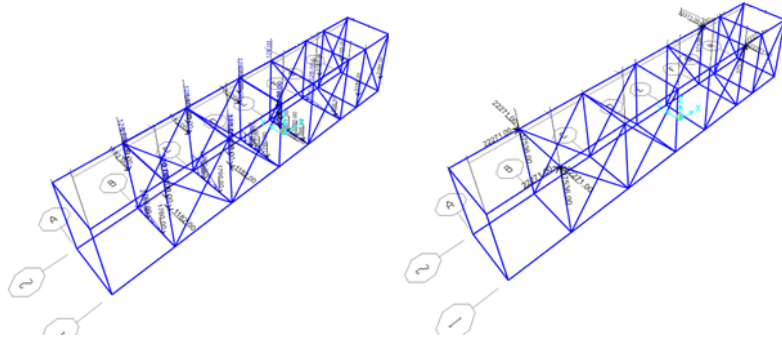
SAP 2000 permite visualizar los porcentajes de utilización de cada perfil preseleccionado de la estructura analizada, la figura 3.72 muestra la presentación dada por el software.



Elaborado por: Cesar Mejía, Marlon Cando, 2015

FIGURA 3.72. Porcentaje de utilización en el modelado 3D de SAP 2000

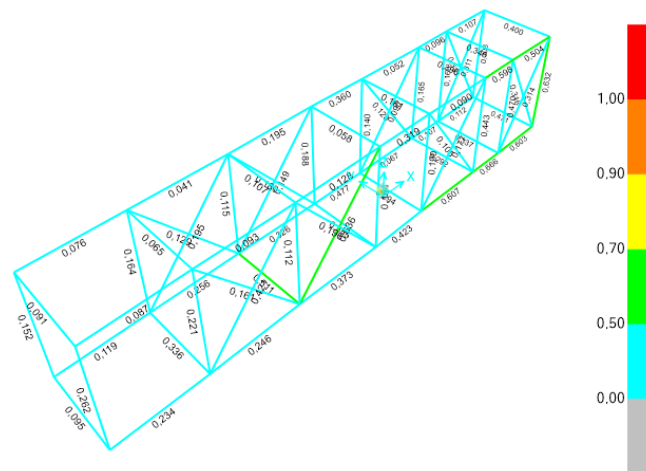
Finalmente se procede a modelar el izaje del “modulo A”, la figura 3.73 muestra las fuerzas utilizadas para el análisis y los resultados obtenidos de dicha simulación.



Elaborado por: Cesar Mejía, Marlon Cando, 2015

FIGURA 3.73. Cargas para modelado de izaje en SAP 2000.

La figura 3.74 muestra los resultados obtenidos al simular dicho movimiento de izaje.



Elaborado por: Cesar Mejía, Marlon Cando, 2015

FIGURA 3.74. Porcentaje de utilización en el izaje del “modulo A” en SAP 2000.

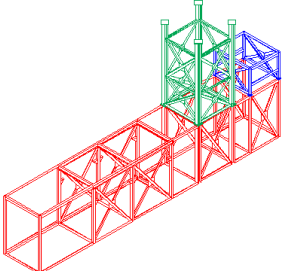
El criterio del diseñador es determinante en cuanto a la aceptación de los resultados, puesto que; se pueden realizar diferentes tipos de cambios con el fin de obtener un diseño en el que los porcentajes de utilización de los perfiles se encuentren dentro de un rango aceptable.

k) Resultados del software SAP 2000

La tabla 56 muestra los perfiles estructurales resultantes del análisis realizado por medio del software; los cálculos representativos y los resultados obtenidos se los encontrará en el apéndice G.

TABLA 56

Resumen de resultados de la estructura

	ELEMENTOS ESTRUCTURALES RESULTANTES DEL ANALISIS EN SAP 2000		
	ELEMENTO	CANTIDAD	TIPOS UTILIZADOS
VIGAS	56	IPE 100	ASTM A36
		IPE 200	ASTM A36
		L125X12 [mm]	ASTM A36
COLUMNAS	32	TC 100X2 [mm]	ASTM A500 Gr. B
		TC 125X4 [mm]	ASTM A500 Gr. B
		TC 125X6 [mm]	ASTM A500 Gr. B
		HEB200	ASTM A36
AMARRES	34	L125X12 [mm]	ASTM A36

Fuente: Cesar Mejía, Marlon Cando, 2015

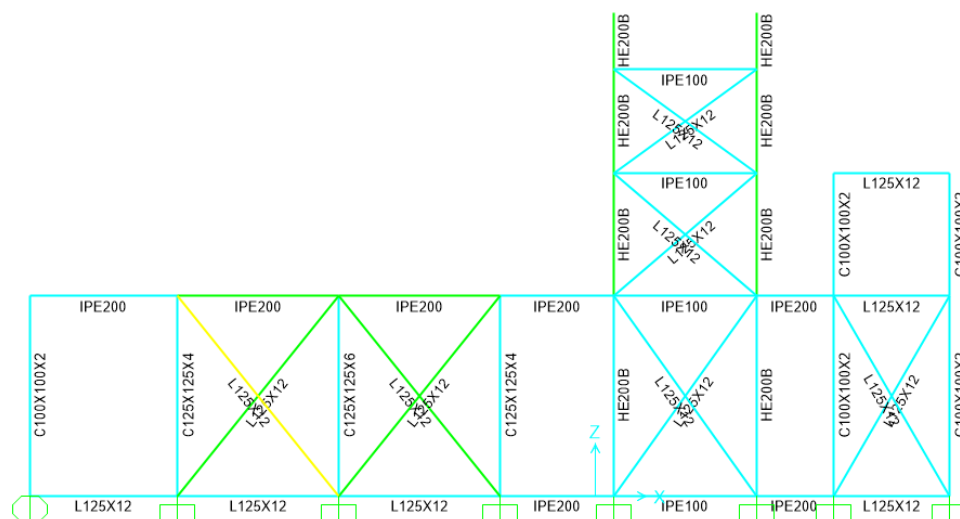
3.3.2. Estructuras de tolvas

Como se mencionó en la sección 3.3.1 la estructura de la planta se encuentra dividida en los módulos A, B, C. La tolva de almacenamiento y pesadoras de agregados se encuentran alojadas por el módulo A.

La tolva pesadora de cemento está soportada por el módulo B y finalmente la tolva que almacena cemento se encuentra firmemente sostenida por el módulo C.

Para que la estructura pueda soportar dichas cargas debido al peso propio y los materiales almacenados, se cuenta con un diseño de perfiles específicos de vigas y columnas para cada módulo.

La figura 3.75 muestra los perfiles utilizados para soportar las cargas de cada una de las tolvas.



Elaborado por: Cesar Mejía, Marlon Cando, 2015

FIGURA 3.75. Perfiles de la estructura de la planta

3.3.3. Estructuras de sistemas de transporte

Sujeción de Tornillos helicoidales

El montaje de los tornillos helicoidales 1 implica la fijación del equipo en el extremo de ingreso de material, dicho sujeción se da por la brida que conecta al tornillo helicoidal con la válvula rotativa de la tolva de almacenaje de cemento.

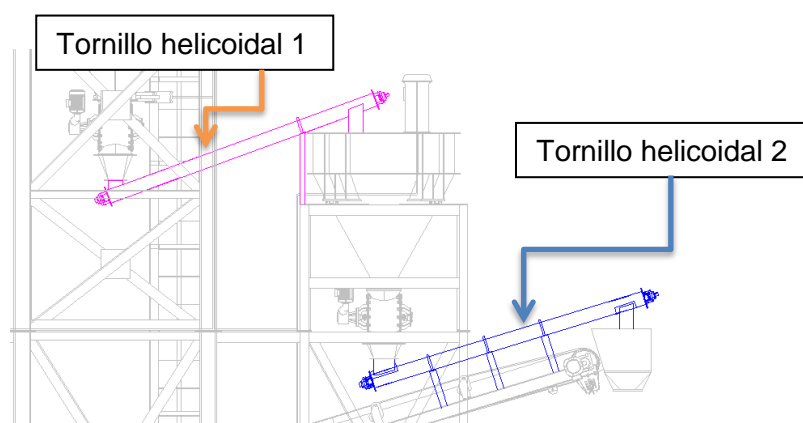
Caso similar para el tornillo helicoidal 2 el cual esta fijo con su brida de conexión a la tolva pesadora de cemento, para ambos casos se le colocan templadores de acero en dichas conexiones bridadas de manera que exista mayor estabilidad.

Soportes estructurales para tornillos helicoidales

Para el tornillo helicoidal 1 se coloca un soporte formado por tubos cuadrados soportado en la estructura de la tolva pesadora de cemento.

El tornillo helicoidal 2 contará con soportes elaborados con tubería cuadrada y colocada a lo largo del equipo, dichos elementos estarán sobre los perfiles de la estructura de la banda transportadora.

La figura 3.76 muestra el arreglo de los soportes de tubería cuadrada tanto para el tornillo helicoidal 1 y 2.



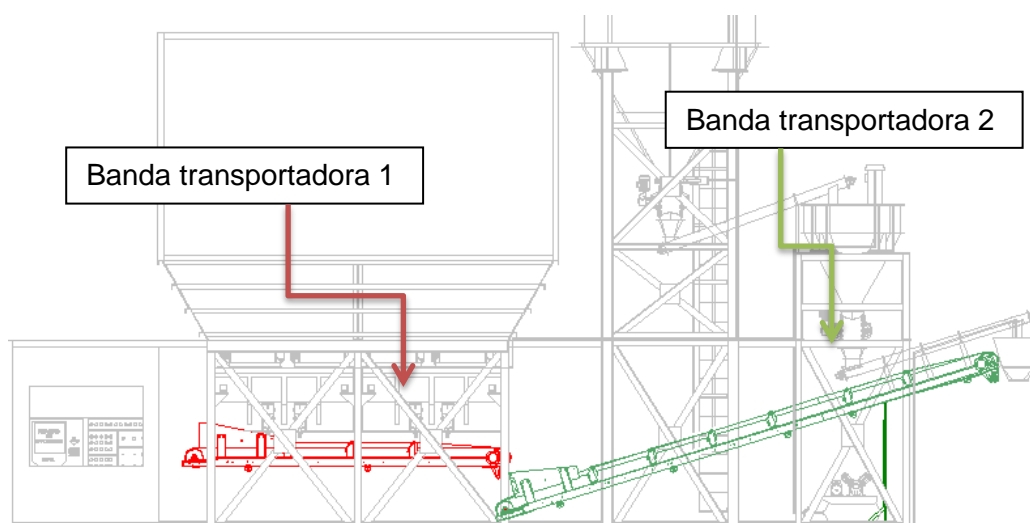
Elaborado por: Cesar Mejía, Marlon Cando, 2015

FIGURA 3.76. Esquema de soportes de los tornillos helicoidales

1 y 2

Bandas transportadoras

La estructura de las bandas transportadoras está formada por varios perfiles metálicos. La banda transportadora 1 estará sostenida por templadores colocados en las columnas que sostienen a la tolva pesadora de cemento, de manera que el equipo este fijo. La estructura de la banda transportadora 2 contará con unos soportes que serán montados con ayuda de una grúa y colocados en el extremo más cercano al carro mezclador de manera que este soportado fijamente en el suelo. La figura 3.77 muestra los soportes de las bandas transportadoras 1 y 2.

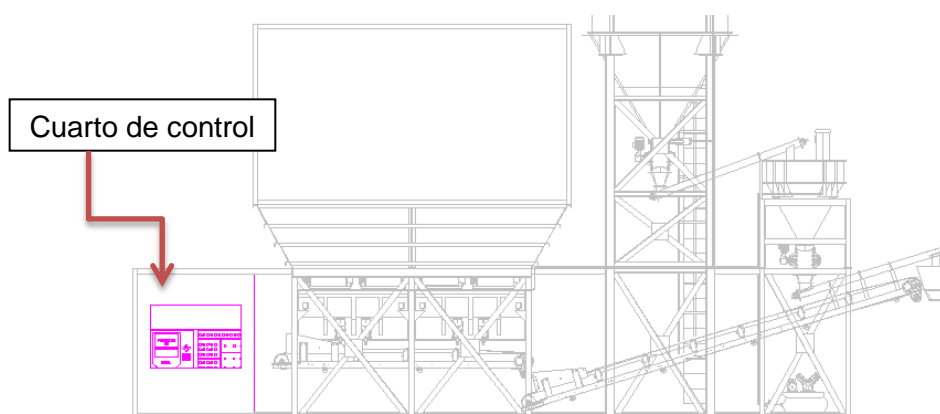


Elaborado por: Cesar Mejía, Marlon Cando, 2015

FIGURA 3.77. Esquema de soportes de las bandas transportadoras 1 y 2

3.3.4. Cuarto de control

La estructura del cuarto de control forma parte del módulo A, se encuentra ubicado en el extremo opuesto al área de despacho de hormigón, sus dimensiones están contemplados de tal manera que un operador pueda permanecer dentro cómodamente y con la visibilidad adecuada; en su interior se contará con los paneles de control, un escritorio, silla, etc. En la figura 3.78 se detalla su ubicación.



Elaborado por: Cesar Mejía, Marlon Cando, 2015

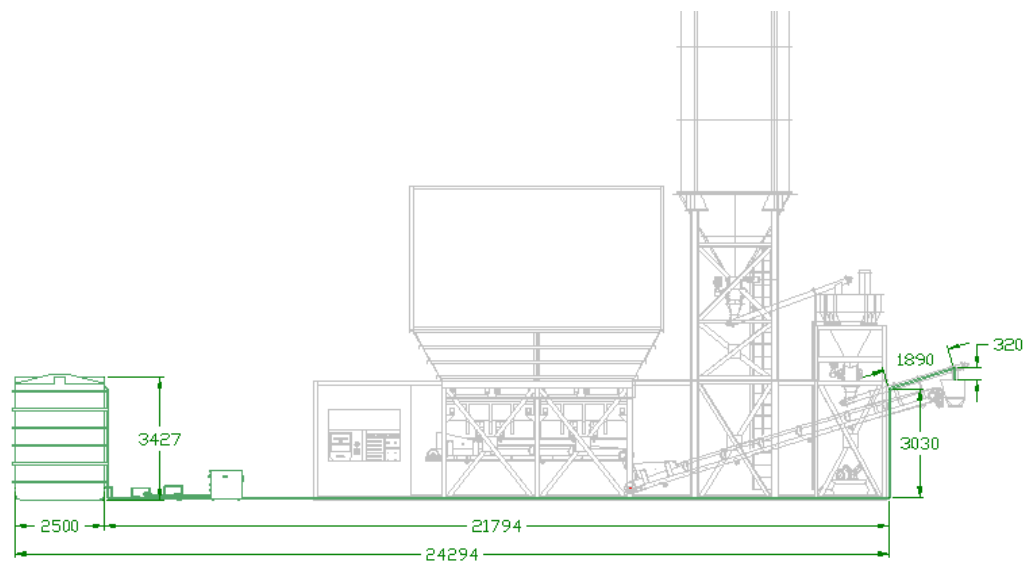
FIGURA 3.78. Ubicación del cuarto de control

3.4. Sistemas auxiliares

3.4.1. Sistema hidráulico

Para el proceso de fabricación del hormigón es indispensable contar con un buen sistema hidráulico que sea capaz de

suministrar la cantidad de agua necesaria para la mezcla del producto; en la figura 3.79 se muestra el diagrama del sistema hidráulico que se analizará.



Elaborado por: César Mejía, Marlon Cando, 2015

FIGURA 3.79. Diagrama del sistema hidráulico

Selección del sistema de bombeo

Diagrama del sistema hidráulico

El diagrama muestra de forma esquemática el recorrido del agua antes de entrar al carro mezclador, y con ello se calculará la capacidad necesaria de la bomba para que venza el cabezal de agua.

Para este análisis se tendrá en cuenta que la dosificación del agua se la realiza al mismo tiempo que la del cemento como se lo muestra en el análisis de tiempos en la sección 2.2.3, esto se lo realiza para evitar la polución del cemento, es decir, que se levante mucho material particulado del mismo, por tal motivo se colocará una boquilla a la descarga del agua.

Los puntos que se ha seleccionado para el análisis son:

1. En el tanque de almacenamiento de agua
2. Antes de la descarga del agua hacia el carro mezclador

Datos

$$\dot{V} = 14 \text{ m}^3/h$$

$$\Delta z = 4.1 \text{ m}$$

$$L_{ta} = 25.4 \text{ m}$$

$$\rho_{agua @ T=20^\circ\text{C}, P=1 \text{ atm}} = 998 \text{ kg/m}^3$$

$$\mu_{agua @ T=20^\circ\text{C}, P=1 \text{ atm}} = 1.003 \times 10^{-3} \text{ N s/m}^2 \text{ [35]}$$

Se calcula la velocidad del agua en el punto 2 aplicando la ecuación de la continuidad unidimensional.

$$\dot{V} = v_2 * A_{ta} = v_2 * \frac{\pi d^2}{4} \quad (97)$$

Con ayuda de EES se determina la velocidad y diámetro apropiado para el flujo de agua, tomando en cuenta que la velocidad de diseño del agua en tuberías debe fluctuar entre 0.6 m/s y 2.5 m/s [36]

TABLA 57

Simulación de velocidad y diámetro de tubería de agua

$v_2 \text{ (m/s)}$	$d \text{ (in)}$
0,6	3,58
1,0	2,77
1,5	2,26
2,0	1,96
2,5	1,75

Elaborado por: César Mejía, Marlon Cando, 2015

Por lo tanto se utilizará una tubería de 2 pulgadas de diámetro, para el transporte del agua, la misma que se moverá a razón de 2 m/s .

Calculo de pérdidas en la tubería

Las pérdidas de carga en una tubería se deben a dos fenómenos:

- Pérdidas por fricción (h_f)
- Pérdidas debida a los accesorios utilizados en todo el ramal (h_k)

$$h_p = h_f + h_k \quad (98)$$

Perdidas por fricción

Se debe a la pérdida de carga por el esfuerzo de cortadura a la pared del ducto, la ecuación que define este comportamiento es la siguiente [35]:

$$h_f = f \frac{L}{d} \frac{v^2}{2g} \quad (99)$$

El parámetro adimensional f , también llamado “Coeficiente de fricción de Darcy”, se lo puede calcular de dos maneras:

a) Utilizando el diagrama de Moody

En este diagrama se calcula gráficamente el coeficiente de fricción, el mismo que es función del número de Reynolds y la rugosidad relativa del material de la tubería, es decir:

$$f = f \left(Re_d, \frac{\varepsilon}{d} \right) \quad (100)$$

Por lo tanto el número de Reynolds es igual:

$$Re_d = \frac{\rho v d}{\mu_{agua}} \quad (101)$$

$$Re_d = \frac{998 \text{ kg/m}^3 * 2 \text{ m/s} * 2 \text{ in} * 0.0254 \text{ m/in}}{1.003 \times 10^{-3} \text{ N s/m}^2}$$

$$Re_d = 101.09 \times 10^3$$

Para el cálculo de la rugosidad relativa se debe conocer el tipo de material del ducto y la rugosidad del mismo:

Material: Acero comercial nuevo [35]

$$\varepsilon_m = 0.046 \text{ mm}$$

$$d = 50.8 \text{ mm (2 in)}$$

$$\text{Rugosidad relativa} = \frac{\varepsilon}{d} \quad (102)$$

$$\text{Rugosidad relativa} = \frac{0.046}{50.8} = 0.000906$$

Con estos valores ya obtenidos se ingresa al diagrama de Moody que se encuentra en el apéndice H, y se obtiene el valor del coeficiente de fricción, el mismo que es igual a:

$$f = 0.023$$

b) Procedimiento analítico

El coeficiente de fricción también puede ser hallado por medio de la ecuación de Haaland, aunque el cálculo puede resultar un poco engorroso si no se utiliza una herramienta

computacional; por esta razón se utiliza el software EES para hallar su resultado [35].

$$\frac{1}{f^{1/2}} = -1,8 \log \left[\frac{6,9}{Re_d} + \left(\frac{\varepsilon}{3,7 d} \right)^{1,11} \right] \quad (103)$$

$$f = 0.0216$$

Pérdidas localizadas

Además de las pérdidas de carga por fricción a lo largo de las tuberías, existen pérdidas menores o localizadas debidas a:

- Entrada o salida de tuberías
- Ensanchamiento o contracciones bruscas
- Curvas, codos, “tes” y otros accesorios
- Válvulas, abiertas o parcialmente cerradas
- Ensanchamiento o contracciones graduales

Para un diámetro de tubería constante, la pérdida se la calcula:

$$h_k = \frac{v^2}{2g} (\sum K) \quad (104)$$

En la tabla 58 a continuación se detallan las pérdidas localizadas que se encontrarán en el sistema hidráulico:

TABLA 58

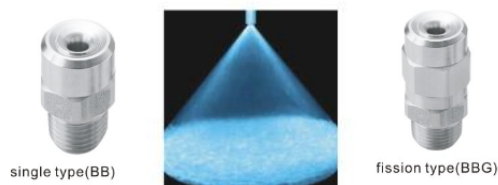
Listado de pérdidas menores en sistema hidráulico

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	$K_{unitario}$	K_{total}
Entrada con bordes vivos	1,0	0,50	0,50
Válvula esférica abierta 2"	1,0	6,90	6,90
Codo 45°	1,0	0,30	0,30
Acople 180°	3,0	0,95	2,85
Anti retorno	1,0	2,10	2,10
Salida brusca	1,0	1,00	1,00
Total $\sum K$			13,65

Elaborado por: César Mejía, Marlon Cando, 2015

Selección de la boquilla para la descarga

Se seleccionará una boquilla tipo “full cone spray” ya que permiten una mayor amplitud del chorro a la salida del agua, tal como se muestra en la siguiente figura.



Fuente: Industrial spray nozzle. Boquilla tipo BB Series full cone spray nozzle

FIGURA 3.80. Boquilla para agua

El flujo de agua a satisfacer es de $14 \text{ m}^3/\text{h} = 233.3 \text{ L}/\text{min}$, y con la tabla 59 que se muestra a continuación se elige la boquilla que cumpla con los requerimientos.

TABLA 59

Boquillas para agua

Nozzle Inlet Conn. NPT or BSPT	Nozzle Type		Capacity Size	Rated Orifice Dia. (mm)	Max. Hole Dia. (mm)	Capacity (L/min)										Spray angle			
	single type	flission type				0.3 bar	0.5 bar	1 bar	2 bar	3 bar	4 bar	5 bar	6 bar	7 bar	10 bar	0.5 bar	1.5 bar	6 bar	
1/8	●	●	3.6	1.6	1.3	0.93	1.2	1.6	2.2	3.0	3.6	4.1	4.5	4.9	5.3	6.2	48°	63°	57°
	●	●	6	2.4	1.3	1.5	2.0	2.7	3.7	4.5	5.1	5.6	6.1	6.6	7.8	60°	66°	60°	
1/4	●	●	10	2.8	1.6	2.6	3.3	4.5	6.2	7.4	8.5	9.4	10.2	11.0	13.0	62°	67°	61°	
	●	●	12	3.2	1.6	3.1	3.9	5.4	7.4	8.9	10.2	11.3	12.3	13.2	15.5	70°	75°	68°	
3/8	●	●	14.5	3.9	1.6	3.7	4.7	6.5	9.0	10.8	12.3	13.7	14.8	15.9	18.8	78°	82°	75°	
	●	●	18	4.0	2.4	4.6	5.9	8.1	11.1	13.4	15.3	17.0	18.4	19.8	23	71°	75°	68°	
1/2	●	●	29	5.6	3.2	7.5	9.5	13.0	17.9	22	25	27	30	32	38	71°	75°	68°	
	●	●	36	6.4	3.2	9.3	11.8	16.2	22	27	31	34	37	40	47	78°	82°	75°	
3/4	●	●	50	6.7	4.4	12.9	16.3	22	31	37	42	47	51	55	65	71°	75°	68°	
	●	●	106	9.9	5.6	27	35	48	65	79	90	100	109	117	137	78°	80°	73°	
1-1/4	●	●	177	12.7	6.4	46	58	79	109	132	150	167	181	195	230	78°	80°	73°	
1-1/2	●	●	230	14.3	8.7	59	75	103	142	171	195	220	235	255	300	73°	77°	70°	
	●	●	290	15.5	11.1	75	95	130	179	215	250	275	300	320	375	66°	70°	64°	
2	●	●	360	17.4	11.1	93	118	162	225	270	305	340	370	395	470	70°	74°	67°	
	●	●	480	21.0	11.1	124	157	215	300	360	410	455	495	530	630	79°	82°	74°	
2-1/2	●	●	490	19.8	14.3	126	160	220	305	365	420	465	510	540	640	62°	67°	61°	
	●	●	590	22.2	14.3	152	193	265	365	440	510	560	610	650	770	75°	78°	71°	
5	●	●	950	28.6	17.5	245	310	430	590	710	810	900	980	1050	1230	81°	84°	76°	
	●	●	2980	47.6	28.6	770	980	1340	1840	2220	2540	2810	3060	3280	3860	89°	91°	83°	
6	●	●	5690	81.8	44.5	1470	1860	2560	3520	4240	4840	5360	5830	6260	7370	102°	105°	95°	

Fuente: Industrial spray nozzle. Boquilla tipo BB Series full cone spray nozzle

El resultado es el siguiente:

Boquilla: *BB2 – SS 360*

Capacidad = 270 L/min

Presión = $P_2 = 3 \text{ bar}$

Ecuación de la energía

A través de la ecuación de la energía se calcula la potencia necesaria de la bomba, utilizando los valores ya encontrados:

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 - h_b + h_p \quad (105)$$

Consideraciones

- Flujo estacionario incompresible
- Deposito muy grande $v_1 \approx 0$
- Presión en el punto 1 igual a la presión atmosférica

$$h_b = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 + h_p$$

Reemplazando los valores correspondientes se tiene:

$$h_b = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 + h_f + h_k$$

$$h_b = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 + f \frac{L}{d} \frac{v_2^2}{2g} + \frac{v_2^2}{2g} \left(\sum K \right)$$

$$h_b = \frac{P_2}{\rho g} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g} \left(1 + f \frac{L}{d} + \sum K \right)$$

$$h_b = \frac{300 \times 10^3}{998 * 9.81} + 4.1 + \frac{2^2}{2 * 9.81} \left(1 + 0.0216 * \frac{25.4}{0.0508} + 13.65 \right)$$

$$h_b = 39.93 \text{ m}$$

La potencia requerida se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$\mathbb{P} = \rho g \dot{V} h_b \quad (106)$$

$$\mathbb{P}_{nominal} = 998 * 9.81 * 14 * 39.93 * \left(\frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} \right) * \left(\frac{1 \text{ hp}}{735 \text{ watts}} \right)$$

$$\mathbb{P}_{nominal} = 2.07 \text{ hp}$$

Tomando en cuenta que la eficiencia de los motores es del 80 % para convertir la potencia eléctrica en mecánica, se tiene [37]:

$$\eta = \frac{P_{nominal}}{P_{requerido}} \quad (107)$$

$$P_{requerido} = \frac{P_{nominal}}{\eta}$$

$$P_{requerido} = \frac{2.07}{0.8} = 2.58 \text{ hp}$$

$$P_{requerido} = \mathbf{3 \text{ hp}}$$

Selección de chiller para sistema de agua helada

Parte de los requisitos para la generación de cierto tipo de hormigón es que el agua de alimentación hacia el carro mezclador (mixer) tenga una temperatura de aproximadamente 10 °C, por tal motivo la planta dosificadora de materias primas para la mezcla de hormigón contará con un sistema de enfriamiento de agua.

