

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA
SEMIAUTOMÁTICA PARA LA FABRICACIÓN DE BLOQUES
PARA LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN,
DE 3000 UNIDADES DIARIAS DE CAPACIDAD**

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

DIEGO PAÚL MISE CRUZ

diegp17@gmail.com

DIRECTOR: Ing. LUIS FERNANDO JÁCOME JIJÓN

luisfernandojacome@epn.edu.ec

CO-DIRECTOR: Ing. LUIS RICARDO SOTO AYMAR

ricardo.soto@epn.edu.ec

Quito, Noviembre 2014

DECLARACIÓN

Yo, DIEGO PAÚL MISE CRUZ, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría: que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Diego Paúl Mise Cruz

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por DIEGO PAÚL MISE CRUZ, bajo mi supervisión.

Ing. Luis Jácome
DIRECTOR DEL PROYECTO

Ing. Ricardo Soto
COLABORADOR DEL PROYECTO

DEDICATORIA

Este proyecto se lo dedico a Dios por la vida, la salud y la hermosa familia con la que me ha bendecido. Por guiarme y darme la fortaleza para enfrentar las dificultades y problemas que se presentaban, enseñándome a ser paciente y a mantenerme en paz.

Dedicado con mucho cariño a mis padres, Hilda y Néstor, por todo lo que he recibido a lo largo de mi vida.

A mi hermana Anita por su alegría y felicidad que contagia a toda mi familia.

DIEGO MISE

AGRADECIMIENTO

Un agradecimiento infinito a Dios por todas las bendiciones, y por la maravillosa experiencia del desarrollo de este proyecto tan anhelado.

A mis padres quienes ha sido el pilar fundamental en mi formación. Gracias por brindarme su confianza y apoyo incondicional a lo largo de toda mi vida, y en especial en el presente proyecto. A mi querida hermanita Anita por su alegría y motivación en todo momento.

A Guillermo y Matilde por su ayuda y consejos para toda mi familia.

Al Ing. Luis Jácome e Ing. Ricardo Soto que me han guiado para la culminación del presente proyecto de Titulación. Agradezco su paciencia y apoyo absoluto. Además, al Ing. Juan Antonio Serrano por la ayuda desinteresada e inapreciables consejos para el desarrollo del presente proyecto.

A mis amigos, quienes me han acompañado y apoyado durante mi vida estudiantil, muchas gracias.

*“No le digas a Dios cuán grandes son tus problemas,
dile a tus problemas cuán grande es tu Dios”*

DIEGO MISE

CONTENIDO

CONTENIDO	v
CAPÍTULO I.....	1
1.1 INTRODUCCIÓN	1
1.2 OBJETIVOS	1
1.2.1 OBJETIVO GENERAL.....	1
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	1
1.3 ALCANCE.....	2
1.4 JUSTIFICACIÓN.....	2
1.5 ANTECEDENTES	3
1.5.1 RESEÑA HISTÓRICA DE LA FÁBRICA.....	3
1.5.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS BLOQUES.....	4
1.5.3 MATERIALES	5
1.5.4 CHASQUI.....	5
1.5.5 POLVO DE PIEDRA PÓMEZ.....	6
1.5.6 CEMENTO	7
1.5.7 LA IMPORTANCIA DEL AGUA.....	8
1.5.8 MÉTODO DE FABRICACIÓN	8
1.5.9 PROCESOS DE ELABORACIÓN DE BLOQUES	9
1.6 MAQUINARIA INTERNACIONAL.....	13
1.6.1 TIPOS DE MÁQUINAS	13
1.6.2 BANDA TRANSPORTADORA.....	17
1.7 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.....	18
1.7.1 DOCUMENTACIÓN DE LAS ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.....	19
1.7.2 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA EL DISEÑO DE LA MÁQUINA	21
2 CAPÍTULO II.....	22
2.1 INTRODUCCIÓN	22
2.2 CRITERIOS DE SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS	22
2.3 DIAGRAMAS FUNCIONALES	23
2.4 DETERMINACIÓN DE LOS MÓDULOS	23

2.4.1	MÓDULO 1	24
2.4.2	MÓDULO 2	25
2.5	MÓDULO 1	25
2.5.1	FUNCIONES DEL MÓDULO 1.....	25
2.5.2	Almacenamiento y control del flujo de concreto.....	26
2.5.3	Suministrar concreto al molde	26
2.5.4	Distribuir el concreto para garantizar llenado del molde	28
2.5.5	ALTERNATIVAS PARA EL MÓDULO 1	31
2.5.6	CRITERIO DE SELECCIÓN PARA EL SUMINISTRO DE CONCRETO	31
2.5.7	SELECCIÓN DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN	32
2.6	MÓDULO 2	35
2.6.1	Funciones para el módulo 2	35
2.6.2	Colocación y retiro del tablero	35
2.6.3	Colocación del molde sobre tablero y desmolde	35
2.6.4	Compactación del concreto dentro del molde y retiro de los apisonadores.....	36
2.6.5	Vibración	37
2.6.6	ALTERNATIVAS PARA EL MÓDULO 2	38
2.6.7	CRITERIOS DE SELECCIÓN PARA EL MÓDULO 2	39
2.6.8	SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS	40
2.7	PRINCIPIO DEL SISTEMA DE ACCIONAMIENTO	42
2.7.1	Accionamientos mecánicos	43
2.7.2	Accionamientos neumáticos	43
2.7.3	Accionamientos hidráulicos	44
2.7.4	CRITERIOS DE SELECCIÓN PARA SISTEMA DE ACCIONAMIENTO	45
2.8	RESULTADO DE SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS.....	47
2.9	PROTOCOLO DE PRUEBAS	47
2.9.1	Verificación de funciones principales.....	48
2.9.2	Verificación de dimensiones	48
2.9.3	Verificación de movimientos.....	48
2.9.4	Verificación de energía.....	49
2.9.5	Verificación de señales y control.....	49

2.9.6	Resultados	49
3	CAPÍTULO III.....	50
3.1	INTRODUCCIÓN	50
3.2	DISEÑO DE ELEMENTOS Y PARTES	50
3.3	DISEÑO DEL MÓDULO 1: SUMINISTRO DE CONCRETO	51
3.3.1	Tolva	51
3.3.2	Espesor de la lámina de la tolva	55
3.3.3	Movimiento de compuerta	58
3.3.4	Consideraciones para selección del cilindro	61
3.3.5	Selección del cilindro.....	62
3.3.6	Diseño de compuerta	63
3.3.7	Dimensionamiento de los brazos de la compuerta.....	64
3.3.8	Dimensionamiento del eje de los brazos	66
3.3.9	Contenedor	69
3.3.10	Mecanismo de movimiento del contenedor	70
3.4	DISEÑO DEL MÓDULO 2: VIBRACIÓN Y COMPACTACIÓN	78
3.4.1	Molde	79
3.4.2	Compactación.....	80
3.4.3	Movimiento de los apisonadores.....	82
3.4.4	Montaje de los apisonadores	84
3.4.5	Sistema de vibraciones.....	86
3.4.6	Movimiento del molde	112
3.5	NEUMÁTICA.....	117
3.5.1	Consumo de aire comprimido	117
3.5.2	Elementos de control	118
3.5.3	Ciclo de trabajo	120
	CAPITULO IV	121
4.1	INTRODUCCIÓN	121
4.2	CONSTRUCCIÓN DE LOS ELEMENTOS DE LA MÁQUINA	121
4.3	MONTAJE.....	122
4.3.1	Montaje del Módulo 2: Fabricación	122

4.3.2	Detalle de la construcción del Módulo 1: Suministro	127
4.4	PRUEBAS DE CAMPO	131
5	CAPITULO V	132
5.1	INTRODUCCIÓN	132
5.2	COSTOS DE LA MÁQUINA.....	132
5.2.1	COSTOS DIRECTOS.....	132
5.2.2	COSTOS INDIRECTOS	137
5.2.3	COSTO TOTAL DE LA MÁQUINA	140
	CAPITULO VI	141
5.1.	CONCLUSIONES	141
5.2.	RECOMENDACIONES.....	142
	BIBLIOGRAFÍA	143
	ANEXOS	145
	ANEXO 1.....	146
	ANEXO 2.....	149
	ANEXO 3.....	150
	ANEXO 4.....	153
	ANEXO 5.....	154
	ANEXO 6.....	156
	ANEXO 7.....	158
	ANEXO 8.....	160
	ANEXO 9.....	161

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Máquina manual para la fabricación de bloques	3
Figura 1.2. Máquina prensadora utilizada en la fábrica.....	4
Figura 1.3. Extracción del agregado (a) y diversidad de tamaños (b)	6
Figura 1.4. Polvo de piedra pómez.....	6
Figura 1.5. Cemento Armaduro.....	7
Figura 1.6. Tableros de madera con los bloques.....	9
Figura 1.7. Instrumentos empleados	10
Figura 1.8. Mezcladora de eje vertical	11
Figura 1.9. Bloques terminados	12
Figura 1.10. Almacenaje de los bloques.....	12
Figura 1.11. Diagrama de elaboración de los bloques	13
Figura 1.12. Máquina fija automática ECOBLOC	14
Figura 1.13. Funcionamiento de la línea de producción	15
Figura 1.14. Máquina ponedora.....	16
Figura 1.15. Funcionamiento de la máquina ponedora	17
Figura 1.16. Banda transportadora	17
Figura 2.1. Funciones del módulo 1	24
Figura 2.2. Funciones del módulo 2	25
Figura 2.3. Tolva con compuerta.....	26
Figura 2.4. Contenedor móvil para distribuir el concreto	27
Figura 2.5 Flujo directo del concreto	28
Figura 2.6 Molde para fabricar bloques	29
Figura 2.7. Alternativas para el módulo 1	31
Figura 2.8. Movimiento del molde mediante correderas	36
Figura 2.9. Movimiento de los apisonadores mediante correderas	36
Figura 2.10. Molde vibratorio	37
Figura 2.11. Mesa vibratoria	38
Figura 2.12. Alternativas para el módulo 2	39
Figura 3.1. Partes principales de la máquina para fabricar bloques	50
Figura 3.2. Módulos de la máquina: Módulo 1: Suministro de concreto (a), y Módulo 2: Fabricación de bloques (b)	51
Figura 3.3. Tolva simple recta	53
Figura 3.4. Forma de la tolva de almacenamiento.....	54
Figura 3.5. Dimensionamiento de la tolva de almacenamiento.	54
Figura 3.6. Apoyo lateral de la tolva.....	55
Figura 3.7. Estado de carga de la tolva.....	56

Figura 3.8. Distribución de esfuerzos (a) y desplazamientos (b) en la tolva.....	57
Figura 3.9. (a) Posición de apertura y (b) cierre de la compuerta	58
Figura 3.10. Diagrama de cuerpo libre de la compuerta	59
Figura 3.11. Diagrama de cuerpo libre del cilindro y la compuerta.....	60
Figura 3.12. Compuerta de la tolva que pivota sobre el eje	63
Figura 3.13. Estado de carga de la compuerta de la tolva	63
Figura 3.14. Distribución de esfuerzos (a) y desplazamientos (b) en la compuerta	64
Figura 3.15. Diagrama de equilibrio del brazo	65
Figura 3.16. Montaje de la compuerta.....	67
Figura 3.17. Diagrama de fuerzas cortantes y momento flector para el eje	67
Figura 3.18. Movimiento del contenedor: (a) bajo la tolva y (b) sobre el molde	69
Figura 3.19. Mecanismo biela-manivela-corredera.	71
Figura 3.20. Mecanismo para el movimiento del contenedor.....	72
Figura 3.21. Trayectoria de los pares giratorios.....	73
Figura 3.22. Mecanismo obtenido para el movimiento del contenedor	74
Figura 3.23. Descomposición de la velocidad del cilindro	75
Figura 3.24. Velocidad en el par giratorio C.....	75
Figura 3.25. Velocidad en la corredera D.....	76
Figura 3.26. Curva relación de transmisión vs. desplazamiento del contenedor	77
Figura 3.27. Molde para elaborar 10 bloques de 10 [cm] (a) y sus apisonadores (b).....	80
Figura 3.28. Determinación del área de la superficie a compactar.	81
Figura 3.29. Montaje de cilindro al perfil C.....	82
Figura 3.30. Posición superior de lo apisonadores	83
Figura 3.31. Posición inferior de lo apisonadores.....	83
Figura 3.32. Montaje de los apisonadores.....	84
Figura 3.33. Estado de carga de la placa de las correderas	85
Figura 3.34. Distribución de esfuerzos (a) y deformaciones (b) en la placa	85
Figura 3.35. Fuerza perturbadora armónica que resulta de un desbalance.....	87
Figura 3.36. Amplitud adimensional vs. relación de frecuencias, para diferentes valores de ζ	90
Figura 3.37. Transmisibilidad adimensional vs. relación de frecuencias, para diferentes valores de ζ	91
Figura 3.38. Montaje del amortiguador a la máquina universal de ensayos.....	93
Figura 3.39. Curva de carga vs. posición del cabezal móvil.....	93
Figura 3.40. Montaje de los amortigua en paralelo.....	94
Figura 3.41. Curva de desplazamiento del sistema.....	95
Figura 3.42. Amplitudes máximas consecutivas	95
Figura 3.43. Esquema del sistema de vibraciones	104
Figura 3.44. Diagrama de fuerza cortante y momento flector del eje.....	106
Figura 3.45. Diagrama de torque del eje.....	107
Figura 3.46. Variación del momento con la posición del molde	108
Figura 3.47. Posición inferior del molde	112
Figura 3.48. Posición superior del molde.....	113

Figura 3.49. Montaje del molde	113
Figura 3.50. Placa soldada a las correderas	114
Figura 3.51. Estado de carga de la placa	114
Figura 3.52. Distribución de esfuerzos (a) y deformaciones (b) en la placa	115
Figura 3.53. Montaje del mecanismo de elevación	116
Figura 3.54. Manifold con electroválvulas neumáticas.....	119
Figura 3.55. Diagrama neumático y eléctrico de un cilindro doble efecto	119
Figura 3.56. Diagrama camino-paso del proceso de elaboración de bloques	120
Figura 4.1. Estructura del Módulo 1: Distribución (a) y del Módulo 2: Fabricación (b)	122
Figura 4.2. Estructura con los ejes de guía.....	123
Figura 4.3. Placa empernada al molde y soldada a las correderas	123
Figura 4.4. Placa de las correderas de los apisonadores.....	124
Figura 4.5. Montaje de los brazos y el cilindro de compactación	124
Figura 4.6. Bases para la biela y el acople para el cable de acero	125
Figura 4.7. Montaje de los brazos y el sistema de vibraciones	125
Figura 4.8. Montaje de la polea a la estructura	126
Figura 4.9. Módulo 2: Fabricación.....	126
Figura 4.10. Tolva construida	127
Figura 4.11. Montaje de las chumaceras de la compuerta	127
Figura 4.12. Montaje del contenedor y sus guías	128
Figura 4.13. Mecanismo de movimiento del contenedor	128
Figura 4.14. Montaje del cilindro de la compuerta.....	129
Figura 4.15. Módulo 1: Distribución.....	129
Figura 4.16. Máquina semiautomática para fabricar bloques	130
Figura 4.17. Tablero de control eléctrico	131

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Dimensiones de los bloques	5
Tabla 1.2. Modelo de lista de referencia de especificaciones	20
Tabla 1.3 Especificaciones técnicas para el diseño de la máquina	21
Tabla 2.1. Determinación del peso específico de cada criterio	32
Tabla 2.2. Evaluación del criterio distribución	33
Tabla 2.3. Evaluación del criterio funcionalidad	33
Tabla 2.4. Evaluación del criterio mantenimiento	33
Tabla 2.5. Evaluación del criterio desperdicio de concreto	34
Tabla 2.6. Evaluación del criterio costo.....	34
Tabla 2.7. Tabla de conclusiones del módulo 1	34
Tabla 2.8. Evaluación de pesos específicos de criterios.....	40
Tabla 2.9. Evaluación del peso específico de funcionalidad.	40
Tabla 2.10. Evaluación del peso específico del criterio transmisión de vibraciones	41
Tabla 2.11. Evaluación del peso específico del criterio mantenimiento.....	41
Tabla 2.12. Evaluación del peso específico del criterio montaje	41
Tabla 2.13. Evaluación del peso específico del criterio Costo	42
Tabla 2.14. Tabla de conclusiones del módulo 2	42
Tabla 2.15. Evaluación de pesos específicos de criterios.....	45
Tabla 2.16. Evaluación del peso específico del criterio costo.....	45
Tabla 2.17. Evaluación del peso específico de control.....	46
Tabla 2.18. Evaluación del peso específico del criterio mantenimiento.....	46
Tabla 2.19. Tabla de conclusiones.....	46
Tabla 2.20. Resumen de protocolo de pruebas	47
Tabla 3.1 Resultados de la simulación de la tolva.....	57
Tabla 3.2. Factor de corrección según la velocidad de desplazamiento del pistón.....	61
Tabla 3.3. Capacidad de los cilindros para diferentes diámetros y presiones	62
Tabla 3.4 Resultados de la simulación de la compuerta	64
Tabla 3.5. Resultados de la simulación de la placa de la corredera.....	85
Tabla 3.6. Resultados del ensayo para determinar el decremento logarítmico	96
Tabla 3.7. Parámetros del amortiguador y del sistema	98
Tabla 3.8. Parámetros del sistema de vibraciones.....	99
Tabla 3.9. Amplitud de las oscilaciones, magnitud de la fuerza transmitida al soporte y al sistema en el estado estable, para diferentes valores de m y e.	101
Tabla 3.10. Resultados de la simulación	115
Tabla 3.11. Consumo de aire de los cilindros para un ciclo de trabajo.....	118

Tabla 5.1. Costo de materiales	133
Tabla 5.2. Costo elementos normalizados – Material Eléctrico.....	134
Tabla 5.3. Costo elementos normalizados – Material Neumático	135
Tabla 5.4. Costo elementos normalizados – Materiales Varios	136
Tabla 5.5. Resumen de elementos normalizados	136
Tabla 5.6. Costo de maquinado.....	137
Tabla 5.7. Costos de montaje	137
Tabla 5.8. Costos no recuperables	138
Tabla 5.9. Costo de insumos	138
Tabla 5.10. Costos de Ingeniería	139
Tabla 5.11. Costos de imprevistos.....	139
Tabla 5.12. Costo total de la máquina.....	140

SIMBOLOGÍA

A	: Sección
V	: Volumen
n	: Número de ciclos
N	: Fuerza normal
c	: Carrera
fc	: Factor de corrección de la fuerza
W	: Peso del concreto
d	: Diámetro del eje
P	: Carga aplicada
Po	: Carga aplicada al sistema
M	: Masa del sistema
m	: Masa excéntrica
TR	: Transmisibilidad
K_t	: Factor teórico de concentración del esfuerzo, flexión
K_{ts}	: Factor teórico de concentración del esfuerzo, torsión
K_f	: Factor de concentración del esfuerzo por fatiga
K_{fs}	: Factor de concentración del esfuerzo por fatiga
q	: Sensibilidad a la muesca, flexión inversa
q_s	: Sensibilidad a la muesca, torsión inversa
σ_{adm}	: Esfuerzo admisible
$\sigma_{máx}$: Esfuerzo máximo
$M_{máx}$: Momento flector máximo
S_{xx}	: Momento de inercia o módulo de la sección
η	: Factor de seguridad
S_y	: Resistencia a la fluencia
S_{ut}	: Resistencia a la tracción
V_D	: Velocidad lineal de la corredera
V_{cil}	: Velocidad lineal del cilindro
i	: Relación de transmisión

u	: Coeficiente de dinámico de fricción
S_e	: Resistencia a la fatiga
Ma	: Componente de amplitud de momento
Mm	: Componente de momento medio
Ta	: Componente de amplitud de torque
Tm	: Componente de torque medio
σ_a'	: Componente de amplitud de esfuerzo
σ_m'	: Componente de esfuerzo medio
σ_{min}	: Esfuerzo mínimo
x	: Desplazamiento
k	: Constante de rigidez
c	: Coeficiente de amortiguamiento
w	: Velocidad angular
Wn	: Frecuencia natural
r	: Relación de frecuencias
F_{cil}	: Fuerza desarrollada por el cilindro
Fr	: Fuerza de rozamiento
t	: Tiempo
C_c	: Coeficiente de amortiguamiento crítico
ζ	: Factor de amortiguamiento
X	: Amplitud de oscilación
e	: Excentricidad
F_T	: Fuerza transmitida
δ	: Decremento logarítmico
x_j	: Amplitud de oscilación, j
x_{j+1}	: Amplitud de oscilación, j+1
v	: Velocidad lineal
a	: Aceleración
T	: Periodo de ciclo
P'	: Carga dinámica

C'	: Carga dinámica corregida
f_L	: Factor de esfuerzo dinámico
f_n	: Factor de velocidad
Ca	: Consumo de aire comprimido
L	: Longitud
Nc	: Número de ciclos por minuto
Pb	: Presión de aire comprimido

RESUMEN

El presente proyecto de titulación se origina de la necesidad de presentar una alternativa que facilite el proceso de fabricación de bloques para la industria de la construcción, para la fábrica de bloques “Diego Paúl”.

En vista de que el proceso de fabricación se viene desarrollando de forma manual, lo cual implica una baja producción. Se busca automatizar el proceso de fabricación, de manera que se satisfaga a la creciente demanda de los bloques, debido al desarrollo de la industria de la construcción. Se decide diseñar y construir una máquina semiautomática para la fabricación de los bloques, con una capacidad de 3000 unidades por jornada de trabajo.

En el primer capítulo se describe el proceso de fabricación de los bloques y se presenta un estudio de máquinas similares disponibles en el país y en el exterior. Finalmente, se establece las especificaciones técnicas que debe cumplir la máquina.

En el segundo capítulo se plantean las alternativas y se seleccionan las mejores, que se evalúan mediante determinados criterios de selección. Posteriormente, se define el protocolo de pruebas para determinar la funcionalidad de la máquina.

En el tercer capítulo se desarrolla el diseño de los elementos mecánicos a construirse y la selección de elementos normalizados para el ensamblaje de la máquina, considerando las especificaciones técnicas que debe cumplir. Además, se seleccionan los elementos neumáticos y electro neumáticos, que se encargan de los movimientos de la máquina.

En el cuarto capítulo se detalla el proceso de construcción y montaje de la máquina, en base a los planos de taller y conjunto obtenidos. Finalmente, se realiza las pruebas de campo y se registran los resultados obtenidos en los formatos realizados en el protocolo de pruebas.

En el quinto capítulo se realiza el análisis de costos, tomando como referencia los gastos que se realizaron durante la etapa de diseño y construcción de la máquina.

En el capítulo sexto se presentan las conclusiones y recomendaciones obtenidas en la realización del presente proyecto de titulación.

PRESENTACIÓN

El presente proyecto tiene como objetivo diseñar y construir una máquina semiautomática para la fabricación de bloques con mano de obra y materiales disponibles en el mercado nacional, que sea competitiva con máquinas de importación.

Al facilitar el proceso de fabricación mediante la automatización se logra incrementar la producción de bloques, puesto que se reduce el esfuerzo físico por parte de los trabajadores. Lo cual favorece a satisfacer la creciente demanda y generar mayores ingresos para la fábrica.

El proceso de fabricación de bloques de la máquina semiautomática se basa en el proceso manual que se viene realizando, es decir, el proceso de vibro compactación, el cual será automatizado.

CAPÍTULO I GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN

El presente proyecto de titulación contempla el diseño y construcción de una máquina semiautomática para la fabricación de bloques, destinada a una microempresa dedicada a su fabricación para el sector de la construcción desde hace 20 años. El objetivo es obtener una máquina semiautomática de tal manera de facilitar el proceso de fabricación e incrementar la producción, satisfaciendo la creciente demanda del producto.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar y construir una máquina semiautomática para la fabricación de bloques, con una capacidad de 3.000 unidades diarias.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Obtener bloques que cumplan el control de calidad de la fábrica, de las pruebas finales del prototipo construido.
2. Plantear y seleccionar las mejores alternativas que conformarán la máquina.
3. Diseñar los componentes mecánicos y seleccionar los elementos normalizados para la máquina.
4. Construir la máquina y verificar su funcionalidad mediante el protocolo de pruebas.
5. Realizar un estudio económico de la máquina.

1.3 ALCANCE

Para el desarrollo del presente proyecto de titulación se realizarán las siguientes actividades:

- Se recopilará la información necesaria acerca del proceso de fabricación de bloques y las máquinas disponibles en el mercado nacional e internacional.
- Se plantearán las alternativas de funcionamiento de la máquina para la fabricación de bloques y se seleccionarán las más adecuadas.
- Se diseñará la alternativa de diseño seleccionada.
- Se construirán los elementos mecánicos y se ensamblará la máquina para la fabricación de bloques, y se verificará su funcionamiento.
- Se realizará un protocolo de pruebas para evaluar el desempeño del prototipo.
- Se establecerá un análisis de costos del proyecto.

1.4 JUSTIFICACIÓN

Los prefabricados de la construcción civil en general, y los bloques en particular, ostentan una importante demanda en el mercado. En los últimos años, debido al crecimiento del sector de la construcción, los bloques han tenido una creciente demanda, situación que exige incrementar la producción en las fábricas dedicadas a esta actividad.

Los bloques denominados de baja densidad que se fabrican son muy apreciados, debido a que son mucho más livianos y de menor costo, que se refleja en la construcción de una edificación.

El cumplimiento de los objetivos del proyecto mejorará el aprovechamiento de recursos y evitará el sobreesfuerzo humano de los trabajadores, con una mejor protección a su salud en general. Con esta máquina ellos pasarán a ser operadores, limitándose al control de la máquina mediante pulsadores.

Cabe recalcar, que en el país no se construyen máquinas semiautomáticas para la fabricación de bloques. La importación de este tipo de máquina resulta demasiado costosa, además de su adquisición se involucra el transporte, instalación, calibración y su posterior mantenimiento.

La finalidad de construir la máquina con materiales disponible en el mercado nacional es facilitar el mantenimiento y la posibilidad de realizar modificaciones según se requiera.

1.5 ANTECEDENTES

1.5.1 RESEÑA HISTÓRICA DE LA FÁBRICA

La fabricación de bloques se remonta unos 30 años en el Barrio “San Felipe” de la ciudad de Latacunga, lugar donde se ubica la fábrica. La fabricación de bloques se desarrollaba mediante máquinas manuales, que se muestra en la figura 1.1. Actualmente, son muy escasas, por la baja calidad del producto relacionada con el nivel insuficiente de compactación. Además, el esfuerzo físico por parte de los trabajadores es elevado junto con el reducido número de unidades producidas por ciclo, lo que limita la producción.



Figura 1.1. Máquina manual para la fabricación de bloques

Aproximadamente, unos 10 años atrás se empezó a utilizar máquinas mucho más sofisticadas, llamadas “prensadoras”. Las cuales se mantienen en vigencia, y se las encuentra comúnmente en las fábricas que elaboran los bloques. Con esta máquina se obtienen productos de mejor calidad, sin embargo, debido al elevado esfuerzo físico por parte de los trabajadores, se tiene una limitada producción. En la figura 1.2 se muestra la máquina prensadora que se utiliza actualmente.



Figura 1.2. Máquina prensadora utilizada en la fábrica

El uso de bloques es principalmente para la industria de la construcción. Se emplea para las paredes tanto externas como internas, y también en las losas de las viviendas. Actualmente, se tiene una creciente demanda de este producto, especialmente para la ciudad de Guayaquil.

1.5.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS BLOQUES

Los bloques que se fabrican son denominados de baja densidad debido al bajo peso del producto, relacionado con los agregados utilizados. En cuanto a las dimensiones se tienen tres tipos de bloques, que se muestran en la tabla 1.1.

Tabla1.1. Dimensiones de los bloques

Denominación	Ancho promedio	Alto promedio	Largo promedio
comercial	cm	cm	cm
7	6.5	19	37
10	9.0		
15	14.1		

De todos los tipos, el que tiene mayor demanda en el mercado es el bloque con denominación comercial de 10 cm. Por esta razón, la máquina a diseñar en el presente proyecto es destinada a fabricar bloques de 10 cm.

1.5.3 MATERIALES

Los agregados empleados en la fabricación de los bloques son los siguientes:

- Chasqui
- Polvo de piedra pómez
- Cemento
- Agua

Se puede tener un producto de mejor calidad si se añade otros agregados. Sin embargo, esto implica un incremento en el precio.

1.5.4 CHASQUI

Es un agregado liviano natural de origen volcánico. Se lo encuentra en el sector conocido como “El Chasqui”, debido al material que se encuentra en este lugar. En la figura 1.3 (a) y (b) se observa la extracción del agregado y la diversidad de tamaños en los que se encuentra, respectivamente.

Características del agregado:

- Alta porosidad y superficie rugosa
- Tamaños diversos
- Liviano



(a)



(b)

Figura 1.3. Extracción del agregado (a) y diversidad de tamaños (b)

1.5.5 POLVO DE PIEDRA PÓMEZ

Es un material muy fino que se encuentra en las minas ubicadas en las cercanías de la ciudad de Latacunga. En la naturaleza se lo encuentra combinado con piedra pómez. Mediante un proceso de tamizado se separa el polvo de la piedra pómez. Una vez tamizado puede ser utilizado como agregado para la fabricación de los bloques.



Figura 1.4. Polvo de piedra pómez

1.5.6 CEMENTO¹

Se utiliza el cemento Armaduro del Grupo Lafarge, el cual es un cemento destinado para la elaboración de prefabricados.

Denominación del cemento Armaduro:

- Armaduro es un Cemento Hidráulico Compuesto tipo IP.
- Cumple con los requerimientos de la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 490 para un cemento tipo IP.

Las aplicaciones del cemento son:

- Para uso general en prefabricación.
- Especial para prefabricación de elementos de hormigón de todos los tipos.
- Especial para prefabricación de elementos de hormigón pretensados, vigas, losas, dovelas, etc.

Las características del cemento son:

- Regularidad en su calidad.
- Altas resistencias mecánicas a edades tempranas.
- Fraguado rápido que permite acelerar los ciclos de producción.
- Mayor rendimiento.

En la figura 1.5 se observa el cemento utilizado para la fabricación de bloques.



Figura 1.5. Cemento Armaduro

¹ http://www.lafarge.com.ec/wps/portal/ec/2_3_A-Products [Consulta: 10-04-2013]

1.5.7 LA IMPORTANCIA DEL AGUA

El agua juega un papel muy importante en la calidad de bloques que se obtengan. Tanto en su cantidad como en la calidad del agua suministrada. Si no se añade la cantidad adecuada, se obtiene una mezcla muy seca que no permitirá un adecuado fraguado del cemento y que no se logrará un buen acabado superficial. En cambio, si se añade demasiada agua, parte del cemento se pierde al manipular la mezcla y durante el proceso de fabricación de los bloques.

En cuanto a su calidad, se debe utilizar agua lo más limpia posible. Se utiliza agua potable, evitando que esté mezclada con aceites, materia orgánica, u otro tipo de impurezas. Debido a que pueden afectar al fraguado de los bloques, y por ende su calidad.

La mejor forma de añadir el agua es ir añadiendo paulatinamente, hasta que se adquiera la consistencia adecuada de la mezcla, determinada por la experiencia del trabajador.

1.5.8 MÉTODO DE FABRICACIÓN

La fabricación de los bloques se basa en la vibración y compactación combinados, para obtener buenas características como la resistencia mecánica, impermeabilidad, compacidad y un buen acabado superficial.

La vibración permite disminuir el nivel de aire contenido en el concreto del molde, con lo cual se eleva la densidad. Debido a que se disminuye el aire en el interior y se logra un concreto homogéneo.

Mientras que la compactación permite incrementar sus propiedades antes mencionadas. Es importante indicar que el nivel de compactación es relativamente bajo en comparación con otros prefabricados como los adoquines, debido a que las solicitaciones mecánicas a las que es sometido en su aplicación no son elevadas como en el caso de los adoquines.

1.5.9 PROCESOS DE ELABORACIÓN DE BLOQUES

Este proceso consiste en una serie de etapas, que inician desde la dosificación de agregados hasta el retiro del producto elaborado, y su posterior almacenaje. Para lo cual, se necesitan varios elementos adicionales para el proceso de fabricación de bloques.

1.5.9.1 Manipulación de los bloques

Se utilizan tableros de madera con una lámina de plástico sobre la cual se colocan los bloques recién elaborados. La lámina al tener una superficie lisa favorece el retiro de los bloques, una vez que adquieren la resistencia suficiente y mejora el acabado superficial de la base de los bloques. Además, facilita el mantenimiento debido a que solo se requiere cambiar las láminas y se prolonga el tiempo de vida útil de los tableros. En la figura 1.6 se muestra el tablero con la lámina y los bloques recién elaborados.



Figura 1.6. Tableros de madera con los bloques

1.5.9.2 Etapas del proceso de fabricación de los bloques

El proceso de fabricación consta de 5 etapas, que se detallan a continuación:

Dosificación. Para obtener un buen producto, se debe dosificar en cantidades adecuadas los diferentes agregados. Para ello se utiliza una relación que se ha establecido de manera experimental.

Se utiliza como referencia para elaborar medio quintal de cemento, en base al cual se le añaden las distintas cantidades de los materiales para formar el concreto. Debido a que la capacidad de la mezcladora es para medio quintal de cemento. Para cada medio quintal de cemento se utilizan las siguientes cantidades:

- Tres carretillas de chasqui
- Dos carretillas de polvo
- Tres baldes de agua (aproximadamente)

Las carretillas son herramientas que permiten transportar los materiales y a la vez dosificar en base al volumen. En la figura 1.7 se muestran las herramientas utilizadas para la obtención del producto.



Figura 1.7. Herramientas utilizadas

El número de baldes de agua es aproximado, debido a que depende de la humedad de los agregados. Puesto que los agregados son almacenados a la intemperie, su humedad depende del medio ambiente. El agua se adiciona hasta que se obtiene la consistencia adecuada, en base a la experiencia del trabajador.

Mezclado. Algunos años atrás, el mezclado de los materiales se realizaba manualmente. Para lo cual, se utilizaban palas para mezclar los agregados. Con este método de mezclado no se obtenía una mezcla uniforme. Además, era muy agotador para el trabajador y por ende limitaba la producción.

Actualmente, se cuenta con una mezcladora de eje vertical que facilita el mezclado. Permite obtener una mezcla homogénea y es mucho más rápida. En la figura 1.8. se muestra la mezcladora con la que se cuenta en la fábrica. Funciona con un motor eléctrico y mediante un reductor de velocidades se obtiene la velocidad adecuada en las paletas que mezclan los agregados para obtener el concreto.



Figura 1.8. Mezcladora de eje vertical

Distribución. Una vez que se logra una mezcla homogénea y con una consistencia adecuada, mediante una compuerta se deja caer el concreto sobre el piso. Posteriormente, se manipula el concreto mediante palas para el llenado del molde.

Vibración y compactación. Mientras el molde se encuentra vibrando, el trabajador utiliza una pala para colocar el concreto sobre el molde y lo distribuye de tal manera que se llene completamente el molde y retira el exceso. Para que los bloques tengan una buena consistencia, se procede a compactarlos mientras aun el molde se encuentra vibrando, por esta razón se conoce como vibro compactación. Se establecen tiempos experimentalmente. Posteriormente, se realiza el desmolde de los bloques, los cuales quedan asentados sobre los tableros de madera con la lámina de plástico. E inmediatamente se retira el tablero con los bloques para ubicarlos en el piso, como se muestra en la figura 1.9.



Figura 1.9. Bloques terminados

Almacenaje. Una vez ubicados en el lugar destinado para el fraguado y posterior curado de los bloques. Finalmente, se apilan los bloques en columnas de tal manera que facilite el secado y no se ocupe mucho espacio. En la figura 1.10. se observa el almacenaje de los bloques.



Figura 1.10. Almacenaje de los bloques

El proceso de fabricación resumido se muestra en el diagrama de la figura 1.11.

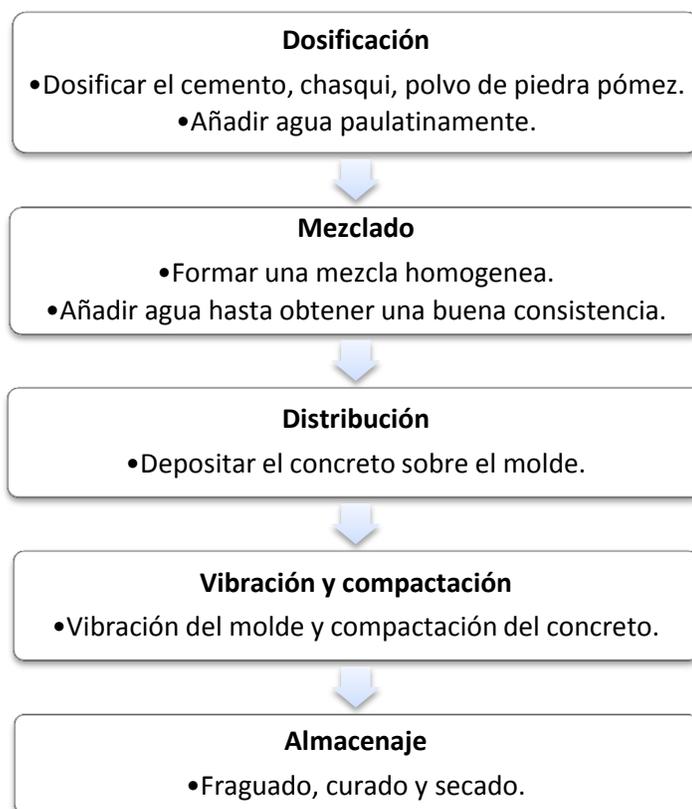


Figura 1.11. Diagrama de elaboración de los bloques

1.6 MAQUINARIA INTERNACIONAL

En el mercado internacional se tiene una gran variedad de máquinas semiautomáticas y automáticas para la producción de bloques.

1.6.1 TIPOS DE MÁQUINAS

En cuanto a su movilidad del sitio de trabajo se pueden encontrar máquinas fijas y móviles. Mientras que, en cuanto a su nivel de automatización, se pueden encontrar máquinas automáticas y semiautomáticas.

1.6.1.1 LÍNEA DE PRODUCCIÓN FIJA²

Consiste en una línea de producción totalmente automatizada. Un ejemplo de estas líneas es la máquina fija ECOBLOC de la empresa CARFEL, que se muestra en la figura 1.12. La cual cuenta con las siguientes características:

- Control totalmente automático por computador.
- Producción de 7.200 bloques por cada 8 horas de trabajo.
- Tolva de abastecimiento de 750 L.
- Equipamento electrónico e hidráulico.
- Mantenimiento sencillo y rápido.



Figura 1.12. Máquina fija automática ECOBLOC

Descripción de funcionamiento:

- Se almacenan los agregados en silos.
- Los agregados y el agua necesaria son dosificados a una mezcladora de la cual se obtiene el concreto.
- El concreto se transporta a una tolva, en la cual es almacenado.

² CARFEL; Catálogo Ecobloc – Ponedora; Portugal; obtenido de: http://www.carfel.pt/docs/Ecobloc_PT-EN.pdf
[Consulta: 15-05-2013]

- En la máquina se procesa el concreto y se obtienen los bloques sobre placas, las cuales ingresa por la parte de atrás de la máquina.
- Un montacargas transporta los bloques para ser almacenados.

En la figura 1.13 se muestra un esquema de funcionamiento de la línea de producción.

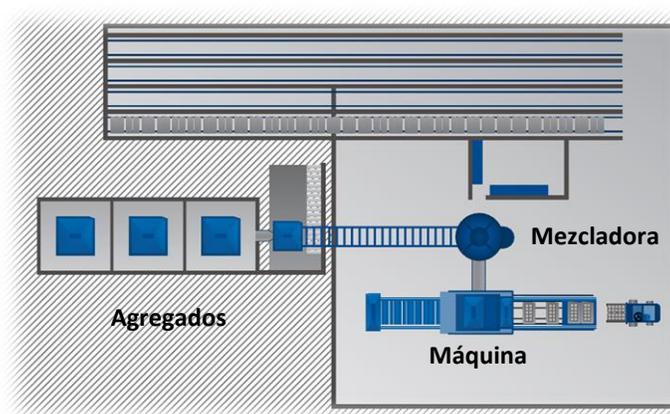


Figura 1.13. Funcionamiento de la línea de producción

En el anexo 1 se muestra el catálogo de la máquina fija ECOBLOC.

1.6.1.2 MÁQUINA MÓVIL O PONDORA³

Consiste en una máquina semiautomática móvil que se desplaza y deposita los bloques sobre el pavimento. Un ejemplo de este tipo es la máquina de bloques ponedora HCF 9 de la empresa CARFEL, que se muestra en la figura 1.14. La cual cuenta con las siguientes características:

- Máquina hidráulica.
- Producción de 5750 bloques por cada 8 horas de trabajo.
- Funcionamiento sencillo y cómodo para el operario, ya que puede estar sentado mientras controla la máquina.

³ CARFEL; Catálogo Ecobloc – Ponedora; Portugal; obtenido de: http://www.carfel.pt/docs/HCF9_PT-EN.pdf
[Consulta: 15-05-2013]

- Mantenimiento mínimo.
- La capacidad de la tolva es de 500 L.



Figura 1.14. Máquina ponedora

Descripción del funcionamiento:

- Los silos dosifican los agregados necesarios para elaborar el concreto.
- Los agregados con el agua son dosificados en una mezcladora, la cual se encuentra en una posición elevada, de la cual se obtiene el concreto.
- A continuación se deja caer el concreto a una tolva instalada sobre un montacargas, en la cual es almacenada y transporta el concreto.
- La máquina recibe el concreto de la tolva del montacargas. Se procesa el concreto y se obtienen los bloques sobre el piso.
- Se deja el tiempo suficiente sobre el piso, para que adquieran la resistencia necesaria para poder ser manipulados.
- Un montacargas transporta los bloques para ser almacenados o para ser cargados a un vehículo para su transporte.

En la figura 1.15 se muestra un esquema de funcionamiento de la máquina ponedora de bloques.

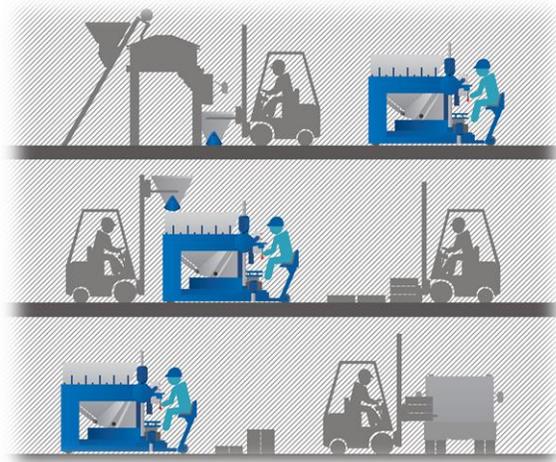


Figura 1.15. Funcionamiento de la máquina ponedora

1.6.2 BANDA TRANSPORTADORA

Las bandas transportadoras son elementos auxiliares, cuya misión es la de recibir un producto para conducirlo a otro punto, que puede ser a una altura mayor o al mismo nivel, según se requiera. En la figura 1.16 se observa una banda transportadora.

Una banda alimenta la tolva a una mayor altura y la otra recibe el material de la mezcladora. De esta manera se almacena el concreto, para su posterior suministro a la máquina para fabricar bloques.



Figura 1.16. Banda transportadora

Consta de los siguientes elementos:

- **Estructura soportante:** la estructura soportante de una cinta transportadora está compuesta por perfiles tubulares o angulares. Sobre esta se ubican las estaciones carga y retorno, mientras que en los extremos se sitúa el rodillo motriz y de cola.
- **Elementos deslizantes:** sobre los cuales se apoya el material. La correa o banda se encuentra en diferentes tamaños y espesores, y su elección dependerá del material a transportar, velocidad, esfuerzo o tensión a la que sea sometida y capacidad de carga a transportar.
- **Elementos motrices:** un motor eléctrico es el que provee la energía necesaria para transportar el material. Además, se requieren un mecanismo para reducir la velocidad como: poleas, engranajes, reductor de velocidad, o un variador de frecuencia. De tal manera que se obtenga la velocidad adecuada de la banda.

Las bandas transportadoras pueden ser adquiridas en el mercado nacional, por lo cual no es necesario diseñar una banda transportadora y se prefiere adquirir una según los requerimientos.

1.7 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS⁴

La decisión de desarrollar un producto parte de la manifestación de una necesidad o del reconocimiento de una oportunidad que puede tener numerosos orígenes comprendidos entre:

- a) La petición explícita de un cliente (producto por encargo/ máquina especial)
- b) Un estudio de mercado de fabricante (nueva oferta, rediseño de un producto)

⁴ RIBA i ROMEVA; (2002); *Diseño Concurrente*; ETSEIB – UPC; pág. 85-87.

La especificación del producto es una manifestación explícita del conjunto de determinaciones, características o prestaciones que debe guiar el diseño y desarrollo.

- **Requerimiento** (R. o especificación necesaria.): Es toda especificación sin la cual la máquina pierde su objetivo.
- **Deseo** (D. o especificación conveniente): Es toda especificación que sin ser necesaria para el objeto de la máquina, mejoraría determinados aspectos de ella.

En este caso se trata de una petición explícita de una máquina especial que no se encuentra disponible en el mercado nacional, y a la vez se parte con un modelo existente como referencia. Con la cual se trata de responder a la creciente demanda del producto de la fábrica.

1.7.1 DOCUMENTACIÓN DE LAS ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Como punto de partida del proceso de diseño conviene organizar las especificaciones de un proyecto en un documento breve denominado documento de especificación. Este contiene las siguientes determinaciones:

- **Concepto:** Facilita la agrupación de las especificaciones (funciones, movimientos, fuerzas) de manera que sean fácilmente localizables.
- **Fecha:** Determina la fecha en la que se acordó una especificación. Es conveniente ordenarlas por fechas cada vez más recientes.
- **Propone:** Constata quien propone cada una de las especificaciones, sea el cliente o el responsable del diseño.
- **Tipo:** Indica la importancia que tiene una especificación, que puede ser un requerimiento (R) o un deseo (D).
- **Descripción:** Explicación breve y concisa de la especificación desde el punto de vista de los requerimientos y deseos del usuario del producto. Se evitan las descripciones que determinen soluciones concretas.

En la tabla 1.2 se muestra el modelo de lista de referencias de especificaciones que se consideran para determinar las especificaciones técnicas.

Tabla 1.2. Modelo de lista de referencia de especificaciones

LISTA DE REFERENCIAS DE ESPECIFICACIONES	
CONCEPTOS	DETERMINACIONES
Función	Descripción de las funciones principales, ocasionales y accidentales del producto (si es necesario, con esquemas).
Dimensiones	Espacios, volúmenes, masas, longitudes, anchuras, alturas, diámetros; número y disposición de elementos.
Movimientos	Tipos de movimiento; desplazamientos, secuencias y tiempos; trayectorias, velocidades y aceleraciones.
Fuerzas	Magnitud, dirección y sentido de fuerzas y momentos; variación en el tiempo; desequilibrios y deformaciones admisibles.
Energía	Accionamientos mecánicos y otros conversores de energía: alimentación y control; transmisiones; potencia y rendimiento.
Materiales	Flujo, transporte y transformación de materiales; limitaciones o preferencias sobre su uso; condicionantes de mercado.
Señales y control	Señales de entrada y salida; sensores y actuadores; funciones del sistema de control.
Fabricación y montaje	Volumen previsto de producción y cadencia en el tiempo; limitaciones o preferencias en procesos y equipamiento;
Transporte y distribución	Embalaje y transporte: dimensiones, masas, orientación, golpes; instalación, montaje y puesta a punto.
Vida útil y mantenimiento	Vida prevista; fiabilidad y mantenibilidad; tipo de mantenimiento e intervalos de servicio; criterios sobre recambios.
Costes y plazos	Costes de desarrollo y preparación de utillaje; plazos de desarrollo y tiempo para el mercado.
Seguridad y ergonomía	Sistemas y dispositivos de seguridad; relación con el usuario: operación, inteligibilidad, confort y aspecto.

1.7.2 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA EL DISEÑO DE LA MÁQUINA

Con este diseño se busca una alternativa para satisfacer la creciente demanda de bloques. Se parte de un proceso de fabricación manual de los bloques, el cual se desea automatizar para incrementar la producción y la calidad del producto.

Una vez realizado el respectivo análisis de los distintos requerimientos y deseos para el diseño de la máquina que se desea obtener, las conclusiones se muestran en la tabla 1.3.

Tabla 1.3. Especificaciones técnicas para el diseño de la máquina

Empresa	Producto	Fecha inicial:	15/03/2013
Fábrica de bloques "Diego Paúl"	Máquina semiautomática para fabricar bloques	Página 1/1	
ESPECIFICACIONES			
Concepto	Fecha	Propone	Descripción
Función	19/03/2013	C C C+I	Fabricar bloques de 10 cm Producción de 3000 unidades de 10 cm por día Facilidad de operación
Dimensiones	19/03/2013	C	Capacidad de tolva 350 l Frecuencia de vibración de 3600 rpm
Movimientos	20/03/2013	C C+I	Movimientos automáticos excepto dosificado Extracción del producto manualmente
Energía	22/03/2013	I	Eléctrica 110 V o 220 V
Señales y control	23/03/2013	I I	Mandos de encendido y accionamiento Coordinación de tiempo manual
Vida útil y mantenimiento	23/03/2013	C	Fácil mantenimiento
Costes y plazos	26/03/2013	C	Presupuesto 10000 dólares

Propone: C= cliente I=Ingeniero

R/D: R= requerimiento NR= Nuevo requerimiento
D= Deseo(Expectativa) MR= Modificar requerimiento

CAPÍTULO II

ESTUDIO, SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS Y PROTOCOLO DE PRUEBAS

2.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se plantearán las alternativas preseleccionadas y se definirán los criterios de evaluación, para seleccionar la mejor alternativa para el diseño de la máquina. Las alternativas seleccionadas pasaran a formar parte de la máquina para la fabricación de bloques.

2.2 CRITERIOS DE SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

Para determinar los criterios se consideran los parámetros indicados en las especificaciones técnicas (Tabla 1.4), Estos criterios son muy importantes, debido a que se estos depende una correcta evaluación de las alternativas. Para la evaluación de las alternativas se utilizará el método ordinal corregido de criterios ponderados.

- **MÉTODO ORDINAL CORREGIDO DE CRITERIOS PONDERADOS⁵**

La mayor parte de las veces, para decidir entre diversas soluciones basta conocer el orden de preferencia de su evaluación global. Es por ello que se recomienda el método ordinal corregido de criterios ponderados que, sin la necesidad de evaluar los parámetros de cada propiedad y sin tener que estimar numéricamente el peso de cada criterio, permite obtener resultados globales suficientemente significativos.

Se basa en unas tablas donde cada criterio (o solución, para un determinado criterio) se confronta con los restantes criterios (o soluciones) y se asignan los valores siguientes:

- 1 Si el criterio (o solución) de las filas es superior (o mejor; >) que el de las columnas

⁵ RIBA i ROMEVA; (2002); *Diseño Concurrente*; ETSEIB – UPC; pág. 59-60.

- 0.5 Si el criterio (o solución) de las filas es equivalente (=) al de las columnas
- 0 Si el criterio (o solución) de las filas es inferior (o peor; <) que el de las columnas

Luego, para cada criterio (o solución), se suman los valores asignados en relación a los restantes criterios (o soluciones) al que se le añade una unidad (para evitar que el criterio o solución menos favorable tenga una valoración nula); después, en otra columna se calculan los valores ponderados para cada criterio (o solución).

Finalmente, la evaluación total para cada solución resulta de la suma de productos de los pesos específicos de cada solución por el peso específico del respectivo criterio

2.3 DIAGRAMAS FUNCIONALES

Es importante la creación de diagramas funcionales, ya que indican la secuencia de las diferentes funciones, las cuales se conectan mediante 3 tipos de entradas y salidas, que son: material, energía y control.

Se presentan en varios niveles, de los cuales, el nivel cero corresponde a la función global, que corresponde a fabricar bloques (Anexo 2).

En el nivel uno, se detalla las funciones generales. Se debe considerar el nivel de automatización, se detallan las funciones con sus respectivas señales (Anexo 2).

En el nivel dos, se tiene un diagrama con mayor detalle. En el cual, se tienen funciones que no son consideradas en el nivel 1 (Anexo 2).

2.4 DETERMINACIÓN DE LOS MÓDULOS

Se obtienen varias ventajas al dividir en módulos o bloques funcionales. Especialmente facilitan realizar un mejor estudio, selección de alternativas y diseño.

Se tiene cuatro funciones generales, las cuales son:

- Dosificación de agregados.
- Mezclado de agregados.

- Transporte concreto.
- Almacenamiento y suministro de concreto.
- Vibración y compactación del concreto.
- Almacenamiento.

De las cuales, la dosificación de los agregados y el almacenamiento se lo realiza manualmente.

El mezclado de los agregados se lo realiza en una mezcladora de eje vertical. La cual, se tiene en la fábrica y no es parte del diseño. Al igual que la banda transportadora que se puede adquirir en el mercado nacional. En el anexo 2 se muestra el diagrama funcional.

2.4.1 MÓDULO 1

Se establece el primer módulo que corresponde al almacenamiento y suministro del concreto (figura 2.1).

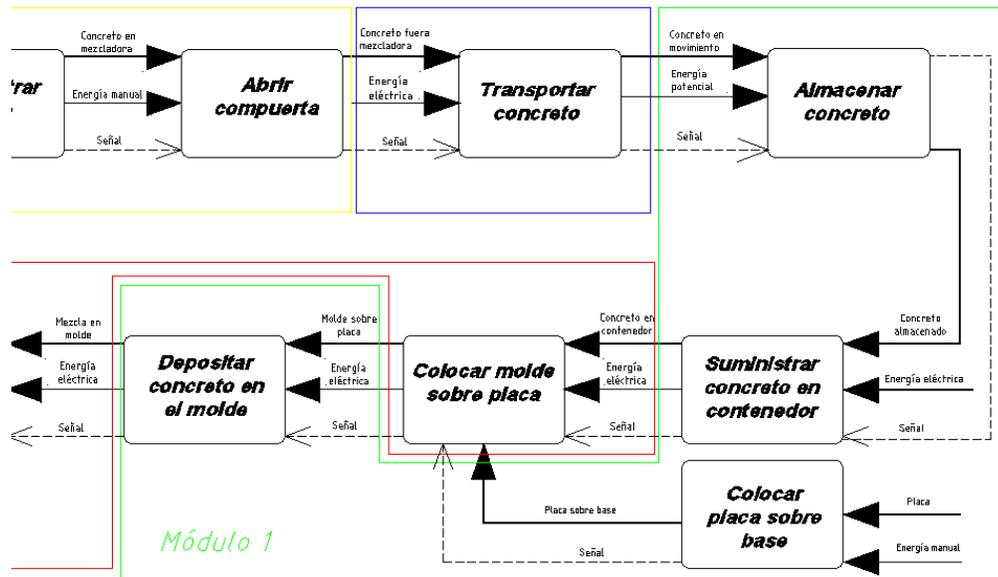


Figura 2.1. Funciones del módulo 1

2.4.2 MÓDULO 2

Este módulo corresponde a la vibración y compactación del concreto, además el desmolde de los bloques (figura 2.2).