Calculo de carga térmica

Para poder seleccionar el sistema de refrigeración adecuado es necesario conocer la carga térmica, es decir, la cantidad de energía que se le debe extraer al agua para así enfriarla, para lo cual se utiliza la siguiente ecuación [38]:

$$\dot{Q} = \dot{m}C_p\Delta T \quad (108)$$

$$\rho = \frac{\dot{m}}{\dot{V}} \quad (109)$$

$$\dot{Q} = \rho\dot{V}C_p(T_{in} - T_{out})$$

Dónde:

$$T_{out} = 10 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{in} = 30 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\rho_{agua @ \bar{T}=15^\circ\text{C}, P=1 \text{ atm}} = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$C_{p_{agua @ \bar{T}=15^\circ\text{C}, P=1 \text{ atm}}} = 4192 \text{ J/K kg}$$

$$\dot{V} = 14 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

$$\dot{Q} = 1000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 14 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} * 4192 \frac{\text{J}}{\text{K kg}} * (20 - 10)\text{K} * \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}}$$

$$= 163 \times 10^3 \text{ W}$$

$$\dot{Q} = 163 \times 10^3 \text{ W} * \frac{1 \text{ Ton Refrigeración}}{3517 \text{ W}}$$

$$\dot{Q} = 46.35 \text{ T.R.}$$

Utilizando un factor de seguridad del 10% más, se tiene:

$$\dot{Q} = 46.35 \text{ T.R.} * 1.10 \rightarrow \dot{Q} = 50.98 \text{ T.R.}$$

Además se considera la máxima temperatura ambiental en el territorio ecuatoriano por donde podría operar la planta dosificadora:

TABLA 60
RECORDS HISTÓRICOS DE TEMPERATURA MÁXIMA
ABSOLUTA MENSUAL – SEMESTRE 2014

		RECORDS HISTORICOS TEMEPERATURA MAXIMA ABSOLUTA MENSUAL SEMESTRE 2014 (°C)	
		MARZO	
	ESTACIÓN / MES	2014	RECORD HISTORICO-AÑO
LITORAL	PORTOVIEJO	36,7	36,6 (1982)
	ZARUMA	33,7	32,1 (1990)

Fuente: INAMHI - Boletín climatológico semestral, enero - junio 2014 [39]

Si se tiene que la temperatura ambiental del lugar donde operará la planta se encuentra por encima de los 20°C (68°F), entonces se debe agregar 1% a las Btu/h calculadas por cada 0.9°F por encima de los 68°F, por lo tanto:

$$\Delta T = 36.7^{\circ}\text{C}(98^{\circ}\text{F}) - 20^{\circ}\text{C} (68^{\circ}\text{F}) = 30^{\circ}\text{F}$$

$$\frac{30^{\circ}\text{F}}{0.9^{\circ}\text{F}} = 33.3 \text{ factor de funcionamiento a } 98^{\circ}\text{F}$$

Se tiene un incremento de la carga térmica debido a las condiciones del lugar de trabajo.

$$1\% \text{ de } \dot{Q} = 50.98 \text{ T.R.} \rightarrow 0.5098 \text{ T.R.}$$

Multiplicándolo por el factor de funcionamiento a 98°F, se tiene

$$0.5098 \text{ T.R.} * 33.3 = 16.97 \text{ T.R.}$$

Por lo tanto:

$$\dot{Q} = 50.98 \text{ T.R.} + 16.97 \text{ T.R.}$$

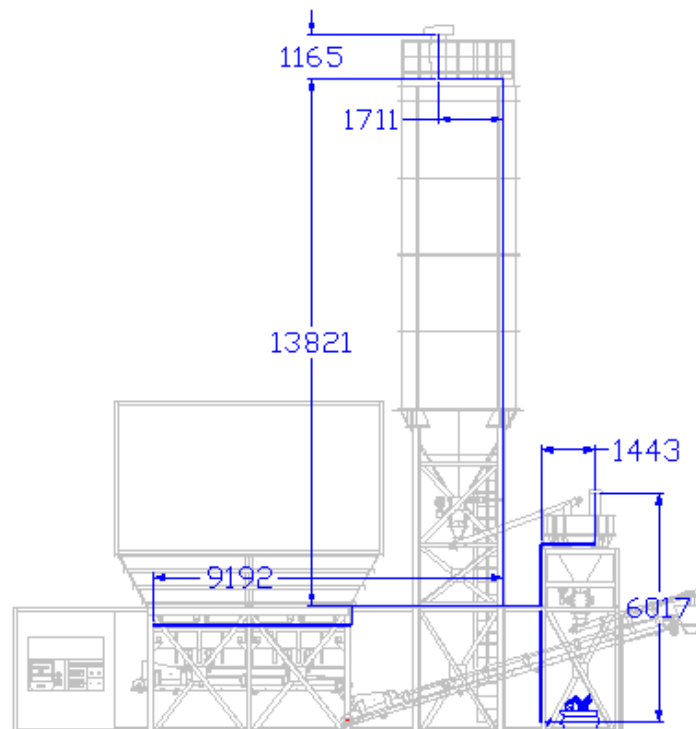
$$\dot{Q} = 68 \text{ T.R.}$$

3.4.2. Sistema neumático

El aire comprimido se emplea para transmitir la energía necesaria para hacer funcionar ciertos mecanismos de un sistema. En la planta dosificadora se utiliza principalmente para el funcionamiento de pistones, los mismos que se encontrarán ubicados en:

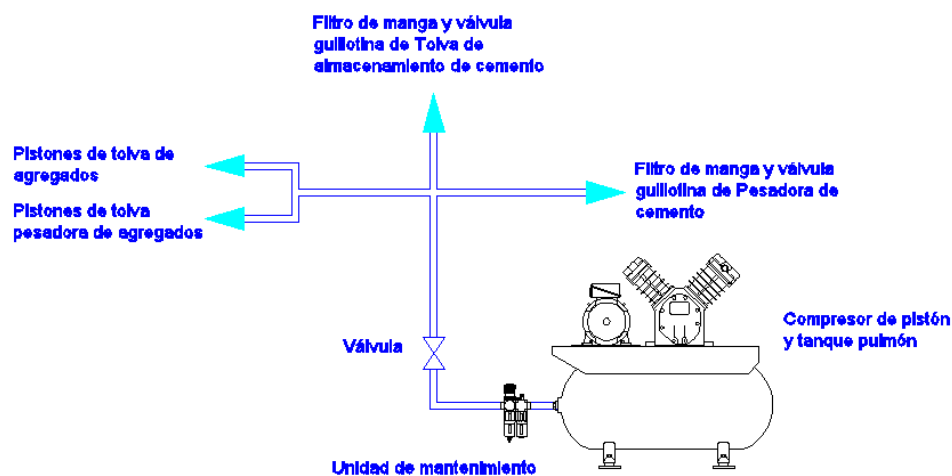
- Compuertas tipo almeja simple en la tolva de agregados fino y grueso
- Compuertas tipo almeja doble en la tolva pesadora de agregados fino y grueso
- Válvulas de guillotina para las tolvas de cemento

Adicionalmente se utiliza aire comprimido para alimentar a los filtros de mangas que se encuentran ubicados en las tolvas de cemento, por lo tanto a continuación se presenta el diagrama de flujo del sistema de aire comprimido de la planta dosificadora de materias primas para la producción de hormigón.



Elaborado por: César Mejía, Marlon Cando, 2015

FIGURA 3.81. Distribución del sistema neumático en la planta



Elaborado por: César Mejía, Marlon Cando, 2015

FIGURA 3.82. Diagrama de flujo del sistema de aire comprimido

A continuación se analiza cada caso de manera individual.

a) Compuertas tipo almeja simple en la tolva de agregados fino y grueso

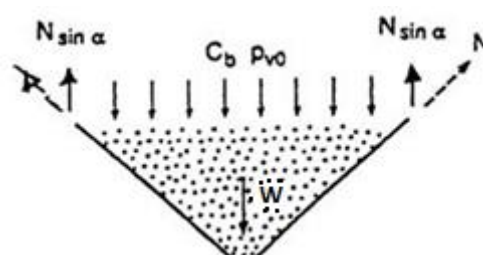
Estas compuertas serán las encargadas de cargar de material a las tolvas pesadoras, y por medio de pistones accionados por medio sistema de aire comprimido se dará las órdenes de apertura o cierre.

Como se detalló en la sección 2.2.4, las tolvas de agregados fino y grueso deberán soportar una carga de 14 y 13 toneladas de material respectivamente, por lo tanto se

utilizará el valor más crítico para seleccionar el pistón capaz de vencer la carga horizontal generada por el material almacenado.

Cálculo de carga horizontal

Para el cálculo de las cargas de tracción en la compuerta se analizará el diagrama de cuerpo libre propuesto por el eurocódigo UNE-ENV 1991-4 para las cargas en la parte inferior de una tolva, donde se hallará la componente horizontal de la carga N [19].



Fuente: UNE-ENV 1991-4, Eurocódigo 1 – Acciones en silos y depósitos [19].

FIGURA 3.83. Fuerzas de tracción en la parte inferior de la tolva

El pistón seleccionado deberá ser capaz de soportar una carga equivalente a $N \cos \alpha$, por lo tanto:

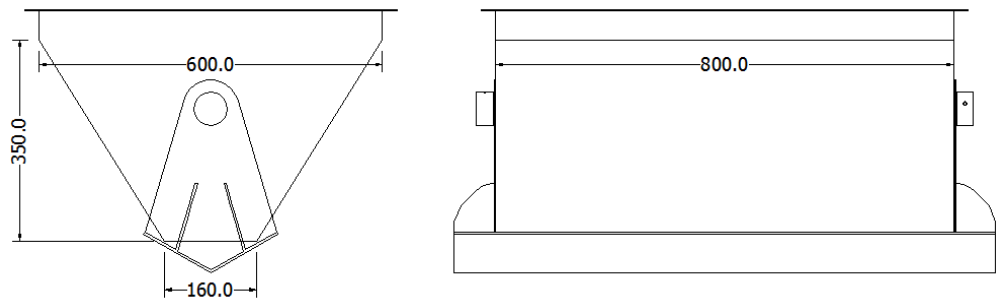
$$+\uparrow \sum F_y = 0$$

$$2N \sin \alpha = C_b P_{v o} + W_m$$

$$N = \frac{C_b P_{vo} + W_m}{2 \sin \alpha} \quad (110)$$

Dónde:

Los valores de C_b , P_{vo} y α fueron calculados en la sección 3.1.1; El peso W será netamente del material que se encuentre en la parte trapezoidal de la tolva de transición para la compuerta tipo almeja simple.



Elaborado por: César Mejía, Marlon Cando, 2015

FIGURA 3.84. Tolva de transición para compuerta tipo almeja simple

Por lo tanto:

$$\begin{aligned} \text{Volumen} &= \left(\frac{600 + 160}{2} \right) * 350 * 800 * \frac{1m^3}{(1000 \text{ mm})^3} \\ &= 0.1064 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Utilizando la densidad de la arena compactada, se tiene:

$$W = (\rho * Volumen)g$$

$$= 2717 \frac{kg}{m^3} * 0.1064 m^3 * 9.81 \frac{m}{s^2} * \frac{1 kN}{1000 N}$$

$$W = 2.84 kN$$

Reemplazando todos los valores se obtiene el valor de N:

$$N = \frac{(1.2 * 30.3 * (0.8 * 0.6)) + 2.84}{2 \sin 58}$$

$$N = 11.96 kN$$

Por lo tanto la fuerza horizontal será:

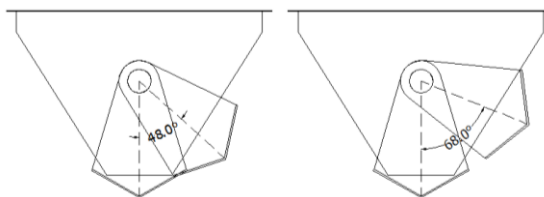
$$F_h = N \cos \alpha = 11.96 * \cos 58$$

$$F_h = 6.3 kN$$

Máxima apertura de la compuerta

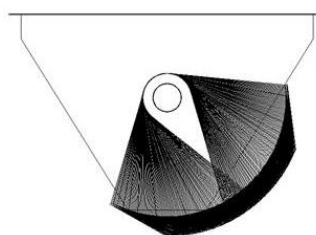
Utilizando el software de AutoCAD, se simula la apertura de la compuerta, la cual necesita como mínimo rotar un ángulo de 48° con respecto a la vertical, para brindar la máxima apertura para la descarga del material.

Adicionalmente cabe recalcar que la compuerta puede llegar hasta un máximo ángulo de rotación de 68°.



Elaborado por: César Mejía, Marlon Cando, 2015

FIGURA 3.85. Aperturas de compuerta tipo almeja simple

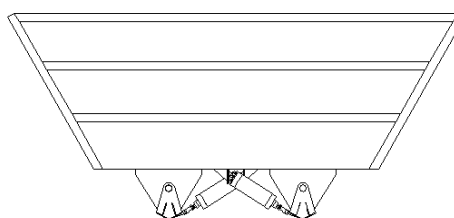


Elaborado por: César Mejía, Marlon Cando, 2015

FIGURA 3.86. Máxima apertura de compuerta tipo almeja simple

Carrera del pistón

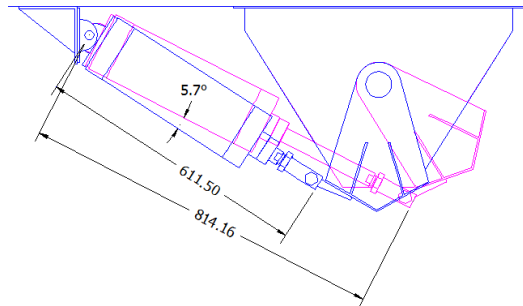
Para el cálculo de la carrera del pistón se toma como referencia el modelo de la tolva de agregados que se presenta en la figura 3.87 a continuación:



Elaborado por: César Mejía, Marlon Cando, 2015

FIGURA 3.87. Vista Lateral de tolva de agregados

Girando la compuerta tipo almeja simple 48°, se tiene:



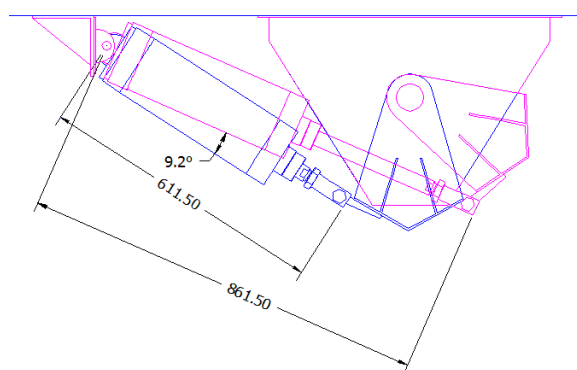
Elaborado por: César Mejía, Marlon Cando, 2015

FIGURA 3.88. Carrera de pistón a un giro de 48°

Donde la carrera tendrá un valor de:

$$\text{Carrera} = 814.16 - 611.50 = 202.66 \text{ mm}$$

Girando la compuerta 68°, se tiene:



Elaborado por: César Mejía, Marlon Cando, 2015

FIGURA 3.89. Carrera de pistón a un giro de 68°

Donde la carrera tendrá un valor de:

$$\text{Carrera} = 861.50 - 611.50 = 250.0 \text{ mm}$$

Por lo tanto se seleccionará un pistón con una carrera de 250 mm

Selección de pistón

Se utilizará un pistón de doble efecto, con una presión de trabajo de 6 bares.

$$F_{Av} = P * S_A \quad (111)$$

$$F_{Av} = P \left(\frac{\pi}{4} \phi_{embolo}^2 \right) = F_h$$

Dónde:

F_{Av} : Fuerza de avance

S_A : Superficie de avance

ϕ_{embolo} : Diámetro del embolo

$$\phi_{embolo} = \sqrt{\frac{4 F_h}{\pi P}} = \sqrt{\frac{4 * 6300[N]}{\pi * 6 \times 10^5 [Pa]}} = 0.1156 \text{ m}$$

$$\phi_{embolo} = 115.6 \text{ mm}$$

Por lo tanto se seleccionará un pistón marca FESTO con las siguientes características:

- Carrera: 250 mm
- $F_{Av} = 6300 N$
- $\phi_{embolo} = 125 mm$
- $P = 6 bar$

El pistón designado es un cilindro normalizado DSBC-125-250-PPSA-N3, en el apéndice I se detallan las características del mismo.

Consumo de aire

El consumo de aire en el cilindro neumático seleccionado se calculará mediante la siguiente fórmula [40]:

$$\dot{V} = \left(\frac{\pi}{4}\right) \phi_{embolo}^2 * c * n_c * P * N_c * 10^{-6} \quad (112)$$

Dónde:

$\dot{V} =$ Consumo de aire (N L/min)

$\phi_{embolo} =$ Diámetro del cilindro (mm)

$c =$ Carrera del cilindro (mm)

$n_c =$ Número de ciclos completos por minuto

$P = \text{Presión absoluta} = \text{Presión relativa de trabajo} + 1 \text{ bar}$

$N_c = \text{Número de efectos del cilindro (} N = 1 \text{ para simple efecto, } N = 2 \text{ para doble efecto)}$

$$\dot{V} = \left(\frac{\pi}{4}\right) * 125^2 * 250 * \left(\frac{1}{4}\right) * (6 + 1) * 2 * 10^{-6}$$

$$\dot{V} = 10.75 \frac{NL}{min} = 0.38 \text{ cfm}$$

Utilizando la tabla 61 de FESTO, se tiene que para un cilindro con 125 mm de diámetro de embolo:

$$\dot{V} = \left(0.859 * \frac{250}{10} + 0.803 * \frac{250}{10}\right) * \frac{1 \text{ ciclo}}{4 \text{ min}}$$

$$\dot{V} = 10.4 \frac{NL}{min} = 0.37 \text{ cfm}$$

Se utilizará un cilindro neumático por cada compuerta tipo almeja simple, es decir, que se tendrá 8 pistones en total, entonces el consumo de aire será:

$$\dot{V} = 0.38 \text{ cfm} * 8$$

$$\dot{V} = 3.04 \text{ cfm}$$

TABLA 61

Consumo teórico de aire a 6 bares por 10 mm de carrera

Diámetro del émbolo (mm)	Avance (NI)	Retroceso (NI)
8	0,0035	0,0026
10	0,0055	0,0046
12	0,008	0,006
16	0,014	0,012
20	0,022	0,018
25	0,034	0,029
32	0,056	0,048
40	0,088	0,074
50	0,137	0,115
63	0,218	0,196
80	0,352	0,317
100	0,55	0,515
125	0,859	0,803
160	1,407	1,319
200	2,199	2,111
250	3,436	3,299
320	5,63	5,412

Fuente: Hesse Aire comprimido, fuente de energía, preparación y distribución. FESTO. [40]

b) Compuertas tipo almeja doble en la tolva pesadora de agregados fino y grueso

Estas compuertas serán las encargadas de enviar el producto pesado hacia la banda transportadora, y por medio de pistones accionados por medio sistema de aire comprimido se dará las órdenes de apertura o cierre.

Como se detalló en la sección 2.2.4, las tolvas pesadoras de agregados fino y grueso tendrán una capacidad máxima de 5.9 y 5.5 toneladas de material respectivamente, por lo tanto se utilizará el valor más crítico para seleccionar el pistón capaz de vencer la carga horizontal generada por el material almacenado.

Cálculo de carga horizontal

Al igual que en el cálculo anterior, se analizará el diagrama de cuerpo libre propuesto por el eurocódigo UNE-ENV 1991-4 para las cargas en la parte inferior de una tolva, donde se hallará componente horizontal de la carga N .

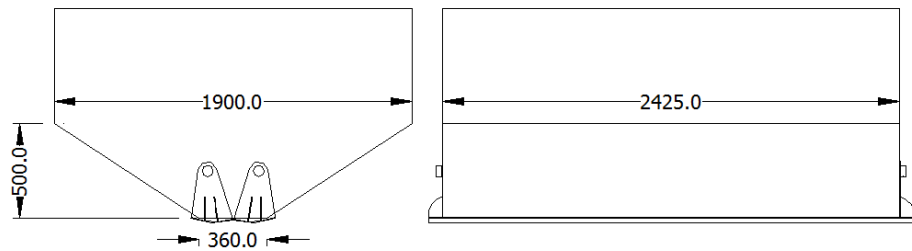
$$+\uparrow \sum F_y = 0$$

$$2N \sin \alpha = C_b P_{vo} + W_m$$

$$N = \frac{C_b P_{vo} + W_m}{2 \sin \alpha}$$

Dónde:

Los valores de C_b , P_{vo} y α fueron calculados en la sección 3.1.1; el peso W_m será netamente del material que se encuentre en la parte trapezoidal de la tolva de transición para la compuerta tipo almeja doble.



Elaborado por: César Mejía, Marlon Cando, 2015

**FIGURA 3.90. Tolva de transición para compuerta tipo almeja
doble**

Por lo tanto:

$$\begin{aligned} \text{Volumen} &= \left(\frac{1900 + 360}{2} \right) * 500 * 2425 * \frac{1 \text{ m}^3}{(1000 \text{ mm})^3} \\ &= 1.37 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Utilizando la densidad de la arena compactada, se tiene:

$$\begin{aligned} W_m &= (\rho * \text{Volumen})g \\ &= 2717 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 1.37 \text{ m}^3 * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * \frac{1 \text{ kN}}{1000 \text{ N}} \\ W &= 36.52 \text{ kN} \end{aligned}$$

Reemplazando todos los valores se obtiene el valor de N:

$$\begin{aligned} N &= \frac{(1.2 * 9.92 * (1.9 * 2.425)) + 36.52}{2 \sin 40} \\ N &= 71.07 \text{ kN} \end{aligned}$$

Se debe tener en cuenta para este caso que la carga será dividida en dos, debido a que la compuerta es doble, entonces:

$$N = 71.07 \text{ kN}/2$$

$$N = 35.54 \text{ kN}$$

Por lo tanto la fuerza horizontal será:

$$F_h = N \cos \alpha = 35.54 * \cos 40$$

$$F_h = 27.23 \text{ kN}$$

Se utilizará dos pistones por compuerta para contrarrestar la carga generada por el material, por lo tanto cada cilindro deberá soportar la carga de:

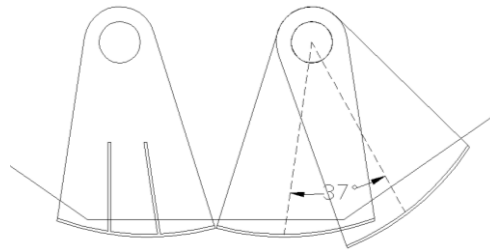
$$F_h = 27.23 \text{ kN}/2$$

$$F_h = 13.62 \text{ kN}$$

Máxima apertura de la compuerta

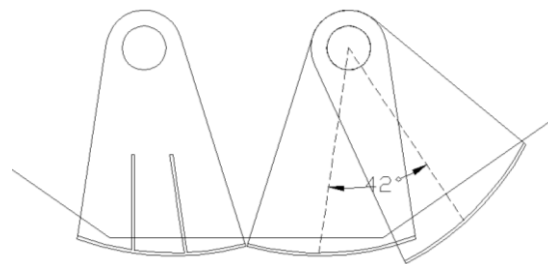
Utilizando el software de AutoCAD, se simula la apertura de la compuerta, la cual necesita como mínimo rotar un ángulo de 37°, para brindar la máxima apertura para la descarga del material. Adicionalmente cabe recalcar que la

compuerta puede llegar hasta un máximo ángulo de rotación de 42°



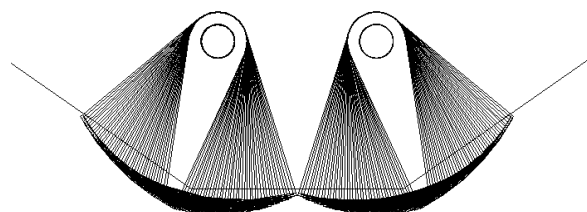
Elaborado por: César Mejía, Marlon Cando, 2015

FIGURA 3.91. Apertura de 37° de compuerta tipo almeja doble



Elaborado por: César Mejía, Marlon Cando, 2015

FIGURA 3.92. Apertura de 42° de compuerta tipo almeja doble

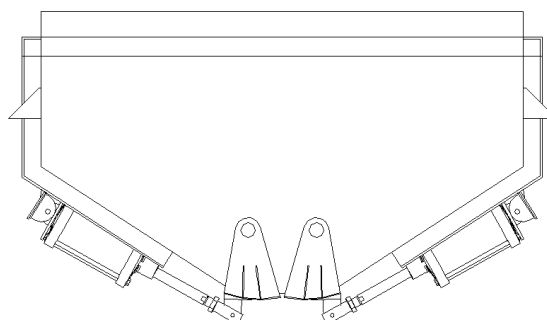


Elaborado por: César Mejía, Marlon Cando, 2015

FIGURA 3.93. Máxima apertura de compuerta tipo almeja doble

Carrera del pistón

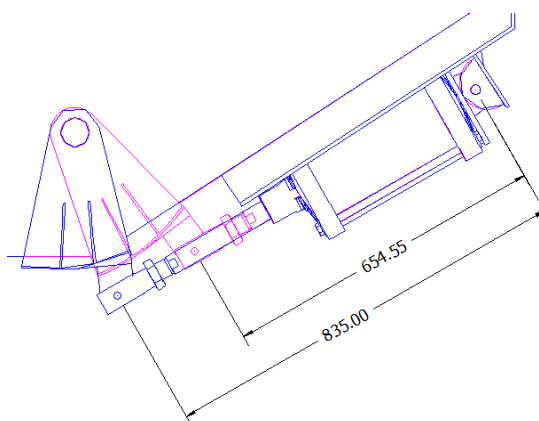
Para el cálculo de la carrera del pistón se toma como referencia el modelo de la tolva de agregados que se presenta en la figura 3.94 a continuación



Elaborado por: César Mejía, Marlon Cando, 2015

FIGURA 3.94. Vista Lateral de tolva pesadora de agregados

Girando la compuerta tipo almeja doble 37° , se tiene:



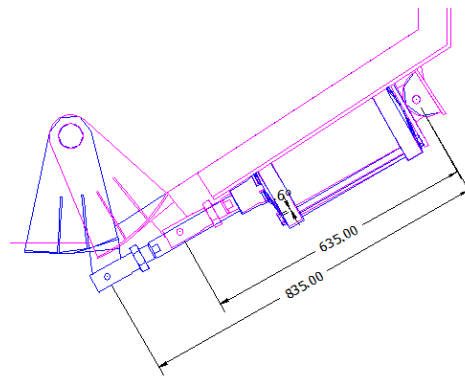
Elaborado por: César Mejía, Marlon Cando, 2015

FIGURA 3.95. Carrera de pistón a un giro de 37°

Donde la carrera tendrá un valor de:

$$\text{Carrera} = 835 - 654.55 = 180.45 \text{ mm}$$

Girando la compuerta 42°, se tiene:



Elaborado por: César Mejía, Marlon Cando, 2015

FIGURA 3.96. Carrera de pistón a un giro de 42°

Donde la carrera tendrá un valor de:

$$\text{Carrera} = 835.0 - 635.0 = 200.0 \text{ mm}$$

Por lo tanto se seleccionará un pistón con una carrera de 200 mm

Selección de pistón

Se utilizará un pistón de doble efecto, con una presión de trabajo de 6 bares.

$$F_{Av} = P * S_A$$

$$F_{Av} = P \left(\frac{\pi}{4} \phi_{embolo}^2 \right) = F_h$$

$$\phi_{embolo} = \sqrt{\frac{4 F_h}{\pi P}} = \sqrt{\frac{4 * 13,620[N]}{\pi * 6 \times 10^5 [Pa]}} = 0.170 \text{ m}$$

$$\phi_{embolo} = 170.0 \text{ mm}$$

Por lo tanto se seleccionará un pistón marca FESTO con las siguientes características:

- Carrera: 200 mm
- $F_{Av} = 13,620 \text{ N}$
- $\phi_{embolo} = 200 \text{ mm}$
- $P = 6 \text{ bar}$

El pistón designado es un Cilindro normalizado DSBG-200-200-PPV-N3, en el apéndice I se detallan las características del mismo.

Consumo de aire

El consumo de aire en el cilindro neumático seleccionado se calculará mediante la siguiente fórmula:

$$\dot{V} = \left(\frac{\pi}{4} \right) \phi_{embolo}^2 * c * n * P * N * 10^{-6}$$

$$\dot{V} = \left(\frac{\pi}{4}\right) * 200^2 * 200 * \left(\frac{2}{7}\right) * (6 + 1) * 2 * 10^{-6}$$

$$\dot{V} = 25.14 \frac{NL}{min} = 0.89 \text{ cfm}$$

Utilizando la tabla 61 de FESTO, se tiene que para un cilindro con 200 mm de diámetro de embolo:

$$\dot{V} = \left(2.199 * \frac{200}{10} + 2.111 * \frac{200}{10}\right) * \frac{2 \text{ ciclo}}{7 \text{ min}}$$

$$\dot{V} = 24.63 \frac{NL}{min} = 0.87 \text{ cfm}$$

Se utilizará cuatro cilindros neumáticos por cada compuerta tipo almeja doble, es decir, que tendrá 8 pistones en total, entonces el consumo de aire será:

$$\dot{V} = 0.87 \text{ cfm} * 8$$

$$\dot{V} = 6.96 \text{ cfm}$$

c) Válvulas de guillotina para las tolvas de cemento

Estas válvulas serán ubicadas a la salida de la tolva de almacenamiento y pesadora de cemento y son las encargadas de permitir el paso del producto [41].



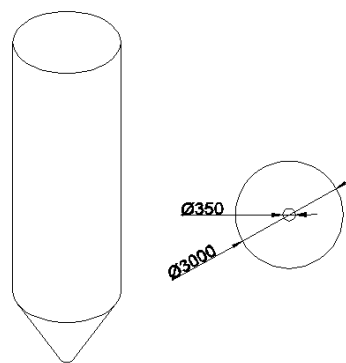
Elaborado por: ORBINOX, La llave [41]

FIGURA 3.97. Válvula guillotina

Tolva de almacenamiento de cemento

Se seleccionará una válvula con accionamiento neumático con cilindro de doble efecto a una presión de trabajo de 6 bares.

El diámetro de salida de la tolva de alimentación se muestra en la figura 3.98.



Elaborado por: César Mejía, Marlon Cando, 2015

FIGURA 3.98. Diámetro de cuerpo y de salida de tolva de almacenamiento de cemento.

Por lo tanto utilizando la tabla del apéndice J se elegirá una válvula DN350 la cual utiliza un cilindro neumático C250/375, es decir, que tiene un embolo de $\phi 250$ y 375 mm de carrera.