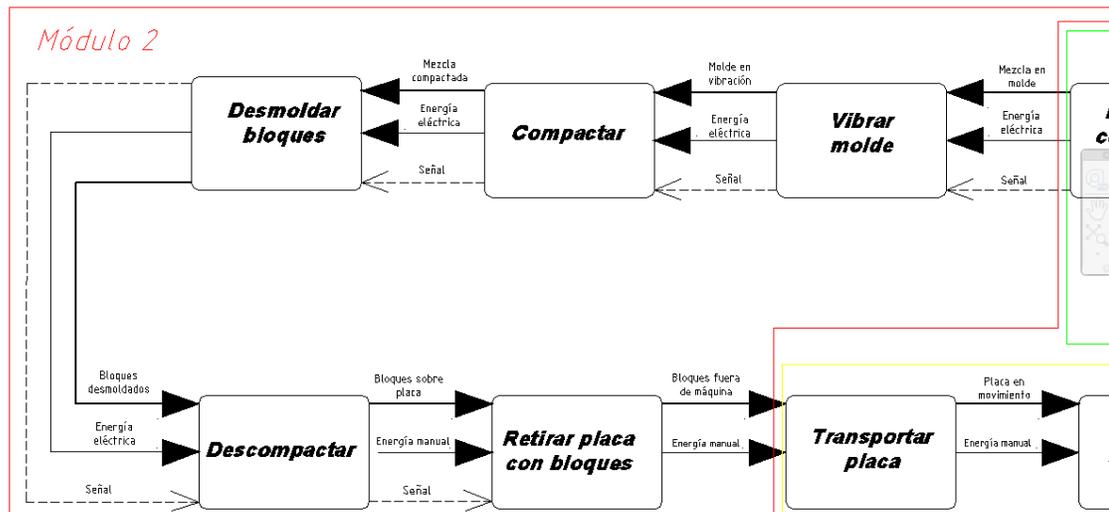


Figura 2.2. Funciones del módulo 2

2.5 MÓDULO 1

Para la selección de este sistema se realizara un análisis entre las alternativas planteadas, seleccionando la alternativa que permita tener la mejor solución. Para su selección se tomará en cuenta las ventajas y desventajas que presenta cada uno de las alternativas.

2.5.1 FUNCIONES DEL MÓDULO 1

En este módulo se tienen tres funciones que se deben llevar a cabo, las cuales son:

- Almacenamiento y control del flujo de concreto
- Suministrar concreto al molde
- Desplazar y agitar concreto para el llenado del molde

2.5.2 Almacenamiento y control del flujo de concreto

La banda transportadora recibe el concreto que sale de la mezcladora. Al final de la banda transportadora se requiere almacenar el concreto para distribuirlo según se requiera en la cantidad suficiente para cada ciclo. Se plantea como solución única, una tolva en la cual se almacena el concreto al final de la banda transportadora.

Para controlar la cantidad y el instante en el que se requiera habilitar el flujo de concreto, se necesita un mecanismo de apertura y cierre para que controle el flujo de concreto. Para ello se selecciona una compuerta para controlar el flujo de concreto (Figura 2.3). De tal manera, que cuando se requiera el concreto se pueda permitir el flujo hasta que se deposite la cantidad suficiente sobre el contenedor, e inmediatamente cerrar la compuerta para bloquear el flujo de concreto.

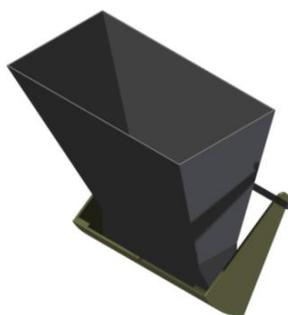


Figura 2.3. Tolva con compuerta

2.5.3 Suministrar concreto al molde

A continuación se presentan dos alternativas para suministrar el concreto al molde. Para lo cual, se puede utilizar un contenedor o permitir el flujo directo al molde.

2.5.3.1 Contenedor móvil

El contenedor se ubica en dos posiciones para lo cual se desplaza en sentido horizontal. En una de las posiciones recibe el concreto de la tolva, para luego desplazarse y colocarse sobre el molde. Una vez sobre el molde, el concreto ingresa sobre las aberturas del mismo (Figura 2.4).

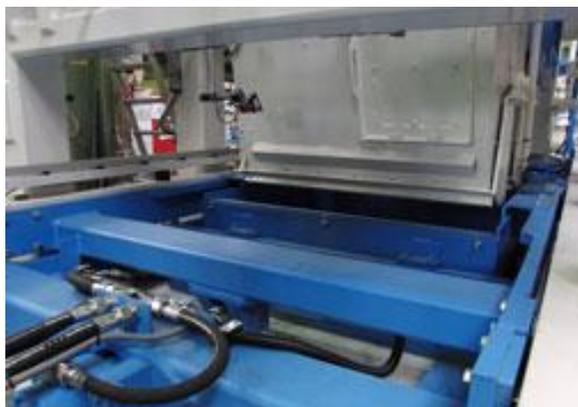


Figura 2.4. Contenedor móvil para distribuir el concreto⁶

Ventajas:

- Buena distribución del concreto.
- Permite reutilizar el concreto sobrante.
- Llenado completo del molde.

Desventajas:

- Dificultad de montaje del sistema.
- Elevado costo.

2.5.3.2 Flujo directo de concreto⁷

Consiste en dejar caer el concreto directamente hacia el molde, para lo cual la tolva debe ubicar al nivel del molde (Figura 2.5). El concreto pasa a través de los apisonadores (módulo 2), que deben ser retirados para facilitar el flujo de concreto.

⁶ Hess Group; Maquinaria y Equipo para la Industria de Productos de Concreto; Pág. 9; obtenido de: <http://www.topwerk.com/es/hess-group/productos/plantas-de-fabricacion-de-bloques-de-hormigon/multimat-rh-2000/> [Consulta: 20-05-2013]

⁷ http://articulo.mercadolibre.com.ve/MLV-406618146-maquina-para-fabricar-bloques-de-concreto-estatica-_JM [Consulta: 25-06-2013]



Figura 2.5 Flujo directo del concreto

Ventajas:

- Bajo costo.
- Sistema sencillo.

Desventajas:

- El concreto sobrante es desperdiciado.
- El concreto no se distribuye sobre todo el molde.
- Los apisonadores impiden el libre flujo del concreto. Además, el concreto se acumulará sobre los apisonadores y se requerirá limpieza de los mismos.
- Los apisonadores deben ser retirados al momento de llenar el concreto. Movimiento adicional de los apisonadores, que implica costo adicional.

2.5.4 Distribuir el concreto para garantizar llenado del molde

El molde para fabricar bloques cuenta con una elevada superficie y las cavidades por las cuales ingresa el concreto son pequeñas (Figura 2.6), lo que dificulta el llenado sobre todo el molde. Por lo cual, se requiere agitar el concreto sobre el molde, de tal manera que se distribuya y se logre el llenado de todo el molde.

Para el caso de suministrar el concreto mediante un contenedor móvil. La distribución del concreto se puede realizar de dos maneras: movimientos alternados del contenedor o agitadores dentro del contenedor. Mientras que para el flujo directo de concreto, es necesario agitadores externos.



Figura 2.6 Molde para fabricar bloques

2.5.4.1 Mediante movimientos alternados del contenedor.

El contenedor se mueve hacia atrás y delante de tal manera de facilitar el llenado de concreto del molde.

Ventajas

- Bajo costo.
- Funcionamiento sencillo.
- Llenado completo del molde.
- Contenedor liviano, facilidad de movimiento.

Desventajas

- Desgaste considerable.
- Alto consumo de energía.

2.5.4.2 Agitadores en contenedor

Con el contenedor sobre el molde, los agitadores tienen un movimiento rotatorio que distribuye el concreto sobre el molde. Se requiere un motor y un reductor de velocidades, para lograr la velocidad angular adecuada para los agitadores.

Ventajas

- Buen llenado de molde.
- Evita que el concreto se aglutine.
- Disminuye el tiempo de llenado del molde.

Desventajas

- Mecanismo complejo.
- Acumulación de concreto en zonas localizadas.
- Aumento de peso del contenedor, dificulta movimiento.
- Costo.
- Mantenimiento.
- Montaje.

2.5.4.3 Agitadores externos

Para el caso del flujo directo son necesarios unos agitadores, ya que el concreto puede depositarse sobre la superficie y no ingresar por las aberturas. Por lo cual, no se logre un llenado completo del molde.

Ventajas

- Llenado uniforme del concreto.
- Funcionamiento sencillo.

Desventajas

- Alto costo.
- Sobrante de concreto es desperdiciado.
- Para reutilizar concreto se requiere una función adicional.

2.5.5 ALTERNATIVAS PARA EL MÓDULO 1

En base a las funciones del módulo 1, se establecen 3 alternativas (Figura 2.7).

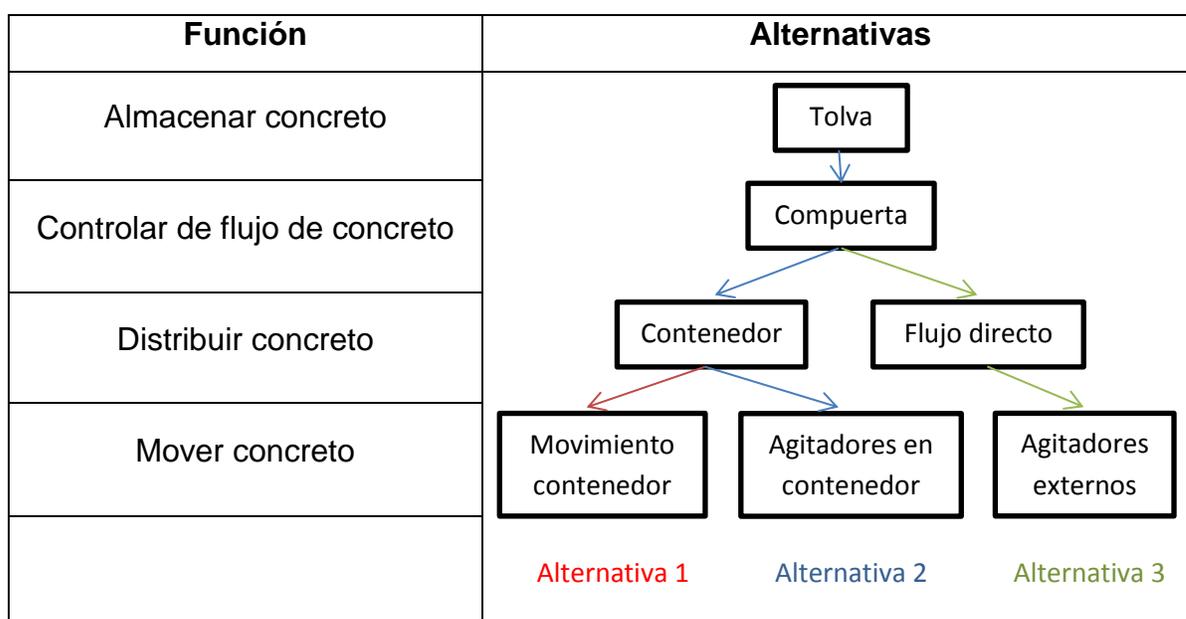


Figura 2.7. Alternativas para el módulo 1

2.5.6 CRITERIO DE SELECCIÓN PARA EL SUMINISTRO DE CONCRETO

Para proceder a seleccionar la máquina para fabricar bloques que cumpla con los requerimientos y especificaciones planteadas, se valoran con un factor de incidencia según su importancia, basado en el método ordinal corregido de criterios ponderados.

Los criterios que se consideran más determinantes son los siguientes:

- Distribución de concreto:** Distribuir el concreto sobre el molde, en la secuencia correcta y la cantidad necesaria. Garantizar que el molde se llene completamente.

- b) **Funcionalidad:** Que el sistema funcione correctamente, y sea de rápido para disminuir el tiempo de ciclo.
- c) **Mantenimiento:** Facilidad de adquisición de repuestos, montaje y desmontaje.
- d) **Desperdicio:** Reutilización del concreto sobrante, ya que se suministra concreto en exceso para asegurar el llenado y se retira el excedente.
- e) **Costo:** El costo del diseño y la construcción del prototipo es una de las especificaciones.

La evaluación de estos criterios se muestra en la tabla 2.1.

Tabla 2.1. Determinación del peso específico de cada criterio

Distribución>Funcionalidad>Desperdicio>Mantenimiento>Costo

CRITERIO	Distribución	Funcionalidad	Mantenimiento	Desperdicio	Costo	$\Sigma+1$	Ponderación
Distribución		1	1	1	1	5	0.33
Funcionalidad	0		1	1	1	4	0.26
Mantenimiento	0	0		0	1	2	0.13
Desperdicio	0	0	1		1	3	0.20
Costo	0	0	0	0		1	0.07
					Suma	15	1.00

2.5.7 SELECCIÓN DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN

Se va a realizar la evaluación de cada uno de los criterios establecidos en la tabla 2.1, para determinar las alternativas más adecuadas que satisfagan los requerimientos.

2.5.7.1 Evaluación del peso específico de las distintas alternativas

Para la evaluación del peso dosificación se tiene la tabla 2.2, en la que se determinó que la alternativa 1 es superior.

Tabla 2.2. Evaluación del criterio distribución

Alternativa 1 > Alternativa 2 > Alternativa 3

DISTRIBUCIÓN	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		1	1	3	0.5
Alternativa 2	0		1	2	0.3
Alternativa 3	0	0		1	0.2
			Suma	6	1.0

En la evaluación del criterio de funcionalidad se llegó a la conclusión que la alternativa 2 es la mejor como se aprecia en la tabla 2.3.

Tabla 2.3. Evaluación del criterio funcionalidad

Alternativa 2 > Alternativa 1 > Alternativa 3

FUNCIONALIDAD	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		0	1	2	0.3
Alternativa 2	1		1	3	0.5
Alternativa 3	0	0		1	0.2
			Suma	6	1.0

La evaluación del criterio mantenimiento se muestra en la tabla 2.4. Se llegó a determinar que la alternativa uno presenta mayor facilidad para realizar el mantenimiento.

Tabla 2.4. Evaluación del criterio mantenimiento

Alternativa 1 > Alternativa 2 > Alternativa 3

MANTENIMIENTO	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		1	1	3	0.5
Alternativa 2	0		1	2	0.3
Alternativa 3	0	0		1	0.2
			Suma	6	1.0

En la tabla 2.5 se observa que las mejores opciones para el criterio desperdicio de concreto es la alternativa 1 y 2.

Tabla 2.5. Evaluación del criterio desperdicio de concreto

Alternativa 1 =Alternativa 2>Alternativa 3

DESPERDICIO	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		0.5	1	2.5	0.4
Alternativa 2	0.5		1	2.5	0.4
Alternativa 3	0	0		1.0	0.2
			Suma	6.0	1.0

La evaluación del criterio de costo se observa en la tabla 2.6, que determina que la alternativa 1 es más económica.

Tabla 2.6. Evaluación del criterio costo

Alternativa 1 >Alternativa 2>Alternativa 3

COSTO	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		0.5	1	2.5	0.42
Alternativa 2	0.5		0.5	2.0	0.33
Alternativa 3	0	0.5		1.5	0.25
			Suma	5.0	1.00

Con la evaluación de cada uno de los criterios, se elabora un resumen de resultados que se muestra en la tabla 2.7. Se concluye que la mejor alternativa es la número 1.

Tabla 2.7. Tabla de conclusiones del módulo 1

PONDERACIÓN	0.33	0.26	0.13	0.20	0.07		
CRITERIO	Dosificación	Funcionalidad	Mantenimiento	Desperdicio	Costo	Suma	Prioridad
Alternativa 1	0.167	0.089	0.067	0.083	0.028	0.433	1
Alternativa 2	0.111	0.133	0.044	0.083	0.022	0.394	2
Alternativa 3	0.056	0.044	0.022	0.033	0.017	0.172	3

2.6 MÓDULO 2

Para la selección se establecen tres alternativas, de las cuales se seleccionará la más adecuada.

2.6.1 Funciones para el módulo 2

Corresponde a la fabricación de los bloques como tal. Cumple con las funciones:

- Colocar molde sobre el tablero y desmolde de los bloques.
- Compactación del concreto dentro del molde y retiro de los apisonadores.
- Vibración.

Una de las funciones que no es parte de este módulo, pero es importante considerarla es la colocación del tablero dentro de la máquina. Y una vez terminado el ciclo, retirar el tablero con los bloques que se lo realiza de forma manual.

2.6.2 Colocación y retiro del tablero

Esta función es realizada de forma manual por un operario que toma los tableros que se encuentran apilados y los va colocando al inicio de cada ciclo. Al final del ciclo, el operador toma el tablero, sobre el cual se han depositado los bloques y lo ubica sobre el piso.

2.6.3 Colocación del molde sobre tablero y desmolde

Para colocar el molde sobre el tablero y realizar el desmolde, se requiere desplazar el molde. Se requiere de dos posiciones, y se desplaza en forma vertical para facilitar el desmolde.

La mejor manera y que se utiliza en las máquinas manuales, es mediante correderas. Por lo tanto, se establece como la solución para esta función (Figura 2.8). Además, se debe tener en cuenta un sistema de aislamiento de vibraciones entre el molde y las correderas.

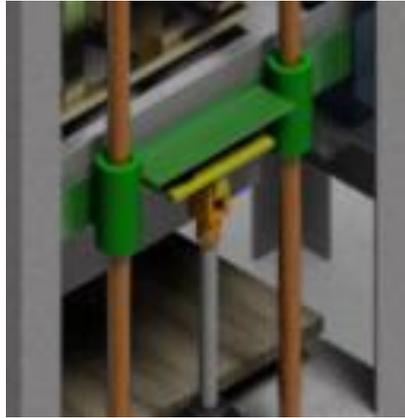


Figura 2.8. Movimiento del molde mediante correderas

2.6.4 Compactación del concreto dentro del molde y retiro de los apisonadores

La compactación del concreto se realiza mediante apisonadores que se desplazan en forma vertical. Descienden para compactar el concreto y ascienden para liberar los bloques y que puedan ser retirados sobre el tablero.

Se plantea la solución, de manera similar al movimiento del molde mediante corredera (Figura 2.9). Y con la ayuda de un actuador se aplica la presión requerida sobre el concreto.

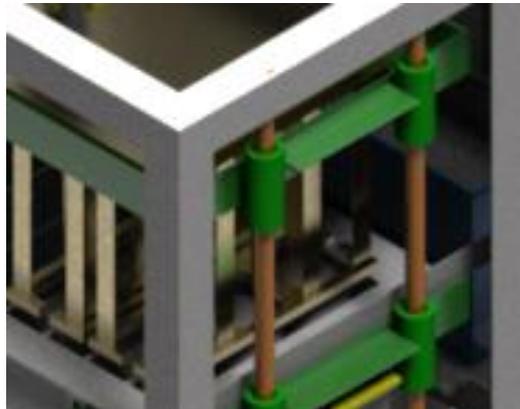


Figura 2.9. Movimiento de los apisonadores mediante correderas

2.6.5 Vibración

Para la generación de las vibraciones se opta por medio de masas excéntricas. Debido a su bajo costo, buena fiabilidad y por ser un mecanismo sencillo. Además, se utiliza en las máquinas manuales, con las cuales se han obtenido buenos resultados.

Se puede transmitir las vibraciones de dos maneras, que pueden ser directamente al molde o mediante una mesa vibratoria sobre la cual se coloca el molde.

2.6.5.1 Molde vibratorio

La vibración se transmite directamente al molde, es decir, el eje con masas excéntricas se coloca sobre el molde (Figura 2.10).

Ventajas:

- Llenado completo del molde de concreto.
- Permite obtener prefabricados de pared delgada.
- Fácil montaje.
- Costo.

Desventajas:

- Peso adicional al molde.
- Desgaste del molde.



Figura 2.10. Molde vibratorio

2.6.5.2 Mesa vibratoria

Se trata de una mesa con un sistema de vibraciones, sobre la cual se ubica el molde para transmitir la vibraciones, En la figura 2.11 se observa la mesa vibratoria sobre la cual se coloca el molde para la elaboración de prefabricados.

Ventajas:

- Mecanismo sencillo.
- No se añade peso al molde.
- Fácil mantenimiento.

Desventajas:

- No recomendado para prefabricados con paredes delgadas.

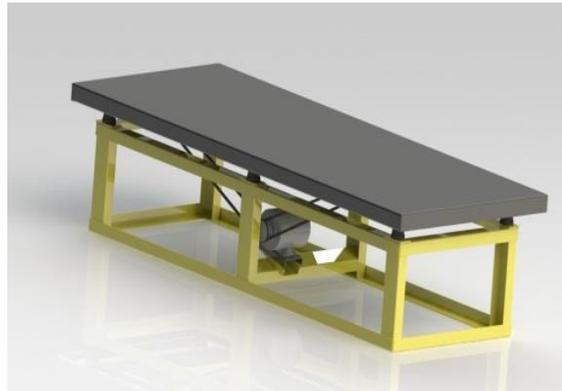


Figura 2.11. Mesa vibratoria

2.6.6 ALTERNATIVAS PARA EL MÓDULO 2

En base a las funciones del módulo 2, se establecen 2 alternativas que se muestra en la figura 2.12.

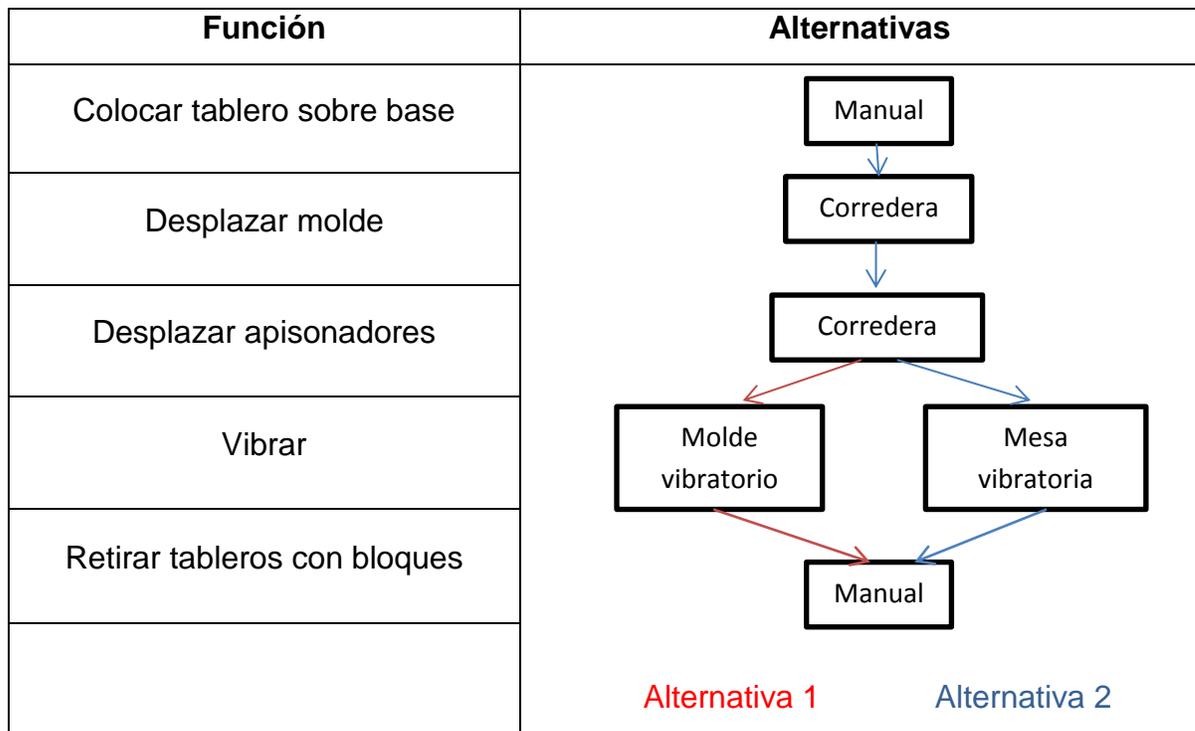


Figura 2.12. Alternativas para el módulo 2

2.6.7 CRITERIOS DE SELECCIÓN PARA EL MÓDULO 2

Para la selección del sistema para fabricar los bloques, encargado de la vibración y compactación, se va a considerar:

- Costo
- Mantenimiento
- Funcionalidad
- Montaje
- Transmisión de vibraciones

La ponderación de estos criterios para una adecuada selección se muestra en la tabla 2.8.

Tabla 2.8. Evaluación de pesos específicos de criterios

Funcionalidad>Transmisión vibraciones>Mantenimiento=Montaje>Costo

CRITERIO	Funcionalidad	Transmisión vibraciones	Mant.	Montaje	Costo	$\Sigma+1$	Ponderación
Funcionalidad		1	1	1	1	5.0	0.33
Transmisión vibraciones	0		1	1	1	4.0	0.27
Mantenimiento	0	0		0.5	1	2.5	0.17
Montaje	0	0	0.5		1	2.5	0.17
Costo	0	0	0	0		1.0	0.07
					Suma	15.0	1

2.6.8 SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

Para la selección de la mejor alternativa para el módulo 2 se realizara la evaluación de los criterios.

2.6.8.1 Evaluación del peso específico de las alternativas

En la evaluación del criterio funcionalidad se tiene la tabla 2.9, en la que se determina que la alternativa 1 es la más adecuada.

Tabla 2.9. Evaluación del peso específico de funcionalidad.

Alternativa 1 > Alternativa 2

FUNCIONALIDAD	Alternativa 1	Alternativa 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		1	2	0.67
Alternativa 2	0		1	0.33
		Suma	3	1.00

En cuanto a la transmisión de vibraciones se tiene en la tabla 2.10 que la alternativa 1 es mejor.

Tabla 2.10. Evaluación del peso específico del criterio transmisión de vibraciones

Alternativa 1 > Alternativa 2

TRANSMISIÓN VIBRACIONES	Alternativa 1	Alternativa 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		1	2	0.67
Alternativa 2	0		1	0.33
		Suma	3	1.00

En la evaluación de mantenimiento se tiene la tabla 2.11 en la que se determina que la alternativa 2 es más adecuada.

Tabla 2.11. Evaluación del peso específico del criterio mantenimiento

Alternativa 2 > Alternativa 1

MANTENIMIENTO	Alternativa 1	Alternativa 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		0	1	0.33
Alternativa 2	1		2	0.67
		Suma	3	1.00

En la evaluación del criterio montaje se muestra en la tabla 2.12 que la alternativa 1 presenta facilidad de montaje.

Tabla 2.12. Evaluación del peso específico del criterio montaje

Alternativa 2 > Alternativa 1

MONTAJE	Alternativa 1	Alternativa 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		1	1	0.67
Alternativa 2	0		2	0.33
		Suma	3	1.00

Para la evaluación del costo se tiene la tabla 2.13 en la que se llega a la conclusión que la alternativa 2 es más económica.

Tabla 2.13. Evaluación del peso específico del criterio Costo

Alternativa 2 > Alternativa 1

FUNCIONALIDAD	Alternativa 1	Alternativa 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		0	1	0.33
Alternativa 2	1		2	0.67
		Suma	3	1.00

Analizando las distintas evaluaciones y con el peso específico para cada una de ellas se obtiene en la tabla 2.14 que la mejor alternativa es la número 1, que consiste en un molde vibratorio.

Tabla 2.14. Tabla de conclusiones del módulo 2

PONDERADO	0.33	0.27	0.17	0.17	0.07		
CONCLUSIÓN	Funcionalidad	Transmisión vibraciones	Mantenimiento	Montaje	Costo	Suma	Prioridad
Alternativa 1	0.221	0.181	0.056	0.144	0.023	0.625	1
Alternativa 2	0.109	0.089	0.114	0.056	0.047	0.445	2

2.7 PRINCIPIO DEL SISTEMA DE ACCIONAMIENTO

Para la selección del sistema de accionamiento se presentan tres alternativas de diseño.

Los dispositivos que requieren de accionamientos son:

- Compuerta de la tolva.
- Movimiento de contenedor.
- Desplazamiento de molde.
- Desplazamiento de apisonadores.

2.7.1 Accionamientos mecánicos

Mediante motores, reductores de velocidad y embragues para realizar los movimientos.

Ventajas:

- Elevada velocidad.
- Posicionamiento.

Desventajas:

- Dificultad para obtener movimientos lineales.
- Construcción y montaje.
- Alto costo.
- Desgaste de elementos mecánicos.

2.7.2 Accionamientos neumáticos

Un compresor suministra aire comprimido para poner funcionamiento los cilindros neumáticos, que son controlados mediante válvulas.

Ventajas:

- Rápido accionamiento de los actuadores.
- Fácil montaje.
- Fácil mantenimiento.
- Bajo costo.
- Facilidad de obtener movimientos rectilíneos.
- Lubricación automática.

Desventajas:

- El aire con el que se trabaja necesita ser tratado para el funcionamiento adecuado de los dispositivos neumáticos.
- La fuerza que desarrollan los actuadores es baja.

2.7.3 Accionamientos hidráulicos

Una bomba suministra aceite a presión para el accionamiento de los cilindros, que son controlados por válvulas.