Consumo de aire

El consumo de aire del cilindro neumático se calculará mediante la siguiente fórmula:

$$\dot{V} = \left(\frac{\pi}{4}\right) \phi_{embolo}^2 * c * n * P * N * 10^{-6}$$

$$\dot{V} = \left(\frac{\pi}{4}\right) * 250^2 * 375 * \left(\frac{1}{6}\right) * (6 + 1) * 2 * 10^{-6}$$

$$\dot{V} = 43 \frac{NL}{min} = 1.52 \text{ cfm}$$

Utilizando la tabla 60 de FESTO, se tiene que para un cilindro con 250 mm de diámetro de embolo:

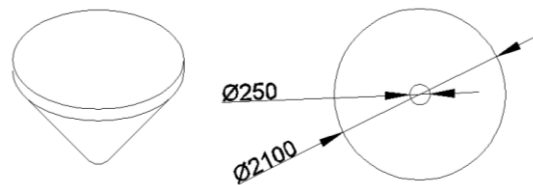
$$\dot{V} = \left(3.436 * \frac{375}{10} + 3.299 * \frac{375}{10}\right) * \frac{1 \text{ ciclo}}{6 \text{ min}}$$

$$\dot{V} = 42.1 \frac{NL}{min} = 1.49 \text{ cfm}$$

Tolva pesadora de cemento

Se seleccionará una válvula con accionamiento neumático con cilindro de doble efecto a una presión de trabajo de 6 bares.

El diámetro de salida de la tolva de alimentación se muestra en la figura 3.99.



Elaborado por: César Mejía, Marlon Cando, 2015

FIGURA 3.99. Diámetro de cuerpo y de salida de tolva pesadora de cemento

Por lo tanto utilizando la tabla del apéndice J se elegirá una válvula DN250 la cual utiliza un cilindro neumático C200/270, es decir, que tiene un embolo de $\phi 200$ y 270 mm de carrera.

Consumo de aire

El consumo de aire del cilindro neumático se calculará mediante la siguiente fórmula:

$$\dot{V} = \left(\frac{\pi}{4}\right) \phi_{embolo}^2 * c * n * P * N * 10^{-6}$$

$$\dot{V} = \left(\frac{\pi}{4}\right) * 200^2 * 270 * \left(\frac{1}{4}\right) * (6 + 1) * 2 * 10^{-6}$$

$$\dot{V} = 29.75 \frac{NL}{min} = 1.05 \text{ cfm}$$

Utilizando la tabla 60 de FESTO, se tiene que para un cilindro con 200 mm de diámetro de embolo:

$$\dot{V} = \left(2.199 * \frac{270}{10} + 2.111 * \frac{270}{10}\right) * \frac{1 \text{ ciclo}}{4 \text{ min}}$$

$$\dot{V} = 29 \frac{NL}{min} = 1.02 \text{ cfm}$$

Dimensionamiento de tubería

En esta sección se dimensionará el diámetro de tubería requerido para el flujo de aire comprimido.

Longitud y accesorios de tubería

La red de aire comprimido tendrá una longitud de 50 metros, en donde se incluyen accesorios tales como, válvulas, codos, piezas T y reductores; los mismos que ofrecen una resistencia al caudal de aire.

Para tener en cuenta estos componentes, se calcula una longitud equivalente (ficticia) y el resultado es sumado a la longitud real de la tubería.

Para simplificar las operaciones de cálculo, también se puede aplicar un valor empírico de [40]:

$$L_{total} = 1.6 \cdot L \quad (113)$$

Por lo tanto la longitud equivalente total es de:

$$L = 50 \text{ m} * 1.6$$

$$L_{equivalente,total} = 80 \text{ m}$$

Consumo total de aire comprimido

La suma total del consumo de aire comprimido se lo muestra en la tabla 62 a continuación:

TABLA 62

Consumo total de aire comprimido

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	\dot{V}_{unt} (cfm)	\dot{V}_{total} (cfm)
Cilindro DSBC-125-250-PPSA-N3	8	0.38	3.04
Cilindro DSBG-200-200-PPV-N3	8	0.89	6.96
DN350 con cilindro C250/375	1	1.52	1.52
DN250 con cilindro C200/270	1	1.05	1.05
TOTAL			12.57

Fuente: César Mejía, Marlon Cando, 2015

Por lo tanto el consumo de aire para todos los pistones de la planta es de:

$$\dot{V}_{total} = 12.57 \text{ cfm}$$

Adicionalmente se debe tener en cuenta que los filtros de manga cuentan con un consumo intermitente de aire para la limpieza de las mangas, por lo que se le añadirá un 50% más al consumo de aire, es decir:

$$\dot{V}_{total} = 12.57 * 1.50 \text{ cfm}$$

$$\dot{V}_{total} = 18.9 \text{ cfm}$$

Diámetro de tubería [40]

$$d = \sqrt[5]{1.6 * 10^3 * \dot{V}^{1.85} \frac{L_{total}}{\Delta P * p_1}} \quad (114)$$

d: Diámetro interior del tubo en metros

p₁: Presión de funcionamiento en Pascal

ΔP: Perdida de presión en Pascal (no debe ser superior a 0.1 bar)

Ḃ: Caudal en (m³/s)

L_{total}: Longitud total de la tubería en metros

Reemplazando los valores, se tiene:

$$d = \sqrt[5]{1.6 * 10^3 * 0.0089^{1.85} \frac{80}{10,000 * 600,000}} = 0.02028 \text{ m}$$

$$d = 20.28 \text{ mm} = 7/8 \text{ in}$$

Selección de compresor

La elección del tipo de compresor y su capacidad son parámetros importantes a tener en cuenta en el diseño de una instalación de aire comprimido, ya que una acertada elección supone un gran ahorro energético durante el funcionamiento normal de la instalación.

Requerimientos para el compresor

- Caudal total de aire 18.9 cfm (490 NL/min).
- Presión nominal de trabajo 6 bares.
- Máxima caída de presión en la instalación 0.7 bares.

Por lo tanto, se opta por instalar un compresor INGERSOLL RAND modelo 2475N7.5-P de pistón con las siguientes características:

- Presión máxima de suministro hasta 175 Psig.
- Caudal efectivo: 24 cfm.
- Potencia motor: 7.5 hp

- Incorporado con tanque pulmón de aire: 80 Galones.
- Dimensiones: 48 x 40 x 76 (in)
- Peso 611 lb



Fuente: Pagina web INGERSOLL RAND

FIGURA 3.100. Compresor de pistón Ingersoll Rand

Selección de la unidad de mantenimiento

La unidad de mantenimiento representa una combinación de:

- Filtro de aire comprimido
- Regulador de presión
- Lubricador de aire comprimido

Para su selección deben tenerse en cuenta los siguientes puntos:

- El máximo caudal de aire en l/min es decisivo para la elección del tamaño de unidad. Si el caudal es demasiado

grande, se puede producir una excesiva caída de presión en la unidad.

- La presión de trabajo no debe sobrepasar el valor estipulado en la unidad, y la temperatura no deberá ser tampoco superior a 50 °C (valores máximos para recipiente de plástico).

Por lo tanto los valores a utilizar en la planta serán los siguientes:

- $Q = 490 \text{ N L/min}$
- $P = 6 \text{ bar}$

La unidad de mantenimiento seleccionada es el modelo FRC-3/4-D-5M-MIDI-A marca FESTO; en el apéndice K se detalla la ficha técnica completa.



Fuente: Pagina web FESTO

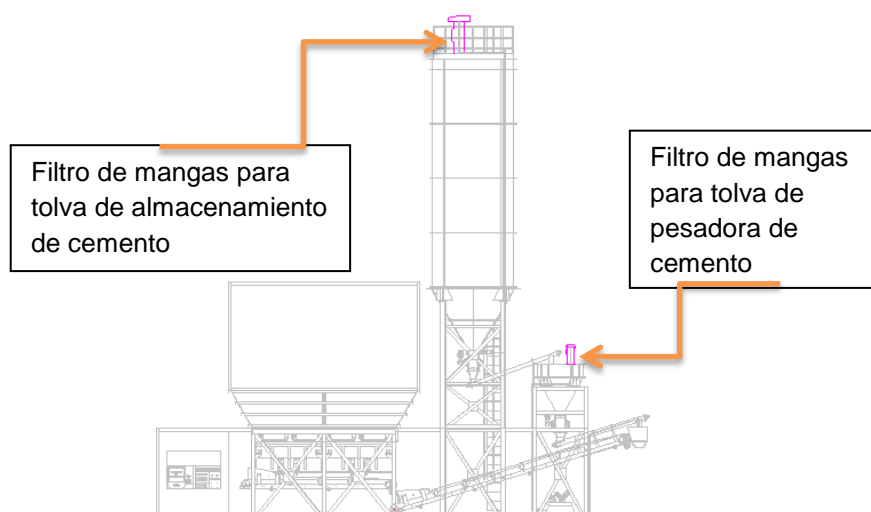
FIGURA 3.101. Unidad de mantenimiento FESTO

3.4.3. Sistema de desempolvado

En esta sección se seleccionará un sistema de desempolvado mediante filtros de manga para evitar la existencia de material particulado de cemento en los alrededores de la planta. En la figura 102 se muestra la ubicación de estos equipos.

Filtros de mangas

Los filtros de mangas son dispositivos utilizados para la separación de partículas sólidas en suspensión dentro de una corriente gaseosa. Estos equipos colectan partículas en filtros tubulares (mangas) y el tamaño de los poros de estos filtros limita el tamaño mínimo de las partículas retenidas.



Elaborado por: César Mejía, Marlon Cando, 2015

FIGURA 3.102. Esquema de ubicación de filtros de mangas

TABLA 63

Ventajas y desventajas de un filtro de mangas [42]

FILTROS DE MANGAS			
VENTAJAS		DESVENTAJAS	
1.	Alta eficiencia de colección para partículas pequeñas	1.	Material filtrante puede ser afectado por altas temperaturas o materiales corrosivos
2.	Pueden filtrar una gran variedad de polvos	2.	No pueden operar con gases húmedos
3.	Caída de presión razonable con un buen diseño		

Fuente: Control de material particulado.

Los filtros de mangas son clasificados de acuerdo a la forma de remover la capa de material particulado colectado, en:

- Filtro de mangas tipo Shake deflate
- Filtro de mangas tipo Pulse jet

Para el diseño de esta planta dosificadora se utilizará el sistema de colección de partículas para el cemento principalmente debido al caudal que se genera al momento de este ser descargado desde el camión cisterna hacia la tolva de almacenamiento de cemento y adicionalmente se otro sistema recolector para la tolva pesadora de cemento.

Transporte de cemento

El cemento llegará a la planta por medio de un camión cisterna de 30 toneladas de capacidad y descargará el material por medio de un compresor a razón de $300 \text{ m}^3/\text{h}$.

El flujo se moverá en fase densa, por lo que se puede acotar que este tipo de transporte neumático se caracteriza por bajas velocidades de gas ($1 - 5 \text{ m/s}$), altas concentraciones de sólidos (mayores a 30% en volumen) y grandes pérdidas de carga por unidad de longitud de cañería (usualmente mayores a 20 mbar/m). En el transporte en fase densa, las partículas no se encuentran completamente suspendidas y la interacción entre ellas es mucho mayor.

Dimensionamiento de la tubería para la descarga del cemento

Utilizando los mismos conceptos de dimensionamiento de tubería que se utilizaron en la sección 3.4.2 se halla el diámetro de tubería requerido para el transporte del cemento.

$$d = \sqrt[5]{1.6 * 10^3 * \dot{V}^{1.85} \frac{L_{total}}{\Delta P * p_1}} \quad (115)$$

$$d = \sqrt[5]{1.6 * 10^3 * 0.0833^{1.85} \frac{25}{1000 * 200,000}} = 0.0726 \text{ m}$$

$$d = 73 \text{ mm} = 2.86 \text{ in} = 3 \text{ in}$$

Por lo tanto se necesitará una tubería de 3 pulgadas de diámetro para transportar el cemento desde el camión cisterna hasta la tolva de cemento.

Selección de filtro de manga para la tolva de almacenamiento de cemento

El filtro a seleccionar es del tipo pulse jet y la máxima velocidad de filtración recomendable para este tipo de filtros es de $(7 - 8) \text{ ft}/\text{min}$, con este valor se procede a calcular el área neta de filtración [42]:

$$\dot{V} = v * A_{\text{neta}} \quad (116)$$

$$A_{\text{neta}} = \frac{\dot{V}}{v} = \frac{200 \text{ m}^3/\text{h}}{7 \text{ ft}/\text{min}} * \frac{3.28 \text{ ft}}{1 \text{ m}} * \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}}$$

$$A_{\text{neta}} = 1.56 \text{ m}^2$$

Por lo tanto se seleccionará un filtro marca WAMGROUP con las siguientes características:

- Colector de polvos / WAMFLO® Flanged Round Dust Collectors
- Área de filtración de 2 m^2
- Acero inoxidable

- Sistema de limpieza por pulsos de aire comprimido integrado en la cubierta superior

Para más información acerca del colector se lo detalla en el apéndice L.



Fuente: WAMGROUP®

FIGURA 3.103. WAMFLO® Flanged Round Dust Collectors

Selección de filtro de manga para la tolva pesadora de cemento y tolva de entrada en el mixer.

Para este sistema se debe tener en cuenta que el cemento no será transportado mediante sistema neumático sino que proviene de la tolva de almacenamiento de cemento y es transportado por medio de un tornillo helicoidal hasta la tolva pesadora, donde posteriormente será enviado al camión mezclador (mixer).

Se tomará como referencia la capacidad de transporte del tornillo calculada en la sección 2.2.5 para estimar el flujo de cemento hacia la tolva pesadora, el mismo que tiene un valor de:

$$\frac{20 \text{ t}}{\text{h}} * \frac{\text{m}^3}{1100 \text{ kg}} * \frac{1000 \text{ kg}}{1 \text{ t}} = 18.2 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Se toma en cuenta que la relación de aire cemento debe ser de por lo menos 2 a 1, se tiene que el flujo total será de $36.4 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$.

Para la sección entre la tolva pesadora y el mixer se toma como el tiempo de dosificación dado en la sección 2.2.3, el mismo que tiene un valor de:

$$\frac{1940 \text{ kg}}{4 \text{ min}} * \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} * \frac{1 \text{ t}}{1000 \text{ kg}} = 29.1 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Tomando en cuenta que la relación de aire cemento debe ser de por lo menos 2 a 1, se tiene que el flujo total será de $58.2 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$.

El filtro a seleccionar también será del tipo pulse jet, y deberá ser capaz de satisfacer estos dos requerimientos, por lo tanto el área neta de filtración será:

$$\dot{V} = v * A_{neta}$$

$$A_{neta} = \frac{\dot{V}}{v} = \frac{(36.4 + 58.2) \text{ m}^3/h}{7 \text{ ft/min}} * \frac{3.28 \text{ ft}}{1 \text{ m}} * \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}}$$

$$A_{neta} = 0.74 \text{ m}^2$$

Por lo tanto se seleccionará un filtro marca WAMGROUP con las siguientes características:

- Colector de polvos / HOPPERTOP Weigh Hopper Venting Filter
- Área de filtración de 1 m²
- Acero inoxidable
- Sistema de limpieza por pulsos de aire comprimido

Para más información acerca del colector se lo detalla en el apéndice L



Fuente: WAMGROUP®

FIGURA 3.104. HOPPERTOP Weigh Hopper Venting Filter

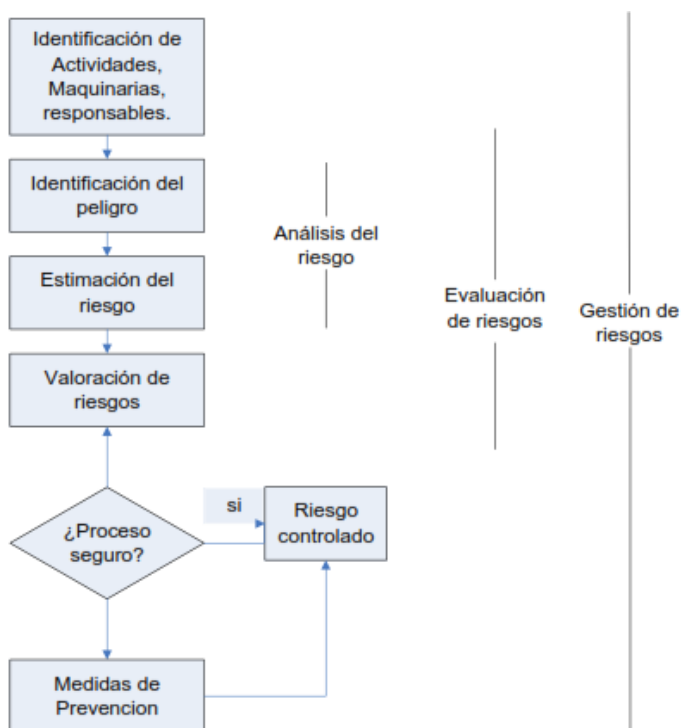
3.4.4. Sistemas de seguridad personal

En esta sección se presentarán las medidas de seguridad necesarias para un buen cumplimiento de normas y reglamentos de seguridad y salud ocupacional exigidas en el país basado en el “Reglamento del seguro general de riesgos del trabajo, resolución No. 390” [43]

En la figura 3.105, se muestra en un diagrama de flujo el procedimiento a seguir para la elaboración de un sistema de gestión de riesgos.

Conceptos básicos en la prevención de riesgos laborales

A continuación se presentan los conceptos básicos más importantes en la prevención de riesgos en el trabajo:



Fuente: SGRT IESS 2007

FIGURA 3.105. Sistema de gestión de riesgos

- **Incidente**, son todos los eventos que causan pérdidas principalmente en tiempo, y el daño es leve a la salud del trabajador y a los bienes de la empresa.
- **Accidente de trabajo**, es cualquier evento súbito e imprevisto que crea incapacidad o muerte de un trabajador asignado y afecta las operaciones normales de la empresa por algún período de tiempo.

- **Identificación de peligro**, es un proceso de reconocimiento de una situación de peligro existente y definición de sus características.
- **Peligro**, es una característica o condición física de un proceso/equipo con potencial daño a personas, instalaciones o medio ambiente.
- **Riesgo**, es la probabilidad de que ocurra un evento adverso.
- **Factores de riesgo**, son los diferentes agentes presentes en el ambiente laboral capaces de ocasionar accidentes o enfermedades de trabajo.

Factores de riesgo presentes [44]

La planta móvil dosificadora de materia prima para la producción de hormigón se ha diseñado con la finalidad de que sea transportable a cualquier punto del país, por este motivo se analizarán los factores de riesgos presentes en:

- Transporte de equipos
- Instalación, montaje y puesta en marcha
- Proceso productivo

En cada uno de estos puntos existen riesgos inherentes que pueden llegar a convertirse en peligro si no se los prevé.

1. **Factores físicos**, es todo factor ambiental que actúa sobre el trabajador y que puede producir efectos nocivos sobre él, de acuerdo con la intensidad y tiempo de exposición.

Los factores físicos identificados son:

- Exposición a temperaturas extremas
- Ruido
- Vibración
- Radiación no ionizante (UV, IR, electromagnética)

2. **Factores mecánicos**, son un conjunto de factores laborables que pueden dar lugar a una lesión por la acción mecánica de elementos de máquinas, herramientas, piezas a trabajar o materiales proyectados, sólidos o fluidos.

Los factores mecánicos identificados son:

- Atrapamiento en instalaciones
- Circulación de maquinaria y vehículos en áreas de trabajo

- Trabajo en altura
- Caída de objetos en manipulación
- Espacios confinados
- Contactos eléctricos indirectos

3. **Factores químicos**, son un riesgo susceptible de ser producidos por una exposición no controlada a agentes químicos, la cual puede producir efectos agudos y la aparición de enfermedades en el individuo.

Los factores químicos identificados son:

- Polvo inorgánico (mineral o metálico)
- Gases de combustión

4. **Factores ergonómicos**, son elementos del lugar de trabajo que pueden ocasionar deterioro y lesiones en el cuerpo.

Los factores ergonómicos identificados son:

- Mala manipulación de cargas
- Sobreesfuerzo
- Carga física posición

En el apéndice M se encuentran las tablas M1, M2 y M3 donde se detalla el tipo de riesgo, peligro y la medida de prevención para cada uno de los factores de riesgo antes mencionados.

3.4.5. Sistemas eléctrico

En esta sección se hará la selección de los diferentes sistemas eléctricos que son indispensables para el funcionamiento de la planta dosificadora, como lo son:

- Celdas de carga
- Panel de control para la mezcla
- Generador eléctrico

Selección de celdas de cargas

Estos elementos son utilizados en las tolvas pesadoras de cemento y agregados finos y gruesos para censar la cantidad de masa que se debe dosificar para la mezcla de hormigón que se esté requiriendo.

- La *tolva pesadora de cemento* está diseñada para soportar una carga máxima de 2530 kg y cuenta con 4 apoyos para

el control del peso, por lo tanto cada celda de carga deberá soportar como mínimo 632 kg.

Utilizando el catálogo de RICELAKE WEIGHING SYSTEMS se selecciona celdas de carga RL30000 de 2000 libras [45].

- Las *tolvas pesadoras de agregados fino y grueso* están diseñadas para soportar una carga máxima de 5900 kg y cuenta con 4 apoyos para el control del peso, por lo tanto cada celda de carga deberá soportar como mínimo 1475 kg.

Utilizando el catálogo de RICELAKE WEIGHING SYSTEMS se selecciona celdas de carga RL30000 de 4000 libras [45].

Selección de panel principal para mezcla de hormigón

Para la elaboración del hormigón será necesario un sistema automático que sea capaz de controlar toda la planta y que dosifique de manera continua las materias primas para la producción de hormigón.

Para ello se seleccionará un panel de control para la mezcla de hormigón “Concrete Batch Controller” de la marca Rice Lake, las especificaciones técnicas del mismo se encuentran en el apéndice N.



Fuente: Rice Lake Weighing Systems

FIGURA 3.106. Panel de control para mezclas de hormigón [44]

Selección de generador eléctrico

Para seleccionar la capacidad del generador eléctrico se elaborará un listado en la tabla 64 de todos los equipos a utilizar en la planta y los consumos en kilovatios de cada uno.

TABLA 64

Consumo eléctrico de la planta

CONSUMO ELÉCTRICO DE LA PLANTA		
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	POTENCIA REQUERIDA (kW)
Panel de control para mezclas de hormigón	1	0.26
Bombas hidráulicas 3 hp	2	4.48
Bomba de ¼ hp	1	0.19
Chiller 70 TR	1	10.0
Compresor 7,5 hp	1	5.59
Filtro de mangas - Flanged Round Dust Collectors	1	1.5
Filtro de mangas - Weigh Hopper Venting Filter	1	1.0
Motor de 3 hp - Tornillo helicoidal	1	2.23
Motor de 10 hp - Tornillo helicoidal	1	7.45
Motor de 5 hp - Banda transportadora	1	3.73
Motor de 7,5 hp - Banda transportadora	1	5.59
Computadora	1	0.08
Split 12,000 BTU	1	1.2
Vibradores	2	1.1
TOTAL		44.39

Fuente: César Mejía, Marlon Cando, 2015

El generador eléctrico deberá ser capaz de entregar 44.39 kW de forma continua a una frecuencia de 60 Hz y asegurando una producción por 2 turnos de 8 horas. Por lo tanto se ha seleccionado el generador GEP65-9, que cuenta con las siguientes características; (ficha técnica completa se detalla en el apéndice O):

- Frecuencia: 60 Hz
- Capacidad: 55 kW

- Consumo de combustible: 13.6 l/h



Elaborado por: WAMGROUP®

FIGURA 3.107. Generador eléctrico GEP65-9.

Para el consumo de combustible del generador se tendrá a disposición un tanque de 0.5 m de diámetro y 1.2 m de alto para poder cargar 200 litros de diesel, los mismo que servirán para 16 horas de trabajo de la planta.

3.5. Condiciones para el transporte e instalación de la planta

Como se explicó en la sección 2.3 la planta estará conformada de varias tolvas, equipos y accesorios, etc. Para realizar el traslado de la planta se dividirán todos los elementos en tres grupos:

Grupo a

Corresponde principalmente al “modulo a” que mantendrá la tolva de agregados y sus paredes, las tolvas pesadoras de agregado

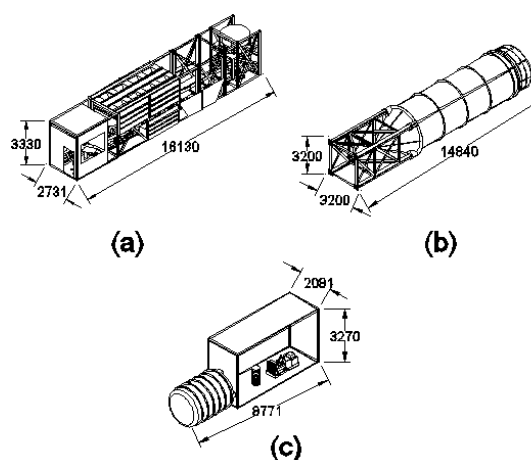
fino, grueso y cemento incluyendo su armazón (modulo b), adicionalmente se alojaran las bandas transportadoras 1 y 2 conjuntamente con los tornillos helicoidales 1 y 2 con sus respectivos soportes estructurales, el compresor de aire, chiller, válvulas rotatorias y guillotinas, filtros de manga y finalmente la cabina de control, la figura 3.108 (a) muestra el arreglo y las dimensiones del grupo para ser transportado.

Grupo b

Consiste en el “modulo c” y la tolva de cemento, las cuales están conjuntamente unidas. Sus dimensiones pueden ser apreciadas en la figura 3.108 (b), dichas medidas permiten que su traslado sea en una plataforma.

Grupo c

Corresponde al tanque reservorio de agua y el generador eléctrico, la figura 3.108 (c) muestra el orden y medidas que resultan del arreglo del grupo para que pueda ser transportado en su respectiva plataforma.



Elaborado por: César Mejía, Marlon Cando, 2015

FIGURA 3.108. Arreglo de los grupos a ser transportados.

3.5.1. Transporte

Como se mencionó anteriormente la planta fue dividida en tres grupos de manera que se facilite su transporte.





El “grupo a” posee un peso propio total de aproximadamente 20 toneladas y la longitud que ocupa es de 16.13 m con un ancho de 2.73 m. La tabla 66 muestra las especificaciones técnicas del camión para su transporte según lo establecido por el ministerio de transporte y obras públicas, el conjunto será transportado por un vehículo tipo “281”, en la figura 3.109. (a) se visualiza el espacio físico que ocupa el grupo en la plataforma seleccionada.

El “grupo b” tiene un peso contiguo de 10 toneladas y ocupa 15.3 m de largo por 3.5 m de ancho. En la tabla 65 se muestra que el vehículo apropiado para transportar el conjunto es de tipo “281”, el cual posee las dimensiones y capacidad adecuada para que el transporte del conjunto sea de manera segura, nótese en la figura 3.109. (b) que el ancho de la tolva que almacena cemento estará ligeramente pasada de la plataforma en cada lado (aproximadamente 0.45 m).

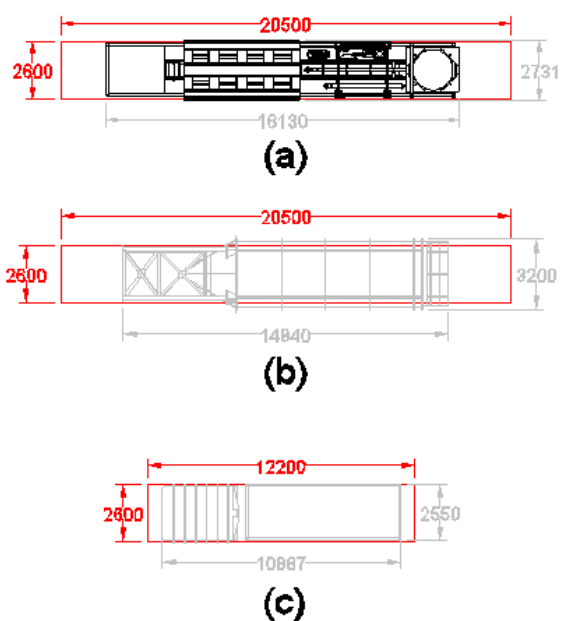
El “grupo c” presenta un peso propio de 3.5 toneladas y ocupará un espacio de 11 m de largo y 2.6 m de ancho; según la tabla 66 el vehículo apropiado para su traslado es de tipo “2 DB”, en la figura 3.109. (c) se muestra el área que ocupada el grupo en la plataforma.

TABLA 65

Vehículos recomendados para transportar la planta

TIPO	DISTRIBUCION MAXIMA DE CARGA POR EJE	DESCRIPCION	PESO MAXIMO PERMITIDO (Ton)	LONGITUDES MAXIMAS PERMITIDAS (m)		
				LARGO	ANCHO	ALTO
281			29	20,5	2,6	4,3
2DB			18	12,2	2,6	4,1

Fuente: Ministerio de transporte y obras públicas, Registro oficial No. 717,

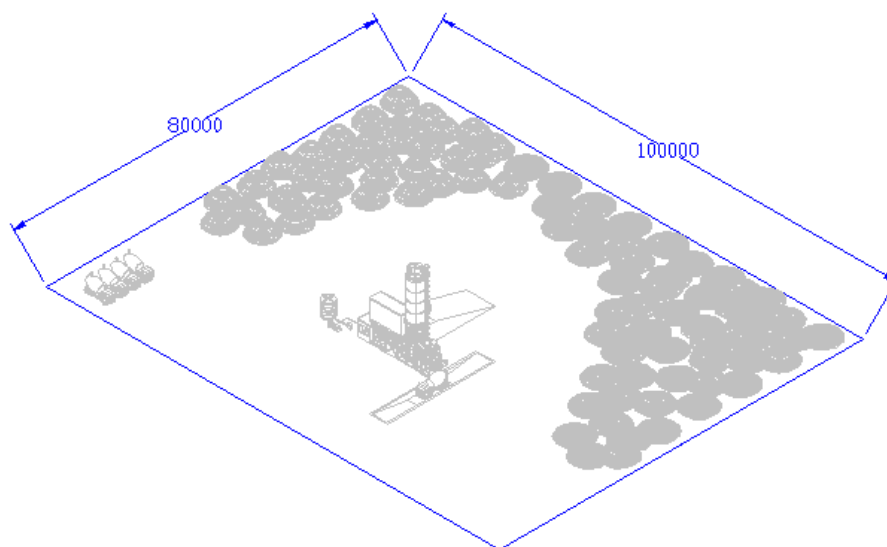


Elaborado por: César Mejía, Marlon Cando, 2015

FIGURA 3.109. Espacio físico de los grupos en sus respectivas plataformas

3.5.2. Instalación y montaje.

El diseño de la planta requiere un espacio físico de 100 x 80 metros, el cual será utilizado para la instalación de la planta, almacenaje de 60 m³ de arena y 70 m³ de piedra diario que ocupan un espacio de 500 m², rampa utilizada por los cargadores que dosifican los agregados en las tolvas, parqueo para carros mezcladores, área de dosificación y mantenimiento.



Elaborado por: César Mejía, Marlon Cando, 2015

FIGURA 3.110. Espacio físico requerido para la operación de la planta.

Instalación y montaje

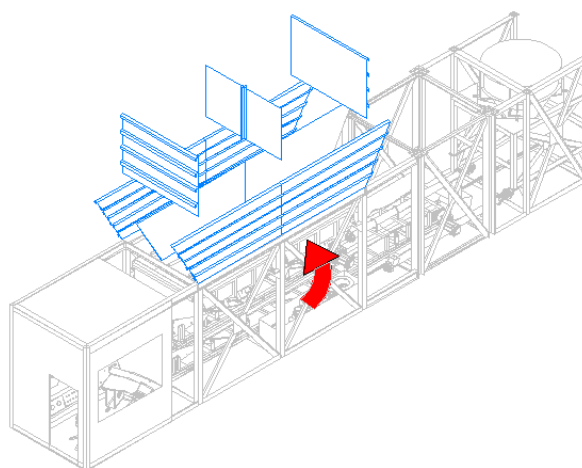
El escenario más crítico es el montaje del “grupo b” el cual posee un peso propio de 10 toneladas, el brazo requerido para realizar dicho montaje es de 15 metros y una longitud de pluma de 29 metros, por lo tanto; la grúa que se utilizará debe tener una capacidad mínima de 80 toneladas.

La carga máxima es de 20 toneladas correspondiente al “grupo a” y para dicho montaje se requiere un brazo de 5 metros con una longitud de pluma de 12 metros, para dicho escenario la grúa seleccionada puede montar una carga de hasta 44

toneladas, por lo tanto; se concluye que no se tendrán inconvenientes para izar los grupos utilizando la grúa determinada anteriormente.

Previo a la instalación de la planta, se debe hacer un trazado de la planta, área de dosificación del carro mezclador y rampa.

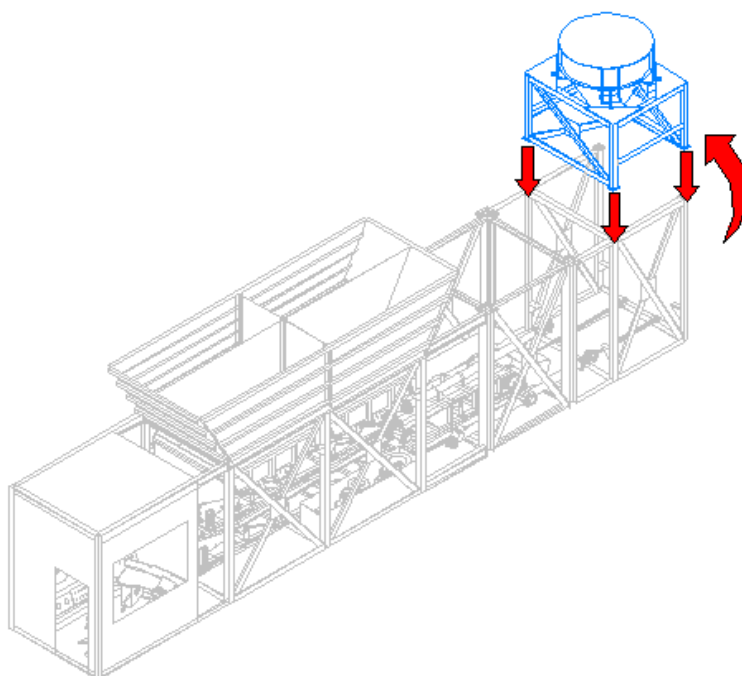
El montaje de la planta inicia con la llegada del “grupo a” el cual debe ser enganchado y desmontado de la plataforma usando una grúa, posteriormente se coloca en la posición de operación de la planta y se realizará el armado de la tolva de agregados como se visualiza en la figura 3.111.



Elaborado por: César Mejía, Marlon Cando, 2015

FIGURA 3.111. Montaje de tolva de agregados.

Posteriormente se procede al movimiento de la tolva pesadora de cemento, la misma que se encuentra ubicada en el interior del “módulo a” y que debe girarse 90° en dirección contraria a las manecillas del reloj considerando al piso como la superficie de referencia, en la figura 3.112 se muestra la colocación de la tolva en la estructura principal de la planta.

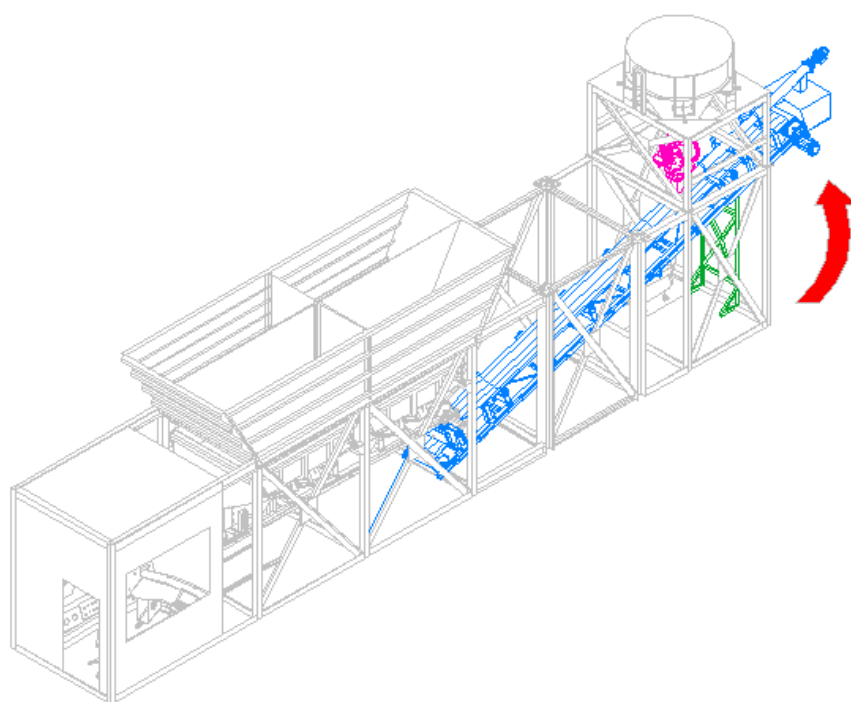


Elaborado por: Cesar Mejía, Marlon Cando, 2015

FIGURA 3.112. Montaje de la tolva pesadora de cemento

Luego se continúa con la colocación de la banda transportadora 2, la misma que aloja al tornillo helicoidal 2. Esta banda transportadora posee llantas permitiendo su

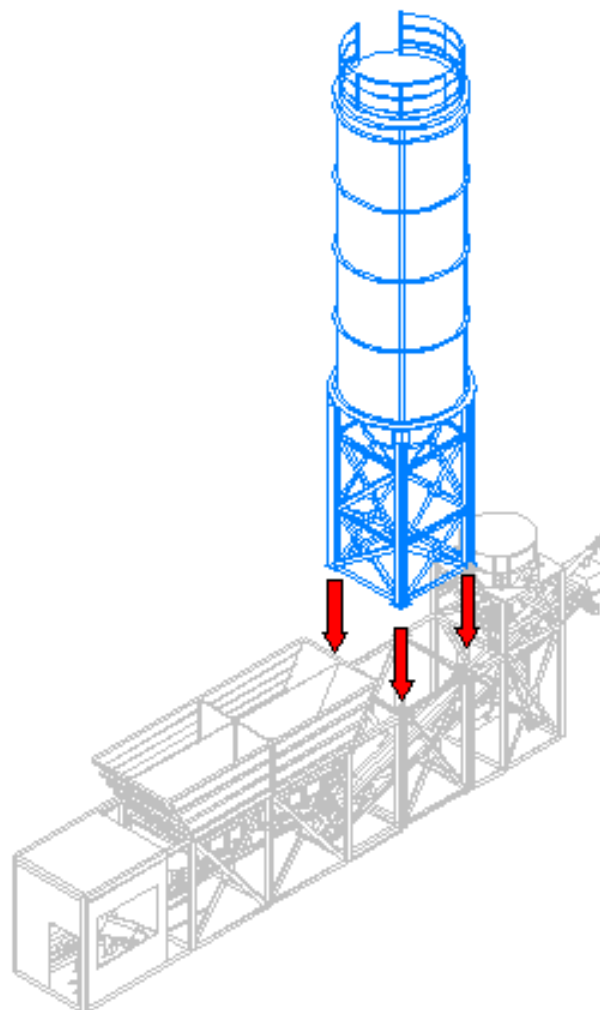
desplazamiento por las rieles ubicadas en la parte inferior de la estructura del “módulo a”; estos equipos serán levantados y suspendidos por medio de la grúa mientras se coloca la estructura base, las válvula guillotina y rotatoria, tal como se muestra en la figura 3.113.



Elaborado por: Cesar Mejía, Marlon Cando, 2015

FIGURA 3.113. Montaje de válvulas guillotina 2, rotatoria 2, tornillo helicoidal 2 y estructura de soporte

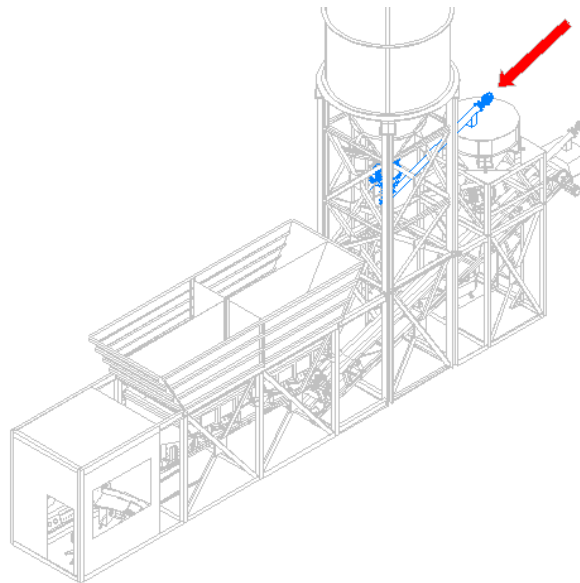
Posteriormente con la llegada de la segunda plataforma, se realizará el montaje del “grupo b” ubicándolo en la posición determinada en la sección 2.3 (ver figura 3.114).



Elaborado por: Cesar Mejía, Marlon Cando, 2015

FIGURA 3.114. Montaje de la tolva de cemento.

Después se procede con el montaje del tornillo helicoidal 1, el cual deberá ser elevado mientras se coloca la válvula guillotina 1 y rotatoria 1, será ubicado entre la tolva de almacenaje y la pesadora de cemento como se detalla en la figura 3.115.

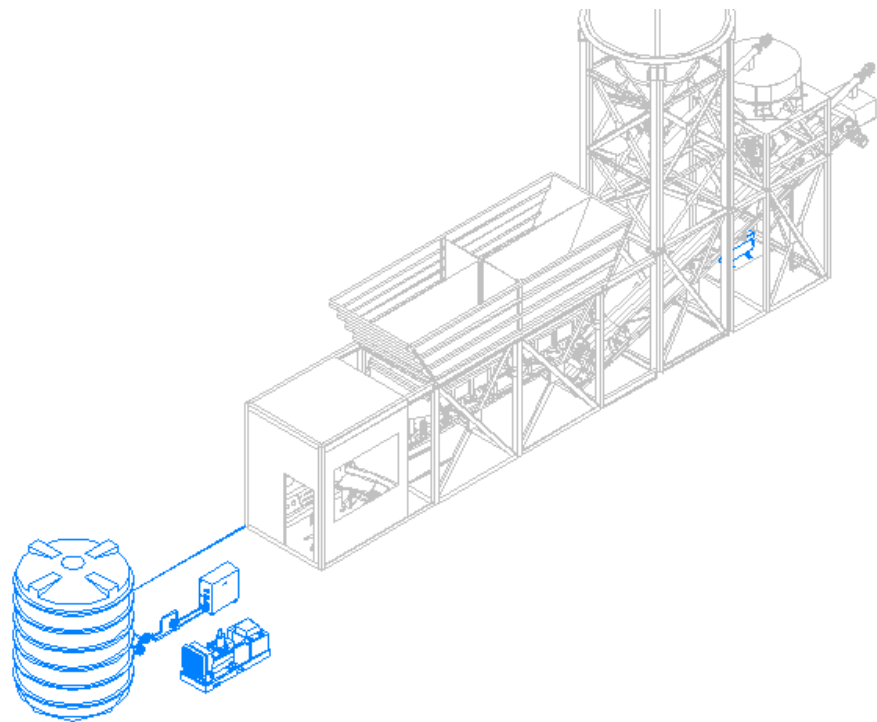


Elaborado por: Cesar Mejía, Marlon Cando, 2015

FIGURA 3.115. Válvula guillotina 1, rotatoria 1, tornillo helicoidal 1 y estructura de soporte.

Con la llegada de la tercera plataforma la cual aloja el reservorio de agua, el generador eléctrico y la guarda para los polvos generados en la tolva de agregados; los mismos serán movidos uno a uno mediante el uso de la grúa, luego se colocan los equipos y accesorios tales como chiller, compresor de aire, etc.

La figura 3.116 muestra la posición en la que se ubicará cada componente.

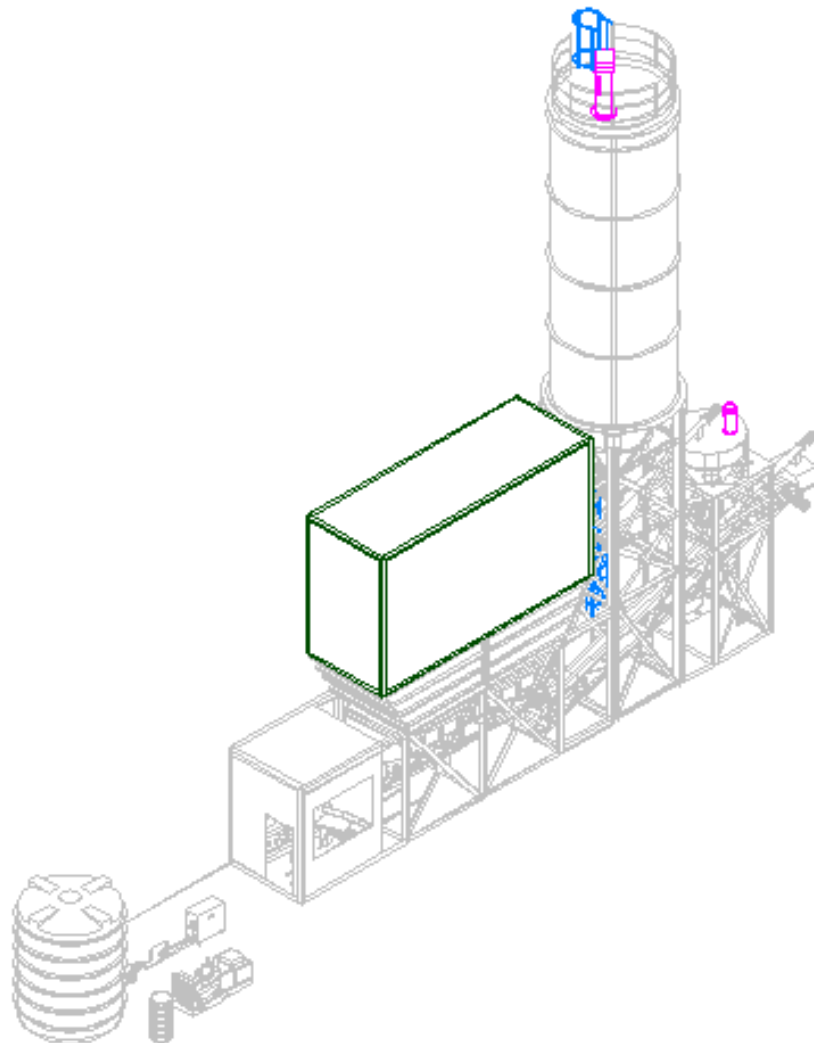


Elaborado por: Cesar Mejía, Marlon Cando, 2015

FIGURA 3.116. Montaje del taque de agua, generador eléctrico y compresor de aire.

Luego se colocan los filtros de manga y las conexiones eléctricas, neumáticas, escaleras, guarda de la tolva de agregados, etc.

La figura 3.117 muestra el detalle total de la planta luego de ser montados todos sus componentes.

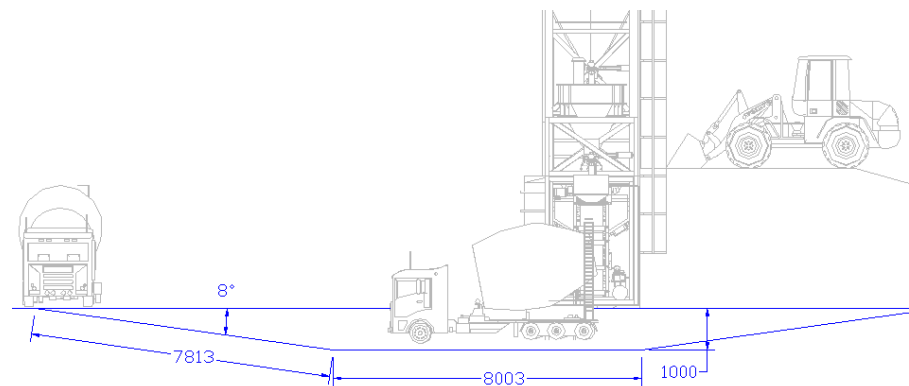


Elaborado por: César Mejía, Marlon Cando, 2015

FIGURA 3.117. Montaje de filtros de mangas y escalera.

Posteriormente en el terreno se debe realizar un trabajo de excavación de manera que el carro mezclador se encuentre a un metro por debajo del nivel del suelo para que la planta pueda dosificar la materia prima en el tambor. La figura 3.118

muestra las medidas geométricas para realizar dicha extracción de tierra.

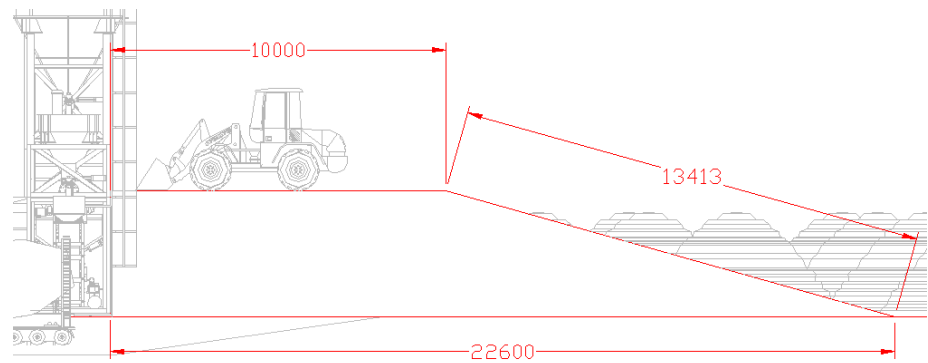


Elaborado por: César Mejía, Marlon Cando, 2015

FIGURA 3.118 Medidas geométricas para realizar excavación de tierra

Finalmente se procede a construir una rampa formando un muro con un grupo de gaviones de piedra, posteriormente se agrega tierra (mezcla de arena y piedra) para formar la pendiente y se concluye con la compactación del mismo.

La figura 3.119 muestra las medidas geométricas de la rampa a ser construida.



Elaborado por: César Mejía, Marlon Cando, 2015

FIGURA 3.119. Medidas geométricas para la construcción de la rampa para dosificar materia prima en la tolva de agregados

CAPÍTULO 4

4. PRESUPUESTO DE IMPLEMENTACIÓN

INTRODUCCIÓN

El estudio financiero tiene como objetivo determinar la viabilidad financiera del proyecto, que será de gran utilidad en la evaluación de la rentabilidad económica del mismo.

La parte financiera comprende la inversión de todos los recursos económicos que son necesarios para la realización del proyecto.

OBJETIVOS DEL ESTUDIO FINANCIERO

- Analizar la viabilidad financiera del proyecto.
- Determinar el monto de inversión requerida.
- Analizar gastos y costos requeridos.
- Establecer que la TIR supere la TMAR.
- Fijar el presupuesto de ingresos y egresos que incurrirá el proyecto.

INVERSIÓN

En el proyecto de implementación de una planta móvil dosificadora de materia prima para la producción de hormigón se va a incurrir en una inversión inicial en la compra de estructuras, sistemas transportadores y sistemas auxiliares.

Donde el objetivo de la inversión es obtener ingresos a lo largo del tiempo con la utilización de los activos fijos a través de la capacidad productiva de la planta y teniendo en cuenta la proyección de la demanda a nivel nacional.

Como parte de inversión se tiene dos grupos: Activos tangibles e intangibles; donde los activos intangibles son todo aquello que debe realizarse al iniciar el funcionamiento del establecimiento, los cuales son los gastos de puesta en marcha, que involucra los gastos legales y de constitución, permisos, inscripción de escrituras y certificados; estas inversiones son reconocidas como gasto real antes de la ejecución del negocio.

El total de gastos en activos intangibles para la puesta en marcha de la planta móvil dosificadora es de \$ 2.635,00. Se muestra el detalle en la tabla 66.

TABLA 66
Activos intangibles

INVERSIÓN ACTIVOS INTANGIBLES		
GASTOS DE PUESTA EN MARCHA		\$ 635,00
INSCRIPCIÓN DE ESCRITURAS	\$ 120,00	
INSCRIPCIÓN EN EL REGISTRO MERCANTIL	\$ 120,00	
CONTRATACIÓN DE UN ABOGADO PARA CONSTITUCIÓN	\$ 240,00	
CERTIFICADO DEL CUERPO DE BOMBEROS	\$ 50,00	
PERMISO DE FUNCIONAMIENTO	\$ 15,00	
PERMISO DE SALUD PUBLICA	\$ 75,00	
CERTIFICADO SANITARIO DE LOS EMPLEADOS	\$ 15,00	
GASTOS INICIALES		\$ 2.000,00
GASTOS DE ADECUACIONES DEL LOCAL	\$ 2.000,00	
TOTAL DE INVERSIÓN EN ACTIVOS INTANGIBLES		\$ 2.635,00

Elaborado por: César Mejía, Marlon Cando, 2015

Y además los activos tangibles que se dividen en los equipos de fabricación local y equipos importados. La información con más detalle se mostrará en los apartados 4.1 y 4.2.

4.1. Costos de fabricación local

Son todos los activos que se van adquirir dentro del país, los cuales se han dividido por categoría para un mejor desglose del costo unitario por activo, entre los cuales están: muebles y enseres, equipos de cómputo, estructuras, sistemas transportadores y sistemas auxiliares locales, obteniendo un total de inversión en activos de fabricación local de \$ 145,530.00; en la tabla 67 se muestra el detalle.

TABLA 67

Inversión en activos de fabricación local

INVERSIÓN EN ACTIVOS TANGIBLES			
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	TOTAL/ACTIVO
MUEBLES Y ENSERES			
Escritorio	3	\$ 150,00	\$ 450,00
Silla ergonómica	3	\$ 120,00	\$ 360,00
Sillas de visitas	6	\$ 20,00	\$ 120,00
Archivador	2	\$ 60,00	\$ 120,00
SUBTOTAL 1			\$ 1.050,00
EQUIPO DE COMPUTO			
Teléfono	1	\$ 60,00	\$ 60,00
Computadora portátil	3	\$ 1.000,00	\$ 3.000,00
Impresora	1	\$ 150,00	\$ 150,00
Split de 12,000 BTU	2	\$ 600,00	\$ 1.200,00
SUBTOTAL 2			\$ 4.410,00
ESTRUCTURAS			
Estructura completa de la planta	1	\$ 33.000,00	\$ 33.000,00
Tolva de almacenamiento de cemento	1	\$ 22.000,00	\$ 22.000,00
Tolva de almacenamiento de agregados	1	\$ 14.000,00	\$ 14.000,00
Tolva pesadora de cemento	1	\$ 6.000,00	\$ 6.000,00
Tolva pesadora de agregados	2	\$ 9.000,00	\$ 18.000,00
SUBTOTAL 3			\$ 93.000,00
SISTEMAS TRANSPORTADORES			
Tornillo helicoidal 1	1	\$ 1.800,00	\$ 1.800,00
Tornillo helicoidal 2	1	\$ 2.100,00	\$ 2.100,00
Banda transportadora 1	1	\$ 14.000,00	\$ 14.000,00
Banda transportadora 2	1	\$ 21.000,00	\$ 21.000,00
SUBTOTAL 4			\$ 38.900,00
SISTEMAS AUXILIARES LOCAL			
Válvulas rotativas	2	\$ 700,00	\$ 1.400,00
Recipiente de 20 litros para aditivos	1	\$ 50,00	\$ 50,00
Tanque reservorio de agua de 20,000 litros	1	\$ 2.000,00	\$ 2.000,00
Boquilla de aspersión de agua	1	\$ 20,00	\$ 20,00
Electroválvula 3 vías	1	\$ 300,00	\$ 300,00
Sistema de tubería de agua	1	\$ 1.200,00	\$ 1.200,00
Sistema de tubería para transporte de cemento	1	\$ 800,00	\$ 800,00
Sistema de tubería de aire	1	\$ 2.400,00	\$ 2.400,00
SUBTOTAL 5			\$ 8.170,00
TOTAL INVERSIÓN ACTIVOS DE FABRICACIÓN LOCAL			\$ 145.530,00

Elaborado por: César Mejía, Marlon Cando, 2015

4.2. Costos de equipos importados

En la siguiente tabla se muestra de manera detallada los equipos que serán importados, así mismo el costo que se deberá incurrir para poner en marcha el proyecto.

El total de inversión en activos importados es de \$ 863,100.00.

TABLA 68

Inversión en activos importados

INVERSIÓN EN ACTIVOS TANGIBLES			
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	TOTAL/ACTIVO
SISTEMAS AUXILIARES IMPORTADO			
Panel de control principal para mezcla de hormigón "Concrete Batch Controller"	1	\$ 20.000,00	\$ 20.000,00
Generador eléctrico de 55 KW	1	\$ 18.000,00	\$ 18.000,00
Chiller de 70 TR	1	\$ 50.000,00	\$ 50.000,00
Celdas de carga RL30000 de 2000 libras	4	\$ 300,00	\$ 1.200,00
Celdas de carga RL30000 de 4000 libras	8	\$ 350,00	\$ 2.800,00
Bomba para agua de 3 hp	2	\$ 2.000,00	\$ 4.000,00
Cilindro normalizado DSBC-125-250-PPSA-N3	8	\$ 350,00	\$ 2.800,00
Cilindro normalizado DSBG-200-200-PPV-N3	8	\$ 450,00	\$ 3.600,00
Valvula guillotina DN350	1	\$ 600,00	\$ 600,00
Valvula guillotina DN250	1	\$ 400,00	\$ 400,00
Compresor Ingersoll Rand modelo 2475N7.5-P de pistón	1	\$ 6.000,00	\$ 6.000,00
Unidad de mantenimiento modelo FRC-3/4-D-5M-MIDI-A	1	\$ 200,00	\$ 200,00
Colector polvos/WAMFLO® Flanged Round Dust Collectors	1	\$ 2.000,00	\$ 2.000,00
Colector de polvos / HOPPERTOP Weigh Hopper Venting Filter	1	\$ 1.500,00	\$ 1.500,00
Mixer de 8 m3	5	\$ 150.000,00	\$ 750.000,00
TOTAL INVERSIÓN ACTIVOS IMPORTADOS			\$ 863.100,00

Elaborado por: César Mejía, Marlon Cando, 2015

A continuación en la tabla 69 se muestra el consolidado del total de la inversión en activos tangibles, tanto de la compra de equipos de fabricación local como los equipos que se importarán. Con esto se determina la cantidad monetaria que se va necesitar para la implementación de la planta móvil dosificadora. El total de la inversión es de \$1.008.630,00.