Ventajas:

- La fuerza desarrollada por los actuadores es elevada.
- Elevado tiempo de vida útil.
- Elementos robustos.
- Elementos siempre lubricados.
- Facilidad de obtener movimientos rectilíneos.
- Facilidad de posicionamiento.

Desventajas:

- Elevado costo.
- Velocidad lenta de los actuadores.
- Circuitos complejos, requiere elementos adicionales.

2.7.4 CRITERIOS DE SELECCIÓN PARA SISTEMA DE ACCIONAMIENTO

Se consideran los siguientes criterios:

- **Costo:** Influye directamente en el costo total de la máquina.
- **Control:** Régimen y velocidad de trabajo. Capacidad a desarrollar.
- **Mantenimiento:** Facilidad para el ensamblaje de la máquina, y posterior reemplazo de elementos.

Estos criterios son evaluados para la determinación de su peso específico para una adecuada selección de la mejor alternativa para el sistema de agitación, estos valores se determinan en la tabla 2.15.

Tabla 2.15. Evaluación de pesos específicos de criterios.

Control>Costo>Mantenimiento

CRITERIO	Costo	Control	Mantenimiento	$\Sigma+1$	Ponderación
Costo		0	1	2	0.33
Control	1		1	3	0.50
Mantenimiento	0	0		1	0.17
			Suma	6	1.00

2.7.4.1 Evaluación del peso específico de las alternativas

El aspecto económico se evalúa según la tabla 2.16. Se determinó que la alternativa 2 se encuentra más acorde a los requerimientos.

Tabla 2.16. Evaluación del peso específico del criterio costo.

Alternativa 2>Alternativa 1=Alternativa 3

COSTO	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		0	0.5	1.5	0.25
Alternativa 2	1		1	3.0	0.50
Alternativa 3	0.5	0		1.5	0.25
			Suma	6.0	1.00

El criterio control es evaluado en la tabla 2.17, en el que se determina que la alternativa 1 es la que presenta mejores características.

Tabla 2.17. Evaluación del peso específico de control

Alternativa 2 =Alternativa 3>Alternativa 1

DIMENSIONES	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		0	0	1.0	0.16
Alternativa 2	1		0.5	2.5	0.42
Alternativa 3	1	0.5		2.5	0.42
			Suma	6.0	1.00

En la evaluación del criterio mantenimiento, mostrado en la tabla 2.18 se llegó a la conclusión que la alternativa 1 se acerca a los requerimientos.

Tabla 2.18. Evaluación del peso específico del criterio mantenimiento

Alternativa 2>Alternativa 3>Alternativa 1

MONTAJE	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		0	0.5	1.5	0.25
Alternativa 2	1		1	3.0	0.50
Alternativa 3	0.5	0		1.5	0.25
			Suma	6.0	1.00

Una vez realizada las distintas evaluaciones de cada uno de los criterios para las distintas alternativas se llegan a la conclusión que la número 2 (accionamientos neumáticos), satisface los requerimientos como se puede observar en la tabla 2.19.

Tabla 2.19. Tabla de conclusiones

PONDERADO	0.33	0.50	0.17		
CONCLUSIÓN	Costo	Control	Montaje	Suma	Prioridad
Alternativa 1	0.083	0.08	0.083	0.246	3
Alternativa 2	0.166	0.21	0.166	0.542	1
Alternativa 3	0.083	0.21	0.083	0.376	2

2.8 RESULTADO DE SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

Según las alternativas especificadas para cada sistema se llega a la conclusión que el prototipo estará conformado por un sistema de distribución conformado por una tolva y que suministrará el concreto mediante un contenedor móvil. Para garantizar el llenado del molde se realizarán movimientos alternados del contenedor. Se opta por un molde vibratorio (masas excéntricas) y apisonadores que se desplazan en forma vertical para cumplir con sus funciones.

La empresa cuenta con la mezcladora para el concreto. Se adquirirá una banda transportadora, la cual está disponible en el mercado. La cual, transporta el concreto hacia la tolva para su almacenamiento y posterior distribución. El accionamiento de la máquina será mediante actuadores neumáticos.

2.9 PROTOCOLO DE PRUEBAS

Este documento tiene por objeto definir las pruebas que garantizan la funcionalidad y operatividad de la maquina semiautomática para fabricación de bloques, de acuerdo a lo establecido en la tabla 1.4 que contiene las especificaciones técnicas. Las pruebas verificarán la función, movimientos, fuerzas, energía, etc.

Las pruebas serán realizadas por la persona encargada del diseño, conjuntamente con el propietario de la máquina y sus operarios. Durante la realización de las pruebas se llenará los formularios incluidas en el Anexo 3.

Tabla 2.20. Resumen de protocolo de pruebas

FORMATOS DE PROTOCOLO DE PRUEBAS	
CÓDIGO	ESPECIFICACIÓN
MB-01	Verificación de funciones principales
MB-02	Verificación de dimensiones
MB-03	Verificación de movimientos
MB-04	Verificación de energía
MB-05	Verificación de señales y control
MB-06	Resultados

*MB: Máquina para fabricar bloques

2.9.1 Verificación de funciones principales

Se dosifican los agregados y se añade la cantidad necesaria de agua, en la mezcladora hasta obtener una mezcla homogénea. El concreto es transportado mediante la banda transportadora hasta la tolva, en la cual se almacena. Una vez que se tenga el concreto suficiente en la tolva, se inicia con la prueba de la máquina.

Se coloca un tablero con la lámina de plástico sobre la base y se desciende el molde. Se inicia el ciclo abriendo la compuerta de la tolva, para el llenado del contenedor. Se enciende el motor del sistema de vibraciones y se ubica el contenedor sobre el molde, se efectúan movimientos alternados del contenedor. Una vez lleno el molde, se retira el contenedor hacia la posición posterior. Una vez retirado el contenedor, descienden los apisonadores de tal manera de compactar el concreto. Luego de un determinado tiempo el molde asciende y posteriormente los apisonadores son retirados. Se tienen los bloques fabricados y colocados sobre el tablero. Se retira el tablero con los bloques, se coloca otro tablero y se inicia nuevamente el ciclo.

Todos estos parámetros se los registrará en el formato MB-01. (Anexo 3)

2.9.2 Verificación de dimensiones

Con la ayuda de un flexómetro se determinara el cumplimiento de las dimensiones citadas en el formato MB-02. (Anexo 3)

Se utilizará un flexómetro para comprobar las dimensiones de la máquina y los bloques elaborados. Se verificará las dimensiones del contenedor, distancia entre molde y apisonadores.

2.9.3 Verificación de movimientos

El concreto será desplazado horizontalmente desde la parte inferior de la tolva hasta colocarse sobre la tolva. Se revisará que el contenedor se posicione totalmente sobre el molde, para facilitar el llenado del molde.

El molde debe desplazarse en forma vertical la distancia suficiente que facilite el retiro de los bloques depositados sobre el tablero, la distancia mínima debe ser de 250 mm.

Los apisonadores deben desplazarse en forma vertical. De tal manera, que permita el desplazamiento del contenedor y aplique la presión adecuada al concreto. La distancia suficiente que facilite el retiro de los bloques depositados sobre el tablero, la distancia mínima debe ser de 200 mm.

Todos estos parámetros se los registrará en el formato MB-03. (Anexo 3)

2.9.4 Verificación de energía

En las placas de los elementos eléctricos que conforman la máquina para fabricar bloques se verificara el valor de voltaje e intensidad máximo permitido para su correcto funcionamiento. Además, se verifica la presión de aire suministrado a los elementos de control y actuadores neumáticos. Este valor se medirá en el manómetro de la unidad de mantenimiento neumático.

Todos estos parámetros se los registrará en el formato MB-04. (Anexo 3)

2.9.5 Verificación de señales y control

Una vez conectada la máquina al suministro de energía y aire comprimido se verifica los parámetros establecidos en el formato MB-05. (Anexo 3)

2.9.6 Resultados

Luego de haber realizado las verificaciones pertinentes se recopilará toda la información en el formato MB-06 (Anexo 3) en cual se verificará las dimensiones y el acabado superficial de los bloques obtenidos.

CAPÍTULO III

DISEÑO DEL SISTEMA MECÁNICO Y NEUMÁTICO

3.1 INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se detalla el diseño de los elementos a construirse y sus respectivos materiales. Además, la selección de los elementos normalizados que se utilizarán en la construcción de la máquina para fabricar bloques, considerando las especificaciones que se deben cumplir. Los parámetros considerados para el diseño se obtienen de las especificaciones técnicas establecidas en el capítulo anterior.

3.2 DISEÑO DE ELEMENTOS Y PARTES

La máquina consta de 5 partes que son las más importantes, las cuales se muestran en la figura 3.1. El módulo 1 y 2 forman parte de diseño, como se indicó en el capítulo anterior.

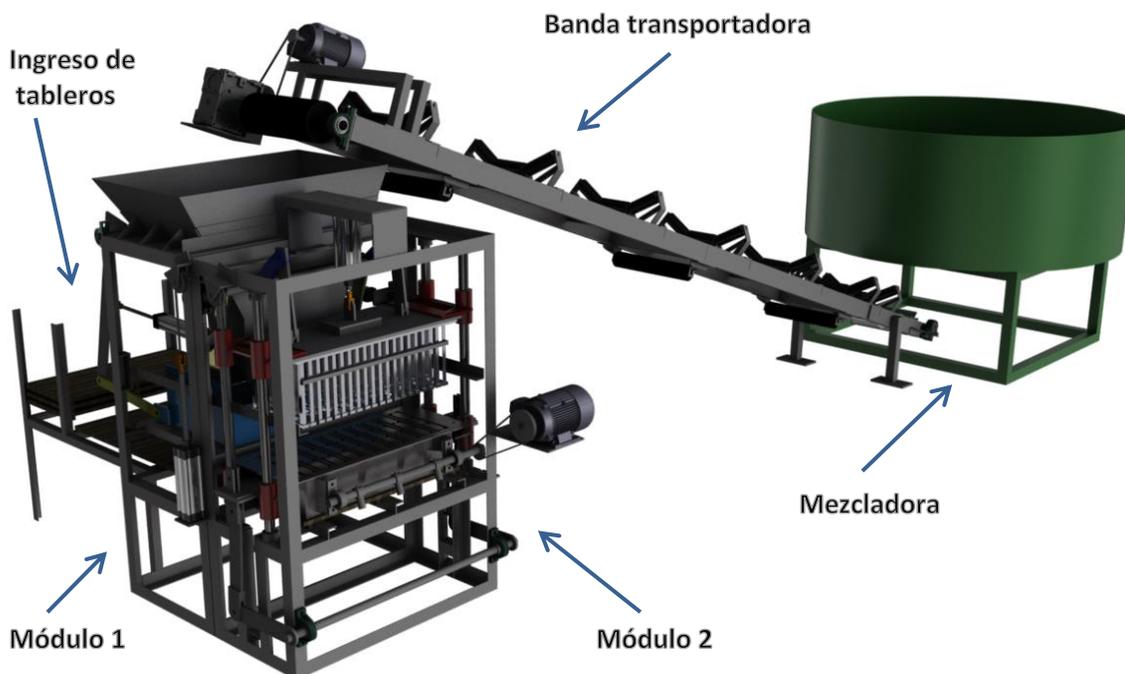
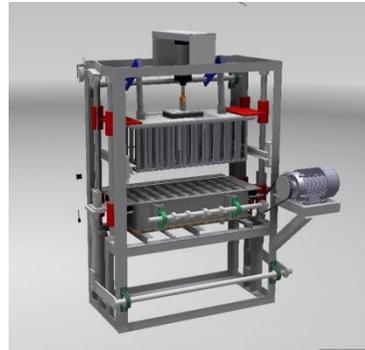


Figura 3.1. Partes principales de la máquina para fabricar bloques

El diseño de los elementos se lo hará por módulos, los cuales fueron establecidos anteriormente. En la figura 3.2 se muestran los dos módulos de la máquina.



(a)



(b)

Figura 3.2. Módulos de la máquina: Módulo 1: Suministro de concreto (a), y Módulo 2: Fabricación de bloques (b)

3.3 DISEÑO DEL MÓDULO 1: SUMINISTRO DE CONCRETO

Este módulo cumple las funciones de recibir el concreto de la banda transportadora, almacenar y suministrar el concreto al siguiente módulo, el cual se encarga de fabricar los bloques. Este módulo está conformado de los siguientes elementos:

- Tolva de almacenamiento
- Compuerta de la tolva
- Contenedor para desplazar el concreto
- Mecanismo de movimiento del contenedor
- Estructura

3.3.1 Tolva

Es el elemento que recibe y almacena el concreto, mientras que la compuerta controla el flujo de concreto hacia el contenedor. La característica principal es la capacidad que se determina por su forma y dimensiones.

3.3.1.1 Volumen de concreto por cada ciclo

Para determinar el volumen de concreto necesario para cada ciclo, se determina experimentalmente que el volumen para un bloque es de:

$$V_{bloque} = 3230 \text{ cm}^3$$

Se fabrican 10 bloques por ciclo ($N_{bloques/ciclo}$), por lo tanto, el volumen de concreto para cada ciclo es:

$$V_{ciclo} = V_{bloque} * N_{bloques/ciclo} \quad \text{Ec. (3.1)}$$

$$V_{ciclo} = 32230 \text{ cm}^3$$

Debido a las pérdidas y la compactación a la que es sometido el concreto, se considera un volumen de 35000 cm^3 de concreto para cada ciclo. El cual se verificó experimentalmente con ayuda de una máquina manual para fabricar bloques que se dispone en la fábrica, mediante el uso de baldes con capacidad conocida.

3.3.1.2 Capacidad de la tolva

La capacidad de la tolva está determinada por el volumen de concreto que se almacenará. Establecida por el número de ciclos que se desea mantener almacenado el concreto para evitar paros del proceso de fabricación.

En la fábrica se cuenta con una mezcladora de eje vertical que tiene una capacidad para mezclar medio quintal de cemento, equivalente a 9 ciclos de fabricación. Para evitar que el concreto se derrame por los bordes, se consideran 10 ciclos para el dimensionamiento de la tolva.

El volumen de la tolva se determina con el volumen de cada ciclo (V_{ciclo}) y el número de ciclos (n) que se almacenarán de concreto.

$$V_{tolva} = V_{ciclo} * n \quad \text{Ec. (3.2)}$$

$$V_{tolva} = 350000 \text{ cm}^3$$

Por lo tanto, la capacidad de la tolva de almacenamiento mínimo es de 350000 cm^3 .

3.3.1.3 Tipos de tolvas⁸

Las tolvas son piezas que sirven para la carga y descarga de fluidos y áridos, simples embudos; sus formas son variadas y los nombres que reciben están en función de:

- El número de piezas de que consta: simples si están formados por dos elementos; y compuestas si el número de elementos es mayor.
- La posición de sus ejes: Rectas, si sus ejes son coaxiales; y acodada, si sus ejes son concurrentes.

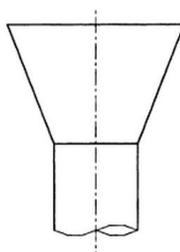


Figura 3.3. Tolva simple recta

Se opta por una tolva simple recta por la facilidad de construcción y un mejor control del flujo de concreto, en la figura 3.3 se muestra la tolva simple recta.

3.3.1.4 Dimensiones y forma

Se debe considerar los siguientes aspectos para establecer la forma y dimensiones de la tolva:

- Capacidad de almacenamiento mínima de 350000 cm^3
- Forma de la compuerta

Se requiere que la tolva tenga un radio de curvatura que permita el movimiento de la compuerta para controlar el flujo de concreto. Se estima un radio de curvatura de 450 mm, de tal manera que la compuerta se acople a la tolva y los brazos que la soportan

⁸ COBOS C., SALINAS J., RODRIGUEZ A.; *Geometría para ingenieros*; Volumen 1; Editorial Tebar; pág. 319.

no interfieran con la tolva. En la figura 3.4 se observa la forma de la tolva de almacenamiento.



Figura 3.4. Forma de la tolva de almacenamiento.

Es necesario establecer las dimensiones de tal manera que la tolva posea el volumen necesario para almacenar el número de ciclos establecido. Se establecen dimensiones y se verifica que la capacidad sea la necesaria.

La tolva consta de dos partes, la superior se destina al almacenaje y la inferior controla el flujo de concreto mediante la compuerta. En la figura 3.5 se muestran las dimensiones de la parte superior e inferior.

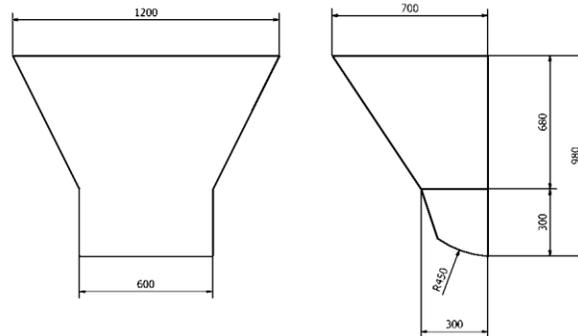


Figura 3.5. Dimensionamiento de la tolva de almacenamiento.

Se calcula el volumen de ambas partes, y se suman para determinar la capacidad de la tolva.

El volumen de almacenamiento de la parte superior es:

$$V_s = \frac{(1200 + 600)}{2} * \frac{(680 + 300)}{2} * 700$$

$$V_s = 308.7 \times 10^6 \text{ mm}^3$$

$$V_s = 308700 \text{ cm}^3$$

El volumen de almacenamiento de la parte inferior es:

$$V_s = \frac{(210 + 300)}{2} * 600 * 300$$

$$V_s = 45900 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

$$V_s \approx 45900 \text{ cm}^3$$

El volumen de almacenamiento de la tolva es:

$$V_s \approx 354600 \text{ cm}^3$$

Que satisface la capacidad de almacenamiento mínimo de concreto.

3.3.2 Espesor de la lámina de la tolva

Para el montaje de la tolva a la estructura se utilizan apoyos, las cuales son soldados a la tolva y empernados a la estructura, para lo cual se requiere realizar las perforaciones previas necesarias. En la figura 3.6 se observa uno de los apoyos laterales que se utilizará para el montaje de la tolva a la estructura.



Figura 3.6. Apoyo lateral de la tolva

Es importante determinar el espesor de la plancha de acero con la que se construirá la tolva, que sea necesario para soportar el concreto. Para lo cual, el estado crítico se produce cuando la tolva se encuentra completamente llena de concreto.

Se requiere conocer el peso total del concreto cuando la tolva se encuentre llena. Considerando que cada ciclo de producción consta de 10 bloques, el peso de concreto para un ciclo aproximado es de 500 N. Por lo tanto el peso total del concreto cuando la tolva está llena es de 5000 N. Se determina el área total de la superficie en contacto con el concreto, para determinar la presión que actúan sobre la misma. En la figura 3.7 se muestra el estado de carga de la tolva, se considera los apoyos de la tolva como indeformables.

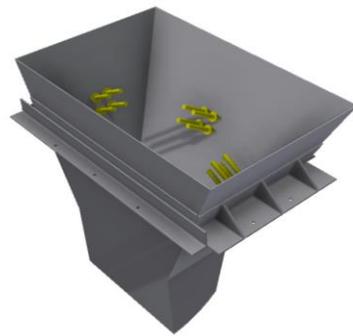


Figura 3.7. Estado de carga de la tolva

Se procede a realizar la simulación de esfuerzos y desplazamientos para diferentes espesores de planchas de acero ASTM A-36, que se disponen en el mercado nacional. En la figura 3.8 se observa la distribución de esfuerzos y desplazamientos para un espesor de 4 mm.

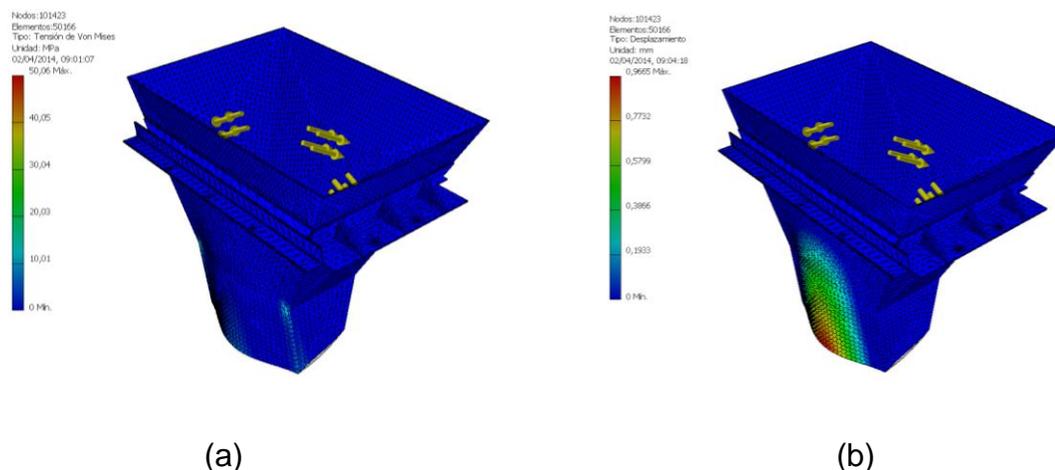


Figura 3.8. Distribución de esfuerzos (a) y desplazamientos (b) en la tolva

En la tabla 3.1 se muestran los resultados de las simulaciones, para diferentes espesores de plancha de acero ASTM A-36 que será empleada en la construcción de la tolva.

Tabla 3.1 Resultados de la simulación de la tolva

Espesor mm	Esfuerzo máximo MPa	Desplazamiento máximo mm	Factor de seguridad
3	113	2.41	2.2
4	50	0.96	5.0
5	34	0.47	7.5

Se puede tomar un factor de seguridad de 2.2 para evitar que el material falle por esfuerzos, pero también es importante considerar el desplazamiento máximo. Además, se debe considerar la facilidad de construcción, ya que al seleccionar una plancha muy delgada al momento de realizar la soldadura la plancha tiende a deformarse y no se obtendrá la geometría requerida. Por lo tanto, se elige un espesor de plancha de 4 mm.

La simulación por elementos finitos de la plancha indica que el esfuerzo máximo está localizado en los bordes inferiores de la plancha de la tolva, y además que el desplazamiento máximo se ubica en la parte central del borde inferior, como se observa en la figura 3.8. En base a los resultados obtenidos, se puede tomar las siguientes consideraciones para la construcción de la tolva:

- Como los esfuerzos mayores se ubican en los bordes inferiores, se construirá la tolva de tal manera que estos bordes no sean soldados, en lugar de ello se realizarán dobleces.
- Para evitar el desplazamiento de la plancha, aunque es pequeño, en la parte central inferior se colocará un arrostramiento con un perfil para evitar un posible desplazamiento (indispensable para un espesor de 3 mm).

3.3.3 Movimiento de compuerta

Para controlar el flujo del concreto que se suministra al contenedor, se utiliza una compuerta. La cual se abre para habilitar el flujo y se cierra para bloquear el flujo de concreto, según se requiera.

Para la selección del cilindro correcto se debe considerar la capacidad y la carrera. La carrera se determinará de la geometría, mientras que el diámetro se establece en base la capacidad que el cilindro requiera para posicionarse.

En la figura 3.9 (a) y (b) se muestran las posiciones de apertura y cierre de la compuerta para controlar el flujo de concreto, respectivamente.



Figura 3.9. (a) Posición de apertura y (b) cierre de la compuerta

Para determinar la carrera se considera un ángulo de giro 15° , como el radio de giro es de 450 mm. Se calcula el perímetro del sector circular.

$$c = \frac{\pi r \theta}{180} \quad \text{Ec. (3.3)}$$

$$c = \frac{\pi * 450 \text{ mm} * 15^\circ}{180^\circ}$$

$$c = 118 \text{ mm}$$

Por lo tanto, la carrera del cilindro neumático que se requiere es de 150 mm.

Para determinar el diámetro del cilindro neumático se hace una aproximación considerando la fricción que existe entre el concreto y la compuerta.

El coeficiente de fricción estático entre el concreto y el acero, se determinó experimentalmente mediante el ángulo de deslizamiento que tiene un valor aproximado de 0.35.

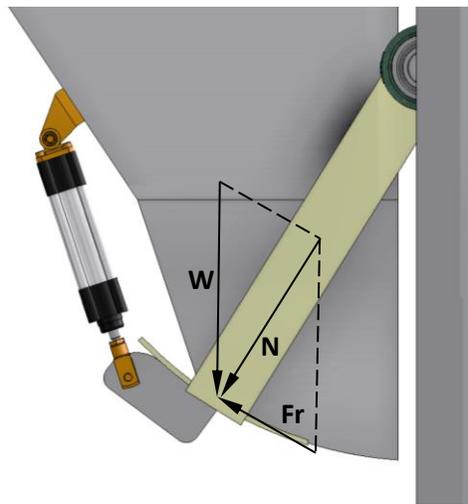


Figura 3.10. Diagrama de cuerpo libre de la compuerta

La posición más crítica se da cuando la compuerta se encuentra cerrada y se acciona el cilindro para abrir la compuerta, como se muestra en la figura 3.10. Debido a que la componente normal es mayor y el cilindro posee una capacidad menor en el retorno. La reducción en la capacidad se debe al área menor que tiene el pistón por el vástago.

Se determina el ángulo que forma la tangente de la curvatura con el peso es de 30° .

La componente normal a la superficie corresponde al peso del concreto multiplicado por el coseno del ángulo. Se considera un peso del concreto de 4000 N, puesto que no todo el concreto se asienta sobre la compuerta. Se forma un triángulo rectángulo, del cual se determina la componente normal.

$$N = w * \cos(\theta) \quad \text{Ec. (3.4)}$$

$$N = 4000 * \cos(30)$$

$$N = 3464 \text{ N}$$

El coeficiente de fricción entre el concreto y el acero es considera de 0.35. El cual es muy bajo debido a que el concreto contiene una considerable cantidad de agua.

$$Fr = u * N \quad \text{Ec. (3.5)}$$

$$Fr = 0.35(3464)$$

$$Fr = 1212 \text{ N}$$

La fuerza de rozamiento es la que debe vencer el cilindro neumático de tal manera de posicionar la compuerta. En la figura 3.11 se observa el diagrama de cuerpo libre del cilindro y la compuerta.

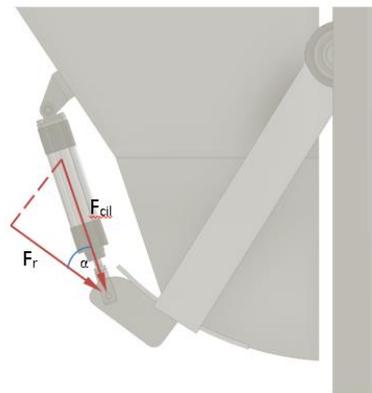


Figura 3.11. Diagrama de cuerpo libre del cilindro y la compuerta

Se determina la capacidad necesaria del cilindro:

$$F_{cil} = \frac{Fr}{\cos(\alpha)} \quad \text{Ec. (3.6)}$$

$$F_{cil} = \frac{1212}{\cos(25)}$$

$$F_{cil} = 1337 \text{ N}$$

Por lo tanto, la capacidad del cilindro es de 133.7 daN (1337 N). Es importante considerar que el cilindro posee una menor capacidad en el retroceso que en el avance. Se selecciona el diámetro del cilindro en base al catálogo del fabricante, en base a la presión de trabajo (bares) y la capacidad (daN) que se requiere.

3.3.4 Consideraciones para selección del cilindro

Para la selección correcta de un cilindro neumático se utilizan factores de corrección de la fuerza, dados por el catálogo del fabricante. En base a la velocidad de desplazamiento del pistón del cilindro y la aplicación de la carga, los factores de corrección se muestran en la tabla 3.2.

Tabla 3.2. Factor de corrección según la velocidad de desplazamiento del pistón⁹

Velocidad de desplazamiento del pistón	Ejemplo	Factor de corrección
Lenta con carga aplicada solamente al final de la carrera	Operación de fijación	1.25
Lenta con carga aplicada en todo el desarrollo de la carrera	Tecla neumático	1.35
Rápida con carga aplicada solamente al final de la carrera	Operación de estampado	1.35
Rápida con carga aplicada en todo el desarrollo de la carrera	Mesa elevadora	1.50

⁹ Tecnología Pneumática Industrial; Parker Training, Apostila M1001-1 Br; Jacarei SP Brasil; pág. 94.