TABLA 69

Total de inversión en activos tangibles

INVERSIÓN EN ACTIVOS TANGIBLES	
DESCRIPCIÓN	TOTAL/ACTIVO
TOTAL INVERSIÓN ACTIVOS DE FABRICACIÓN LOCAL	\$ 145.530,00
TOTAL INVERSIÓN ACTIVOS IMPORTADOS	\$ 863.100,00
TOTAL INVERSIÓN ACTIVOS TANGIBLES	\$ 1.008.630,00

Elaborado por: César Mejía, Marlon Cando, 2015

4.3. Estimación del tiempo de recuperación de la inversión

Para poder estimar en cuanto tiempo se recuperará la inversión, primeramente se ha calculado de manera detallada y explícita todo el dinero que se debe desembolsar con el fin de dar inicio al proyecto.

Por lo que se ha calculado los costes que son más elevados a la hora de hacer la inversión inicial, los cuales son los costes de equipos fabricados localmente y equipos que son importados, los mismos son

los costes más fuertes que se debe incurrir en el proyecto, ya que se trata de maquinaria grande y pesada.

Como toda empresa se aspira que el desembolso realizado en compra de activos se recupere dentro de un periodo máximo de tiempo. Por tal motivo el plazo de recuperación del proyecto se determinará contando el número de años que han de transcurrir para que la acumulación de los flujos de caja proyectados iguale a la inversión inicial.

GASTOS ADMINISTRATIVOS

Para la puesta en marcha de la planta móvil dosificadora se necesitará contar con un equipo de trabajo para la realización de las funciones a desempeñar en el movimiento de la planta, para lo cual se requiere de un Gerente de Operaciones quien será el encargado de liderar cada uno de los proyectos, tomar decisiones, administrar la contabilidad, planificar y controlar las actividades.

Así también de un jefe de producción quien estará en la planta para supervisar; por otro lado el vendedor estará en contacto con el cliente externo para promocionar el negocio, y cuatro técnicos para el control de las operaciones de la planta.

TABLA 70
Sueldos y beneficios

BALANCE SUELDOS Y BENEFICIOS				
CARGOS	CARGOS	SALARIO	T.MENSUAL	T.ANUAL
GERENTE DE OPERACIONES	1	\$ 2.500,00	\$ 3.130,75	\$ 40.069,00
JEFE DE PRODUCCIÓN	1	\$ 1.500,00	\$ 2.015,25	\$ 24.183,00
VENDEDOR	1	\$ 900,00	\$ 1.220,95	\$ 14.651,40
TÉCNICO	4	\$ 700,00	\$ 3.736,23	\$ 44.834,80
CHOFERES	5	\$ 600,00	\$ 4.001,00	\$ 48.012,00
GUARDIAS	2	\$ 600,00	\$ 1.618,10	\$ 19.417,20
TOTAL	14	\$ 6.800,00	\$ 15.722,28	\$ 191.167,40

Elaborado por: César Mejía, Marlon Cando, 2015

Con respecto al cálculo de los beneficios se pueden observar en detalle en el apéndice P, tabla P1 y P2.

GASTOS DE PUBLICIDAD

Con el fin de dar a conocer el producto y servicio que ofrece la empresa se realizarán afiches los cuales van a contener imágenes e información detallada sobre el alquiler de una planta móvil dosificadora y la producción en m³ de hormigón. Lo que se quiere mostrar es el costo/beneficio de alquilar de la planta para que los clientes aprecien el ahorro y se decidan por este servicio.

Los afiches publicitarios y las tarjetas de presentación serán un vínculo para que los potenciales clientes se contacten con la empresa y a su

vez como medio para atraer a negocios que requieren de este tipo de servicio, esto como objetivo para formar una sólida cartera de clientes.

La empresa incurrirá en gastos de publicidad en un periodo cuatrimestral ya que los artículos que se van a comprar serán por cientos.

TABLA 71

Gastos de publicidad

PUBLICIDAD			
RUBRO	COSTO UNITARIO	VECES POR MES	COSTO ANUAL
AFICHES	\$ 12,00	12	\$ 144,00
TARJETAS DE PRESENTACIÓN	\$ 5,00	1	\$ 5,00
TOTAL DE GASTOS PUBLICITARIOS			\$ 149,00

Elaborado por: César Mejía, Marlon Cando, 2015

GASTOS DE SERVICIOS BÁSICOS

Se contará con una pequeña oficina para poder recibir a los clientes y así también con un terreno para guardar la planta móvil dosificadora cuando no sea utilizada, esto será un coste mensual.

Por consiguiente se incurrirá en los gastos de servicios básicos solamente para la oficina.

TABLA 72

Gastos de servicios básicos

COSTOS FIJOS OFICINA		
SERVICIO	COSTO MENSUAL	COSTO ANUAL
SERVICIO DE AGUA POTABLE	\$ 5,00	\$ 60,00
SERVICIO DE LUZ	\$ 15,00	\$ 180,00
TELÉFONO E INTERNET	\$ 35,00	\$ 420,00
ALQUILER DE OFICINA Y TERRENO PARA PLANTA MÓVIL DOSIFICADORA	\$ 1.500,00	\$ 18.000,00
TOTAL DE COSTOS FIJOS	\$ 1.555,00	\$ 18.660,00

Elaborado por: César Mejía, Marlon Cando, 2015

DEPRECIACIÓN

La depreciación representa el desgaste de la inversión en obras físicas y equipamiento que se produce por su uso por lo tanto se realizará la depreciación por medio del método de línea recta, ya que supone que el activo se desgasta por igual durante cada periodo contable.

TABLA 73

Depreciación

DEPRECIACION			
DESCRIPCIÓN	VALOR DE COMPRA	VIDA CONTABLE	DEPRECIACIÓN ANUAL
MUEBLES Y ENSERES			
Escritorio	\$ 450,00	10	\$ 45,00
Silla ergonómica	\$ 360,00	10	\$ 36,00
Sillas de visitas	\$ 120,00	10	\$ 12,00
Archivador	\$ 120,00	10	\$ 12,00
SUBTOTAL 1			\$ 105,00
EQUIPO DE COMPUTO			
Teléfono	\$ 60,00	3	\$ 20,00
Computadora portatil	\$ 3.000,00	3	\$ 1.000,00
Impresora	\$ 150,00	3	\$ 50,00
SPLIT de 12,000 BTU	\$ 1.200,00	3	\$ 400,00

SUBTOTAL 2			\$ 1.470,00
ESTRUCTURAS			
Estructura completa de la planta	\$ 33.000,00	20	\$ 1.650,00
Tolva de almacenamiento de cemento	\$ 22.000,00	20	\$ 1.100,00
Tolva de almacenamiento de agregados	\$ 14.000,00	20	\$ 700,00
Tolva pesadora de cemento	\$ 6.000,00	20	\$ 300,00
Tolva pesadora de agregados	\$ 18.000,00	20	\$ 900,00
SUBTOTAL 3			\$ 4.650,00
SISTEMAS TRANSPORTADORES			
Tornillo helicoidal 1	\$ 1.800,00	20	\$ 90,00
Tornillo helicoidal 2	\$ 2.100,00	20	\$ 105,00
Banda transportadora 1	\$ 14.000,00	20	\$ 700,00
Banda transportadora 2	\$ 21.000,00	20	\$ 1.050,00
SUBTOTAL 4			\$ 1.945,00
SISTEMAS AUXILIARES			
Valvulas rotativas	\$ 1.400,00	10	\$ 140,00
Recipiente de 20 litros para aditivos	\$ 50,00	5	\$ 10,00
Panel de control principal para mezcla de hormigón "Concrete Batch Controller"	\$ 20.000,00	20	\$ 1.000,00
Celdas de carga RL30000 de 2000 libras	\$ 1.200,00	10	\$ 120,00
Celdas de carga RL30000 de 4000 libras	\$ 2.800,00	10	\$ 280,00
Generador eléctrico de 55 KW	\$ 18.000,00	20	\$ 900,00
Bomba para agua de 3 hp	\$ 4.000,00	10	\$ 400,00
Chiller de 70 TR	\$ 50.000,00	20	\$ 2.500,00
Tanque reservorio de agua de 20,000 litros	\$ 2.000,00	10	\$ 200,00
Boquilla de aspersión de agua	\$ 20,00	5	\$ 4,00
Electrovalvula 3 vías	\$ 300,00	5	\$ 60,00
Sistema de tubería de agua	\$ 1.200,00	20	\$ 60,00
Cilindro normalizado DSBC-125-250-PPSA-N3 marca FESTO	\$ 2.800,00	10	\$ 280,00
Cilindro normalizado DSBG-200-200-PPV-N3 marca FESTO	\$ 3.600,00	10	\$ 360,00
Valvula guillotina DN350	\$ 600,00	10	\$ 60,00
Valvula guillotina DN250	\$ 400,00	10	\$ 40,00
Sistema de tubería de aire	\$ 2.400,00	20	\$ 120,00
Compresor Ingersoll Rand modelo 2475N7.5-P de pistón	\$ 6.000,00	20	\$ 300,00
Unidad de mantenimiento modelo FRC-3/4-D-5M-MIDI-A marca FESTO	\$ 200,00	10	\$ 20,00
Colector de polvos / WAMFLO® Flanged Round Dust Collectors	\$ 2.000,00	20	\$ 100,00
Colector de polvos / HOPPERTOP Weigh Hopper Venting Filter	\$ 1.500,00	20	\$ 75,00
Sistema de tubería para transporte de cemento	\$ 800,00	20	\$ 40,00
Mixer de 8 m3	\$ 750.000,00	20	\$ 37.500,00
SUBTOTAL 5			\$ 44.569,00
TOTAL DE DEPRECIACIÓN ANUAL			\$ 52.739,00

Elaborado por: César Mejía, Marlon Cando, 2015

El valor de depreciación anual para cada activo se ha calculado dividiendo el valor de compra con la vida contable. Por lo que se ha definido la vida útil para cada una de las categorías: muebles y enseres 10 años, el equipo de cómputo 3 años, estructuras 20 años, sistemas transportadores 20 años y la vida útil de los sistemas auxiliares fluctúa entre 5 a 20 años dependiendo del equipo/maquinaria.

Con esto se tiene el valor total de la depreciación anual de todos los activos que es \$ 52.739,00.

COSTE DE PRODUCCION DE UN M³ DE HORMIGÓN

Este punto es de gran importancia ya que se identificará cada uno de los costes que se requieren para obtener el producto final.

Esto se ha desarrollado teniendo en cuenta la materia prima que se necesita para la mezcla de hormigón, así como los gastos operacionales que son el talento humano que ejecutará las actividades para dar funcionamiento a la planta.

El coste total se ha obtenido de la multiplicación de la cantidad de cada uno de los rubros con el costo unitario.

En el caso del personal el costo unitario se ha calculado dividiendo el salario mensual para la multiplicación de 20 días laborables por cada trabajador y una media de 80 m³ de hormigón producido diariamente.

A continuación se muestra el desglose de la materia prima necesaria para la producción de un m³ de hormigón.

TABLA 74

Coste de producción por m3 de hormigón

COSTOS DE PRODUCCIÓN POR m3 DE HORMIGÓN				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	TOTAL
Mezcla de Hormigón				
Cemento	kg	385	\$ 0,12	\$ 46,20
Piedra	m3	0,35	\$ 12,00	\$ 4,20
Arena	m3	0,33	\$ 10,00	\$ 3,30
Agua en mixer y lavado	m3	0,2	\$ 1,66	\$ 0,33
Aditivo	L	2	\$ 0,80	\$ 1,60
Diesel en Generador	Gl	0,2	\$ 0,93	\$ 0,19
SUBTOTAL 1				\$ 55,82
Gastos Operacionales				
Cargador de materiales	m3	1	\$ 5,00	\$ 5,00
Planta dosificadora	Global	1	\$ 10,00	\$ 10,00
Mantenimiento	und	1	\$ 7,50	\$ 7,50
Servicios básicos oficina	Global	1	\$ 0,97	\$ 0,97
Gerente de operaciones	Sueldo	1	\$ 1,56	\$ 1,56
Jefe de producción	Sueldo	1	\$ 0,94	\$ 0,94
Vendedor	Sueldo	1	\$ 0,56	\$ 0,56
Mixer	Sueldo	5	\$ 0,38	\$ 1,88
Guardias	Sueldo	2	\$ 0,38	\$ 0,75
Tecnico	Sueldo	4	\$ 0,44	\$ 1,75
SUBTOTAL 2				\$ 30,91
TOTAL DE COSTO				\$ 86,73

Elaborado por: César Mejía, Marlon Cando, 2015

Con respecto al cálculo del coste anual de producción se pueden observar en detalle en el apéndice P, tabla P3.

PRECIO DE UN m³ DE HORMIGÓN

El precio es la mayor palanca del beneficio y nuestra empresa quiere otorgar un producto y servicio que de valor al cliente. Por lo que se ha fijado un margen de ganancia del 9%, teniendo un precio de venta de \$ 94.53 por m³ de hormigón con el fin de ser competitivos en el mercado.

TABLA 75

Precio por m³ de hormigón

m ³ DE HORMIGÓN	
DESCRIPCIÓN	VALOR
Costo de producción	\$ 86,73
Margen	9%
Precio de venta	\$ 94,53

Elaborado por: César Mejía, Marlon Cando, 2015

ESTIMACIÓN DE LA VENTA

Al ser nuevos en la de venta de hormigón mediante una planta móvil dosificadora se analizó que al empezar en este negocio no se ocupará el máximo de capacidad de la planta ya que al principio no se tendrá una alta participación en el mercado, pero claramente el crecimiento de la cuota de mercado aumentará mediante el plan de mercadeo

enfocada en ganar potenciales clientes que trabajan en el área de construcción, con el fin de generar un posicionamiento de nuestra empresa a nivel nacional. Cabe recalcar que este proyecto cuenta con una gran diferenciación en comparación a la competencia ya que al tener una planta móvil dosificadora esta se encontrará en el sitio donde se requiera el hormigón, consiguiendo tener una rapidez en tiempo de entrega. A diferencia de la competencia que coloca a los clientes en filas de espera y además el hormigón no es entregado al instante debido a que este debe ser trasladado de la empresa al área solicitado. Teniendo en cuenta estos factores, la capacidad inicial de la planta será de 85m^3 de hormigón producido diariamente y se pronostica que cada año aumenten los pedidos de venta, llegando a estimar que para el año número cinco la planta producirá en su máxima capacidad de 160m^3 de hormigón diario.

La estimación de la venta se ha realizado por periodos de cuatrimestre, manteniendo para cada año la misma capacidad producida, pero considerando que el crecimiento de las ventas aumentará se ha estimado que las ventas año tras año aumentarán en un 17%, ya que se tendrá una mayor participación en el mercado de la venta de hormigón.

TABLA 76

Ingresos

ESTIMACIÓN DE VENTA			
	DEMANDA	m ³ HORMIGÓN	INGRESOS
1 AÑO	1° CUATRIMESTRE	8500	\$ 803.529,13
	2° CUATRIMESTRE	8500	\$ 803.529,13
	3° CUATRIMESTRE	8500	\$ 803.529,13
2 AÑO	4° CUATRIMESTRE	10000	\$ 992.594,81
	5° CUATRIMESTRE	10000	\$ 992.594,81
	6° CUATRIMESTRE	10000	\$ 992.594,81
3 AÑO	7° CUATRIMESTRE	11500	\$ 1.198.558,23
	8° CUATRIMESTRE	11500	\$ 1.198.558,23
	9° CUATRIMESTRE	11500	\$ 1.198.558,23
4 AÑO	10° CUATRIMESTRE	14000	\$ 1.532.070,08
	11° CUATRIMESTRE	14000	\$ 1.532.070,08
	12° CUATRIMESTRE	14000	\$ 1.532.070,08
5 AÑO	13° CUATRIMESTRE	16000	\$ 1.838.484,10
	14° CUATRIMESTRE	16000	\$ 1.838.484,10
	15° CUATRIMESTRE	16000	\$ 1.838.484,10

Elaborado por: César Mejía, Marlon Cando, 2015

Los ingresos anuales se podrán observar en el apéndice P, tabla P4.

BALANCE INICIAL

Es aquel que se hace al momento de iniciar una empresa o un negocio, en el cual se registran los activos, pasivos y patrimonio con que se constituye e inician operaciones.

En la tabla 77 se muestra de manera detallada toda la información del balance general de la empresa.

TABLA 77

Balance Inicial

PLANTA MÓVIL DOSIFICADORA		
BALANCE GENERAL		
AL 1 DE ENERO DEL 2015		
ACTIVOS FIJOS		
Muebles y Enseres	\$ 1.050,00	
Equipo de Computo	\$ 4.410,00	
Estructuras	\$ 93.000,00	
Sistemas transportadores	\$ 38.900,00	
Sistema auxiliar local	\$ 8.170,00	
Sistema auxiliar importado	\$ 863.100,00	
TOTAL ACTIVOS FIJOS		\$ 1.008.630,00
ACTIVOS INTANGIBLES		
Gastos de Constitución		\$ 2.635,00
TOTAL ACTIVOS INTANGIBLES		
TOTAL ACTIVOS		\$ 1.011.265,00
PASIVO		
PASIVOS DE LARGO PLAZO		
Préstamo Bancario		\$ 809.012,00
CAPITAL		
Aportaciones de los Accionistas		\$ 202.253,00
PASIVO + CAPITAL		\$ 1.011.265,00

Elaborado por: César Mejía, Marlon Cando, 2015

FINANCIAMIENTO

Se ha decidido que el porcentaje de apalancamiento de la empresa será del 80%, siendo el capital propio de un 20%, el cual serán de las aportaciones que pongan los socios de manera equitativa al momento de establecer el proyecto.

Siendo el 80% de apalancamiento \$ 809,012.00 y el 20% que es el equivalente a la cantidad monetaria que aportarán los socios \$ 202,253.00.

TABLA 78

Estructura de capital

ESTRUCTURA DE CAPITAL	VALOR	%
DEUDA	\$ 809.012,00	80%
CAPITAL PROPIO	\$ 202.253,00	20%
TOTAL	\$ 1.011.265,00	

Elaborado por: César Mejía, Marlon Cando, 2015

TABLA 79

Apalancamiento de la empresa

Porcentaje de Apalancamiento	
Préstamo	Capital Propio
80%	20%

Elaborado por: César Mejía, Marlon Cando, 2015

RESUMEN DE PRÉSTAMO

El préstamo se realizará a la Corporación Financiera Nacional, con una tasa anual de 9.75% y mensual de 0.78%, en un periodo de 5 años.

TABLA 80**Datos del préstamo bancario**

CFN	
PRESTAMO BANCARIO	
MONTO	\$ 809.012,00
TASA DE INTERES ANUAL	9,75%
TASA DE INTERES MENSUAL	0,78%
PLAZO ANUAL	5 años
CUOTAS MENSUALES	60
CUOTA ANUAL	\$ 212.054,04
VALOR DE CUOTAS MENSUALES	\$ 16.935,46

Elaborado por: César Mejía, Marlon Cando, 2015

TABLA 81**Tabla de amortización anual**

TABLA DE AMORTIZACION				
PERIODO	AMORTIZACION	INTERESES	CUOTA	SALDO
				\$ 809.012,00
1	\$ 133.175,37	\$ 78.878,67	\$ 212.054,04	\$ 675.836,63
2	\$ 146.159,96	\$ 65.894,07	\$ 212.054,04	\$ 529.676,67
3	\$ 160.410,56	\$ 51.643,48	\$ 212.054,04	\$ 369.266,11
4	\$ 176.050,59	\$ 36.003,45	\$ 212.054,04	\$ 193.215,52
5	\$ 193.215,52	\$ 18.838,51	\$ 212.054,04	\$ 0,00

Elaborado por: César Mejía, Marlon Cando, 2015

Para observar con más detalle la tabla de amortización con sus respectivos pagos mensuales ver el apéndice P, tabla P5.

ESTADO DE RESULTADOS

Es un instrumento que tiene como objetivo mostrar si el proyecto es capaz de generar utilidades o pérdidas contables.

El estado de ganancias y pérdidas presenta una corriente de ingresos por concepto de la venta de la producción de la empresa y de los pagos hechos por el uso de los factores y servicios productivos.

Es ante todo un informe de los ingresos y egresos del proyecto generados en su fase de funcionamiento.

TABLA 82

Estado de resultados

ESTADO DE PERDIDAS Y GANANCIAS					
Detalle	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Ingresos	\$ 2.410.587,39	\$ 2.977.784,42	\$ 3.595.674,69	\$ 4.596.210,25	\$ 5.515.452,30
Costo de Venta	\$ 1.854.297,99	\$ 2.290.603,40	\$ 2.765.903,61	\$ 3.535.546,35	\$ 4.242.655,62
UTILIDAD BRUTA	\$ 556.289,40	\$ 687.181,02	\$ 829.771,08	\$ 1.060.663,90	\$ 1.272.796,69
GASTOS OPERACIONALES					
Gastos de S. Basicos + alquiler local	\$ 18.660,00	\$ 19.593,00	\$ 20.572,65	\$ 21.601,28	\$ 22.681,35
Suelos y Salarios	\$ 191.167,40	\$ 200.725,77	\$ 210.762,06	\$ 221.300,16	\$ 232.365,17
Depreciación	\$ 52.739,00	\$ 52.739,00	\$ 52.739,00	\$ 52.739,00	\$ 52.739,00
Gastos de Publicidad	\$ 149,00	\$ 156,45	\$ 164,27	\$ 172,49	\$ 181,11
UTILIDAD OPERACIONAL	\$ 293.574,00	\$ 413.966,80	\$ 545.533,10	\$ 764.850,97	\$ 964.830,06
GASTOS NO OPERACIONALES					
Gastos Financieros	\$ 78.878,67	\$ 65.894,07	\$ 51.643,48	\$ 36.003,45	\$ 18.838,51
Otros gastos no operacionales					
Utilidad antes de Part. Trab. E Imp.	\$ 214.695,33	\$ 348.072,73	\$ 493.889,63	\$ 728.847,53	\$ 945.991,55
15% Participación de Trabajadores	\$ 32.204,30	\$ 52.210,91	\$ 74.083,44	\$ 109.327,13	\$ 141.898,73
Utilidad antes de Impuestos	\$ 182.491,03	\$ 295.861,82	\$ 419.806,18	\$ 619.520,40	\$ 804.092,81
25% Impuesto a la Renta	\$ 45.622,76	\$ 73.965,45	\$ 104.951,55	\$ 154.880,10	\$ 201.023,20
UTILIDAD NETA	\$ 136.868,27	\$ 221.896,36	\$ 314.854,64	\$ 464.640,30	\$ 603.069,61

Elaborado por: César Mejía, Marlon Cando, 2015

TMAR Y TASA INTERNA DE RETORNO

Antes de calcular la tasa interna de retorno (TIR) y el valor actual neto (VAN) del proyecto, se debe de estimar la tasa de descuento (TMAR) que

representa la rentabilidad mínima exigida por parte de inversor al proyecto, en base al riesgo en el cual se incurre al invertir en el mismo.

Para el cálculo del beta de la empresa comparable se escogió a la empresa **HOLCIM Ltd.** [46]

Holcim Ltd (ADR) (OTCMKTS:HCMLY)

15.78 +0.31 (2.04%)	Range	15.63 - 15.80	Div/yield	0.26/1.64
Mar 23 - Close	52 week	12.70 - 18.58	EPS	0.81
OTCMKTS data delayed by 15 mins - Disclaimer	Open	15.67	Shares	325.56M
Currency in USD	Vol / Avg	25,313.00/47,551.00	Beta	1.51
	Mkt cap	25.30B	Inst. own	1%
	P/E	19.52		

FIGURA 4.1. Información de la empresa comparable [47]

Elaborado por: César Mejía, Marlon Cando, 2015

TABLA 83

Información de la empresa comparable

INFORMACION DE LA EMPRESA COMPARABLE		
β	Beta de Empresa Comparable	1,51
A	Total Activo	\$ 1.011.265
P	Total Pasivo	\$ 809.012
L	% de Apalancamiento de los Pasivos con respecto a los activos	80%
T	Tasa de impuesto a la renta	22%
β_a	Beta Desapalancada	0,37

Elaborado por: César Mejía, Marlon Cando, 2015

$$\beta_a = \frac{(1-L)*\beta}{(1-L*T)} \quad (117)$$

Luego de la disminución del riesgo financiero al beta comparable, se procede a calcular el beta del proyecto.

TABLA 84

Beta de la empresa

INFORMACION DE LA PASTELERIA	
L	80%
T	22%
BETA DE LA EMPRESA	1,51

Elaborado por: César Mejía, Marlon Cando, 2015

La TMAR Es la tasa de interés que se utiliza en el proyecto y con la cual se determinarán variables como: rendimientos financieros del mercado, rendimiento financieros libre de riesgo, y las medidas de volatilidad que tiene un activo en la industria.

Llamado también CAPM, modelo comúnmente utilizado en la economía financiera que sirve como fijador de precios de activos de capital, este modelo es útil para saber el retorno de los activos.

TABLA 85

Índices de la empresa comparable

INDICES RELACIONADOS AL MERCADO DE EEUU		
Rf	Tasa Libre de Riesgo EEUU	2,26%
Rm	Rentabilidad de la Industria	28,39%

Fuente: <https://www.portfoliopersonal.com/>

TABLA 86

Riesgo país Ecuador

INDICE PORCENTUAL NACIONAL	
Riesgo País	8,99%

Fuente: Banco central del Ecuador

Para calcular la tasa mínima requerida se debe encontrar el k_e , por tanto se utiliza el modelo CAPM, que está dado con la siguiente fórmula

$$K_e = R_f + \beta (R_m - R_f) + R_p \text{ Ecuador} \quad (118)$$

Dónde:

K_e : Rentabilidad exigida por el inversionista

R_f : tasa libre de riesgo (tasa de los bonos de Tesoro Americano)

β : beta de la empresa comparable de EE.UU.

R_m : rentabilidad del mercado en EE.UU.

RP_{ecu} : Riesgo país de Ecuador.

Reemplazando los respectivos valores se obtiene el resultado:

TABLA 87

Tasa mínima requerida

TMAR	
Ke	50,71%

Elaborado por: César Mejía, Marlon Cando, 2015

FLUJO DE CAJA

El proyecto del flujo de caja constituye uno de los elementos más importantes del estudio de un proyecto, debido a los resultados obtenidos en el flujo de caja se evaluará la realización del proyecto.

Los elementos del flujo de caja son:

- Los egresos iniciales de fondos
- Los ingresos y egresos de operación
- El momento en que ocurren estos ingresos y egresos

Para el presente proyecto se realizó un flujo de caja proyectado a 5 años, cuyos ingresos incrementan anualmente en un 5%, al igual que los costos variables de la materia prima.

TABLA 88
Flujo de caja

FLUJO DE CAJA DEL PROYECTO						
	AÑO 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
INGRESOS		\$ 2.410.587,39	\$ 2.977.784,42	\$ 3.595.674,69	\$ 4.596.210,25	\$ 5.515.452,30
EGRESOS						
Costos Variables		\$ 1.854.297,99	\$ 2.290.603,40	\$ 2.765.903,61	\$ 3.535.546,35	\$ 4.242.655,62
Costos Fijos						
Servicio de agua potable		60,00	63,00	66,15	69,46	72,93
Servicio de luz		180,00	189,00	198,45	208,37	218,79
Teléfono e internet		420,00	441,00	463,05	486,20	510,51
Alquiler del local		18000,00	18900,00	19845,00	20837,25	21879,11
T. de Costos Fijos		\$ 18.660,00	\$ 19.593,00	\$ 20.572,65	\$ 21.601,28	\$ 22.681,35
Costos Operativos por movimiento de planta						
Montaje de planta		\$ 44.000,00	\$ 46.200,00	\$ 48.510,00	\$ 50.935,50	\$ 53.482,28
Transporte de planta		\$ 6.000,00	\$ 6.300,00	\$ 6.615,00	\$ 6.945,75	\$ 7.293,04
T. de Costos Fijos		\$ 50.000,00	\$ 52.500,00	\$ 55.125,00	\$ 57.881,25	\$ 60.775,31
Gastos Administrativos						
Sueldos y Salarios		191.167,40	200.725,77	210.762,06	221.300,16	232.365,17
T. Gastos Adm.		\$ 191.167,40	\$ 200.725,77	\$ 210.762,06	\$ 221.300,16	\$ 232.365,17
Gastos Publicitarios						
Afiches		144,00	151,20	158,76	166,70	175,03
Tarjetas de presentación		5,00	5,25	5,51	5,79	6,08
T. Gastos Publicitarios		\$ 149,00	\$ 156,45	\$ 164,27	\$ 172,49	\$ 181,11
Gastos Financiero						
Intereses Pagados		\$ 78.878,67	\$ 65.894,07	\$ 51.643,48	\$ 36.003,45	\$ 18.838,51
Gasto de Depreciación						
Pérdida de Valor del Activo		\$ 52.739,00	\$ 52.739,00	\$ 52.739,00	\$ 52.739,00	\$ 52.739,00
UAI		\$ 164.695,33	\$ 295.572,73	\$ 438.764,63	\$ 670.966,28	\$ 885.216,23
15% Part. de Trabajadores		24704,30	44335,91	65814,69	100644,94	132782,43
Utilidad antes de Imp.		139991,03	251236,82	372949,93	570321,34	752433,80
25% Impuesto a la Renta		34997,76	62809,20	93237,48	142580,33	188108,45
UTILIDAD NETA		\$ 104.993,27	\$ 188.427,61	\$ 279.712,45	\$ 427.741,00	\$ 564.325,35
Depreciación		\$ 52.739,00	\$ 52.739,00	\$ 52.739,00	\$ 52.739,00	\$ 52.739,00
Inversión	(\$ 1.011.265,00)					
Préstamo	\$ 809.012,00					
Amortización		(\$ 133.175,37)	(\$ 146.159,96)	(\$ 160.410,56)	(\$ 176.050,59)	(\$ 193.215,52)
FLUJO DE CAJA	(\$ 202.253,00)	\$ 24.556,91	\$ 95.006,65	\$ 172.040,89	\$ 304.429,41	\$ 423.848,83

Elaborado por: César Mejía, Marlon Cando, 2015

CRITERIOS DE EVALUACIÓN

TABLA 89

Cálculo de la TMAR, VAN, TIR y PAYBACK

TMAR	50,71%
VAN	\$ 19.668,17
TIR	55%
PAYBACK	3,07 años

Elaborado por: César Mejía, Marlon Cando, 2015

La tasa interna de retorno TIR es una medida de la rentabilidad de una inversión, mostrando cuál sería la tasa de interés más alta en la que proyecto no genera ni pérdidas ni ganancias.

Dado que la TIR del proyecto calculado en el Flujo de Caja es de 55%, siendo esta mayor a la TMAR que es 50.71%, se puede concluir que el proyecto es viable para invertir.

El Valor Actual Neto del proyecto es de \$ 19,668.17, lo que nos indica que el proyecto es rentable.

Por último el Payback es un periodo de recuperación del proyecto que muestra cuánto tiempo se tardará en recuperar la inversión inicial mediante los flujos de caja.

CAPÍTULO 5

5.CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

Se logró de manera fructífera el diseño de una planta móvil dosificadora de materias primas para la producción de hormigón utilizando datos reales y normados de manera que su movilidad e instalación se pueda efectuar en cualquier lugar del país incluyendo los de difícil acceso.

Las características técnicas establecidas por normas nacionales e internacionales requieren de cálculos específicos para los elementos que conforman la planta, por lo tanto el presente proyecto fue evaluado mediante la utilización de software ingenieriles que usan los métodos matemáticos y procedimientos considerados en dichas normativas.

La producción de hormigón posee exigencias propias para su elaboración, por consiguiente el proyecto cumple con los requerimientos de producción establecidos en normas nacionales e internacionales aplicables para este tipo de plantas.

La implementación del presente proyecto se justifica, ya que según los resultados estadísticos emitidos por el “Instituto Nacional de Estadísticas y Censos” en el país existe una demandada creciente de hormigón debido al desarrollo periódico de proyectos constructivos a nivel nacional, y realizando una evaluación cuantitativa a nivel económico se puede mencionar que el TIR es de 55% superando a la TMAR de 50.71%, con un valor actual neto VAN de \$ 19.668,17 y un PAYBACK de 3.07 años, lo cual permite concluir que la implementación del proyecto presenta una alta rentabilidad.

5.2. RECOMENDACIONES

Realizar el estudio del sistema de control que permita la producción de hormigón de manera automática, a fin de lograr un producto terminado de mayor calidad.

Considerar la utilización de una banda transportadora pesadora para agregados, a fin de mejorar los tiempos de despacho de hormigón y

reducir el espacio ocupado al ser reemplazado por las tolvas pesadoras de agregados.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Tesis de grado ESPOL, Elaboración de un manual de gestión ambiental basado en la norma ISO 14001:2004 para una empresa hormigonera, 2010. Disponible en <http://www.dspace.espol.edu.ec/>.
- [2] Tecnología del hormigón, Ingeniera Carmen terreros, Primera edición, Guayaquil, Ecuador, 2011.
- [3] NTE INEN 1763:2010, Hormigón de cemento hidráulico, muestreo, Instituto Nacional Ecuatoriano de Normalización, Primera edición, Ecuador, 2010.
- [4] Problemas en el concreto: causas y soluciones, Isabel Suárez Patiño, México, 1990.
- [5] Fundamentos de hormigón simple, Marcelo Romo Proaño, Escuela politécnica del ejército, Ecuador.

- [6] Concrete technology, A. M. Neville, Second edition, 2010.
- [7] Guía de hormigones, CEMEX HORMIGÓN, Disponible <http://www.cemex.es/>.
- [8] NTE INEN 1108:2011, Agua potable. Requisitos, Instituto Nacional Ecuatoriano de Normalización, Primera edición, Ecuador, 2011.
- [9] NTE INEN 1855-1:2001, Hormigones. Hormigón premezclado. Requisitos, Instituto Nacional Ecuatoriano de Normalización, Primera edición, Ecuador, 2001.
- [10] NTE INEN 872, Áridos para hormigón. Requisitos, Instituto Nacional Ecuatoriano de Normalización, Primera edición, Ecuador.
- [11] User's Guide to ASTM Specification C 94 on Ready-Mixed Concrete, ASTM Manual series, Bridgeport, USA, 2005.
- [12] Evolución de las Normas para la fabricación de cemento y características de sus aplicaciones. HOLCIM Ecuador S.A. Disponible en <http://www.holcim.com.ec/>.

- [13] NTE INEN 2380:2011, Cemento hidráulico. Requisitos para desempeño para cementos hidráulicos, Instituto Nacional Ecuatoriano de Normalización, Primera edición, Ecuador, 2011.
- [14] Encuesta anual de edificaciones (Permisos de construcción) 2012, Instituto Nacional de Estadística y Censos, Ecuador, 2012.
- [15] GPE INEN 040:1993, Guía de práctica, Plantas de hormigón premezclado, Instituto Nacional Ecuatoriano de Normalización, Primera edición, Ecuador, 1993.
- [16] Belt conveyors for bulk materials, Conveyor equipment manufacturers association, Capítulo 3, Capítulo 7.
- [17] Cálculo y diseño de Mezclas de concreto método ACI comité 211, Comité 211 del American Concrete Institute.
- [18] Diseño de mezclas de concreto, Samuel Laura Huanca, Universidad nacional del altiplano, Puno, Perú.

- [19] UNE-ENV 1991-4, EUROCÓDIGO 1. Bases de proyecto y acciones en estructuras. Parte 4: Acciones en silos y depósitos. Norma española experimental, 1995.
- [20] El Gran Catalogo 4000, Martin Sprocket & Gear. Disponible en <http://www.martinsprocket.com/>.
- [21] Tesis de grado ESPOL, Software para diseño de transportadores de tornillo sinfín, 2005. Disponible en <http://www.dspace.espol.edu.ec/>.
- [22] Manual de cálculo de cintas transportadoras, Industrias Pirelli S.A.I.C., Republica argentina. Disponible en <http://www.pirelli.com/>.
- [23] Tesis de grado ESPOL, Software para diseño de transportadores de bandas, 2002. Disponible en <http://www.dspace.espol.edu.ec/>.
- [24] CPE INEN 5 Parte 1:2001, Código ecuatoriano de la construcción. Requisitos generales de diseño. Instituto Nacional Ecuatoriano de Normalización, Primera edición, Ecuador, 2001.

- [25] Load and resistance factor design specification for structural steel buildings (LRFD). American Institute of Steel Construction (AISC). 1999.
- [26] UNIFORM BUILDING CODE (UBC-97), Structural design requirements. Segunda edición, 1997.
- [27] UNE-EN 1993-1-3:2012, Eurocódigo 3: Proyecto de estructuras de acero. Parte 1-3: Reglas generales. Reglas adicionales para perfiles y chapas de paredes delgadas conformadas en frío. Norma española, 2012.
- [28] Mecánica vectorial para ingenieros, estática, Beer – Johnston, Novena edición, capítulo 5.
- [29] EAE Instrucción de acero estructural. Ministerio de fomento. Secretaria general técnica. Gobierno de España.
- [30] UNE-EN 10025-2:2006, Productos laminados en caliente de aceros para estructuras. Parte 2: Condiciones técnicas de suministro de los aceros estructurales no aleados. Norma española, 2006.

- [31] Mecánica de sólidos, Egor P. Popov, Segunda edición, México, 2000, capítulo 3.
- [32] UNE-EN 1991-1-4:2007/AC:2010, Eurocódigo 1: Acciones en estructuras. Parte 1-4: Acciones generales. Acciones de viento. Norma española, 2010.
- [33] Instituto Oceanográfico de la Armada INOCAR. Disponible en <http://www.inocar.mil.ec/>.
- [34] Tesis de grado ESPOL, Diseño de una estructura de acero formado en frío por el método LRFD para un galpón industrial, 2009. Disponible en <http://www.dspace.espol.edu.ec/>.
- [35] Mecánica de fluidos, Frank M. White, Sexta edición, España, 2008.
- [36] Norma ecuatoriana de la construcción NEC-11, Capítulo 16, Norma hidrosanitaria NHE agua. Decreto ejecutivo 705, 2011.
- [37] Evaluación para sistemas de bombeo de agua. Manual de eficiencia energética. Iniciativa de Energía Sostenible y Cambio Climático Washington D.C. Primera edición. 2011.

- [38] Tesis de grado IPN, Cálculo y selección de equipo de un sistema de generación de agua helada para un proceso industrial de inyección de plástico. México, 2008.
- [39] Boletín Climatológico Semestral Enero - Junio 2014. Instituto nacional de meteorología e hidrología. INAMHI. 2014.
- [40] Hesse Aire comprimido, fuente de energía, preparación y distribución. FESTO. 2002.
- [41] Válvula de guillotina con forma de tolva. ORBINOX. Modelo XC.
- [42] Diseño de sistemas de control de contaminantes del aire. Mario Patiño. Capítulo 4. Control de material particulado.
- [43] Reglamento del seguro general de riesgos del trabajo, Resolución No. C.D.390.
- [44] Curso básico de prevención de riesgos laborales. Corporación CAPASEM. Noviembre 2014.

- [45] Master catalog. RICE LAKE WEIGHING SYSTEMS. Load cells/weigh modules. 2015.
- [46] Ministerio de transporte y obras públicas, Registro oficial No. 717, 2012.
- [47] Google Finance. Holcim Ltd (ADR) (OTCMKTS:HCMLY) Disponible en: <http://www.google.com/finance>.

APÉNDICES

APÉNDICE A

TABLA A

Calor de hidratación para cementos [2]

LIMTES GRANULOMETRICOS PARA AGREGADO FINO		
TAMIZ		% que pasa
3/8 "	9,5 mm	100
No.4	4,75 mm	95-100
No.8	2,36 mm	80-100
No.16	1,18 mm	50-85
No.30	600 um	25-60
No.50	300 um	10-50
No.100	150 um	2-10

Fuente: Limites granulométricos para agregado fino según las normas ASTM C-33/AASHTO M6

APÉNDICE B

TABLA B1

Listado de equipos principales

EQUIPOS PRINCIPALES	
EQUIPO	CANTIDAD
Estructura completa de la planta	1
Tolva de almacenamiento de cemento	1
Tolva pesadora de cemento	1
Tolva de almacenamiento de agregados	1
Tolva pesadora de agregados	2
Tanque reservorio de agua de 20,000 litros	1
Bandas transportadoras de agregados	2
Tornillos helicoidales	2
Compuertas para tolva de agregados	8
Compuertas para tolva pesadora de agregados	2
Válvula rotatoria para tolva de almacenamiento de cemento	1
Válvula rotatoria para tolva pesadora de cemento	1

Elaborado por: César Mejía, Marlon Cando, 2015

TABLA B2

Listado de equipos auxiliares

EQUIPOS AUXILIARES	
EQUIPO	CANTIDAD
Compresor de aire	1
Bomba para agua de 3 hp	2
Chiller 70 TR	1
Generador	1
Sistema para el filtrado de partículas (Filtros de mangas)	2

Elaborado por: César Mejía, Marlon Cando, 2015

TABLA B3

Listado de equipos complementarios

EQUIPOS COMPLEMENTARIOS	
EQUIPO	CANTIDAD
Pistones DSBC-125-250-PPSA-N3 FESTO	8
Pistones DSBG-200-200-PPV-N3 FESTO	8
Concrete Batch Controllers	1
Panel de Control	1
Panel de Fuerza	1
Celdas de Carga para tolva pesadora de cemento	4
Celdas de Carga para tolva pesadora de agregados	8
Válvulas guillotina	2
Escritorio	3
Silla	1
Computadora	1
Archivador	2
Split 12,000 BTU	1
Unidad de mantenimiento para aire comprimido	1
Electroválvula 5/2	18
Boquilla de aspersión de agua	1
Sistema de tubería de agua	1
Sistema de tubería de aire comprimido	1
Sistema de tubería para transporte de cemento	1

Elaborado por: César Mejía, Marlon Cando, 2015

APÉNDICE C

TABLA C1

Normas nacionales

NORMAS NACIONALES	
NORMA	CÓDIGO
Plantas de hormigón premezclado	NTE INEN 040
Cementos hidráulicos. Requisitos de desempeño	NTE INEN 2.380
Hormigón premezclado. Requisitos	NTE INEN 1.855-1
Áridos para hormigón, requisitos	NTE INEN 872
Código ecuatoriano de la construcción. Requisitos generales de diseño	CPE INEN 5 Parte 1:2001
Hormigón de cemento hidráulico, muestreo	NTE INEN 1763
Agua potable. Requisitos	NTE INEN 1108
Norma hidrosanitaria NHE agua	Decreto ejecutivo 705

Elaborado por: César Mejía, Marlon Cando, 2015

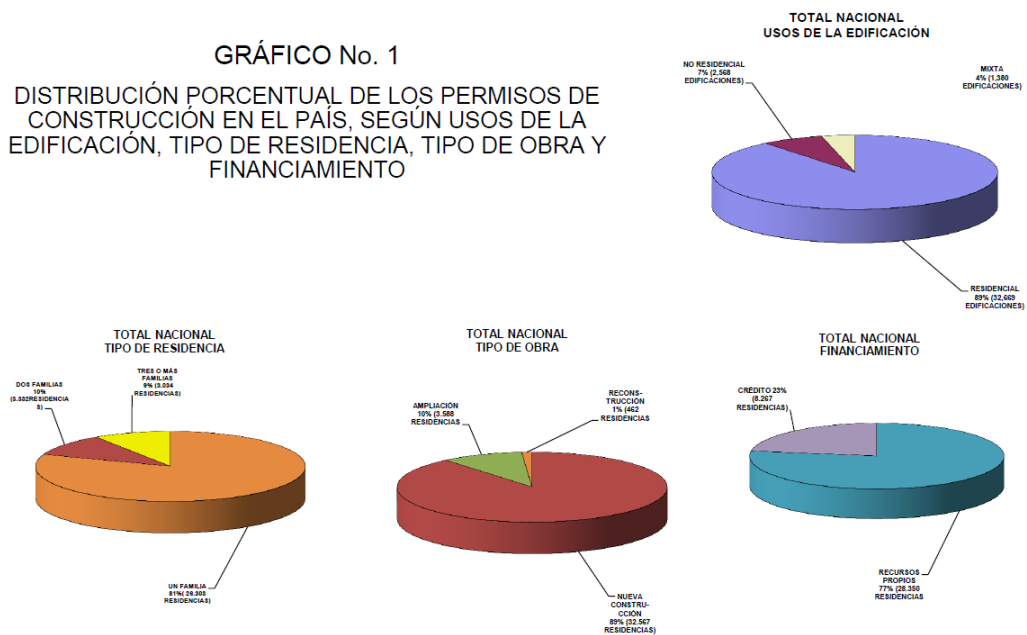
TABLA C2**Normas internacionales**

NORMAS INTERNACIONALES	
NORMA	CÓDIGO
Especificación normalizada para concreto premezclado	ASTM C 94
EUROCÓDIGO 1: Acciones en estructuras. Parte 1-4: Acciones generales, acciones de viento	UNE-EN 1991-1-4
EUROCÓDIGO 1: Bases de proyecto y acciones en estructuras. Parte 4: Acciones en silos y depósitos	UNE-EN 1991-1-4
Código uniforme de construcción	UBC-97
Eurocódigo 3: Proyecto de estructuras de acero. Parte 1-3: Reglas generales. Reglas adicionales para perfiles y chapas de paredes delgadas conformadas en frío.	UNE-EN 1993-1-3
Productos laminados en caliente de aceros para estructuras. Parte 2: Condiciones técnicas de suministro de los aceros estructurales no aleados.	UNE-EN 10025-2:2006

Elaborado por: César Mejía, Marlon Cando, 2015

APÉNDICE D

GRÁFICO No. 1
DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE LOS PERMISOS DE CONSTRUCCIÓN EN EL PAÍS, SEGÚN USOS DE LA EDIFICACIÓN, TIPO DE RESIDENCIA, TIPO DE OBRA Y FINANCIAMIENTO

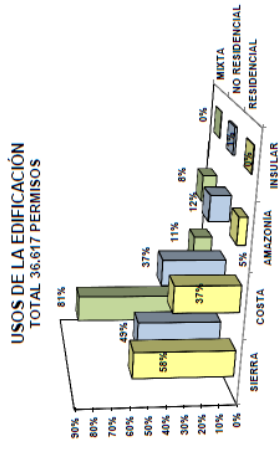


Fuente: Encuesta anual de edificaciones (Permisos de construcción) 2012

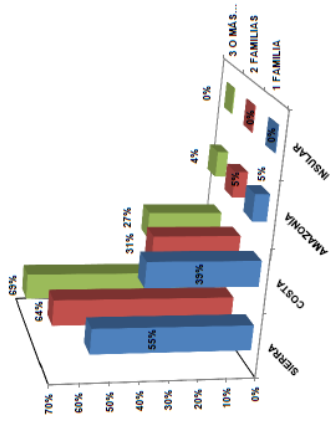
FIGURA D.1. Distribución porcentual de los permisos de construcción en el país [14]

GRÁFICO No. 2

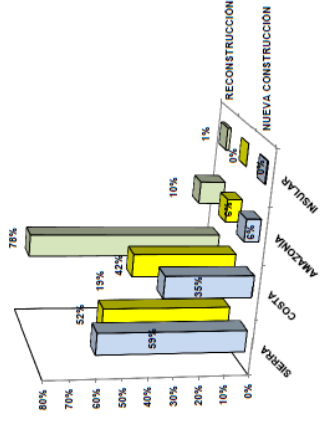
DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE LOS PERMISOS DE CONSTRUCCIÓN EN LAS REGIONES FRENTE AL PAÍS, SEGÚN USOS DE LA EDIFICACIÓN, TIPO DE RESIDENCIA, TIPO DE OBRA Y FINANCIAMIENTO



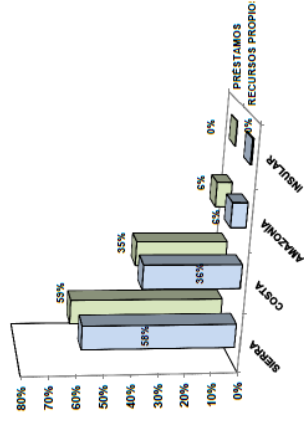
TIPO DE RESIDENCIA
TOTAL 32.669 PERMISOS



TIPO DE OBRA
TOTAL 36.617 PERMISOS



FINANCIAMIENTO
TOTAL 36.617 PERMISOS



Fuente: Encuesta anual de edificaciones (Permisos de construcción) 2012

FIGURA D.2. Distribución porcentual de los permisos de construcción en las regiones frente al país [14]

APÉNDICE E

CALCULOS REPRESENTATIVOS PARA EL DISEÑO DEL TORNILLO

HELICOIDAL 1

VELOCIDAD DEL TRANSPORTADOR

Datos

$$\dot{V}_{c,1} = 221 \text{ ft}^3/\text{h}$$

$$\dot{V}_{c,airpm} = 1,5 \text{ ft}^3/\text{h}$$

$$N = \frac{\dot{V}_{c,1}}{\dot{V}_{c,airpm}} \quad (39)$$

$$N = \frac{320}{1,5} = 147 \text{ rpm}$$

CAPACIDAD EQUIVALENTE

Datos

$$CF_1 = CF_2 = CF_3 = 1$$

$$\left(\begin{array}{l} \text{Capacidad equivalente} \\ \text{en pies cúbicos por hora} \end{array} \right) = (\dot{V}_{c,2})(CF_1)(CF_2)(CF_3) \quad (40)$$

$$\left(\begin{array}{l} \text{Capacidad equivalente} \\ \text{en pies cúbicos por hora} \end{array} \right) = (320)(1)(1)(1) = 320 \text{ ft}^3/\text{h}$$

POTENCIA

Datos

$$HP_{f;1} = 0,1 \text{ hp}$$

$$C_1 = 221 \text{ ft}^3/\text{h}$$

$$HP_{m;1} = 1,3 \text{ hp}$$

$$W_1 = 181 \text{ lbm}/\text{ft}^3$$

$$HP_{lift;1} = 0,1 \text{ hp}$$

$$f_f = 1$$

$$L_1 = 11,16 \text{ ft}$$

$$f_m = 3$$

$$N_1 = 148,3 \text{ rpm}$$

$$f_p = 1$$

$$f_d = 18$$

$$f_0 = 1,7$$

$$f_b = 2$$

$$e_t = 0,88$$

$$H_{th;1} = 3,5 \text{ ft}$$

Potencia para mover el transportador helicoidal 1 en vacío.

$$HP_{f;1} = \frac{L_1 N_1 f_d f_b}{1.000.000} \quad (41)$$

$$HP_{f;1} = \frac{11,16 * 148,3 * 18 * 2}{1.000.000} = 0,1 \text{ hp}$$

Potencia para mover el material en el transportador helicoidal 1

$$HP_{m;1} = \frac{C_1 L_1 W_1 f_f f_m f_p}{1.000.000} \quad (42)$$

$$HP_{m;1} = \frac{221 * 11,16 * 181 * 1 * 3 * 1}{1.000.000} = 1,3 \text{ hp}$$

Potencia para levantar el material

$$HP_{lift;1} = \frac{H_{th;1} W_1 C_1}{33.000 * 60} \quad (43)$$

$$HP_{lift;1} = \frac{3,5 * 181 * 221}{33.000 * 60} = 0,1 \text{ hp}$$

Potencia total

$$HP_{total;1} = \frac{(HP_{f;1} + HP_{m;1})f_0 + HP_{lift;1}}{e_t} \quad (44)$$

$$HP_{total;1} = \frac{(0,1 + 1,3)1,7 + 0,1}{0,88} = 3 \text{ hp}$$

TORQUE

Dónde:

$$Rpm_{max} = 120 \text{ rpm}$$

$$Torque_{th;1} = \frac{63,025 HP_{total}}{Rpm_{max}} \quad (45)$$

$$Torque_{th;1} = \frac{63,025 * 3}{120} = 1,5 \text{ lb in}$$

DEFLEXIÓN

Dónde:

$$W_d = 83,6 \text{ lb (38 Kg)}$$

$$L_d = 134 \text{ in (3,4 m)}$$

$$I = 1,53 \text{ lb in}$$

$$Deflexión = \frac{5W_d L_d}{384 * 2,9 * 10^7 * I} \quad (46)$$

$$Deflexión = \frac{5 * 83,6 * 134}{384 * 2,9 * 10^7 * 1,53} = 3 * 10^{-6} \text{ in}$$

TABLA E1

Resultados del cálculo analítico de los tornillos helicoidales

variable	descripción	cantidad	unidades
N_1	capacidad en RPM del tornillo helicoidal 1	147	rpm
N_2	capacidad en RPM del tornillo helicoidal 2	215	rpm
$HP_{total;1}$	Potencia total corregida del Tornillo helicoidal 1	3	hp
$HP_{total;2}$	Potencia total corregida del Tornillo helicoidal 2	7	hp
$Torque_{th;1}$	Torque de tornillo helicoidal 1	1,5	lb in
$Torque_{th;2}$	Torque de tornillo helicoidal 2	4	lb in
$Deflexión_1$	Deflexión del tornillo helicoidal 1	3×10^{-6}	in
$Deflexión_2$	Deflexión del tornillo helicoidal 2	3×10^{-6}	in

Elaborado por: César Mejía, Marlon Cando, 2015

APÉNDICE F

CALCULOS REPRESENTATIVOS PARA EL DISEÑO DE LA BANDA TRANSPORTADORA 2

Fuerza necesaria para mover la banda vacía

Dónde:

$$f = 0,3$$

$$q_p = 19,53 \text{ kg/m}$$

$$I_0 = 57,6 \text{ m}$$

$$L_{bt;2} = 12 \text{ m}$$

$$F_{1;vacia} = f * q_p(1 + I_0) \quad (48)$$

$$F_{1;vacia} = 0,3 * 19,53(1 + 58,2) = 346,8 \text{ kg}$$

Siendo

$$I_0 = 60 - 0,2L_{bt;2} \quad (49)$$

$$I_0 = 60 - (0,2 * 9) = 58,2 \text{ m}$$

$$F_{A;vacia;sup} = \frac{2F_{1;vacia}}{3} \quad (50)$$

$$F_{A;vacia;sup} = \frac{2 * 346,8}{3} = 231,2 \text{ kg}$$

$$F_{R;vacia;net} = \frac{F_{1;vacia}}{3} \quad (51)$$

$$F_{R;vacia;net} = \frac{346,8}{3} = 115,6 \text{ kg}$$

Fuerza necesario para mover el material

Dónde:

$$q_m = 10,78 \text{ kg/m}$$

$$Q = 19,4 \text{ kg/s}$$

$$v = 0,5 \text{ m/s}$$

$$F_{2;llena} = f * q_m(1 + I_0) \quad (52)$$

$$F_{2;llena} = 0,3 * 10,78(1 + 58,2) = 191,4 \text{ kg}$$

Siendo

$$q_m = \frac{Q}{3,6 v} \quad (53)$$

$$q_m = \frac{19,4}{3,6 * 0,5} = 10,78 \text{ kg/m}$$

Fuerza necesaria para mover verticalmente el material

Dónde:

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

$$F_{3;vertical} = \frac{QH}{3,6 v} \quad (54)$$

$$F_{3;vertical} = \frac{19,4 * 3}{3,6 * 0,5} = 32,3 \text{ kg}$$

Fuerza generada debido a la fricción

Donde:

$$k_2 = 0,51$$

$$F_{fricción} = k_2 F_{total;bt;2} \quad (55)$$

$$F_{fricción} = 0,51 * 570,6 = 291 \text{ kg}$$

Siendo

$$F_{total;bt;2} = F_{R;vacía;net} + F_{A;vacía;sup} + F_{2;llena} + F_{3;vertical} \quad (56)$$

$$F_{total;bt;2} = 115,6 + 231,2 + 191,4 + 32,3 = 570,6 \text{ kg}$$

Peso total de los rodillos

Dónde:

$$m_{faja} = 20 \text{ kg/m}$$

$$m_{rodillos} = 20 \text{ kg/m}$$

$$W_{faja;rod} = m_{faja} + m_{rodillos} \quad (57)$$

$$W_{faja;rodillos} = 20 + 20 = 40 \text{ kg/m}$$

Determinación del tiempo de la banda

Dónde:

$$L_{bt;2} = 9 \text{ m}$$

$$v = 0,5 \text{ m/s}$$

$$v = \frac{L_{bt;2}}{t_{vuelta;bt2}} \quad (58)$$

$$0,5 = \frac{9}{t_{vuelta;bt2}} = 18 \text{ s}$$

Potencia teórica

$$P_{teorica;total;bt2} = P_{h;mat} + P_{v;mat} + P_{fricción} + P_{giuas;bt2} \quad (59)$$

$$P_{teorica;total;bt2} = 2,6 + 0,16 + 1,4 + 0,36 = 5 \text{ kW}$$

Potencia para traslado horizontal

Donde:

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$P_{h;mat} = \frac{(F_{1;vacía} + F_{2;llena})g*v}{1.000} \quad (60)$$

$$P_{h;mat} = \frac{(346,8 + 191,4)9,81 * 0,5}{1.000} = 2,6 \text{ kW}$$

Potencia para traslado vertical

$$P_{v;mat} = \frac{F_{3;vertical}*g*v}{1.000} \quad (61)$$

$$P_{v;mat} = \frac{32,34 * 9,81 * 0,5}{1.000} = 0,16 \text{ kW}$$

Potencia por fricción

$$P_{fricción} = \frac{k_2(F_{1;vacía} + F_{2;llena} + F_{3;vertical})*g*v}{1.000} \quad (62)$$

$$P_{fricción} = \frac{0,51(346,8 + 191,4 + 32,34) * 9,81 * 0,5}{1.000} = 1,4 \text{ kW}$$

Potencia por guías

$$P_{guias;bt2} = 0,08 * v * L_{bt;2} \quad (63)$$

$$P_{guias;bt2} = 0,08 * 0,5 * 9 = 0,36 \text{ kW}$$

Potencia del motor

Dónde:

$$\eta = 0,9$$

$$\varepsilon = 0,9$$

$$P_{motor;bt2} = \frac{P_{teorica;bt2}}{\eta \varepsilon} \quad (64)$$

$$P_{motor;bt2} = \frac{5}{0,9 * 0,9} = 6 \text{ kW (8 hp)}$$

Fuerza resultante sobre tambor

Dónde:

$$\gamma = 210^\circ$$

$$R_{t;m;bt2} = (k_2 + 1) F_{total;bt;2} \sin\left(\frac{\gamma_a}{2}\right) \quad (65)$$

$$R_{t;m;bt2} = (0,51 + 1) 570,6 \sin\left(\frac{210}{2}\right) = 832,3 \text{ kg}$$

$$R_{t;no;m;bt2} = 2 F_{fricción} \sin\left(\frac{\gamma_a}{2}\right) \quad (66)$$

$$R_{t;no;m;bt2} = 2 * 291 * \sin\left(\frac{210}{2}\right) = 562,1 \text{ kg}$$

Torque del tambor

Dónde:

$$D_{tambor} = 0,41 \text{ m}$$

Para la banda transportadora 2.