3.3.5 Selección del cilindro

En base a la tabla 3.2 se selecciona el factor de corrección de la fuerza (f_c) de 1.35 considerando que la velocidad de desplazamiento del pistón es lenta con carga aplicada en todo el desarrollo de la carrera.

Por lo tanto, para la selección del cilindro se considera una carga de:

$$F = F * f_c \quad \text{Ec. (3.7)}$$

$$F = 133.7 * 1.35$$

$$F = 180.6 \text{ daN (1806 N)}$$

En la tabla 3.3 se muestra la capacidad de los cilindros para diferentes diámetros y presiones en base al catálogo del fabricante.

Tabla 3.3. Capacidad de los cilindros para diferentes diámetros y presiones¹⁰

Diámetro cilindro mm	Diámetro eje mm	Movimiento	Área útil mm ²	Fuerza en empuje y en tracción en función de la presión (daN)		
				5 bar	6 bar	7 bar
40	16	Empuje	12.57	62.8	75.4	88.0
		Tracción	10.56	52.8	63.3	73.9
50	20	Empuje	19.63	98.2	117.8	137.4
		Tracción	16.49	82.5	99.0	115.5
63	20	Empuje	31.17	155.9	187.0	218.2
		Tracción	28.03	140.2	168.2	196.2
80	25	Empuje	50.27	251.3	301.6	351.9
		Tracción	45.36	226.8	272.1	317.5

Se selecciona un cilindro de diámetro 63 mm, que tiene una capacidad de 187 daN que es superior a la carga requerida.

¹⁰ Tecnología Pneumática Industrial; Parker Training, Apostila M1001-1 Br; Jacarei SP Brasil; pág. 105.

3.3.6 Diseño de compuerta

La compuerta soporta el peso del concreto y controla el flujo de concreto. La cual tiene un radio de curvatura de 450 mm. Es necesario determinar el espesor de la compuerta, para lo cual se establece la geometría y dimensiones excepto el espesor. En la figura 3.12 se observa el montaje de la compuerta de la tolva.



Figura 3.12. Compuerta de la tolva que pivota sobre el eje

Se considera el peso del concreto sobre la compuerta y el área sobre la cual se apoya el mismo. Se establece el estado de carga de la compuerta, que se muestra en la figura 3.13, se considera los brazos de la tolva como indeformables.

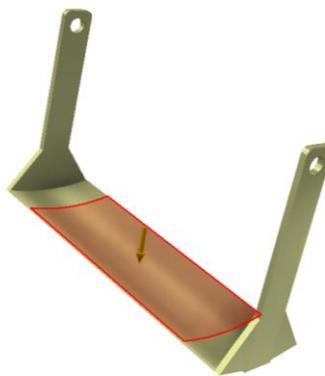


Figura 3.13. Estado de carga de la compuerta de la tolva

Se procede a realizar la simulación de esfuerzos y deformaciones para diferentes espesores de placa de acero de acero ASTM A-36. En la figura 3.14 se observa la distribución de esfuerzos y deformaciones para un espesor de 6 mm.

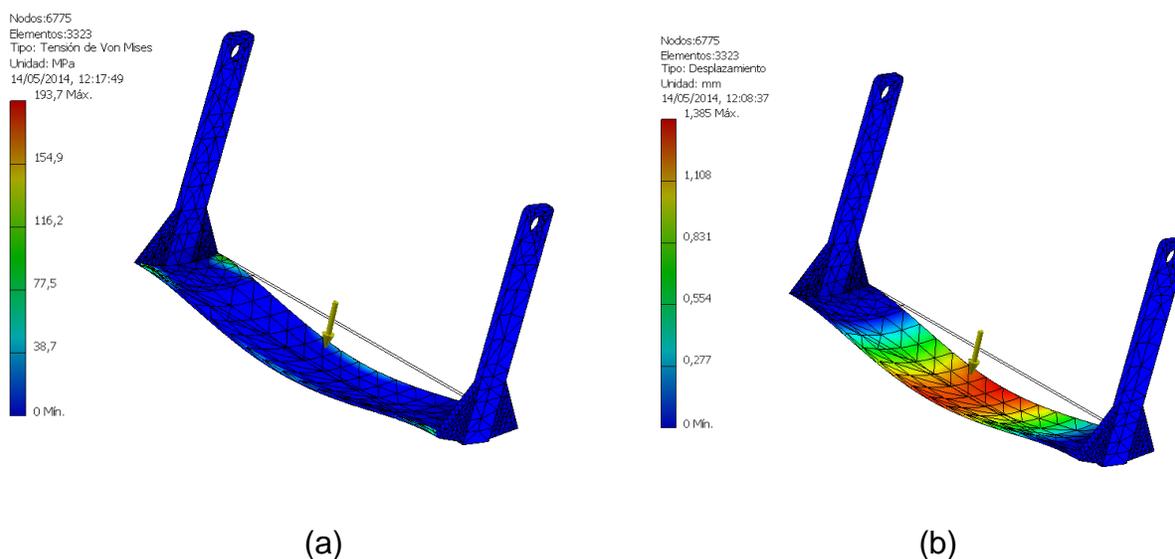


Figura 3.14. Distribución de esfuerzos (a) y desplazamientos (b) en la compuerta

En la tabla 3.4 se muestran los resultados de las simulaciones, para diferentes espesores de plancha de acero ASTM A-36 para la construcción de la tolva.

Tabla 3.4 Resultados de la simulación de la compuerta

Espesor mm	Esfuerzo máximo MPa	Desplazamiento máximo mm	Factor de seguridad
6	194	1.38	1.8
7	126	1.14	2.8
8	116	0.87	3.0

Se considera un factor de seguridad de 2.8 para evitar que el material falle por esfuerzos, por lo tanto se selecciona un espesor de plancha de 7 mm como mínimo.

3.3.7 Dimensionamiento de los brazos de la compuerta

La compuerta se fija mediante dos brazos, que son placas de acero que permite su desplazamiento para el control del concreto. Estos brazos se fijan a un eje, el cual se apoya sobre chumaceras para rotar libremente.

El brazo forma un ángulo de 24° con la vertical, por lo cual se requiere conocer la componente de la carga aplicada al brazo. En la figura 3.15 se muestra el diagrama de equilibrio del brazo de la puerta.

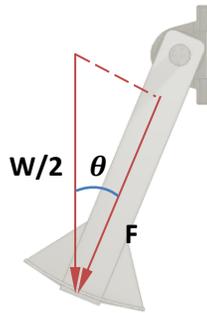


Figura 3.15. Diagrama de equilibrio del brazo

$$\cos \theta = \frac{F}{W/2} \quad \text{Ec. (3.8)}$$

Donde:

W: Peso del concreto

F: es la fuerza que soporta el brazo

θ : es el ángulo formado del brazo con la vertical

$$F = \frac{W}{2} \cos \theta \quad \text{Ec. (3.9)}$$

$$F = 2284 \text{ N}$$

Los brazos están sometidos a tracción, ante una fuerza axial y se requiere establecer la sección de los mismos. En primer lugar se establece la fórmula del esfuerzo normal:

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad \text{Ec. (3.10)}$$

Donde:

P: carga normal

A: área del elemento

Se requiere obtener el área de los brazos, para lo cual primero se debe conocer el material con el cual se fabricará esta pieza. Se selecciona un acero AISI 1018 con un límite de fluencia de 370 MPa. Además, se considera un factor de seguridad para dimensionar la sección del brazo.

$$\sigma_{adm} = \frac{S_y}{n} \quad \text{Ec. (3.11)}$$

Donde:

σ_{adm} : esfuerzo admisible

n: factor de seguridad

S_y : esfuerzo de fluencia del material

Al igualar las dos expresiones anteriores, se despeja el término A que corresponde a la sección del brazo. El resultado que se obtiene es 12.3 mm^2 .

La cual es un área muy pequeña. Para facilitar la construcción y evitar deformaciones durante el proceso de soldadura, se selecciona una sección de $60 \times 5 \text{ mm}^2$.

3.3.8 Dimensionamiento del eje de los brazos

El eje sobre el cual se apoyan los brazos está sometido a flexión, para su dimensionamiento se requiere conocer el diámetro del eje. En la figura 3.16 se observa el montaje de la compuerta. Para ello se obtienen los diagramas de fuerzas cortantes y momento flector para el eje con ayuda del programa MDSolids, los cuales se observan en la figura 3.17.



Figura 3.16. Montaje de la compuerta

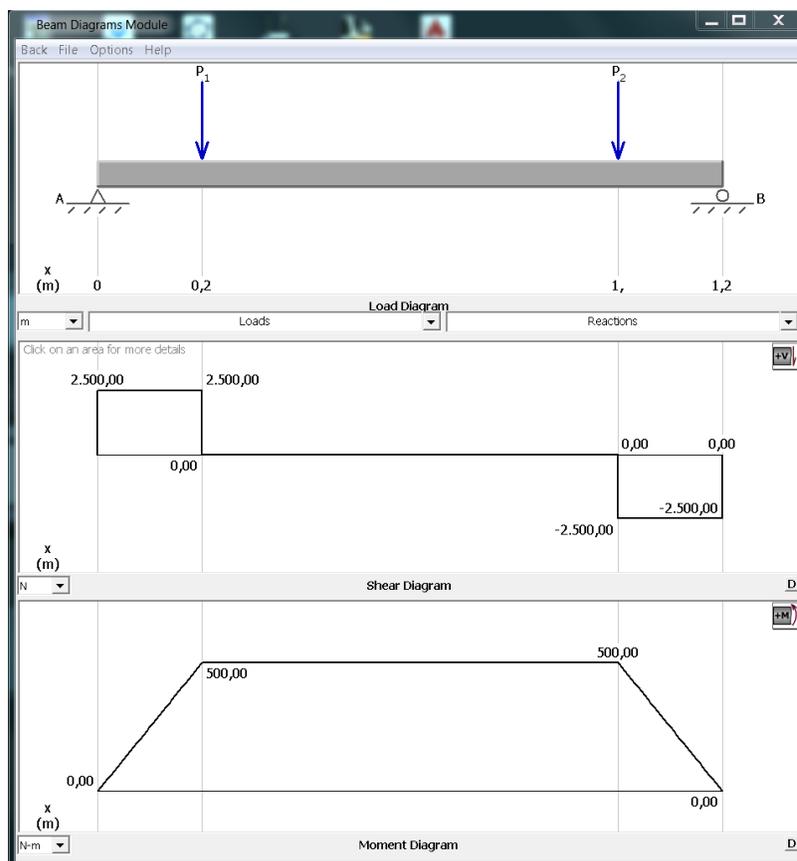


Figura 3.17. Diagrama de fuerzas cortantes y momento flector para el eje

Del diagrama de momentos se obtiene que el momento máximo es 500000 N-mm.

El esfuerzo máximo en flexión está dado por:

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{M \cdot c}{I} \quad \text{Ec. (3.12)}$$

Que también puede escribirse como:

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{M}{S_{xx}} \quad \text{Ec. (3.13)}$$

Donde S_{xx} se llama módulo de sección. En este caso del eje, el módulo de sección es:

$$S_{xx} = \frac{\pi d^3}{32} \quad \text{Ec. (3.14)}$$

Se selecciona un acero AISI 1018 con un límite de fluencia de 370 MPa. Además, se considera un factor de seguridad para dimensionar la sección del brazo.

$$\sigma_{adm} = \frac{S_y}{n} \quad \text{Ec. (3.15)}$$

Donde:

σ_{adm} : esfuerzo admisible

n: factor de seguridad

S_y : esfuerzo de fluencia del material

Al igualar las dos expresiones anteriores, se despeja el término S_{xx} que corresponde al módulo de la sección, en base al cual se determinará el diámetro del eje. El resultado que se obtiene es:

$$S_{xx} = 2702.7 \text{ mm}^3$$

En base a la ecuación del módulo de sección se determina el diámetro mínimo para el eje, que es de:

$$d = 30.2 \text{ mm}$$

Por lo tanto, se selecciona un eje de 31.75 mm (1 1/4") que es mayor que el diámetro requerido.

3.3.9 Contenedor

El contenedor recibe el concreto de la tolva y lo deposita sobre el molde, para llenarlo. El contenedor debe tener una capacidad para un ciclo de trabajo y un excedente adicional para garantizar un llenado completo del molde y además compensar las pérdidas. En la figura 3.18 se muestra las posiciones del contenedor.

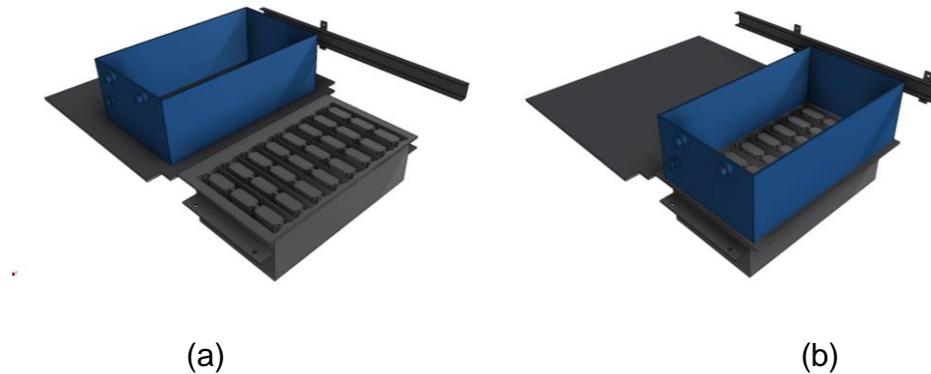


Figura 3.18. Movimiento del contenedor: (a) bajo la tolva y (b) sobre el molde

Para cada ciclo de trabajo se requiere un volumen aproximado de 35000 cm^3 . Se considera un excedente de 20%, se establece que el contenedor debe almacenar un volumen mayor a 42000 cm^3 . Para determinar las dimensiones se debe considerar el tamaño de molde que es de $920 \times 400 \text{ mm}$.

Las dimensiones del contenedor son mayores que las del molde para asegurar su llenado completo, por lo tanto, se considera una longitud de 450 mm y el ancho de 950 mm . Las cuales son las dimensiones máximas para evitar interferencias en el movimiento debido a los pernos de sujeción del molde.

Para determinar la altura mínima del contenedor se debe considerar el volumen de concreto que debe almacenar.

$$V = b * d * h \quad \text{Ec. (3.16)}$$

$$h = \frac{V}{b * d}$$

$$h = \frac{42000 \text{ cm}^3}{95 * 45 \text{ cm}^2}$$

$$h = 9.8 \text{ cm}$$

Para evitar pérdidas del concreto por los bordes y garantizar un llenado completo del molde se considera una altura del contenedor de 15 cm.

El espesor del material del contenedor se considera de 4 mm, por facilidad de construcción. Debido a que el contenedor no está sometido a cargas considerables, simplemente empuja el concreto entre dos posiciones.

3.3.10 Mecanismo de movimiento del contenedor

El contenedor se desplaza horizontalmente entre dos posiciones. En la posición posterior el contenedor recibe el concreto suministrado por la tolva. En la posición de delantera el contenedor suministra de concreto al molde. Adicionalmente el contenedor debe realizar movimientos alternativos de tal manera de garantizar el llenado completo del molde. El contenedor posee ruedas, las cuales se desplazan sobre un ángulo de acero que le sirve de guía.

Se opta por un mecanismo para el movimiento del contenedor, ya que utilizar cilindros largos implica la necesidad de espacio en la parte posterior. Lo que incrementa el espacio que ocupa la máquina. Además, como la capacidad requerida es baja se utilizarían cilindros de diámetro muy pequeño y largos, posiblemente muy esbeltos. Por lo cual se utilizará un mecanismo para multiplicar la carrera del cilindro.

Para el diseño del mecanismo se consideran los siguientes parámetros:

- La distancia que recorre el contenedor es de 550 mm.
- El peso del contenedor y el concreto para un ciclo es: 600 N

- **GeoGebra**

GeoGebra es un software libre de matemática que reúne dinámicamente, aritmética, geometría, álgebra y cálculo e incluso recursos de probabilidad y estadística. Ofrece representaciones diversas de los objetos desde cada una de sus posibles perspectivas: vistas gráficas, algebraica general y simbólica, estadísticas y de organización en tablas y planillas y hojas de datos dinámicamente vinculadas.

Se utilizará este software para el dimensionamiento de los eslabones y análisis cinemático del mecanismo, que se encarga del suministro del concreto hacia el molde. Para el análisis cinemático se opta por el método gráfico para determinar las velocidades en diferentes eslabones.

3.3.10.1 Análisis de posición del mecanismo

El mecanismo a emplear es similar a una biela-manivela-corredera, que se muestra en la figura 3.19.

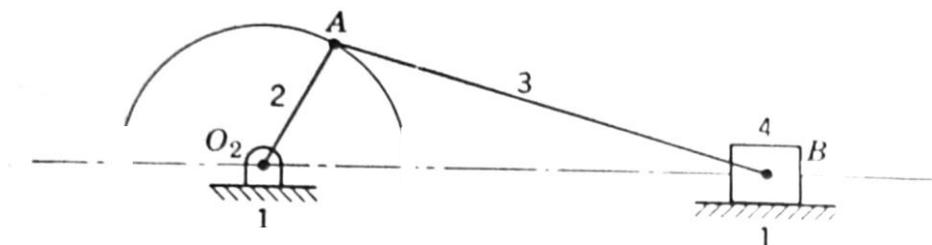


Figura 3.19. Mecanismo biela-manivela-corredera.

Para este caso se realizará una modificación, la manivela será un balancín y se añadirá un cilindro. El mecanismo que se analizará se muestra en la figura 3.20.

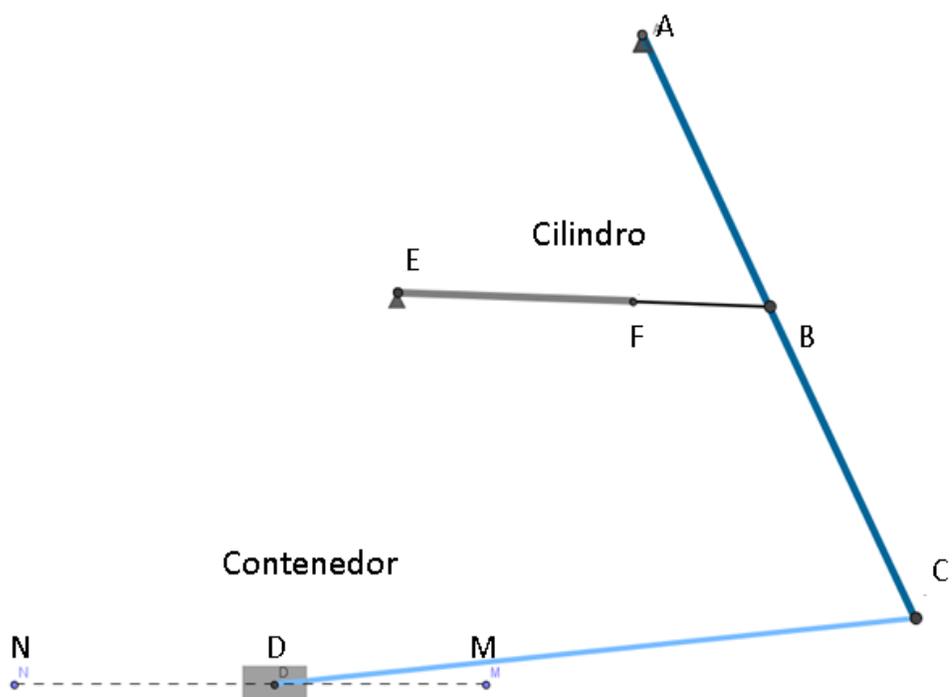


Figura 3.20. Mecanismo para el movimiento del contenedor

En el mecanismo se tienen los siguientes elementos:

- Eslabón AC es un balancín
- Eslabón CD es una biela
- Eslabón D es la corredera que se desplaza entre los puntos N y M
- EF corresponde a la longitud del cilindro.
- FB corresponde a la longitud del vástago fuera del cilindro.

En la figura 3.21 se muestran las trayectorias de los pares giratorios del mecanismo.

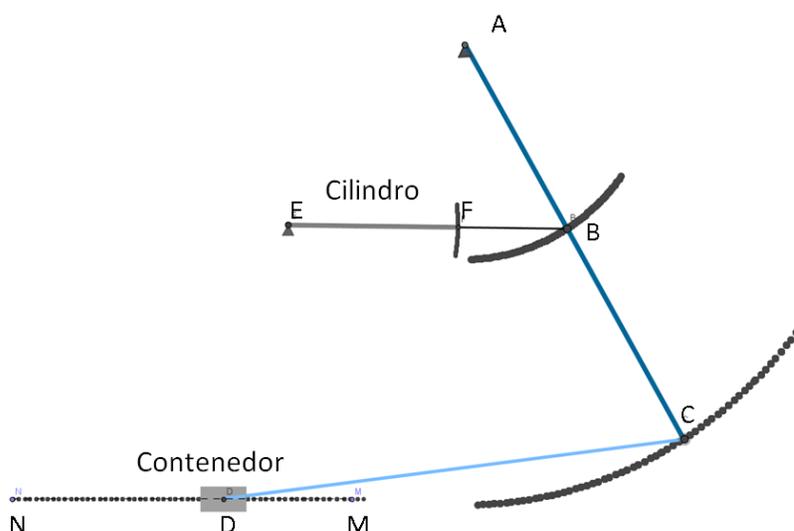


Figura 3.21. Trayectoria de los pares giratorios

Mediante el programa GeoGebra se puede modificar las dimensiones de los eslabones, de tal manera de seleccionar las dimensiones adecuadas. Para lo cual, se debe tomar en cuenta:

- La corredera D debe desplazarse entre los puntos N y M. Desplazamiento del contenedor de 550 mm.
- La posición del par giratorio A con respecto a la corredera D es 270 mm en el eje X y 820 mm en el eje Y. Cuando la corredera D se encuentra en la posición posterior máxima.

Se obtienen las siguientes dimensiones de los eslabones y las coordenadas del punto E:

- $AC = 800$ mm
- $AB = 400$ mm
- $CD = 550$ mm
- $E_x = -620$ mm
- $E_y = 360$ mm

En la figura 3.22 se muestra el mecanismo con las dimensiones establecidas.

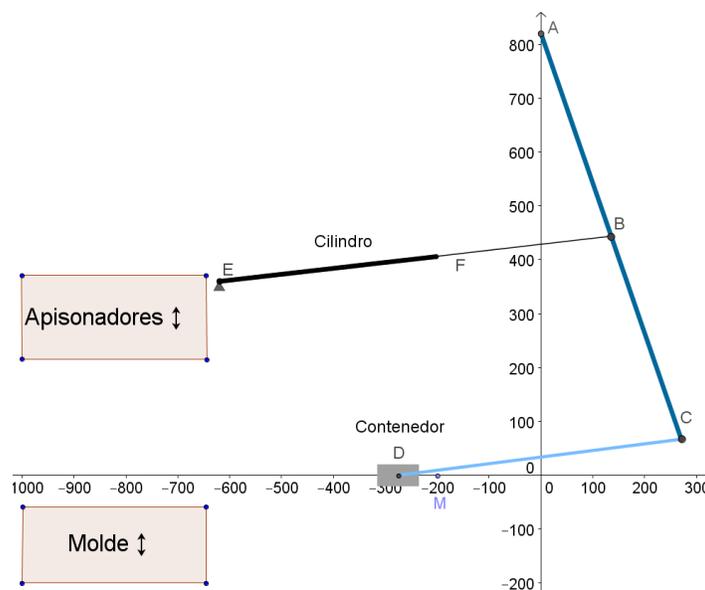


Figura 3.22. Mecanismo obtenido para el movimiento del contenedor

Por lo tanto, se establece que la carrera del cilindro es de 250 mm.

3.3.10.2 Análisis cinemático de mecanismo¹¹

Mediante el programa GeoGebra, se pueden obtener la curva de velocidad de cualquier par giratorio. Se analizará la curva de velocidad del par giratorio D, considerando una velocidad constante del vástago del cilindro de 100 mm/s.

- La velocidad del cilindro se descompone y se obtiene la velocidad XB, con la ayuda del ángulo que se forma entre el eslabón AC y el vástago del cilindro FB. En la figura 3.23 se muestra la descomposición de la velocidad.

¹¹ MABIE H., REINHOLZ Ch.; (1998); *Mecanismos y Dinámica de Maquinaria*; Estados Unidos; Limusa Wiley; 2da edición.

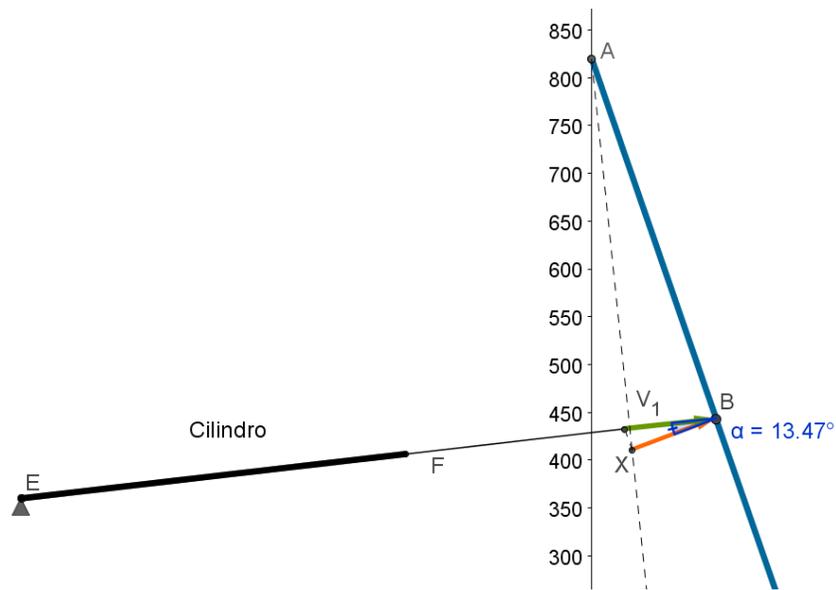


Figura 3.23. Descomposición de la velocidad del cilindro

- Una vez encontrada la velocidad del par giratorio B, se determina la velocidad en el par giratorio C. Para lo cual, se construye una recta que pase por A y X, y una recta perpendicular al eslabón AC. De esta manera se determina la velocidad en el punto C, como se muestra en la figura 3.24.

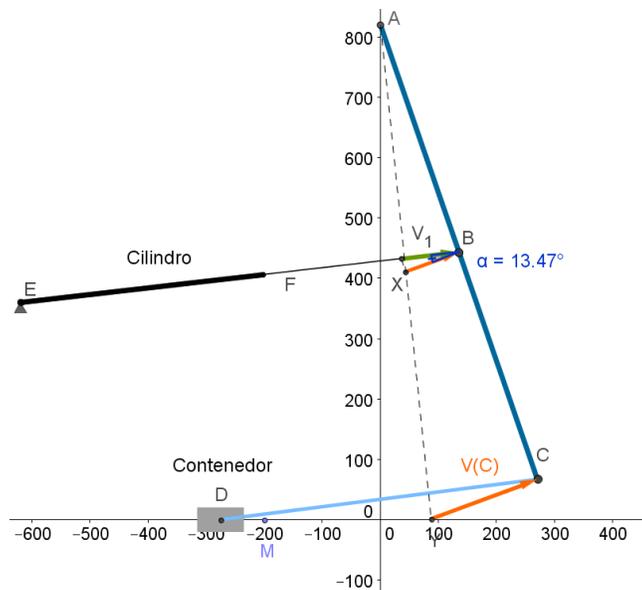


Figura 3.24. Velocidad en el par giratorio C

- Para determinar la velocidad de la corredera se debe construir el triángulo de velocidad. Se traza una recta perpendicular al eslabón CD en el punto C y otra paralela a la línea de desplazamiento de la corredera. En el punto de intersección se cierra el triángulo de velocidad y se determina la velocidad de la corredera D. En la figura 3.25 se muestra la velocidad de la corredera D, representada por el vector YZ.