$$Torque_{bt2} = \frac{P_{motor;bt2} * 60 * 10^6}{2\pi\omega_T} \quad (67)$$

$$Torque_{bt2} = \frac{6 * 60 * 10^6}{2 * \pi * 2,4} = 2,3 * 10^6 \text{ N * mm}$$

Siendo

$$\omega_T = \frac{60000 \text{ v}}{\pi D_{tambor}} \quad (68)$$

$$\omega_T = \frac{60000 * 0,5}{\pi * 410} = 23 \text{ rpm (2,4 rad/s)}$$

Momento flector

Dónde:

$$F_t = 1 \text{ m}$$

$$D_{eam} = 1,5 \text{ m}$$

$$D_{eanm} = 1,5 \text{ m}$$

$$M_{bt2;m} = \frac{R_{t;m;bt2}(D_{eam} - F_t)}{4} \quad (69)$$

$$M_{bt2;m} = \frac{832,3 (1,5 - 1)}{4} = 104 \text{ kg m}$$

$$M_{bt2;no;m} = \frac{R_{t;no;m;bt2}(D_{eanm} - F_t)}{4} \quad (70)$$

$$M_{bt2;no;m} = \frac{562,2(1,5 - 1)}{4} = 70 \text{ kg m}$$

Diámetro del eje mínimo del tambor

Dónde:

$$\eta_t = 5,8$$

$$s_{y;4340} = 855 \text{ MPa}$$

$$k_{b;c} = 2,5$$

$$d_{eje;t;bt2} = \left[\frac{16\eta_t}{\pi s_{y;4340}} \sqrt{(k_{b;c} M_{bt2;m})^2 + Torque_{bt2}^2} \right]^{1/3} \quad (71)$$

$$d_{eje;t;bt2} = \left[\frac{16 * 5,8}{\pi * 855} \sqrt{(2,5 * 104)^2 + (2,351 \times 10^6)^2} \right]^{1/3} = 44 \text{ mm}$$

Calculo de carga en los rodillos superiores

Dónde:

$$W_{bl} = 20 \text{ kg/m}$$

$$k_a = 1,1$$

$$M_{pm} = 11 \text{ kg/m}$$

$$S_1 = 1 \text{ m}$$

$$C_{ro} = (W_{bl} + k_a M_{pm}) S_1 \quad (72)$$

$$C_{ro} = (20 + 1,1 * 11)1 = 31 \text{ kg}$$

$$C_{ro;total} = 3 C_{ro} \quad (73)$$

$$C_{ro;total} = 3 * 31 = 93 \text{ kg}$$

Calculo de carga en los rodillos de retorno

Dónde:

$$S_2 = 3 \text{ m}$$

$$C_{ru} = W_{bl} S_2 \quad (74)$$

$$C_{ru} = 20 * 3 = 60 \text{ kg}$$

Velocidad angular de los rodillos

Dónde:

$$d_{rodillos} = 127 \text{ mm}$$

$$\omega_{ro} = \frac{60000 \text{ v}}{\pi d_{rodillos}} \quad (75)$$

$$\omega_{ro} = \frac{60000 * 0,5}{\pi * 127} = 75 \text{ rpm}$$

TABLA F1

Resultados de los cálculos analíticos de las bandas transportadoras 1 y 2

(Parte 1)

variable	descripcion	cantidad	unidades
$F_{A;vacía;sup}$	Fuerza para mover la faja vacía sobre los rodillos superiores	231,2	kg
$F_{R;vacía;ret}$	Fuerza para mover la faja vacía sobre los rodillos de retorno	115,6	kg
$F_{1;vacía}$	Esfuerzo necesario para mover la banda vacía	346,8	kg
$F_{2;llena}$	Esfuerzo necesario para mover el material	191,4	kg
$F_{3;vertical}$	Fuerza necesaria para mover verticalmente el material	32,34	kg
$F_{fricción}$	Fuerza de fricción	291	kg
$F_{total;bt;1}$	Fuerza total en la banda transportadora 1	538	kg
$F_{total;bt;2}$	Fuerza total en la banda transportadora 2	571	kg
$W_{faja;rodillos}$	Peso total de los rodillos y la faja	39	kg/m
$t_{vuelta;bt1}$	Tiempo de vuelta de la banta transportadora 1	11	s
$t_{vuelta;bt2}$	Tiempo de vuelta de la banta transportadora 2	18	s
$P_{h;mat}$	Potencia para traslado horizontal	3	kW
$P_{v;mat}$	Potencia para traslado vertical	0,2	kW
$P_{fricción}$	Potencia por fricción	1,4	kW
$P_{guías;bt1}$	Potencia por guías en banda transportadora 1	0,2	kW
$P_{guías;bt2}$	Potencia por guías en banda transportadora 2	0,4	kW
$P_{teórica;total;bt1}$	Potencia teórica de la banda transportadora 1	3	kW
$P_{teórica;total;bt2}$	Potencia teórica de la banda transportadora 2	5	kW

Elaborado por: César Mejía, Marlon Cando, 2015

TABLA F2

Resultados de los cálculos analíticos de las bandas transportadoras 1 y 2

(Parte 2)

variable	descripcion	cantidad	unidades
$P_{motor;bt1}$	Potencia del motor de la banda transportadora 1	4	kW
$P_{motor;bt2}$	Potencia del motor de la banda transportadora 2	6	kW
$R_{t;m;bt1}$	Fuerza resultante sobre tambor motriz de la banda transportadora 1	773	kg
$R_{t;m;bt2}$	Fuerza resultante sobre tambor motriz de la banda transportadora 2	832	kg
$R_{t;no;m;bt1}$	Fuerza resultante sobre tambor no motriz de la banda transportadora 1	525	kg
$R_{t;no;m;bt2}$	Fuerza resultante sobre tambor no motriz de la banda transportadora 2	562	kg
$Torque_{bt1}$	Torque en el tambor de la banda transportadora 1	1464	kN m
$Torque_{bt2}$	Torque en el tambor de la banda transportadora 2	2351	kN m
$M_{bt1;m}$	Momento flector en el tambor motriz de la banda transportadora 1	97	kg m
$M_{bt2;m}$	Momento flector en el tambor motriz de la banda transportadora 2	102	kg m
$M_{bt1;no;m}$	Momento flector en el tambor no motriz de la banda transportadora 1	66	kg m
$M_{bt2;no;m}$	Momento flector en el tambor no motriz de la banda transportadora 2	70	kg m
$d_{eje;t;bt1}$	Diámetro del eje mínimo del tambor de la banda transportadora 1	37	mm
$d_{eje;t;bt2}$	Diámetro del eje mínimo del tambor de la banda transportadora 2	46	mm
C_{ro}	Carga en los rodillos superiores	31	kg
$C_{ro;total}$	Carga total de los rodillos superiores	93	kg
C_{ru}	Carga en los rodillos de retorno	60	kg
ω_{ro}	velocidad angular de los rodillos	75	rpm

Elaborado por: César Mejía, Marlon Cando, 2015

APÉNDICE G

CALCULOS REPRESENTATIVOS PARA EL DISEÑO DE LA ESTRUCTURA

Columnas

Dónde:

$$W_a = 4.225 \text{ kg}$$

$$W_{est;tpa} = 1.117 \text{ kg}$$

$$W_{est;ta} = 2.246 \text{ kg}$$

$$W_{bt1} = 863 \text{ kg}$$

$$F_1 = F_{a;1} \tag{76}$$

$$F_1 = 6.923 \text{ N}$$

Siendo

$$F_{a;1} = \frac{W_a g}{6} \tag{77}$$

$$F_{a;1} = \frac{4225 * 9,8}{6} = 6.901 \text{ N}$$

$$W_a = W_{est;tpa} + W_{est;ta} + W_{bt1} \tag{78}$$

$$W_a = 1117 + 2246 + 863 = 4.226 \text{ kg}$$

Vigas

Fuerza cortante

Dónde:

$$L_{viga} = 2,5$$

$$x = 2,5 \text{ m}$$

$$W_{est;ta} = 2246 \text{ kg}$$

$$W_{viga;IPE200} = 220 \text{ N/m}$$

$$V_{c;muerta} = W_{c;muerta} x - R_{a;c;muerta} \quad (79)$$

$$V_{c;muerta} = 9024 * 2,5 - 11280 = 11.280 \text{ N}$$

Siendo

$$R_{a;c;muerta} = \frac{W_{c;muerta} L_{viga}}{2} \quad (80)$$

$$R_{a;c;muerta} = \frac{9024 * 2,5}{2} = 11,280 \text{ N}$$

$$W_{c;muerta} = \frac{M_{dis;c;m} g}{L_{viga}} + W_{viga;IPE200} \quad (81)$$

$$W_{c;muerta} = \frac{2246 * 9,8}{2,5} + 220 = 9,024 \text{ N/m}$$

$$M_{dis;c;m} = W_{est;ta} \quad (82)$$

$$M_{diseño;c;muerta} = 2246 \text{ kg}$$

Momento

$$M_{C;muerta} = - \left[W_{C;muerta} \frac{L_{viga}}{2} x - W_{C;muerta} x \frac{x}{2} + M_{a;C;m} \right] \quad (83)$$

$$M_{C;muerta} = - \left[9024 * \frac{2,5}{2} * 2,5 - 9024 * 2,5 * \frac{2,5}{2} + (-4700) \right] = 4700 \text{ Nm}$$

Siendo

$$M_{a;C;m} = \frac{-W_{C;muerta} L_{viga}^2}{12} \quad (84)$$

$$M_{a;C;m} = \frac{-9024 * 2,5^2}{12} = 4700 \text{ Nm}$$

Calculo de esfuerzos

Dónde:

$$A_{rea;1} = 3 \times 10^{-4} \text{ m}$$

Esfuerzos en las columnas

$$\sigma_1 = \frac{F_1}{A_{rea;1}} \quad (85)$$

$$\sigma_1 = \frac{6901}{3 \times 10^{-4}} = 23 \times 10^6 \text{ N/m}^2$$

Esfuerzos en las vigas

Dónde:

$$M_{v;c;viva} = 10439 \text{ N m}$$

$$Z = 25 \times 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$\sigma_{viga;1} = \frac{M_{v;c,viva}}{Z} \quad (86)$$

$$\sigma_{viga;1} = \frac{10439}{25 \times 10^{-5}} = 42 \times 10^6 \text{ N/m}^2$$

Esbeltez

Dónde:

$$r_{giro} = 0,1 \text{ m}$$

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

$$\lambda_{cotum} = \frac{L_e}{r_{giro}} \quad (87)$$

$$\lambda_{cotum} = \frac{2}{0,1} = 20 \text{ m}$$

Siendo

$$L_e = \frac{L}{2} \quad (88)$$

$$L_e = \frac{3}{2} \approx 2 \text{ m}$$

La carga crítica

Dónde:

$$E = 2 \times 10^{11} \text{ Pa}$$

$$I = 25 \times 10^{-7} \text{ m}^4$$

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 E I}{L_{cr}^2} \quad (89)$$

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 * 2 \times 10^{11} * 25 \times 10^{-7}}{2^2} = 1,2 \times 10^6 \text{ N}$$

Siendo

$$L_{cr} = L_e \quad (90)$$

$$L_{cr} = 2 \text{ m}$$

Fuerza del viento

$$F_{W;TA2} = C_{s;C;d} c_f q_p A_{ref;TA2} \quad (91)$$

Determinación de CsCd

$$C_{s;C;d} = 1$$

Determinación de altura y área de referencia

Dónde:

$$b_{TA2} = 2 \text{ m}$$

$$h_{TA2} = 1,4 \text{ m}$$

$$A_{ref;TA2} = b_{TA2} h_{TA2} \quad (92)$$

$$A_{ref;TA2} = 2 * 1,4 = 3 \text{ m}^2$$

Determinación del coeficiente de fuerza para la estructura

$$c_f = 1,8$$

Determinación de presión correspondiente a la velocidad pico

Dónde:

$$c_e = 1$$

$$\rho_{aire} = 1,2 \text{ kg/m}^3$$

$$C_{dir} = 1$$

$$C_{season} = 1$$

$$V_{b;o} = 3 \text{ m/s}$$

$$q_p = c_e q_b \quad (93)$$

$$q_p = 1 * 5 = 5 \text{ Pa}$$

Siendo

$$q_b = \frac{\rho_{aire} V_b^2}{2} \quad (94)$$

$$q_b = \frac{1,2 * 3^2}{2} = 5 \text{ Pa}$$

$$V_b = C_{dir} C_{season} V_{b;o} \quad (95)$$

$$V_b = 1 * 1 * 1 * 3 = 3 \text{ m/s}$$

TABLA G1**Resultados de los cálculos analíticos estructurales (Columna referencial)**

variable	descripcion	cantidad	unidades
F_1	Fuerza total en la columna cuando las tolvas estan vacías	6901	N
F_2	Fuerza total en la columna cuando las tolvas estan llenas	9987	N
$F_{a;1}$	Fuerza en la columna cuando las tolvas estan vacías	6923	N
$F_{a;2}$	Fuerza en la columna cuando las tolvas estan llenas	9987	N
σ_1	Esfuerzo en columna cuando las tolvas estan vacías	23x10 ⁶	N/m ²
σ_2	Esfuerzo en columna cuando las tolvas estan llenas	35x10 ⁶	N/m ²
λ_{column}	Esbeltez mecánica	20	m
L_e	Longitud eficaz	2	m
P_{cr}	Carga critica	1,2x10 ⁶	N
$F_{W;TA1}$	Fuerza del viento 1	67	N
$F_{W;TA2}$	Fuerza del viento 2	28	N
$A_{ref;TA2}$	Area de referencia de tolva de agregados	3	N
$A_{ref;TA1}$	Area de referencia de tolva de cemento	7	N
q_p	Presion correspondiente a la velocidad pico	5	Pa
q_b	Presion correspondiente a la velocidad media	5	Pa
V_b	Velocidad basica del viento	3	m/s

Elaborado por: César Mejía, Marlon Cando, 2015

TABLA G2

Resultados de los cálculos analíticos estructurales (Viga referencial)

variable	descripcion	cantidad	unidades
$V_{C;muerta}$	Fuerza cortante por la carga muerta a la longitud de 2,5 metros	11280	N
$V_{C;viva}$	Fuerza cortante por la carga viva a la longitud de 2,5 metros	25828	N
$R_{a;C;muerta}$	Reacción en nodo "a" por la carga muerta	11280	N
$R_{a;C;viva}$	Reacción en nodo "a" por la carga viva	25828	N
$W_{C;muerta}$	Peso distribuido en la viga por la carga muerta	9024	N
$W_{C;viva}$	Peso distribuido en la viga por la carga viva	20663	N
$M_{diseño;C;muerta}$	Masa de diseño por la carga muerta	2246	kg
$M_{diseño;C;viva}$	Masa de diseño por la carga viva	5266	kg
$M_{C;muerta}$	Momento en viga de carga muerta	4705	N m
$M_{C;viva}$	Momento en viga de carga viva	10762	N m
$M_{a;C;muerta}$	Momento en viga en nodo "a" por carga muerta	-4705	N m
$M_{a;C;viva}$	Momento en viga en nodo "a" por carga viva	-10762	N m
$\sigma_{viga;1}$	Esfuerzo en viga	42x10 ⁶	N/m ²

Elaborado por: César Mejía, Marlon Cando, 2015

TABLA G3

Resultados obtenidos del software SAP2000 (Vigas)

DISEÑO DE ACERO-RESUMEN DE DATOS-AISC LRFD 99			
ITEM	PERFIL	TIPO DE DISEÑO	% DE UTILIZACION
1	IPE100	VIGA	0,4413
2	IPE100	VIGA	0,4497
3	IPE100	VIGA	0,427
4	IPE100	VIGA	0,4413
5	IPE100	VIGA	0,4497
6	IPE100	VIGA	0,427
7	IPE100	VIGA	1,5443
8	IPE100	VIGA	0,6133
9	IPE100	VIGA	0,6264
10	IPE100	VIGA	1,7041
11	IPE100	VIGA	0,6117
12	IPE100	VIGA	0,6439
13	IPE200	VIGA	59,5297
14	IPE200	VIGA	59,2775
15	IPE200	VIGA	59,5297
16	IPE200	VIGA	59,2775
17	IPE200	VIGA	42,7174
18	IPE200	VIGA	38,3888
19	IPE200	VIGA	42,7103
20	L125X12	VIGA	27,9187
21	L125X12	VIGA	41,8418
22	L125X12	VIGA	5,5379
23	L125X12	VIGA	2,4
24	L125X12	VIGA	0,7625
25	L125X12	VIGA	27,9187
26	L125X12	VIGA	41,8418
27	L125X12	VIGA	5,5379
28	L125X12	VIGA	2,4
29	L125X12	VIGA	0,7625
30	L125X12	VIGA	1,3747
31	L125X12	VIGA	1,5253
32	L125X12	VIGA	5,6733
33	L125X12	VIGA	1,4205
34	L125X12	VIGA	1,0555
35	L125X12	VIGA	1,1535
36	L125X12	VIGA	1,3787
37	L125X12	VIGA	1,3787
38	L125X12	VIGA	0,6078
39	L125X12	VIGA	0,96
40	L125X12	VIGA	0,2689
41	L125X12	VIGA	0,6875
42	L125X12	VIGA	1,1535
43	L125X12	VIGA	1,3787
44	L125X12	VIGA	1,3787
45	L125X12	VIGA	0,6078
46	L125X12	VIGA	0,96
47	L125X12	VIGA	0,2689
48	L125X12	VIGA	0,6875
49	L125X12	VIGA	1,0555
50	L125X12	VIGA	1,0237
51	L125X12	VIGA	1,0237
52	L125X12	VIGA	1,0237
53	L125X12	VIGA	0,931
54	L125X12	VIGA	0,931
55	L125X12	VIGA	1,0555
56	L125X12	VIGA	1,7516

Elaborado por: César Mejía, Marlon Cando, 2015

TABLA G4**Resultados obtenidos del software SAP2000 (Amarres)**

DISEÑO DE ACERO-RESUMEN DE DATOS-AISC LRFD 99			
ITEM	PERFIL	TIPO DE DISEÑO	% DE UTILIZACION
1	L125X12	AMARRES	60,0454
2	L125X12	AMARRES	59,5024
3	L125X12	AMARRES	57,0917
4	L125X12	AMARRES	71,9753
5	L125X12	AMARRES	35,6326
6	L125X12	AMARRES	35,7633
7	L125X12	AMARRES	8,4072
8	L125X12	AMARRES	8,9161
9	L125X12	AMARRES	7,4332
10	L125X12	AMARRES	7,3366
11	L125X12	AMARRES	8,9802
12	L125X12	AMARRES	9,213
13	L125X12	AMARRES	59,4469
14	L125X12	AMARRES	60,6723
15	L125X12	AMARRES	72,2968
16	L125X12	AMARRES	55,4661
17	L125X12	AMARRES	35,6286
18	L125X12	AMARRES	35,7236
19	L125X12	AMARRES	8,5164
20	L125X12	AMARRES	8,8971
21	L125X12	AMARRES	7,4835
22	L125X12	AMARRES	7,2725
23	L125X12	AMARRES	9,2201
24	L125X12	AMARRES	9,7418
25	L125X12	AMARRES	6,0693
26	L125X12	AMARRES	5,8477
27	L125X12	AMARRES	6,7873
28	L125X12	AMARRES	6,3601
29	L125X12	AMARRES	7,1882
30	L125X12	AMARRES	7,1735
31	L125X12	AMARRES	8,5889
32	L125X12	AMARRES	8,8842
33	L125X12	AMARRES	7,2348
34	L125X12	AMARRES	7,2046

Elaborado por: César Mejía, Marlon Cando, 2015

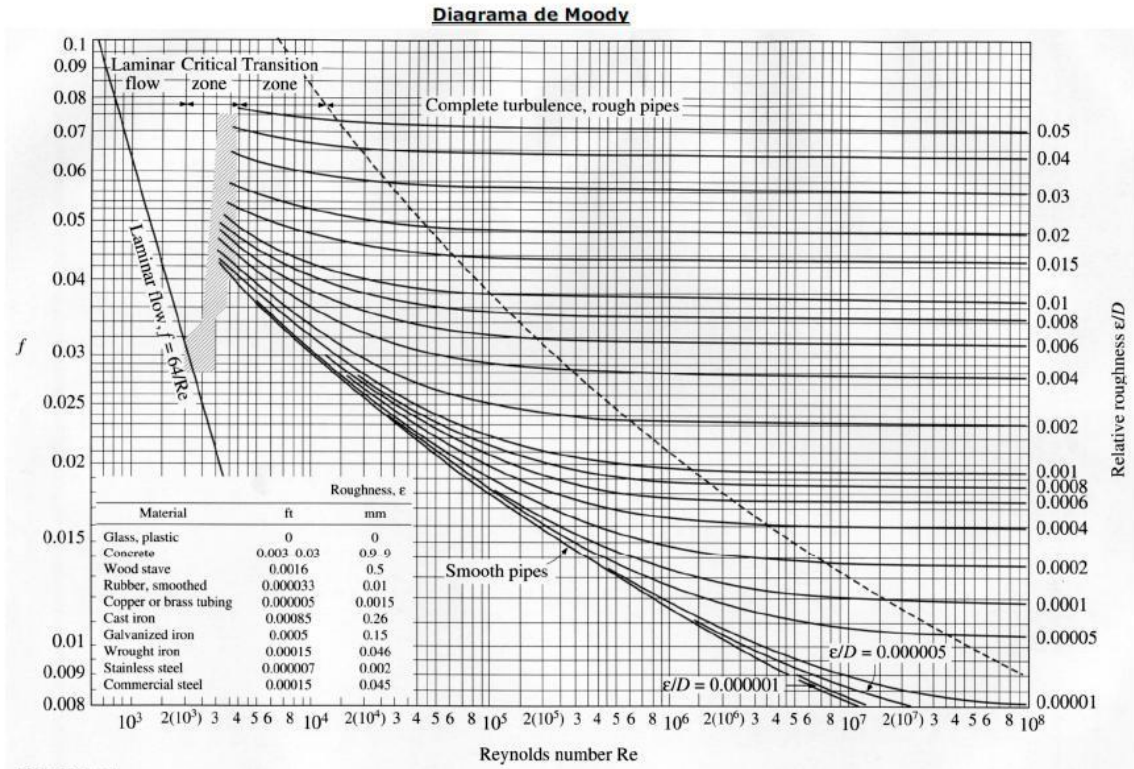
TABLA G5**Resultados obtenidos del software SAP2000 (Columnas)**

DISEÑO DE ACERO-RESUMEN DE DATOS-AISC LRFD 99			
ITEM	PERFIL	TIPO DE DISEÑO	% DE UTILIZACION
1	C100X100X2	COLUMNA	4,6252
2	C100X100X2	COLUMNA	4,6252
3	C100X100X2	COLUMNA	6,2602
4	C100X100X2	COLUMNA	8,0577
5	C100X100X2	COLUMNA	6,2602
6	C100X100X2	COLUMNA	8,0577
7	C100X100X2	COLUMNA	5,4898
8	C100X100X2	COLUMNA	7,0464
9	C100X100X2	COLUMNA	5,4898
10	C100X100X2	COLUMNA	7,0464
11	C125X125X4	COLUMNA	51,36
12	C125X125X4	COLUMNA	51,36
13	C125X125X4	COLUMNA	50,7511
14	C125X125X4	COLUMNA	50,7511
15	C125X125X6	COLUMNA	35,9272
16	C125X125X6	COLUMNA	35,9272
17	HE200B	COLUMNA	33,531
18	HE200B	COLUMNA	59,2703
19	HE200B	COLUMNA	60,4442
20	HE200B	COLUMNA	52,8196
21	HE200B	COLUMNA	33,531
22	HE200B	COLUMNA	59,2703
23	HE200B	COLUMNA	60,4442
24	HE200B	COLUMNA	52,8196
25	HE200B	COLUMNA	33,5312
26	HE200B	COLUMNA	64,6294
27	HE200B	COLUMNA	60,3984
28	HE200B	COLUMNA	52,8282
29	HE200B	COLUMNA	33,5312
30	HE200B	COLUMNA	64,6294
31	HE200B	COLUMNA	60,3984
32	HE200B	COLUMNA	52,8282

Elaborado por: César Mejía, Marlon Cando, 2015

APÉNDICE H

DIAGRAMA DE MOODY



Fuente: Mecánica de fluidos, Frank M. White [35]

FIGURA H.1. Diagrama de moody

APÉNDICE I

CARACTERÍSTICAS DE CILINDROS NEUMÁTICOS

TABLA I1

Características cilindro normalizado DSBC-125-250-PPSA-N3

Característica	Propiedades
Carrera	250 mm
Diámetro del émbolo	125 mm
Rosca del vástago	M27x2
Amortiguación	PPS: amortiguación de fin de recorrido neumática autorregulable
Posición de montaje	indistinto
Corresponde a la norma	ISO 15552
Extremo del vástago	Rosca exterior
Construcción	Émbolo Vástago Tubo perfilado
Detección de la posición	para sensores de proximidad
Variantes	vástago simple
Presión de funcionamiento	0,2 ... 10 bar
Modo de funcionamiento	de doble efecto
Fluido	Aire comprimido según ISO 8573-1:2010 [7:4:4]
Indicación sobre los fluidos de funcionamiento y de mando	Opción de funcionamiento con lubricación (necesaria en otro modo de funcionamiento)
Clase de resistencia a la corrosión KBK	2
Temperatura ambiente	-20 ... 80 °C
Energía del impacto en las posiciones finales	3,3 J
Carrera de amortiguación	45 mm
Fuerza teórica con 6 bar, retroceso	6.881 N
Fuerza teórica con 6 bar, avance	7.363 N
Masa móvil con carrera de 0 mm	2.245 g
Peso adicional por 10 mm de carrera	151 g
Peso básico con carrera de 0 mm	6.611 g
Masa adicional por 10 mm de carrera	63 g
Tipo de fijación	a elegir: con rosca interior con accesorios
Conexión neumática	G1/2
Indicación sobre el material	Conforme con RoHS
Información sobre el material de la tapa	Fundición inyectada de aluminio

Fuente: FESTO

TABLA I2

Características cilindro normalizado DSBG-200-200-PPV-N3

Carrera	1 ... 2.700 mm
Diámetro del émbolo	200 mm
Amortiguación	P: amortiguación por tope elástico/placa a ambos lados PPV: amortiguación neumática regulable a ambos lados
Posición de montaje	indistinto
Extremo del vástago	Rosca exterior
Construcción	Émbolo Vástago Barra de tracción Camisa del cilindro
Detección de la posición	para sensores de proximidad
Variantes	Prolongación de la rosca exterior del vástago Vástago prolongado Gran protección anticorrosiva Doble vástago Juntas termostables hasta máx. 120 °C Posición basculante bloqueada Posición basculante atornillada Perno roscado, lado de la culata trasera Perno roscado en ambos lados Perno roscado en la culata delantera Margen de temperatura: de 0 a 150 °C vástago simple
Presión de funcionamiento	0,6 ... 10 bar
Modo de funcionamiento	de doble efecto
Categoría ATEX para gas	II 2G
Tipo de protección contra explosión de gas	c T4
Categoría ATEX para polvo	II 2D
Tipo de protección contra explosión por polvo	c T120°C
Temperatura ambiente con riesgo de explosión	-20°C ≤ Ta ≤ +60°C
Fluido	Aire comprimido según ISO 8573-1:2010 [7:4:4]
Indicación sobre los fluidos de funcionamiento y de mando	Opción de funcionamiento con lubricación (necesaria en otro modo de funcionamiento)
Marca CE (ver declaración de conformidad)	según la normativa UE sobre protección contra explosión (ATEX)
Clase de resistencia a la corrosión KBK	2 3
Temperatura ambiente	-20 ... 150 °C
Fuerza teórica con 6 bar, retroceso	18.096 N
Fuerza teórica con 6 bar, avance	18.850 N
Masa móvil con carrera de 0 mm	5.348 g
Peso adicional por 10 mm de carrera	97 g
Peso básico con carrera de 0 mm	15.493 g
Masa adicional por 10 mm de carrera	249 g
Conexión neumática	G3/4

Fuente: FESTO

APÉNDICE J

VÁLVULAS GUILLOTINAS

TABLA J1

Tabla para selección de válvula guillotina

DN	A	B	C	D	E	F	G	H	Peso (kg.)	Cil. Estándar	Conex.
50	46	124	100	105	129	178	115	412	9	C100/62	1/4" G
65	46	139	100	115	146	193	115	454	10	C100/77	1/4" G
80	64	154	100	124	162	211	115	497	11	C100/95	1/4" G
100	64	174	100	140	187	231	115	558	14	C100/115	1/4" G
125	70	192	100	150	211	271	140	632	20	C125/143	1/4" G
150	76	217	100	170	237	296	140	703	25	C125/168	1/4" G
200	89	270	122	205	309	358	175	872	44	C160/220	1/4" G
250	114	326	170	240	364	428	220	1032	67	C200/270	3/8" G
300	114	380	170	280	414	478	220	1172	82	C200/320	3/8" G
350	127	438	170	320	500	549	277	1369	135	C250/375	3/8" G
400	140	493	170	350	550	599	277	1499	165	C250/425	3/8" G
450	152	546	170	420	598	680	382	1698	220	C300/475	1/2" G
500	152	620	170	450	658	730	382	1838	280	C300/525	1/2" G
600	178	714	170	530	758	830	382	2118	330	C300/625	1/2" G