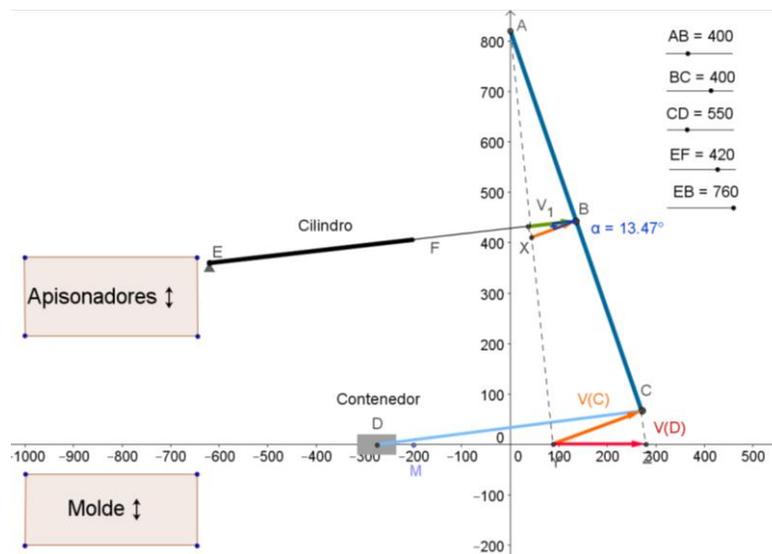


Figura 3.25. Velocidad en la corredera D

- Una vez establecido el proceso para determinar la velocidad en la corredera, se configura el programa de tal manera que calcule la velocidad de la corredera para un determinado intervalo de movimientos. Los cuales se obtienen en una tabla y posteriormente se grafica para obtener la curva de velocidad y la relación de transmisión.

Se determina la relación de transmisión dividiendo la velocidad de la corredera (V_D) para la velocidad del cilindro (V_{cil}).

$$i = \frac{V_D}{V_{cil}} \quad \text{Ec. (3.17)}$$

En la figura 3.26 se muestra la curva de la relación de transmisión vs posición del mecanismo, al relacionar la velocidad de la corredera con la velocidad del vástago del cilindro.

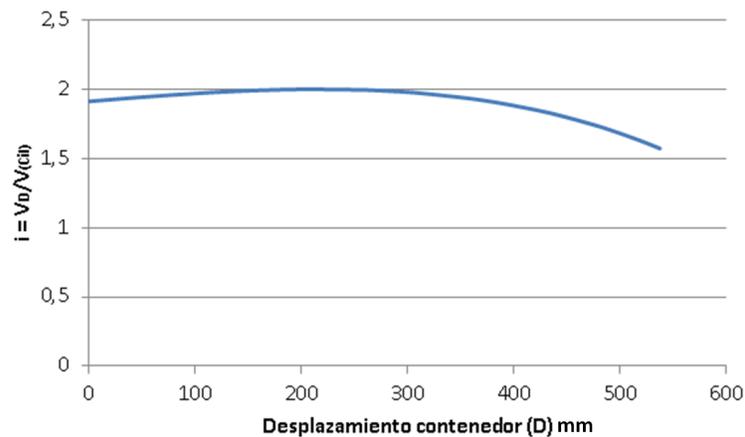


Figura 3.26. Curva relación de transmisión vs. desplazamiento del contenedor

Para el dimensionamiento de los cilindros se requiere conocer la fuerza que deben proporcionar.

$$F = Fr \quad \text{Ec. (3.18)}$$

$$Fr = uN$$

Como $P = N$, entonces:

$$Fr = uP \quad \text{Ec. (3.19)}$$

Donde,

F = Fuerza necesaria para mover el contenedor

P = peso del concreto y el contenedor

u = fricción entre la base de caucho del contenedor y la placa de acero sobre la cual se deposita el concreto (se considera un coeficiente dinámico de fricción caucho sobre acero, determinado experimentalmente en base al ángulo de deslizamiento)

Se determina la fuerza necesaria para mover el contenedor:

$$F = uP = 0.35 * (650) = 2278 \text{ N}$$

La fuerza que deben proporcionar los cilindros se determina en base a la relación de transmisión:

$$F_c = 2 * 228 \text{ N}$$

$$F_c = 456 \text{ N}$$

Debido a que el contenedor es bastante ancho y para tener una mejor estabilidad, se emplearán dos cilindros. Por lo tanto, cada cilindro debe proporcionar 228 N.

Es importante considerar que el cilindro posee una menor capacidad en el retroceso que en el avance. Una vez que el contenedor es llenado por la tolva, los cilindros desplazaran el contenedor para ubicarlo sobre el molde para llenarlo. Para lo cual, los cilindros actúan en retroceso.

En base al catálogo del fabricante se selecciona el cilindro adecuado, tomando en cuenta el factor de corrección indicado en el apartado 3.4.4. Se selecciona un factor de corrección de la fuerza de 1.5 considerando que la velocidad de desplazamiento del pistón es rápida con carga aplicada en todo el desarrollo de la carrera.

La capacidad requerida para cada cilindro es de 34.1 daN. Por lo tanto, seleccionan cilindros de diámetro 40 mm, que tienen una capacidad de 75.4 daN para una presión de 6 bares que es superior a la requerida. En la tabla 3.3 se muestra la capacidad de los cilindros para diferentes presiones.

3.4 DISEÑO DEL MÓDULO 2: VIBRACIÓN Y COMPACTACIÓN

Este módulo se encarga de la fabricación de los bloques y consta de los siguientes elementos y sistemas:

- Molde
- Sistema de movimiento del molde

- Sistema de compactación
- Movimiento de los apisonadores
- Sistema de vibraciones

3.4.1 Molde

En el mercado nacional se puede adquirir una gran variedad de moldes para prefabricados de toda forma y dimensiones. Por esta razón, se decide adquirir un molde que resulta más económico y mucho más rápido que construirlo. Debido a que los talleres que los fabrican utilizan matrices, con lo cual se facilita el proceso y por ende se reduce el precio.

El peso del molde está alrededor de los 1500 N y las dimensiones se muestran en el anexo 9. Cada molde incluye los apisonadores que tienen la holgura apropiado entre el molde y los apisonadores.

Consideraciones de juego entre el molde y los apisonadores:

- Un juego muy pequeño provocará un desgaste elevado del molde, lo que disminuye su tiempo de vida útil, debido a la fricción que se genera al estar en contacto. Además posibles atascamientos o bloqueos al desplazarse durante el desmolde de los bloques.
- Al contrario, un juego excesivo provocará un acabado irregular en la superficie compactada de los bloques. Se pueden formar sobrantes de material que deben ser removidos con cuidado, lo que adiciona un paso adicional que no es recomendable.
- Se requiere un juego apropiado entre el molde y apisonadores permite prolongar el tiempo de vida útil del molde y permite obtener un buen acabado superficial de los bloques, el cual en base a la experiencia se utiliza una holgura de 1 mm. En la figura 3.27 (a) y (b) se muestra el molde y los apisonadores, respectivamente.

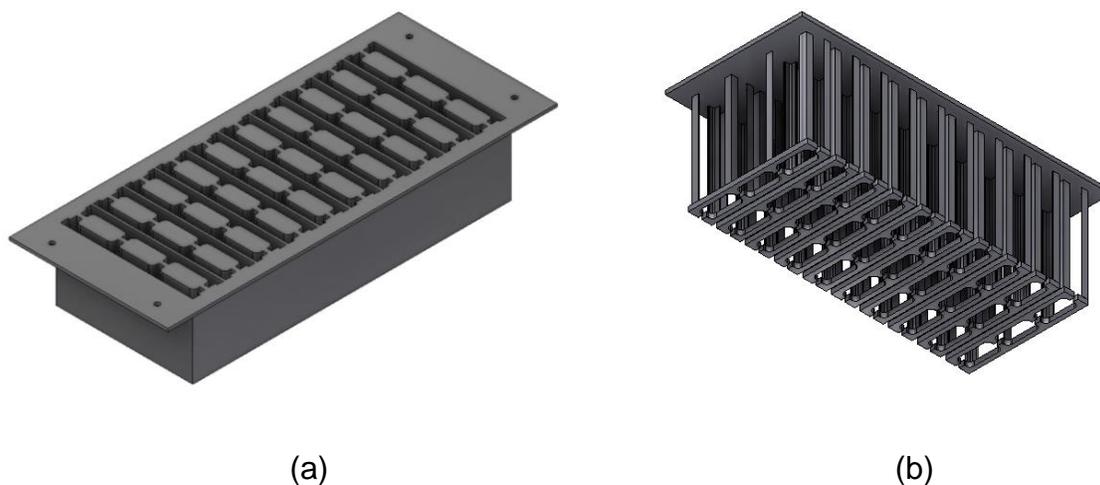


Figura 3.27. Molde para elaborar 10 bloques de 10 cm (a) y sus apisonadores (b)

Otro aspecto importante es el ángulo de desmolde que tienen los moldes, el cual es alrededor de 5° , que han determinado experimentalmente los fabricantes de este tipo de moldes. Un ángulo menor puede provocar que las paredes de los bloques se queden dentro del molde y no se logre el desmolde completo. En cambio un ángulo mayor implica un incremento en la cantidad de concreto y disminuye la cantidad de bloques que se obtienen.

3.4.2 Compactación

Para obtener un buen nivel de compactación se requiere aplicar la presión adecuada que se debe ejercer sobre la superficie superior de los bloques para lograr la consistencia adecuada de los mismos. En las especificaciones técnicas se estableció la presión recomendada para la compactación.

3.4.2.1 Presión de compactación

El área de la superficie sobre la cual se aplica la presión, se determina de la geometría y dimensiones del modelo creado con el programa Inventor 2013, como se muestra en la figura 3.28.

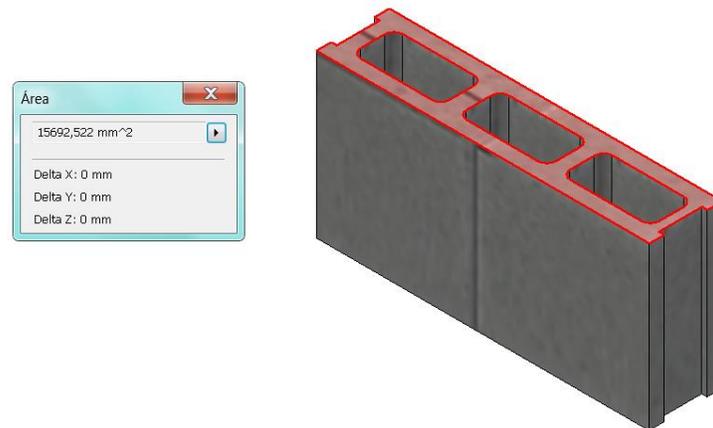


Figura 3.28. Determinación del área de la superficie a compactar.

El área de la superficie de cada bloque es de 15692 mm^2 . Por cada ciclo se elaboran 10 bloques. Por lo tanto, el área total corresponde a 10 veces al área de un bloque.

$$A_T = A * n_{\text{bloques}}$$

Ec. (3.20)

$$A_T = 156920 \text{ mm}^2 = 0.157 \text{ m}^2$$

Inicialmente se estableció dentro de las especificaciones técnicas una presión de compactación de 20 kPa. Con la presión y el área de aplicación, se determina la fuerza necesaria, la cual se provee por parte del cilindro neumático. Por lo tanto, se calcula la fuerza a ser aplicada:

$$F = P * A$$

Ec. (3.21)

$$F = 20000 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} * 0.157 \text{ m}^2$$

$$F = 3138 \text{ N}$$

El peso aproximado de los apisonadores y los elementos de montaje es alrededor de 1000 N. Por lo tanto, el cilindro debe aplicar una carga de 2138 N. Se debe considerar el retorno de los apisonadores, para lo cual se considera el peso de los apisonadores, los elementos de montaje y la fricción entre los mismos.

En base al catálogo del fabricante se selecciona el cilindro adecuado, tomando en cuenta el factor de corrección indicado en el artículo 3.4.4. Se selecciona un factor de corrección de la fuerza de 1.35 considerando que la velocidad de desplazamiento del pistón es lenta con carga aplicada en todo el desarrollo de la carrera. Por lo tanto, la capacidad requerida para el retorno de los apisonadores es de 200 daN (2000 N). Mientras que para la compactación se requiere de 288 daN (2880 N).

En la tabla 3.3 se muestra la capacidad de los cilindros para diferentes diámetros y presiones en base al catálogo del fabricante. Se selecciona un cilindro de diámetro 80 mm, que satisface los requerimientos tanto para el empuje y para tracción.

3.4.2.2 Apoyo del cilindro

El cilindro está fijado sobre un perfil en C en la parte superior, se fija a la estructura fijado mediante pernos. En la figura 3.29 se observa el montaje del cilindro al perfil C.



Figura 3.29. Montaje de cilindro al perfil C

La carga que ejerce el cilindro rodea los 3016 N. El perfil está sometido a flexión y se encuentran empernados en ambos lados, puntual en el centro.

3.4.3 Movimiento de los apisonadores

Los apisonadores se desplazan en forma vertical, entre dos posiciones. En la figura 3.30 se observan los apisonadores en la posición superior. En esta posición se proporciona el espacio suficiente para permitir que el contenedor se ubique sobre el molde para el llenado de concreto.

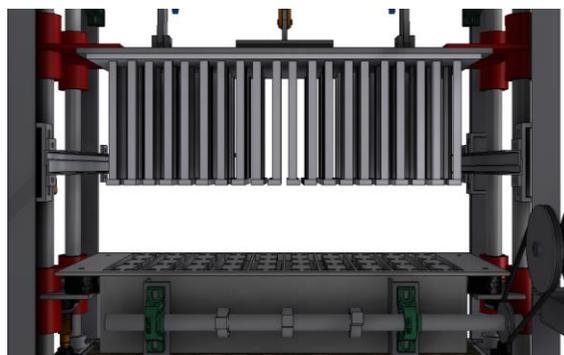


Figura 3.30. Posición superior de lo apisonadores

En la posición inferior los apisonadores compactan el concreto como se muestra en la figura 3.31.

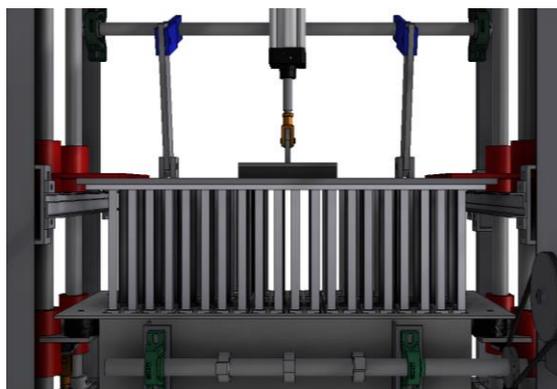


Figura 3.31. Posición inferior de lo apisonadores

Para determinar la distancia entre la posición inferior y superior debe considerar la altura del contenedor y la distancia de separación con respecto a los apisonadores. Además, la altura de ingreso de los apisonadores dentro del molde. Con lo cual, se determina la carrera del cilindro:

Dimensiones a considerar:

Altura del contenedor: 150 mm

Juego entre apisonadores y contenedor: 40 mm

Altura de ingreso de los apisonadores en el molde: 10 mm

$$C = 150 + 40 + 10 \text{ mm}$$

Por lo tanto, la carrera del cilindro que controla los apisonadores es de 200 mm.

3.4.4 Montaje de los apisonadores

Los apisonadores son fijados a una placa de acero, mediante pernos para facilitar el montaje y desmontaje de los apisonadores. Esta plancha se emperna a las placas de las correderas, las cuales se fijan mediante soldadura a las correderas. En la figura 3.32 se observa una imagen del montaje de los apisonadores.



Figura 3.32. Montaje de los apisonadores

- **Determinación del espesor de las placas para las correderas**

Los apisonadores y la placa de sujeción tienen un peso aproximado de 1000 N, el cual es soportado por las placas de las correderas. Se requiere determinar el espesor de la placa, tamaño de la soldadura y verificar si se requiere de un elemento adicional para rigidizarla.

Se establece la geometría de la placa de las correderas, de tal manera que permita el montaje mediante pernos y arandelas. Se consideran varios espesores de la placa, para realizar los análisis. Se establece el estado de carga como se observa en la figura 3.33.

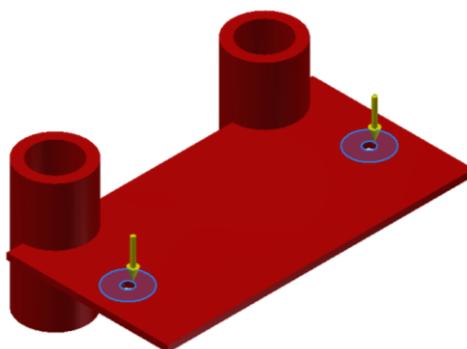


Figura 3.33. Estado de carga de la placa de las correderas

Se parte de un espesor de 8 mm de placa ASTM A-36, con el cual se realiza un análisis de tensión para conocer los esfuerzos a los que será sometida la placa y los desplazamientos que se generan.

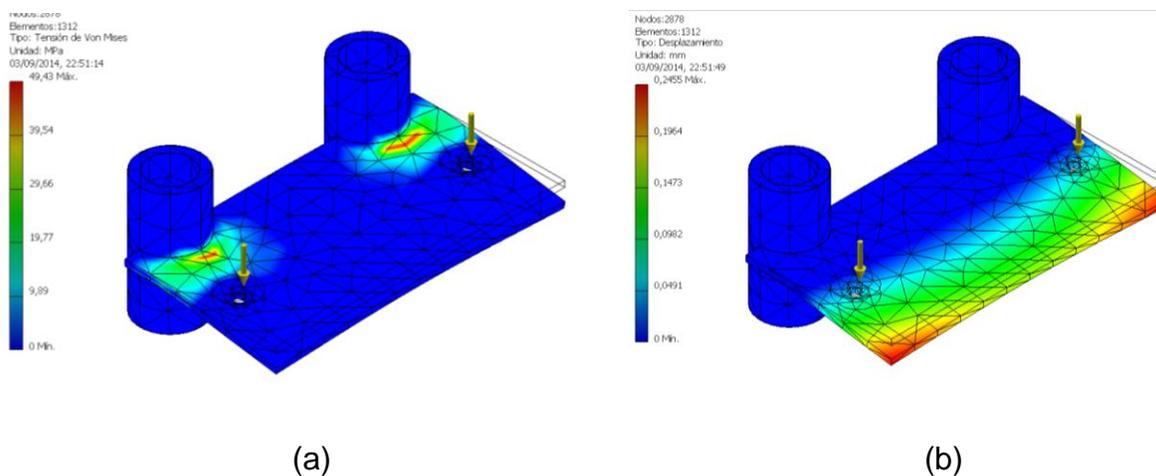


Figura 3.34. Distribución de esfuerzos (a) y deformaciones (b) en la placa

En la tabla 3.5 se muestran los resultados de las simulaciones, para diferentes espesores de placa.

Tabla 3.5. Resultados de la simulación de la placa de la corredera

Espesor mm	Esfuerzo máximo MPa	Desplazamiento máximo mm	Factor de seguridad
6	81	0.57	4.3
8	49	0.24	7.1
10	32	0.13	10.7

La simulación por elementos finitos de la placa arroja que el esfuerzo máximo está localizado en el límite de la placa con la corredera, y además que la deformación máxima se ubica en la zona en la cual se apoyan los pernos con las arandelas, mediante los cuales se fija la placa de los apisonadores.

La placa se fija a las correderas mediante soldadura, para evitar deformaciones y facilitar el proceso de soldadura se selecciona un espesor de plancha de 8 mm. Además, como la deformación es muy pequeña no se requiere de un elemento adicional para evitar la deformación (arriostamiento).

3.4.5 Sistema de vibraciones

Es importante dotar de un sistema de vibraciones adecuado para obtener bloques de buena calidad y elevar el tiempo de vida de los elementos cercanos. La vibración permite disminuir el aire contenido en el concreto de tal manera de elevar su densidad. En el capítulo anterior se seleccionó un sistema de eje y masa excéntrica para la generación de vibraciones del molde.

3.4.5.1 Vibración ¹²

La vibración, interna o externa, es el método más utilizado para la consolidación del hormigón. Cuando se vibra el hormigón, la fricción interna entre las partículas de agregado se destruye temporalmente y el hormigón se comporta como un líquido. El hormigón se fragua en los encofrados bajo la acción de la gravedad y los vacíos grandes de aire atrapado suben hacia la superficie más fácilmente. La fricción interna se reestablece cuando la vibración se interrumpe.

Los vibradores, sea internos o externos, normalmente se caracterizan por sus frecuencias de vibración, expresadas como número de vibración por segundos (hertz) o vibraciones por minuto (vpm). También se designan por la amplitud de vibración, que es la desviación en milímetros desde un punto de descanso. La

¹² Kosmatka S., Kerkhoff B., Panarese W. y Tanesi J.; (2004); *Diseño y Control de Mezclas de Concreto*; México; Portland Cement Association; pág. 233-234.

vibración inadecuada se presenta como: agujeros, cantidad excesiva de aire atrapado, juntas frías y agrietamiento por sedimentación o asentamiento.

3.4.5.2 Desbalance rotatorio ¹³

El desbalance en máquinas rotatorias es una fuente común de excitación vibratoria. Se considera aquí un sistema resorte masa restringido a moverse en la dirección vertical y excitado por una máquina rotatoria no balanceada, como se muestra en la figura 3.35. El desbalance está representado por una masa excéntrica m con excentricidad e que rota con velocidad angular w . Si x representa el desplazamiento de la masa no rotante ($M-m$), el desplazamiento de m es:

$$x + e \sin wt \quad \text{Ec. (3.22)}$$

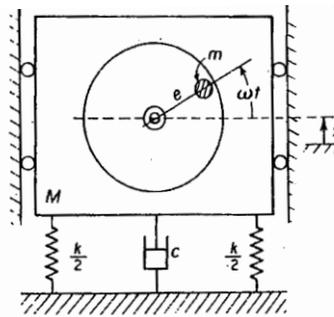


Figura 3.35. Fuerza perturbadora armónica que resulta de un desbalance

La ecuación de movimiento es:

$$M\ddot{x} + c\dot{x} + kx = (mew^2) \sin wt \quad \text{Ec. (3.23)}$$

Donde:

k : constante de rigidez del sistema

c : coeficiente de amortiguamiento

m : masa excéntrica

M : masa del sistema

¹³ THOMSON, W.; (1983); *Teoría de vibraciones, aplicaciones*; Editorial Dossat; págs. 52-53.

e: excentricidad

w: velocidad angular de la masa excéntrica

$mew^2 = Po$: es la carga aplicada al sistema

3.4.5.3 Parámetros del sistema

Es importante definir los términos para el diseño del sistema de vibraciones:

- Frecuencia natural (W_n). El sistema oscilatorio más simple consta de una masa y un resorte, cuando se le pone en movimiento y se retira la excitación externa, la oscilación tendrá lugar a la frecuencia natural, que es una propiedad del sistema. Se expresa principalmente como función de la masa (M) y de la rigidez del sistema (k):

$$W_n = \sqrt{\frac{k}{M}} \quad \text{Ec. (3.24)}$$

- Relación de amplitudes (r). Relaciona la frecuencia del sistema (w) con la frecuencia natural (Wn). Se expresa como:

$$r = \frac{w}{W_n} \quad \text{Ec. (3.25)}$$

- Factor de amortiguamiento (ζ). Indica el tipo de respuesta del sistema, que puede ser: sobreamortiguada ($\zeta > 1$), críticamente amortiguada ($\zeta = 1$), subamortiguada ($0 < \zeta < 1$) y oscilatorio marginal estable ($\zeta = 0$). Se expresa como:

$$\zeta = \frac{c}{c_c} \quad \text{Ec. (3.26)}$$

Donde:

c= coeficiente de amortiguamiento, que es una propiedad del amortiguador

c_c = coeficiente de amortiguamiento crítico del sistema, es una propiedad del sistema y se expresa como:

$$c_c = 2\sqrt{kM} \quad \text{Ec. (3.27)}$$

3.4.5.4 Amplitud de oscilación en estado estable¹⁴

La expresión de la amplitud en el estado estable se expresa como:

$$X = \frac{mew^2}{\sqrt{(k - Mw^2)^2 + (cw)^2}} \quad \text{Ec. (3.28)}$$

Donde X es la amplitud de oscilación de la vibración en estado estable.

La amplitud adimensional se expresa como:

$$\frac{X}{\frac{me}{M}} = \frac{r^2}{\sqrt{(1 - r^2)^2 + (2\zeta r)^2}} \quad \text{Ec. (3.29)}$$

Para diferentes valores de ζ , la gráfica de la relación de frecuencias y la amplitud adimensional se muestra en la figura 3.36.

¹⁴ Vierck, R.; (1967); *Vibration Analysis*; Estados Unidos; International Textbook Company; pág. 94-97.

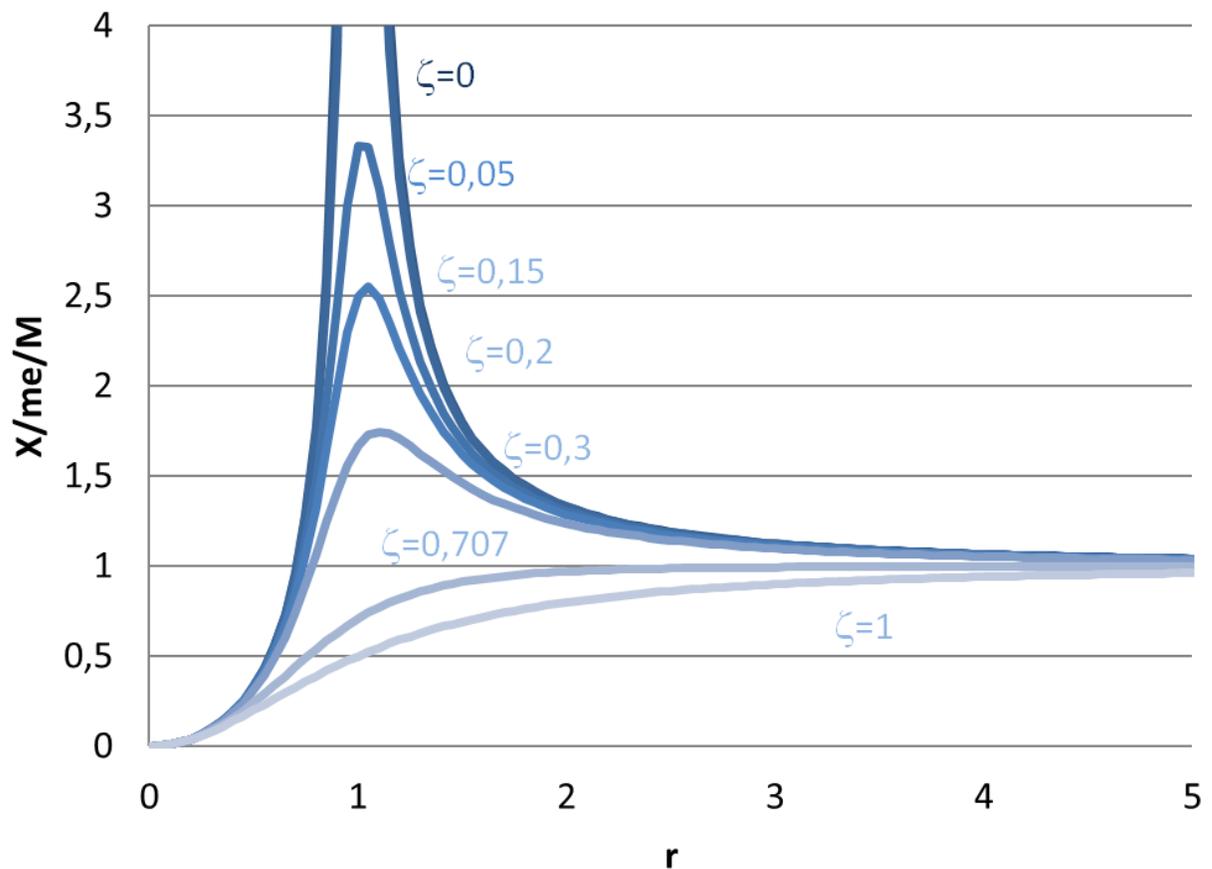


Figura 3.36. Amplitud adimensional vs. relación de frecuencias, para diferentes valores de ζ

3.4.5.5 Transmisibilidad adimensional aplicada al soporte¹⁵

Se requiere definir la fuerza transmitida al soporte y la fuerza aplicada al sistema.

- La fuerza transmitida (F_T) es la carga que se ejerce sobre soporte o bastidor del sistema, en este caso la fuerza que se transmite a las placas sobre las cuales se apoyan los amortiguadores.

$$F_T = \frac{r^2 \sqrt{1 + (2\zeta r)^2}}{\sqrt{(1 - r^2)^2 + (2\zeta r)^2}} \quad \text{Ec. (3.30)}$$

¹⁵ Vierck, R.; (1967); *Vibration Analysis*; Estados Unidos; International Textbook Company; pág. 99-101.

- La fuerza aplicada al sistema (P_o) es la carga generada por el movimiento de las masas excéntricas, debido a la fuerza centrífuga producida.

Se expresa como:

$$P_o = mew^2 \quad \text{Ec. (3.31)}$$

- La transmisibilidad adimensional (TR) es la fuerza transmitida (F_T) al soporte del sistema, con respecto a la aplicada (P_o) al sistema. Se define como:

$$TR = \frac{F_T}{P_o} = \frac{r^2 \sqrt{1 + (2\zeta r)^2}}{\sqrt{(1 - r^2)^2 + (2\zeta r)^2}} \quad \text{Ec. (3.32)}$$

Para diferentes valores de ζ , la gráfica de la relación de frecuencias y la transmisibilidad adimensional se muestra en la figura 3.37.

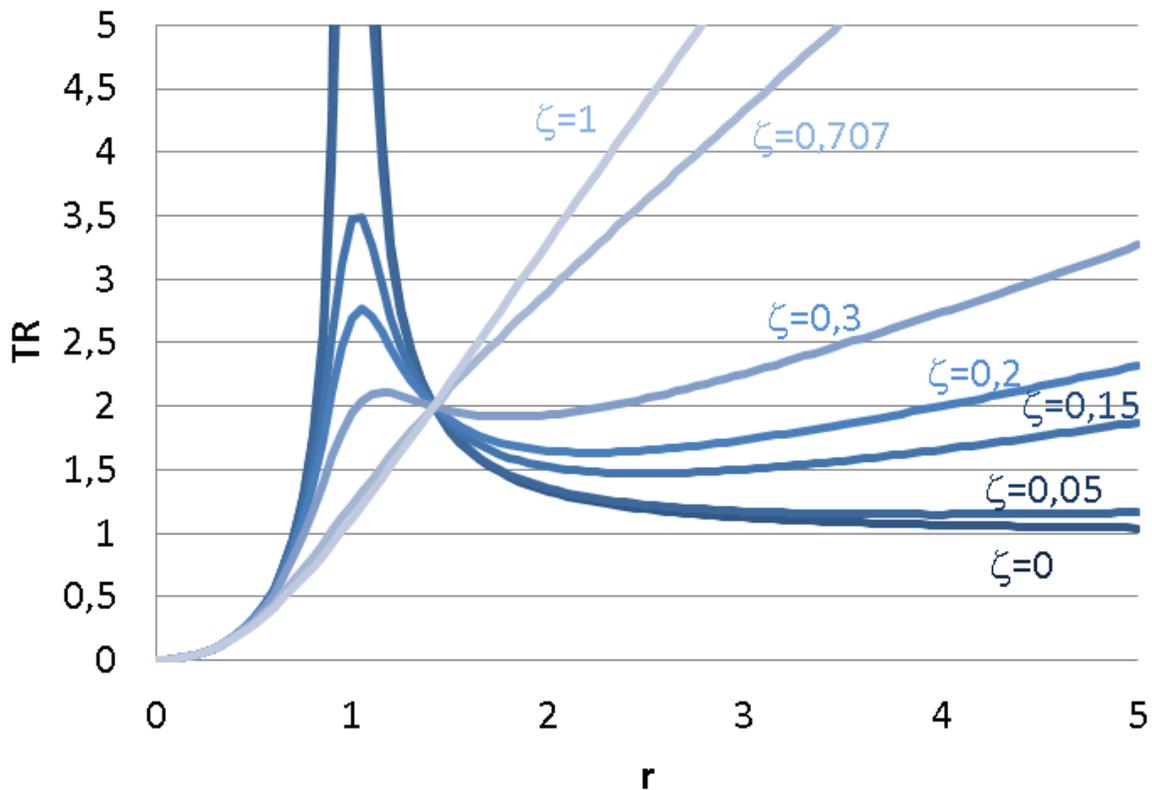


Figura 3.37. Transmisibilidad adimensional vs. relación de frecuencias, para diferentes valores de ζ

Consideraciones para el diseño del sistema de vibraciones:

- Es recomendable que el sistema funcione fuera de la relación de frecuencias (r) cercano a 1, en el que la frecuencia de oscilación se acerca a la frecuencia natural. Al encender y apagar el sistema se debe pasar lo más rápidamente posible de la frecuencia natural, para evitar que se generen oscilaciones con amplitudes muy elevadas.
- Para relaciones de frecuencia menores que $\sqrt{2}$ y factores de amortiguamiento bajos, se presentan grandes amplitudes de las oscilaciones, como se observa en la figura 3.36. Por lo tanto, la relación de frecuencias debe ser mayor que $\sqrt{2}$ para evitar elevadas amplitudes de oscilación.
- Para relaciones de frecuencia menores que $\sqrt{2}$ y factores de amortiguamiento bajos, se presentan una alta transmisibilidad que implica cargas considerables o excesivas al soporte, como se observa en la figura 3.37.
- Para relaciones de frecuencia mayores de $\sqrt{2}$, a medida que el factor de amortiguamiento es mayor se incrementa la transmisibilidad, como se observa en la figura 3.37. Por lo tanto, se requiere que el factor de amortiguamiento sea bajo para evitar elevadas cargas al soporte del sistema.

3.4.5.6 Determinación de la constante de rigidez del amortiguador

Para determinar la constante de rigidez de los amortiguadores se realiza un ensayo estático de compresión. En la figura 3.38 se observa el montaje de uno de los amortiguadores en la máquina universal de ensayos. En el anexo 4 se muestra el informe con los resultados de los ensayos realizados.



Figura 3.38. Montaje del amortiguador a la máquina universal de ensayos

En la figura 3.39 se observa la curva obtenida de carga vs. posición del cabezal móvil de la máquina universal de ensayos. Se determina la pendiente de la curva obtenida que corresponde a la constante de rigidez del amortiguador.

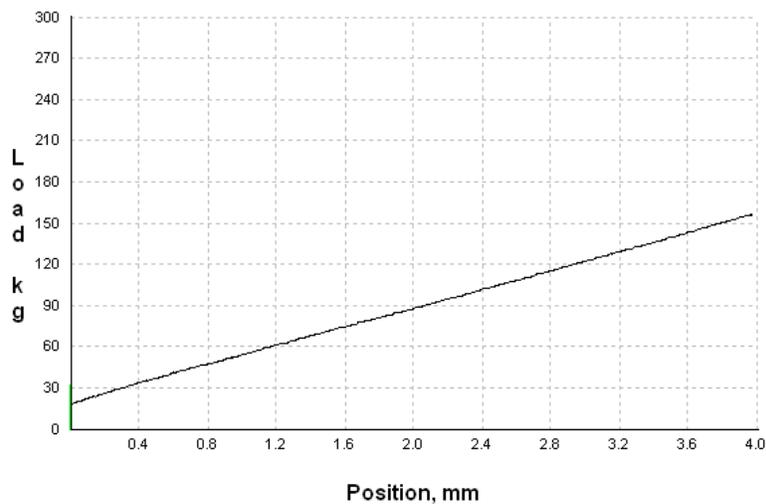


Figura 3.39. Curva de carga vs. posición del cabezal móvil

Se toma dos puntos de la recta para calcular la pendiente, se obtiene:

$$k_1 = \frac{150 - 60}{3.8 - 1.2}$$

$$k_1 = 34.6 \text{ kg/mm}$$

Por lo tanto, la constante de rigidez (k_1) de un amortiguador es 339080 N/m.

3.4.5.7 Determinación del coeficiente de amortiguamiento¹⁶

Se determina el coeficiente de amortiguamiento (c) experimentalmente, mediante el método del decremento logarítmico con ayuda del analizador de vibraciones del Laboratorio de Análisis de Esfuerzos y Vibraciones (LAEV). En la figura 3.40 se observa el montaje de dos amortiguadores con una distribución en paralelo para el ensayo de análisis de vibraciones. En el anexo 4 se muestra el informe con los resultados de los ensayos realizados.

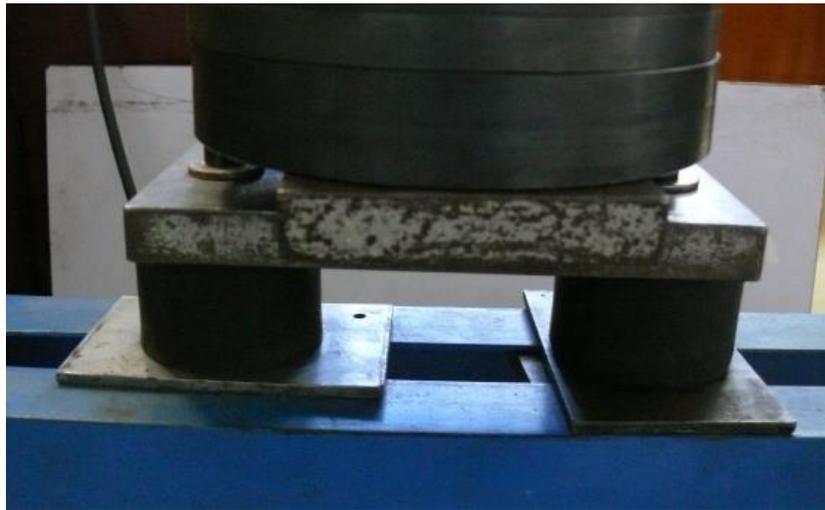


Figura 3.40. Montaje de los amortiguadores en paralelo

Una vez montado el sistema, se ubica el acelerómetro del analizador de vibraciones sobre el sistema. Se procede a dar impulsos al sistema y se deja que se establezca (vibración libre). En la pantalla del computador se puede observar la gráfica de las oscilaciones. En la figura 3.41 se observa la gráfica de desplazamiento del sistema.

¹⁶ Vierck, R.; (1967); *Vibration Analysis*; Estados Unidos; International Textbook Company.

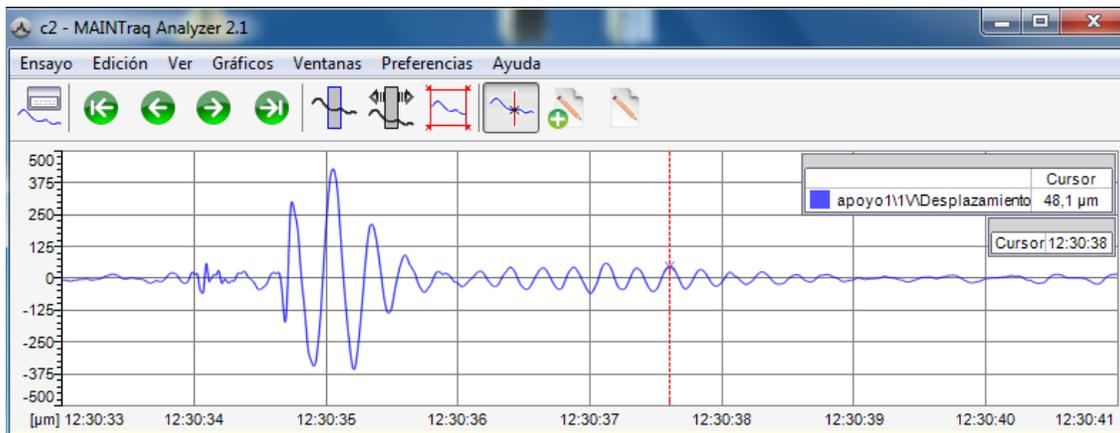


Figura 3.41. Curva de desplazamiento del sistema

Se toman dos amplitudes máximas consecutivas de la onda obtenida para determinar el decremento logarítmico (δ).

$$\delta = \ln \frac{x_j}{x_{j+1}} \quad \text{Ec. (3.33)}$$

En la figura 3.42 se muestra como se realizó la toma de datos. En la tabla 3.6 se observan los valores obtenidos de dos amplitudes máximas consecutivas mediante el ensayo de análisis de vibraciones y el decremento logarítmico (δ).

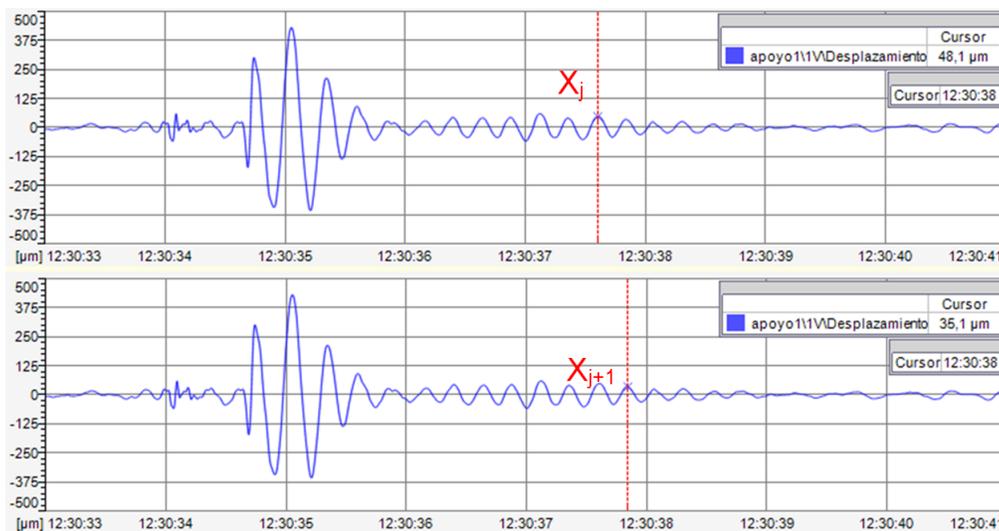


Figura 3.42. Amplitudes máximas consecutivas

Tabla 3.6. Resultados del ensayo para determinar el decremento logarítmico

Medición	x_j	x_{j+1}	δ
1	48.1	35.1	0.3275
2	35.1	24.2	0.3718
3	48.0	24.0	0.3466
4	35.1	15.0	0.2834
5	57.0	41.0	0.3295

El promedio del decremento logarítmico (δ) es de 0.33176.

Para determinar el factor de amortiguamiento, se utiliza la siguiente ecuación:

$$\zeta = \frac{\delta}{\sqrt{(2\pi)^2 + \delta^2}} \quad \text{Ec. (3.34)}$$

$$\zeta = 0.0527$$

Para calcular el coeficiente de amortiguamiento se necesita conocer el coeficiente de amortiguamiento crítico del sistema que corresponde a la masa colocada sobre los dos amortiguadores (M_2), con un valor de 25 kg. Como están ubicados en paralelo se suman las constantes de rigidez (k_1) para obtener la constante del sistema (k_2).

$$k_2 = k_1 + k_1 \quad \text{Ec. (3.35)}$$

$$k_2 = 69.2 \text{ kg/mm}$$

El coeficiente de amortiguamiento crítico del sistema se obtiene con la siguiente expresión:

$$c_c = 2\sqrt{k_2 M_2} \quad \text{Ec. (3.36)}$$

$$c_c = 0.8403 \text{ kg s/mm}$$

Se determina el coeficiente de amortiguamiento para los dos amortiguadores en paralelo (c_2), mediante la siguiente expresión:

$$\zeta = \frac{c_2}{c_c} \quad \text{Ec. (3.37)}$$

$$c_2 = \zeta c_c$$

$$c_2 = 0.04428 \text{ kg s/mm}$$

Como están ubicados en paralelo, el coeficiente de amortiguamiento para cada amortiguador es:

$$c_1 = c_2/2 \quad \text{Ec. (3.38)}$$

$$c_1 = 0.02214 \text{ kg s/mm}$$

3.4.5.8 Constante de rigidez y coeficiente de amortiguamiento

Es importante considerar que al inicio del ciclo el molde se encuentra vacío por un corto periodo de tiempo, posteriormente el contenedor con el concreto se ubica sobre el molde. Por lo cual, la masa del sistema que analizará corresponde a la masa del molde y del sistema de vibraciones (chumaceras, eje y masas excéntricas).

$$M = M_{\text{molde}} + M_{\text{sist. vibraciones}} \quad \text{Ec. (3.39)}$$

$$M_{\text{molde}} = 150 \text{ kg}$$

$$M_{\text{ist.vibraciones}} \approx 4 \text{ kg}$$

$$M = 154 \text{ kg}$$

Por lo tanto, la masa del sistema (M) sin el concreto es aproximadamente de 154 kg.

El molde se apoya sobre cuatro amortiguadores con una distribución en paralelo, para determinar la constante de rigidez del sistema se suman las constantes de rigidez de cada amortiguador.

$$k = 4 * k_r \quad \text{Ec. (3.38)}$$

$$k = 1.356 \times 10^6 \text{ N/m}$$

De igual manera, para determinar el coeficiente de amortiguamiento del sistema se suman los coeficientes de cada amortiguador.

$$c = 4 * c_1 \quad \text{Ec. (3.39)}$$

$$c = 0.08856 \text{ kg s/mm}$$

En la tabla 3.7 se observan el resumen de los parámetros obtenidos del amortiguador y del sistema de vibraciones que consta de cuatro amortiguadores en paralelo.

Tabla 3.7. Parámetros del amortiguador y del sistema

Elemento	Constante de rigidez, k		Coeficiente de amortiguamiento, c
	kg/mm	N/m	kg s/mm
Un amortiguador	34.6	3.39×10^5	0.02214
Sistema (4 amortiguadores en paralelo)	138.4	1.356×10^6	0.08856

3.4.5.9 Determinación de la relación de frecuencias del sistema

Se determina la frecuencia natural del sistema, utilizando la Ec. (3.24), se tiene:

$$W_n = 94.14 \text{ rad/s}$$

$$W_n = 899 \text{ rpm}$$

La frecuencia de vibración del sistema (w) indicada en las especificaciones técnicas es de 3600 rpm. La relación de frecuencias del sistema relaciona la frecuencia de vibración del sistema con la frecuencia natural, utilizando la Ec. (3.25), se tiene:

$$r = \frac{3600}{899}$$

$$r = 4$$

3.4.5.10 Determinación del factor de amortiguamiento

Para determinar el factor de amortiguamiento del sistema se requiere calcular el coeficiente de amortiguamiento crítico. Que se expresa mediante la Ec. (3.27).

Como, M es la masa del sistema sin el concreto y k corresponde a la constante de rigidez del sistema (cuatro amortiguadores en paralelo). Se obtiene:

$$c_c = 2.9495 \text{ kg s/mm}$$

El factor de amortiguamiento del sistema se expresa mediante Ec. (3.26). Al reemplazar los valores de c y c_c se calcula el factor de amortiguamiento:

$$\zeta = 0.03$$

3.4.5.11 Parámetros del sistema de vibraciones

En la tabla 3.8 se muestra el resumen de los parámetros del sistema de vibraciones.

Tabla 3.8. Parámetros del sistema de vibraciones

Parámetro	Símbolo	Unidades	Valor
Frecuencia natural	Wn	rpm	899
Frecuencia de oscilación	w	rpm	3600
Relación de frecuencias	r	–	4
Constante de rigidez	k	kg/mm	138.40
Coficiente de amortiguamiento	c	kg s/mm	0.0885
Coficiente de amortiguamiento critico	c_c	kg s/mm	2.9495
Factor de amortiguamiento	ζ	–	0.030

3.4.5.12 Dimensionamiento de las masas excéntricas

Para el dimensionamiento de las masas excéntricas se requiere evaluar la amplitud de las oscilaciones (X), la magnitud de la fuerza transmitida al soporte (F_T) y al sistema (P_o) en el estado estable.

- La amplitud de las oscilaciones

Para el estado estable del sistema se expresa mediante la ecuación:

$$X = \frac{me}{M} \left[\frac{r^2}{\sqrt{(1-r^2)^2 + (2\zeta r)^2}} \right] \quad \text{Ec. (3.40)}$$

Al reemplazar los valores de r y ζ obtenidos, se resume a:

$$X = \frac{me}{M} [1.0665] \quad \text{Ec. (3.41)}$$

- La magnitud de la fuerza transmitida al soporte

Para el estado estable del sistema se expresa mediante la ecuación:

$$F_T = \frac{mek}{M} \left[\frac{r^2 \sqrt{1 + (2\zeta r)^2}}{\sqrt{(1-r^2)^2 + (2\zeta r)^2}} \right] \quad \text{Ec. (3.42)}$$

Al reemplazar los valores de r y ζ obtenidos, se resume a:

$$F_T = \frac{mek}{M} [1.0968] \quad \text{Ec. (3.43)}$$

- La carga aplicada sobre el sistema

Se refiere a la carga aplicada sobre los rodamientos de las chumaceras. Se determina en base a la Ec. (3.31).

Como la frecuencia natural es de 377 [rad/s], es tiene que:

$$P_o = (142122.3)me N \quad \text{Ec. (3.44)}$$

Para el dimensionamiento de las masas excéntricas se requiere determinar los valores de m y e . En la tabla 3.9 se observan los valores de la amplitud de las oscilaciones (X) y la magnitud de la fuerza transmitida al soporte (F_T) y al sistema (P_o) en el estado estable. Por cuestiones de espacio entre el eje y el borde superior del molde, la longitud de la masa excentricidad máxima es de 45 mm.

Tabla 3.9. Amplitud de las oscilaciones, magnitud de la fuerza transmitida al soporte y al sistema en el estado estable, para diferentes valores de m y e .

m	e	X	F_T	P_o
kg	mm	mm	N	N
0.8	45	0.25	347	5116
1.0	45	0.31	434	6395
1.2	45	0.37	521	7674
1.4	45	0.43	608	8953
1.6	45	0.50	695	10232
1.8	45	0.56	782	11512
2.0	45	0.62	869	12791
2.2	45	0.69	956	14070
2.4	45	0.75	1043	15349
2.6	45	0.81	1130	16628

Para aplicaciones de hormigón plástico en muros delgados, columnas, vigas, pilares prefabricados, losas delgadas y a lo largo de juntas de construcción. El valor sugerido para el promedio de amplitud de las oscilaciones es de 0.5 a 1 mm. En la tabla 5 del anexo 5 se muestra los valores sugeridos para el promedio de amplitud según la aplicación.¹⁷

Por lo tanto, para el dimensionamiento de las masas excéntricas se considera el valor sugerido para el promedio de amplitud de 0.5 -1 mm. Para evitar pérdidas del concreto entre el molde y el tablero de madera se selecciona una amplitud de 0.56 mm, que corresponde a una masa excéntrica de 1.8 kg.

¹⁷ Carrasco María; (2009); *Tecnología del hormigón*; Argentina; Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Santa Fe; pág. 23/37.

3.4.5.13 Selección del motor

Para determinar la potencia del motor se utiliza la siguiente ecuación:

$$P = Fv \quad \text{Ec. (3.45)}$$

Donde:

F= fuerza aplicada al molde

v= velocidad máxima que alcanza el molde vibratorio

Se calcula la fuerza en base a la ecuación:

$$F = Ma \quad \text{Ec. (3.46)}$$

Donde:

M= masa del molde vibratorio

a= aceleración del molde vibratorio

La aceleración se calcula mediante:

$$a = \frac{v}{t} \quad \text{Ec. (3.47)}$$

Donde:

t= tiempo para alcanzar la velocidad máxima

Se tiene:

$$P = \left(M \frac{v}{t}\right) v \quad \text{Ec. (3.48)}$$

$$P = \frac{Mv^2}{t}$$

Se determina la velocidad máxima y el tiempo para alcanzar esta velocidad al molde vibratorio.

- La velocidad máxima se calcula mediante:

$$v = wX \quad \text{Ec. (3.49)}$$

Donde:

w = velocidad angular de oscilación

X = amplitud máxima

- Tiempo en el que alcanza la velocidad máxima

El periodo del ciclo (T) completo se determina mediante:

$$T = \frac{2\pi}{w} \quad \text{Ec. (3.50)}$$

El molde alcanza la velocidad máxima en un periodo de tiempo equivalente a la cuarta parte del periodo de ciclo completo. Por lo tanto:

$$t = \frac{1}{4} \left(\frac{2\pi}{w} \right) \quad \text{Ec. (3.51)}$$

$$t = \frac{\pi}{2w}$$

Al reemplazar la velocidad máxima y el tiempo en el que alcanza esta velocidad, en la ecuación para calcular la potencia, se obtiene:

$$P = \frac{M(wX)^2}{\frac{\pi}{2w}} \quad \text{Ec. (3.52)}$$

$$P = \frac{2MX^2w^3}{\pi}$$

Se considera un factor para determinar la potencia real del motor, debido a que parte de la potencia es absorbida por elementos mecánicos y la transmisión de potencia del motor al eje del sistema de vibraciones. Se asume un valor de 1.3.

$$P = 1.3 \left(\frac{2MX^2w^3}{\pi} \right) \quad \text{Ec. (3.53)}$$

$$P = 2149.3 \text{ W}$$

$$P = 2.88 \text{ HP}$$

Por lo tanto, se selecciona un motor de 3 HP para el sistema de vibraciones.

3.4.5.14 Diseño del eje

La transmisión de potencia del motor al eje con masas excéntricas se transmite mediante poleas y una banda trapezoidal, para aislar las vibraciones generadas por el molde. El sistema de vibraciones consta de masas excéntricas montadas sobre un eje, el cual se apoya sobre dos rodamientos alojados en chumaceras, en uno de los extremos se monta una polea para la transmisión de potencia. En la figura 3.43 se muestra el esquema del sistema de vibraciones.



Figura 3.43. Esquema del sistema de vibraciones

Para diseñar el eje, se requiere establecer el estado de carga del eje. Para lo cual se identifican las cargas aplicadas al eje:

- La fuerza centrífuga generada por las masas excéntricas, calculada en el apartado anterior, es de 11512 N. Como son cuatro masas cada una genera una carga de 2878 N.
- El torque transmitido al eje proporcionado por el motor es de 5.6 Nm.

Además, se requiere conocer la fuerza total que soporta el eje generada por la banda. Para lo cual se requiere determinar la diferencia de fuerzas en el lado tenso y flojo, respectivamente, mediante la siguiente ecuación:

$$F_1 - F_2 = \frac{P}{V} \quad \text{Ec. (3.54)}$$

Donde:

Pd = potencia de diseño, determinada en el apartado anterior, 2149 W

V = velocidad de la banda, 14.37 m/s

Por lo tanto:

$$F_1 - F_2 = 150 \text{ N}$$

La acción de cuña que se presenta en las correas trapezoidales permite transmitir una fuerza tangencial mayor. Se considera una relación de tracción F_1/F_2 para correas trapezoidales de 5.¹⁸

Entonces, se tiene:

$$5(F_2) - F_2 = 150 \text{ N}$$

$$F_2 = 37 \text{ N}$$

$$F_1 = 187 \text{ N}$$

¹⁸ FAIRES, V.; *Diseño de elementos de máquinas*; Editorial Montaner y Simons; pág. 594-595.

La fuerza total F_b que soporta el eje generada por la banda, ubicada en el extremo del eje, corresponde a:

$$F = F_1 + F_2 \quad \text{Ec. (3.55)}$$

$$F_b = 224 \text{ N}$$

En base a las cargas y la posición de los apoyos de los ejes se establece el estado de carga, y se obtienen los diagramas de fuerza cortante y momento flector que se muestra en la figura 3.44.