Fuente: Válvula de guillotina con forma de tolva. ORBINOX [41]

APÉNDICE K

UNIDAD DE MANTENIMIENTO

TABLA K1

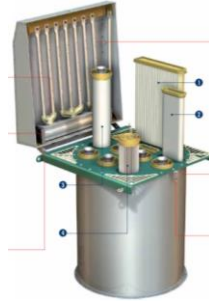
Características de la unidad de mantenimiento

Característica	Propiedades
Tamaño	Midi
Serie	D
Asegurar el accionamiento	Botón giratorio con enclavamiento
Posición de montaje	vertical +/- 5°
Purga del condensado	completamente automático
Construcción	Filtro regulador con manómetro Lubricador proporcional estándar
Cantidad máxima del condensado	43 cm ³
Grado de filtración	5 µm
Funda de protección	Funda protectora metálica
Indicación de la presión	con manómetro
Presión de funcionamiento	2 ... 12 bar
Margen de regulación de la presión	0.5 ... 12 bar
Histéresis máxima de la presión	0.2 bar
Caudal nominal normal	2,100 l/min
Fluido	Aire comprimido según ISO 8573-1:2010 [7:9:-] Gases inertes
Indicación sobre los fluidos de funcionamiento y de mando	Opción de funcionamiento con lubricación (necesaria en otro modo de funcionamiento)
Clase de pureza del aire en la salida	Aire comprimido según ISO 8573-1:2010 [6:8:-] Gases inertes
Temperatura del medio	-10 ... 60 °C
Temperatura ambiente	-10 ... 60 °C
Homologación	Germanischer Lloyd
Peso del producto	1,440 g
Tipo de fijación	Montaje del conducto con accesorios
Conexión neumática 1	G3/4
Conexión neumática 2	G3/4
Indicación sobre el material	Conforme con RoHS
Información sobre el material del cuerpo	Fundición inyectada de cinc
Información sobre el material del vaso del filtro	PC

Fuente: FESTO

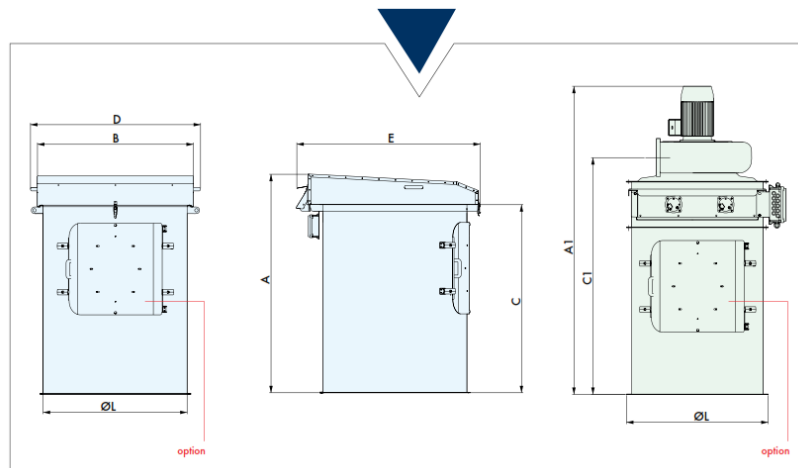
APÉNDICE L

COLECTORES DE POLVOS



Fuente: WAMGROUP

FIGURA L.1. WAMFLO® Flanged Round Dust Collectors



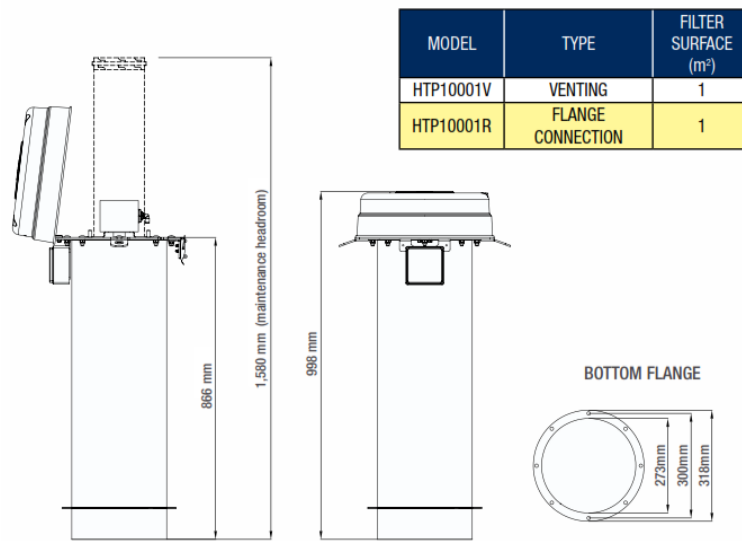
Fuente: WAMGROUP

FIGURA L.2. WAMFLO® Flanged Round Dust Collectors, Dimensionamiento



Fuente: WAMGROUP

FIGURA L.3. HOPPERTOP Weigh Hopper Venting Filter



Fuente: WAMGROUP

FIGURA L.4. HOPPERTOP Weigh Hopper Venting Filter, Dimensionamiento

APÉNDICE M

FACTORES DE RIESGOS

TABLA M1

Factores de riesgos físicos

FACTORES DE RIESGO		RIESGO	MEDIDA DE PREVENCIÓN
FÍSICOS	Exposición a temperaturas extremas	El trabajador sufre alteraciones fisiológicas por encontrarse expuesto a ambientes de: Calor extremo (atmosférico o ambiental). Frio extremo (atmosférico o ambiental).	Capacitación para el uso de ropa adecuada dependiendo el sitio de trabajo
	Ruido	El ruido es un contaminante físico que se transmite por el aire mediante un movimiento ondulatorio. Se genera ruido en: Motores eléctricos o de combustión interna. Escapes de aire comprimido. Rozamientos o impactos de partes metálicas. Máquinas.	Establecer un programa de mantenimiento preventivo de equipos con carácter periódico. Uso obligatorio de EPP, cuando sea necesario (Orejeras). Limitar tiempos de exposición. Limitar el número de trabajadores expuestos.
	Vibración	La exposición a vibraciones se produce cuando se transmite a alguna parte del cuerpo el movimiento oscilante de una estructura. La vibración puede causar discomfort, pérdida de precisión al ejecutar movimientos, pérdida de rendimiento debido a la fatiga, hasta alteraciones graves de la salud Son radiaciones electromagnéticas que no producen ionización. Se presentan en: Hornos microondas. Secaderos industriales. Emisiones de radiofrecuencia. Soldadura. Sales de esterilización. Fusión de metales. Aplicación del láser.	Disminuir el tiempo de exposición y establecer un sistema de rotación de lugares de trabajo
	Radiación no ionizante (UV, IR, electromagnética)		Reducción del tiempo de exposición disminuye la dosis recibida durante el trabajo Uso de protecciones individuales (Pantalla facial, gafas, ropa de trabajo, etc.) se limita al caso de radiación IR o UV.

Fuente: César Mejía, Marlon Cando, 2015

TABLA M2

Factores de riesgos mecánicos

FACTORES DE RIESGO	RIESGO	MEDIDA DE PREVENCIÓN
Atrapamiento en instalaciones	Los empleados y/o visitantes podrían quedar atrapados dentro de las instalaciones	Información y capacitación de los trabajadores. Señalización en todas las maquinarias o equipos, utilización de guardas de seguridad
Circulación de maquinaria y vehículos en áreas de trabajo	Comprende los atropellos de trabajadores por vehículos que circulen por el área en la que se encuentre laborando	Respetar las vías de circulación y la señalización existente.
Trabajo en altura	Comprende caída de personas desde alturas como las caídas en profundidades: De andamios, pasarelas, plataformas, etc... De escaleras, fijas o portátiles. A pozos, excavaciones, aberturas del suelo, etc... ESCALERAS FIJAS Y SUPERFICIES DE TRABAJO Lados abiertos de escaleras y rampas a más de 60 cm de altura sin proteger.	Trabajar siempre con el amés de seguridad sujetado a la línea de vida en alturas mayores a 1.80 metros. Uso obligatorio de EPP, cuando sea necesario (Casco, ams y calzado)
CONTACTOS ELÉCTRICOS INDIRECTOS	Aquellos en los que la persona entra en contacto con algún elemento que no forma parte del circuito eléctrico y que, en condiciones normales, no debería tener tensión, pero que la adquirido accidentalmente (envolvente, órganos de mando, etc.)	No habrá humedades importantes en la proximidad de las instalaciones eléctricas. La puesta a tierra se revisará al menos una vez al año para garantizar su continuidad
Caída de objetos en manipulación	Considera riesgos de accidentes por caídas de materiales, herramientas, aparatos, etc., que se estén manejando o transportando manualmente o con ayudas mecánicas, siempre que el accidentado sea el trabajador que este manipulando el objeto que cae.	Usar cinturón porta herramientas, casco, calzado y anteojos de protección
Espacios confinados	Calidad de aire deficiente: puede haber una cantidad insuficiente de oxígeno para que el trabajador pueda respirar. La atmósfera puede contener alguna sustancia venenosa que haga que el trabajador se enferme o que incluso le provoque pérdida de conocimiento. Las exposiciones químicas debido a contacto con la piel o por ingestión así como inhalación de "aire de baja calidad" Riesgo de incendios; pueden haber atmósferas inflamables/explosivas debido a líquidos inflamables y gases y polvos combustibles que si se entienden pueden llevar a un incendio o a una explosión. Procesos relacionados con riesgos tales como residuos químicos, liberación de contenidos de una línea de suministro.	Capacitación técnica acerca de los tipos de espacios confinados y las medidas de seguridad necesarias para realizar trabajos. Uso de los adecuados EPP para cada tipo de trabajo.

Fuente: César Mejía, Marlon Cando, 2015

TABLA M3

Factores de riesgos ergonómicos y químicos

FACTORES DE RIESGO		RIESGO	MEDIDA DE PREVENCIÓN
ERGONOMICO	Mala manipulación de cargas	La carga física del trabajo se produce como consecuencia de las actividades físicas que se realizan para la consecución de dicha tarea. Consecuencia directa de una carga física excesiva será la fatiga muscular, que se traducirá en patología osteomuscular, aumento del riesgo de accidente, disminución de la productividad y calidad del trabajo, en un aumento de la insatisfacción personal o en incomfort. La fatiga física se estudia en cuanto a trabajos estáticos y dinámicos.	Capacitación adecuada acerca de las normas básicas para levantamiento de cargas y máxima pesos permitidos.
	Sobreesfuerzo	Riesgos originados por el manejo de cargas pesadas o por movimientos mal realizados: Al levantar objetos. Al estrirar o empujar objetos. Al manejar o lanzar objetos	Siempre que sea posible la manipulación de cargas se efectuará mediante la utilización de equipos mecánicos.
	Carga física posición	La carga física del trabajo se produce como consecuencia de las actividades físicas que se realizan para la consecución de dicha tarea. Consecuencia directa de una carga física excesiva será la fatiga muscular, que se traducirá en patología osteomuscular, aumento del riesgo de accidente, disminución de la productividad y calidad del trabajo, en un aumento de la insatisfacción personal o en incomfort. La fatiga física se estudia en cuanto a trabajos estáticos y dinámicos. En cuanto a la posición, clasificaremos los trabajos en cuanto a que se realicen de pie, sentado o de forma alternativa.	De manera general deberá evitarse trabajos que requieran posturas forzadas o extremas de algún segmento corporal o el mantenimiento prolongado de cualquier postura.
QUIMICOS	Polvo inorgánico (mineral o metálico)	Los contaminantes químicos son sustancias de naturaleza química en forma sólida, líquida o gaseosa que penetran en el cuerpo del trabajador por vía dérmica, digestiva, respiratoria o parenteral. El riesgo viene definido por la dosis que a su vez se define en función del tiempo de exposición y de la concentración de dicha sustancia en el ambiente de trabajo.	Evitar la captación por parte de el trabajador (Uso de mascarilla, filtros, equipos autónomos de respiración)
	Gases de combustión		

Fuente: César Mejía, Marlon Cando, 2015

APÉNDICE N

PANEL DE CONTROL PARA MEZCLAS DE HORMIGÓN

Specifications

Materials:

Eight single speed aggregates or four dual speed
Eight single or four dual speed cements
Hot & cold metered or weighed water delivered in two additions
Six metered admixtures configurable as bottle or direct feed

1 Megabyte Data Storage:

2200 mix designs, 750 customers, 125 trucks, 99 materials, 400 orders

State Modes:

MnDOT

Line Voltages:

115 or 230VAC

Frequency:

50 or 60Hz

Power Consumption:

340 mA, maximum @ 115VAC (26W) / 240 mA @ 230VAC (26W)

Full Scale Input Signal:

Up to 40 mV

Excitation Voltage:

10 ± 0.5VDC, 16 x 350Ω or 32 x 700Ω load cells per A/D card

Sense Amplifier:

Differential amplifier with 4 and 6 wire sensing

Analog Signal Input Range:

-10 mV to +40 mV

Analog Signal Sensitivity:

0.3 μV/graduation minimum @ 7.5 Hz
1.0 μV/graduation typical @ 120 Hz
4.0 μV/graduation typical @ 960 Hz

A/D Sample Rate:

7.5 to 960 Hz, software selectable (120 recommended)

Input Impedance:

>35M typical

Internal Resolution:

8 million counts/8 million 23 bit



Note: Factory field installation required, minimum three days on site

Specifications Continued

Serial Ports:

Four ports on CPU board support up to 115,200 bps; optional dual-channel serial expansion boards available
Port 1: Full duplex RS-232
Port 2: RS-232 with CTS/RTS via DB-9 connector; PS/2 keyboard interface
Port 3: Full duplex RS-232, 20 mA output
Port 4: Full duplex RS-232, 2-wire RS-485, 20 mA output

Display:

4.6 in W x 3.4 in H (116 W x 86 mm H), 320 x 240 pixel VGA Liquid Crystal Display (LCD) module with adjustable contrast, 75 Hz scan rate 26,000 cd/m² brightness

Keyboard:

27-key membrane panel, PS/2 port for external keyboard connection

Warranty:

Two-year limited warranty

Fuente: Rice Lake Weighing Systems [44]

**FIGURA N.1. Características del panel de control para mezclas de hormigón
(parte 1)**

Weight Display Resolution:

9,999,999

Input Sensitivity:

10 nV per internal count

System Linearity:

±0.01% full scale

Zero Stability:

±150 nV/°C, maximum

Span Stability:

±3.5 ppm/°C, maximum

Calibration Method:

Software, contents stored in flash memory

Input Voltage Differential:

±800 mV referenced to earth ground

Input Overload:

Load cell signal lines ±10V continuous, ESD protected

RFI/EMI Protection:

Signal, excitation and sense lines protected

Analog Output:

Option card: 16 bit resolution DAC

Load resistance: 1.1 K Ω minimum

Voltage output: 0–10VDC

Current output: 0–20 mA

External loop resistance: 840 Ω maximum

Microcomputer:

Motorola ColdFire[®] MCF5307 main processor at 90 MHz

Digital I/O:

Six I/O channels on CPU board; optional 24-channel I/O expansion boards available

Digital Filter:

Software selectable: 1–256, enhanced RATTLETRAP[®] hybrid digital filtering

Standard Features

- One aggregate and one cement scale, water scale is standard for 93503/93504
- Manual override controls
- Batch tickets with configurable field printing
- 1 megabyte data storage
- Material usage by day/week/month/year and inventory on-hand with reporting
- Automatic aeration control for cement silos and weigh hoppers
- Multiple freefall values per material
- Split batching for loads larger than plant capacity with pre-weighing next batch for maximum throughput
- Automatic dust collection outputs
- Order or load based batching
- US standard or metric (SI) operation
- Aggregate conveyor/skiphoist controls
- Loss in weight aggregate dispensing
- Four dual or eight single speed aggregates
- Four dual or eight single speed cements
- Weighed water with water reservoir
- Four or eight auxiliary manual controls
- Continuous batching with mixer controls for central mix block or precast plants

Optional Features

- Dual moisture probe interface (supports 4–20 mA or 0–10V probes)
- Ethernet TCP/IP

Fuente: Rice Lake Weighing Systems [44]

**FIGURA N.1. Características del panel de control para mezclas de hormigón
(parte 2)**

APÉNDICE O

GENERADOR ELÉCTRICO

Valores de salida		
Modelo de grupo electrógeno - Trifásico	Continua*	Emergencia*
380-415V, 50Hz	60,0 kVA 48,0 kW	65,0 kVA 52,0 kW
480V, 60 Hz	68,8 kVA 55,0 kW	75,0 kVA 60,0 kW

Datos técnicos		
Marca y modelo del motor:	Perkins™ 1103A-33TG2	
Modelo de alternador:	LL1514P	
Panel de control:	1002T	
Bancada:	Acero fabricado de gran resistencia	
Tipo de interruptor:	3 polos MCB / 3 polos MCCB	
Frecuencia:	50 Hz	60 Hz
Velocidad del motor: RPM	1500	1800
Capacidad del depósito de combustible: l (US gal)	219 (57,9)	
Consumo de combustible, Continua: l/h (US gal/h) (carga 100%)	13,6 (3,6)	15,4 (4,1)
Consumo de combustible, Emergencia: l/h (US gal/h) (carga 100%)	14,9 (3,9)	17,0 (4,5)

Fuente: Caterpillar, disponible en <http://iiasacat.com.ec/>

FIGURA O.1. Características del generador eléctrico GEP65-9

APÉNDICE P

ANÁLISIS FINANCIERO

TABLA P1

Sueldos y beneficios

BALANCE DEL PERSONAL MENSUAL										
CARGOS	CARGOS	SALARIO	S.MENSUAL	D.TERCERO	D.CUARTO	VACACIONES	F.DERESERVA	A.PATRONAL	IECESSECAP	T.MENSUAL
GERENTE DE OPERACIONES	1	\$ 2.500,00	\$ 2.500,00		\$ 29,50	\$ 104,17	\$ 208,33	\$ 263,75	\$ 25,00	\$ 3.130,75
JEFE DE PRODUCCIÓN	1	\$ 1.500,00	\$ 1.500,00	\$ 125,00	\$ 29,50	\$ 62,50	\$ 125,00	\$ 158,25	\$ 15,00	\$ 2.015,25
VENDEDOR	1	\$ 900,00	\$ 900,00	\$ 75,00	\$ 29,50	\$ 37,50	\$ 75,00	\$ 94,95	\$ 9,00	\$ 1.220,95
TÉCNICO	4	\$ 700,00	\$ 2.800,00	\$ 233,33	\$ 29,50	\$ 116,67	\$ 233,33	\$ 295,40	\$ 28,00	\$ 3.736,23
CHOFERES	5	\$ 600,00	\$ 3.000,00	\$ 250,00	\$ 29,50	\$ 125,00	\$ 250,00	\$ 316,50	\$ 30,00	\$ 4.001,00
GUARDIAS	2	\$ 600,00	\$ 1.200,00	\$ 100,00	\$ 29,50	\$ 50,00	\$ 100,00	\$ 126,60	\$ 12,00	\$ 1.618,10
TOTAL	14	\$ 6.800,00	\$ 11.900,00	\$ 783,33	\$ 177,00	\$ 495,83	\$ 991,67	\$ 1.255,45	\$ 119,00	\$ 15.722,28

Fuente: César Mejía, Marlon Cando, 2015

TABLA P2

Balance anual del personal

BALANCE DEL PERSONAL ANUAL										
CARGOS	CARGOS	MENSUAL	ANUAL	D.TERCERO / BONO	D.CUARTO	VACACIONES	F.DE RESERVA	A.PATRONAL	IECE/SECAP	T.ANUAL
GERENTE DE OPERACIONES	1	\$ 2.500,00	\$ 30.000,00	\$ 2.500,00	\$ 354,00	\$ 1.250,00	\$ 2.500,00	\$ 3.165,00	\$ 300,00	\$ 40.069,00
JEFE DE PRODUCCION	1	\$ 1.500,00	\$ 18.000,00	\$ 1.500,00	\$ 354,00	\$ 750,00	\$ 1.500,00	\$ 1.899,00	\$ 180,00	\$ 24.183,00
VENDEDOR	1	\$ 900,00	\$ 10.800,00	\$ 900,00	\$ 354,00	\$ 450,00	\$ 900,00	\$ 1.139,40	\$ 108,00	\$ 14.651,40
TÉCNICO	4	\$ 2.800,00	\$ 33.600,00	\$ 2.800,00	\$ 354,00	\$ 1.400,00	\$ 2.800,00	\$ 3.544,80	\$ 336,00	\$ 44.834,80
CHOFERES	5	\$ 3.000,00	\$ 36.000,00	\$ 3.000,00	\$ 354,00	\$ 1.500,00	\$ 3.000,00	\$ 3.798,00	\$ 360,00	\$ 48.012,00
GUARDIAS	2	\$ 1.200,00	\$ 14.400,00	\$ 1.200,00	\$ 354,00	\$ 600,00	\$ 1.200,00	\$ 1.519,20	\$ 144,00	\$ 19.417,20
TOTAL	14	\$ 11.900,00	\$ 142.800,00	\$ 11.900,00	\$ 2.124,00	\$ 5.950,00	\$ 11.900,00	\$ 15.065,40	\$ 1.428,00	\$ 191.167,40

Elaborado por: César Mejía, Marlon Cando, 2015

TABLA P3

Costo anual de producción de m3 de hormigón

COSTO ANUAL DE PRODUCCIÓN		
DEMANDA	m3 HORMIGÓN	COSTOS ANUALES
1 AÑO	25500	\$ 1.854.297,99
2 AÑO	30000	\$ 2.290.603,40
3 AÑO	34500	\$ 2.765.903,61
4 AÑO	42000	\$ 3.535.546,35
5 AÑO	48000	\$ 4.242.655,62

Elaborado por: César Mejía, Marlon Cando, 2015

TABLA P4

Estimación anual de venta de m3 de hormigón

ESTIMACIÓN DE VENTA		
DEMANDA	m3 HORMIGÓN	INGRESOS
AÑO 1	25500	\$ 2.410.587,39
AÑO 2	30000	\$ 2.977.784,42
AÑO 3	34500	\$ 3.595.674,69
AÑO 4	42000	\$ 4.596.210,25
AÑO 5	48000	\$ 5.515.452,30
TOTAL AÑO 1 AL 5		\$ 19.095.709,05

Elaborado por: César Mejía, Marlon Cando, 2015

TABLA P5

Amortización anual con sus pagos mensuales

TABLA DE AMORTIZACION				
PERIODO	AMORTIZACION	INTERESES	CUOTA	SALDO
				\$ 809.012,00
1	\$ 10.625,17	\$ 6.310,29	\$ 16.935,46	\$ 798.386,83
2	\$ 10.708,04	\$ 6.227,42	\$ 16.935,46	\$ 787.678,79
3	\$ 10.791,57	\$ 6.143,89	\$ 16.935,46	\$ 776.887,22
4	\$ 10.875,74	\$ 6.059,72	\$ 16.935,46	\$ 766.011,48
5	\$ 10.960,57	\$ 5.974,89	\$ 16.935,46	\$ 755.050,91
6	\$ 11.046,06	\$ 5.889,40	\$ 16.935,46	\$ 744.004,85
7	\$ 11.132,22	\$ 5.803,24	\$ 16.935,46	\$ 732.872,62
8	\$ 11.219,05	\$ 5.716,41	\$ 16.935,46	\$ 721.653,57
9	\$ 11.306,56	\$ 5.628,90	\$ 16.935,46	\$ 710.347,01
10	\$ 11.394,75	\$ 5.540,71	\$ 16.935,46	\$ 698.952,25
11	\$ 11.483,63	\$ 5.451,83	\$ 16.935,46	\$ 687.468,62
12	\$ 11.573,21	\$ 5.362,26	\$ 16.935,46	\$ 675.895,41
13	\$ 11.663,48	\$ 5.271,98	\$ 16.935,46	\$ 664.231,93
14	\$ 11.754,45	\$ 5.181,01	\$ 16.935,46	\$ 652.477,48
15	\$ 11.846,14	\$ 5.089,32	\$ 16.935,46	\$ 640.631,35
16	\$ 11.938,54	\$ 4.996,92	\$ 16.935,46	\$ 628.692,81
17	\$ 12.031,66	\$ 4.903,80	\$ 16.935,46	\$ 616.661,15
18	\$ 12.125,50	\$ 4.809,96	\$ 16.935,46	\$ 604.535,65
19	\$ 12.220,08	\$ 4.715,38	\$ 16.935,46	\$ 592.315,57
20	\$ 12.315,40	\$ 4.620,06	\$ 16.935,46	\$ 580.000,17
21	\$ 12.411,46	\$ 4.524,00	\$ 16.935,46	\$ 567.588,71
22	\$ 12.508,27	\$ 4.427,19	\$ 16.935,46	\$ 555.080,44
23	\$ 12.605,83	\$ 4.329,63	\$ 16.935,46	\$ 542.474,60
24	\$ 12.704,16	\$ 4.231,30	\$ 16.935,46	\$ 529.770,44
25	\$ 12.803,25	\$ 4.132,21	\$ 16.935,46	\$ 516.967,19
26	\$ 12.903,12	\$ 4.032,34	\$ 16.935,46	\$ 504.064,08
27	\$ 13.003,76	\$ 3.931,70	\$ 16.935,46	\$ 491.060,31
28	\$ 13.105,19	\$ 3.830,27	\$ 16.935,46	\$ 477.955,12
29	\$ 13.207,41	\$ 3.728,05	\$ 16.935,46	\$ 464.747,71
30	\$ 13.310,43	\$ 3.625,03	\$ 16.935,46	\$ 451.437,28
31	\$ 13.414,25	\$ 3.521,21	\$ 16.935,46	\$ 438.023,03
32	\$ 13.518,88	\$ 3.416,58	\$ 16.935,46	\$ 424.504,15
33	\$ 13.624,33	\$ 3.311,13	\$ 16.935,46	\$ 410.879,82
34	\$ 13.730,60	\$ 3.204,86	\$ 16.935,46	\$ 397.149,22
35	\$ 13.837,70	\$ 3.097,76	\$ 16.935,46	\$ 383.311,53
36	\$ 13.945,63	\$ 2.989,83	\$ 16.935,46	\$ 369.365,90
37	\$ 14.054,41	\$ 2.881,05	\$ 16.935,46	\$ 355.311,49
38	\$ 14.164,03	\$ 2.771,43	\$ 16.935,46	\$ 341.147,46
39	\$ 14.274,51	\$ 2.660,95	\$ 16.935,46	\$ 326.872,95
40	\$ 14.385,85	\$ 2.549,61	\$ 16.935,46	\$ 312.487,09
41	\$ 14.498,06	\$ 2.437,40	\$ 16.935,46	\$ 297.989,03
42	\$ 14.611,15	\$ 2.324,31	\$ 16.935,46	\$ 283.377,89

43	\$ 14.725,11	\$ 2.210,35	\$ 16.935,46	\$ 268.652,77
44	\$ 14.839,97	\$ 2.095,49	\$ 16.935,46	\$ 253.812,80
45	\$ 14.955,72	\$ 1.979,74	\$ 16.935,46	\$ 238.857,08
46	\$ 15.072,38	\$ 1.863,09	\$ 16.935,46	\$ 223.784,71
47	\$ 15.189,94	\$ 1.745,52	\$ 16.935,46	\$ 208.594,77
48	\$ 15.308,42	\$ 1.627,04	\$ 16.935,46	\$ 193.286,34
49	\$ 15.427,83	\$ 1.507,63	\$ 16.935,46	\$ 177.858,52
50	\$ 15.548,16	\$ 1.387,30	\$ 16.935,46	\$ 162.310,35
51	\$ 15.669,44	\$ 1.266,02	\$ 16.935,46	\$ 146.640,91
52	\$ 15.791,66	\$ 1.143,80	\$ 16.935,46	\$ 130.849,25
53	\$ 15.914,84	\$ 1.020,62	\$ 16.935,46	\$ 114.934,41
54	\$ 16.038,97	\$ 896,49	\$ 16.935,46	\$ 98.895,44
55	\$ 16.164,08	\$ 771,38	\$ 16.935,46	\$ 82.731,36
56	\$ 16.290,16	\$ 645,30	\$ 16.935,46	\$ 66.441,21
57	\$ 16.417,22	\$ 518,24	\$ 16.935,46	\$ 50.023,99
58	\$ 16.545,27	\$ 390,19	\$ 16.935,46	\$ 33.478,71
59	\$ 16.674,33	\$ 261,13	\$ 16.935,46	\$ 16.804,39
60	\$ 16.804,39	\$ 131,07	\$ 16.935,46	\$ 0,00

Elaborado por: César Mejía, Marlon Cando, 2015

APÉNDICE Q

PLANOS