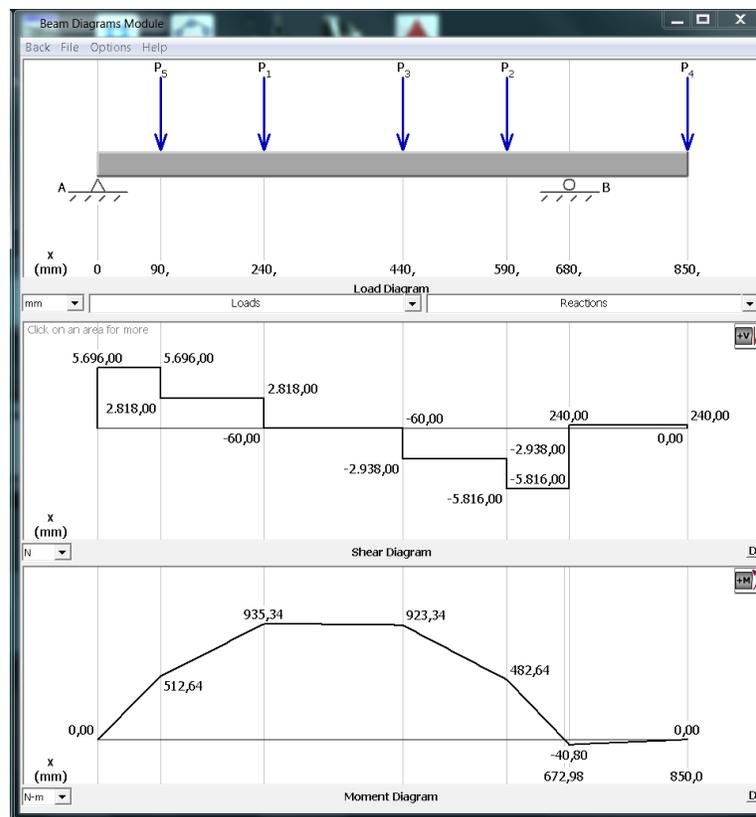


Figura 3.44. Diagrama de fuerza cortante y momento flector del eje

En la figura 3.45 se observa el diagrama de torque del eje.

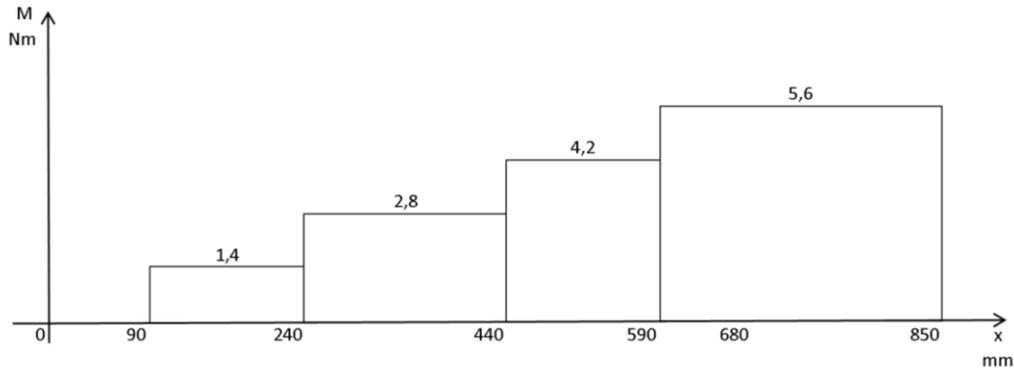


Figura 3.45. Diagrama de torque del eje

Del diagrama de momento flector se determina que el momento máximo se ubica en la masa excéntrica central, con un valor de 935 Nm. Considerando el torque, se analiza el punto donde se ubica la tercera masa excéntrica con un momento flector de 923 Nm, en este punto el torque es de 4.2 Nm.

El material seleccionado es un acero de transmisión AISI 1045, cuyo esfuerzo de fluencia es 313 MPa.

El dimensionamiento estático del eje se realiza en base a la energía de la distorsión. Se considera un factor de seguridad de 2 y con las propiedades del acero AISI 1045, se tiene:

$$d = \left\{ \frac{32n}{\pi S_y} \left[M^2 + \frac{3T^2}{4} \right]^{\frac{1}{2}} \right\}^{\frac{1}{3}} \quad \text{Ec. (3.56)}$$

$$d = 0.0391 \text{ m}$$

Por lo tanto, se selecciona un eje de diámetro 38.1 mm (1 1/2") de acero AISI1045.

La fuerza centrífuga generada por las masas excéntricas permanece constante en el eje durante el funcionamiento, cuando el molde se encuentra en la posición inferior. Al desplazarse el molde a la posición superior, la banda pierde la tensión por lo cual deja de transmitir la potencia, actúa como un embrague. En esta posición el eje se

detiene y desaparece la fuerza centrífuga. Se presenta un estado de carga variable por lo cual se requiere un análisis a fatiga.

En la figura 3.46 se observa la variación del momento con el tiempo que varía según con la posición del molde: inferior (momento máximo) y superior (momento nulo).

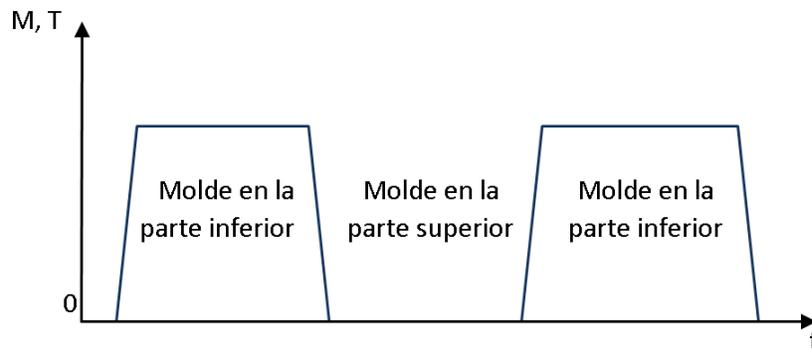


Figura 3.46. Variación del momento con la posición del molde

Se determinará el factor de seguridad para el análisis de fatiga del eje, considerando el punto de cambio de sección del eje para el montaje del rodamiento, que corresponde al punto B de la figura 3.44.

El límite de resistencia a la fatiga se determina con la siguiente ecuación: ¹⁹

$$Se = ka * kb * kc * kd * ke * kf * Se' \quad \text{Ec. (3.57)}$$

Donde:

Se' = límite de resistencia a la fatiga de la probeta

ka = factor de superficie

kb = factor de tamaño

kc = factor de carga

kd = factor de temperatura

¹⁹ Budynas R., Nisbett K.; (2008); *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*; Ed. McGRAW-HILL; Octava Edición; México; pág. 336-357.

k_e = factor de confiabilidad

k_f = factor de efectos diversos

Cálculo de los factores, en base a la referencia [16]:

$$S_e' = 0.5 \cdot S_{ut} = 0.5 \cdot 620 = 310 \text{ MPa (acero AISI 1045)}$$

k_a , el acabado superficial del eje es maquinado, referencia [16], se determina el factor $a = 4.51$ y el exponente $b = -0.265$, Por lo tanto:

$$k_a = 0.82$$

k_b , según la ecuación:

$$k_b = 1.24d^{-0.107} \quad \text{si } 2.79 < d < 51 \text{ mm} \quad \text{Ec. (3.58)}$$

$$k_b = 0.83$$

k_c , se determina según la tabla de la referencia [16], corresponde a un valor de 1.

k_d , según la temperatura de operación, en base a la tabla proporcionada en la referencia [16] se determina el valor de 1.

k_e , se considera una confiabilidad de 99.9%, que corresponde a un valor de 0.753 según la tabla proporcionada en la referencia [16].

k_f , se considera un valor de 1, de la referencia [16].

Se determina el límite de resistencia a la fatiga:

$$S_e = 160 \text{ MPa}$$

Se requiere determinar los factores de concentración de esfuerzos a la fatiga, K_f y K_{fs} , con las siguientes ecuaciones [16]:

$$K_f = 1 + q(K_t - 1) \quad \text{Ec. (3.59)}$$

$$K_{fs} = 1 + q_s(K_{ts} - 1) \quad \text{Ec. (3.60)}$$

Donde:

q = sensibilidad a la muesca para elementos sometidos a flexión

q_s = sensibilidad a la muesca para elementos sometidos a torsión

K_t = factor teórico de concentración de esfuerzos, flexión

K_{ts} = factor teórico de concentración de esfuerzos, torsión

Se determinan los valores de q , q_s , K_t y K_{ts} de la graficas proporcionadas por la referencia. Se determinan los siguientes valores:

$$q = 0.71$$

$$q_s = 0.87$$

$$K_t = 1.90$$

$$K_{ts} = 1.47$$

Se determinan los factores de concentración de esfuerzos a la fatiga:

$$K_f = 1.63 \text{ y } K_{fs} = 1.40$$

Los esfuerzos de Von Mises para ejes giratorios redondos sólidos, referencia [16], están dados por:

$$\sigma_a' = \left[\left(\frac{32K_f M a}{\pi d^3} \right)^2 + 3 \left(\frac{16K_{fs} T a}{\pi d^3} \right)^2 \right]^{1/2} \quad \text{Ec. (3.61)}$$

$$\sigma_m' = \left[\left(\frac{32K_f M m}{\pi d^3} \right)^2 + 3 \left(\frac{16K_{fs} T m}{\pi d^3} \right)^2 \right]^{1/2} \quad \text{Ec. (3.62)}$$

Como los esfuerzos variables mínimos son nulos, $\sigma_{min} = 0$, entonces se tiene que:

$$\sigma_a' = \sigma_m' \quad \text{Ec. (3.63)}$$

Al reemplazar los valores se tiene:

$$\sigma'_a = 12.4 \text{ MPa}$$

Para determinar el factor de seguridad se considera el criterio de falla por fatiga de la línea de Goodman. Se tiene que:

$$\frac{1}{n} = \frac{\sigma'_a}{S_e} + \frac{\sigma'_m}{S_{ut}} \quad \text{Ec. (3.64)}$$

Como $\sigma'_a = \sigma'_m$, se tiene:

$$\frac{1}{n} = \sigma'_a \left(\frac{1}{S_e} + \frac{1}{S_{ut}} \right) \quad \text{Ec. (3.65)}$$

$$n = 10.2$$

El factor de seguridad es muy elevado debido a que el momento flector en este punto es bajo.

3.4.5.15 Selección de rodamientos

Las masas excéntricas se ubican sobre un eje, el cual se apoya sobre dos rodamientos alojados en chumaceras. En el extremo libre se ubica una polea para transmitir la potencia del motor mediante una banda trapezoidal. En la figura 3.43 se observa el esquema del sistema de vibraciones que consta de un eje con las masas excéntricas y la polea.

Los rodamientos están sometidos a cargas radiales por lo que se utilizan rodamientos de bolas. La carga dinámica a la que se encuentra sometido cada rodamiento es de 5760 N. Se requiere determinar la carga dinámica para la selección del rodamiento, con la ecuación:²⁰

$$C' = \frac{f_L}{f_n} P' \quad \text{Ec. (3.66)}$$

²⁰ Catalogo FAG 41250 SA; *Rodamientos de bolas FAG*; pág. 32,34

Donde:

$f_L = 1.5$ (Factor de esfuerzo dinámico)

$f_n = 0.21$ (Factor de velocidad, para 3600 rpm)

P' = Carga dinámica

$$C' = 35.7 \text{ kN}$$

Se selecciona un rodamiento 6307 que cumple con la capacidad requerida. En el anexo 6 se muestran las dimensiones del rodamiento.

3.4.6 Movimiento del molde

3.4.6.1 Posiciones del molde

El molde se desplaza en forma vertical, entre dos posiciones. En la posición inferior el molde se asienta sobre los amortiguadores de caucho, el contenedor se ubica sobre el molde para llenarlo de concreto. Una vez que se completa el llenado del molde con el concreto, el contenedor se desplaza hacia la parte posterior. En la figura 3.47 se observa el molde en su posición inferior.



Figura 3.47. Posición inferior del molde

Una vez retirado el contenedor se procede a la compactación mediante los apisonadores. Luego de la compactación del concreto, se deben desmoldar los bloques para lo cual se debe desplazar de la posición inferior a la superior, como se muestra en la figura 3.48. A la vez se retiran los apisonadores, de tal manera que el

tablero sobre el cual están asentados los bloques puede ser retirado de la máquina e ingrese otro tablero vacío para el siguiente ciclo.



Figura 3.48. Posición superior del molde

3.4.6.2 Montaje de molde

El molde tiene un peso aproximado de 1500 N, el cual es soportado por dos placas unidas a las correderas. El molde se apoya sobre las placas mediante bases de motor, los cuales permiten disminuir la transmisión de vibraciones del molde hacia las correderas y a la vez a los cilindros neumáticos. En la figura 3.49 se observa el montaje del molde y de las placas con las correderas.

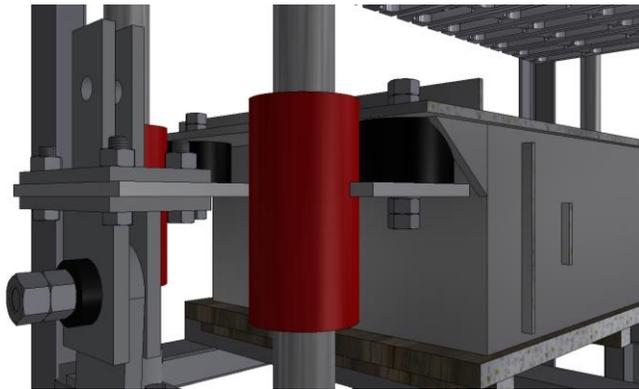


Figura 3.49. Montaje del molde

El estado más crítico se da en la posición superior del molde, elevado por los cilindros. Los cilindros se conectan mediante un cable de acero para evitar la

transmisión de la vibración a la parte central de la placa fijada con las correderas. Las placas se unen a las correderas mediante cordones de soldadura, como se observa en la figura 3.50.

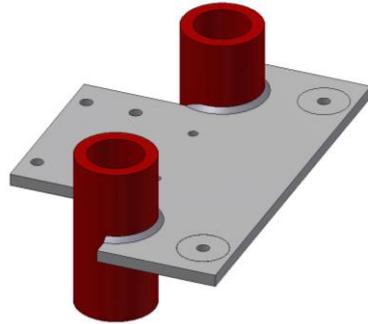


Figura 3.50. Placa soldada a las correderas

Se establece la geometría de la placa, de tal manera que permita el apoyo suficiente de las bases de motor y por el otro lado la fijación de la placa para los brazo de guía.

Para establecer el estado de carga de las placas, se debe tener en cuenta que en la posición superior los apisonadores pueden descender y se aplicaría una equivalente al peso de los apisonadores y la carga que ejerce el cilindro de compactación. Por lo cual, para la simulación se debe considerar: peso del molde y los apisonadores, y la carga que ejerce el cilindro de compactación. Se aplican las condiciones de borde, como se observa en la figura 3.51, en la parte superior se aplican las cargas establecidas.

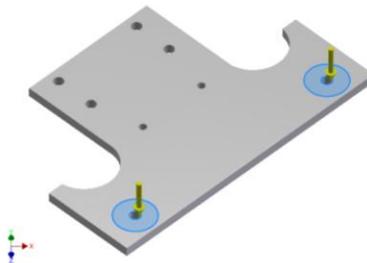


Figura 3.51. Estado de carga de la placa

Se procede a realizar la simulación de esfuerzos y deformaciones para diferentes espesores de palca de acero ASTM A-36. En la figura 3.52 se observa la distribución de esfuerzos y deformaciones para un espesor de 10 mm.

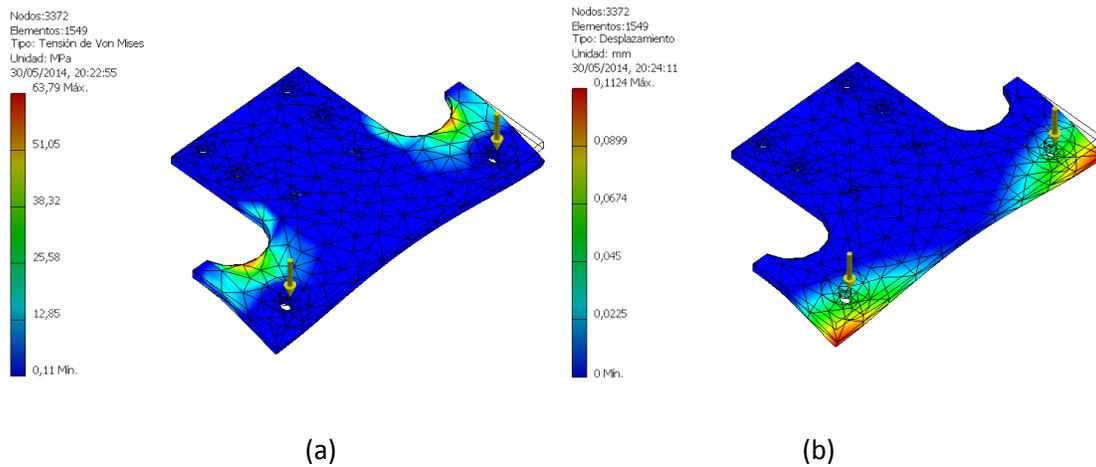


Figura 3.52. Distribución de esfuerzos (a) y deformaciones (b) en la placa

En la tabla 3.10. se muestran los resultados de las simulaciones, para diferentes espesores de placa.

Tabla 3.10. Resultados de la simulación

Espesor mm	Esfuerzo máximo MPa	Desplazamiento mm	Factor de seguridad
6	173	0.50	2.0
8	83	0.21	4.2
10	63	0.11	5.5
12	46	0.06	7.4

La simulación por elementos finitos de la placa arroja que el esfuerzo máximo está localizado en el límite de la placa con la corredera, y además que la deformación máxima se ubica en la zona en la cual se apoyan las bases de motor, sobre las cuales se apoya el molde.

La placa se fija a las correderas mediante soldadura, para evitar deformaciones y facilitar el proceso de soldadura se selecciona un espesor de plancha de 10 mm.

Además, como la deformación es muy pequeña no se requiere de un elemento adicional para evitar la deformación (arriostamiento).

3.4.6.3 Montaje de cilindros

El molde vibratorio se apoya sobre placas fijadas a las correderas para elevar o descender el molde. Debido al nivel de vibración que tiene el molde vibratorio, no se puede acoplar directamente los cilindros neumáticos. La vibración puede reducir el tiempo de vida de los cilindros neumáticos, por lo cual se opta por un mecanismo de elevación mediante un cable de acero y poleas. En la figura 3.53 se observa el mecanismo de elevación mediante poleas y cable de acero.



Figura 3.53. Montaje del mecanismo de elevación

3.4.6.4 Selección de los cilindros

Se utilizarán dos cilindros, uno a cada lado, para desplazar el molde entre las dos posiciones. Para la selección de los cilindros adecuados, se debe considerar el peso del molde y la fricción entre la guía y la corredera.

El peso del molde es de aproximadamente 1500 N, y la fricción se produce entre el eje y el duralon de la corredera. Se considera una carga adicional de 50% debido a la fricción.

Por lo tanto, la fuerza total que se requiere es alrededor de 2250 N. Es importante considerar, que la carga se aplicará durante toda la carrera y no solamente al final de la carrera.

La carrera del cilindro está determinada por las posiciones superior e inferior. Para lo cual, se debe considerar la altura del molde y una distancia entre la parte inferior del molde y la superficie superior de los bloques, de tal manera que se retire el tablero con los bloques fácilmente.

La altura del molde es de 200 mm, y se considera una separación entre el molde y los bloques de 50 mm. Por lo tanto, la carrera de los cilindros debe ser de 250 mm.

En base al catálogo del fabricante se selecciona el cilindro adecuado, tomando en cuenta el factor de corrección indicado en el apartado 3.4.4. Se selecciona un factor de corrección de la fuerza de 1.35 considerando que la velocidad de desplazamiento del pistón es lenta con carga aplicada en todo el desarrollo de la carrera. Por lo tanto, la capacidad requerida para cada cilindro es de 151.8 daN (1518 N).

En la tabla 3.3 se muestra la capacidad de los cilindros para diferentes diámetros y presiones en base al catálogo del fabricante. Se seleccionan cilindros de diámetro 63 [mm], que tiene una capacidad de 168.2 daN (1682 N) que es superior a la requerida en tracción para una presión de aire de 6 bares.

3.5 NEUMÁTICA

3.5.1 Consumo de aire comprimido²¹

El consumo del aire comprimido permite dimensionar el compresor. Se determina en base a las dimensiones de los cilindros y el tiempo de cada ciclo de fabricación de los bloques.

Se puede utilizar la siguiente ecuación para determinar el consumo de aire:

$$C_a = \frac{A * 2 * L * N * (P_b + 1.013)}{1.013 \times 10^6} \quad \text{Ec. (3.67)}$$

²¹ Linha Pneumática; Catálogo 1001-8 Br Componentes para Automação Industrial; pág. 27.

Donde:

C: consumo de aire (L/min)

A: área efectiva del pistón (mm²)

L: curso (mm)

N: número de ciclos por minuto

Pb: presión (bar)

En la tabla 3.11 se detalla el consumo de cada cilindro y el consumo total de la máquina, en base al cual se seleccionará el compresor. Se considera un tiempo de cada ciclo de 30 segundos, por lo tanto, el número de ciclos por minuto es de 2 para cada cilindro. La presión de diseño se consideró de 6 bares.

Tabla 3.11. Consumo de aire de los cilindros para un ciclo de trabajo

No. Cilindros	Diámetro	Área	Carrera	Consumo de aire	
	mm	mm ²		l/min	cfm
2	50	1963.5	250	27.2	0.961
2	63	3117.3	250	43.2	1.525
1	63	3117.3	100	8.6	0.305
1	80	5026.5	200	27.8	0.984
Consumo total					3.770

Por lo tanto, el consumo de aire comprimido es de 4 cfm a una presión de 6 bares. Lo cual nos permite seleccionar el compresor que satisfaga este consumo de aire comprimido para la máquina.

3.5.2 Elementos de control

Se tienen tres tipos de válvulas según el tipo de accionamiento que puede ser: manual, neumático y por solenoide. Es importante seleccionar las válvulas según el nivel de automatización que se requiere o que se requerirá a futuro. A futuro se desea implementar un sistema de control mediante un PLC, por lo cual, se opta por

válvulas comandadas por solenoides. Como se observa en la figura 3.54 se observan las electroválvulas montadas sobre un manifold que facilita la instalación de las válvulas.



Figura 3.54. Manifold con electroválvulas neumáticas

Las electroválvulas son comandadas mediante bobinas, para su selección se debe tener en cuenta la alimentación de las bobinas y el tamaño de las electroválvulas.

Como los PLC's y algunos sensores se alimenta con 24 VDC, se selecciona electroválvulas para este tipo de alimentación. En cuanto al tamaño se considera la tabla de recomendación del fabricante para la selección de las válvulas según el cilindro, mostrada en el anexo 7 para la selección de las electroválvulas.

En la figura 3.55 se observa el circuito neumático y eléctrico para el control de un cilindro neumático de doble efecto mediante una válvula accionada por dos solenoides (Y1 y Y2).

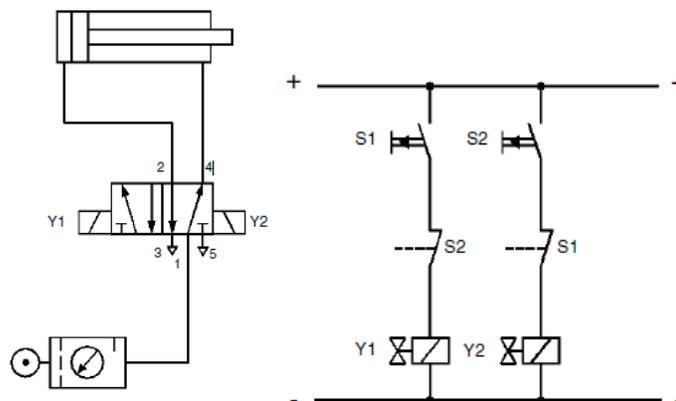


Figura 3.55. Diagrama neumático y eléctrico de un cilindro doble efecto

3.5.3 Ciclo de trabajo

El ciclo de trabajo fue explicado a detalle en el capítulo dos, en base al cual se obtiene el diagrama camino-pasos. Este indica la secuencia de avance y retorno de los cilindros, y tiempos de permanencia.

El ciclo consta de 6 cilindros neumáticos, de los cuales 2 actúan independientemente y los 4 restantes actúan en grupos de 2 simultáneamente. Identificación de los cilindros:

C1: Cilindro que controla la compuerta de la tolva (1 cilindro)

C2: Cilindros que controlan el contenedor (2 cilindros)

C3: Cilindro que controla los apisonadores (1 cilindro)

C4: Cilindros que controlan el molde (2 cilindros)

El diagrama camino-pasos indica la secuencia de accionamiento de los cilindros para el proceso de elaboración de los bloques. El diagrama se observa en la figura 3.56.

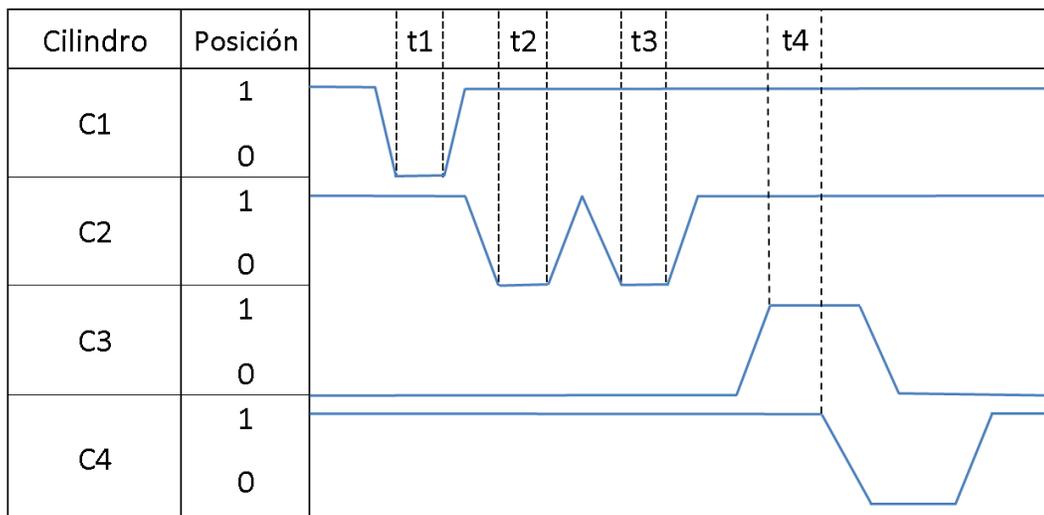


Figura 3.56. Diagrama camino-paso del proceso de elaboración de bloques

Los tiempos t1, t2, t3 y t4 se determinarán experimentalmente mediante las pruebas de funcionamiento.

CAPITULO IV

CONSTRUCCIÓN, MONTAJE Y PRUEBAS DE CAMPO

4.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se describe el proceso de construcción de la máquina para fabricar bloques. Una vez que fueron dimensionados los distintos elementos de la máquina, se elaboraron los planos y se seleccionaron los materiales para cada elemento, además, los elementos normalizados necesarios. Para la construcción se utilizaron los siguientes procesos de fabricación: soldadura, torneado, corte, taladrado, doblado, pintado, etc., los cuales fueron ejecutados en un taller. Una vez construido el equipo se realiza las pruebas de campo.

4.2 CONSTRUCCIÓN DE LOS ELEMENTOS DE LA MÁQUINA

Para la elaboración de los planos de la máquina se utilizó el dimensionamiento realizado en la etapa de diseño y simulación. Los planos se encuentran en el Anexo 9 y las fotografías de la construcción en el Anexo 8.

Para la construcción de la máquina se siguió el siguiente procedimiento:

1. Adquisición de todos los materiales como perfiles, placas, planchas, ejes y elementos normalizados.
2. Se envía a construir el molde y apisonadores con las características requeridas. Además, se envió a maquinar las correderas, bocines, ejes y poleas al taller de mecanizado, donde se realizaron a cabo los procesos de torneado, taladrado y fresado. Se adjuntaron los planos de taller de cada elemento para su mecanizado.
3. Se cortaron las placas y perfiles, se marcaron y se los envió a realizar las perforaciones que requeridas. Para la marcación se utilizó un flexómetro, rayador, escuadra, punto y martillo. Las placas de las guías se enviaron para realizar los cortes mediante el proceso oxiacetilénico.

4. Para la construcción de las estructuras de los dos módulos, se procede a cortar los perfiles y soldar en base a los planos. Se utilizó las siguientes herramientas e instrumentos: rayador, flexómetro, escuadra, amoladora, tronzadora y máquina soldadora SMAW. En la figura 4.1 (a) y (b) se observan las estructuras de los módulos 1 y 2, respectivamente.

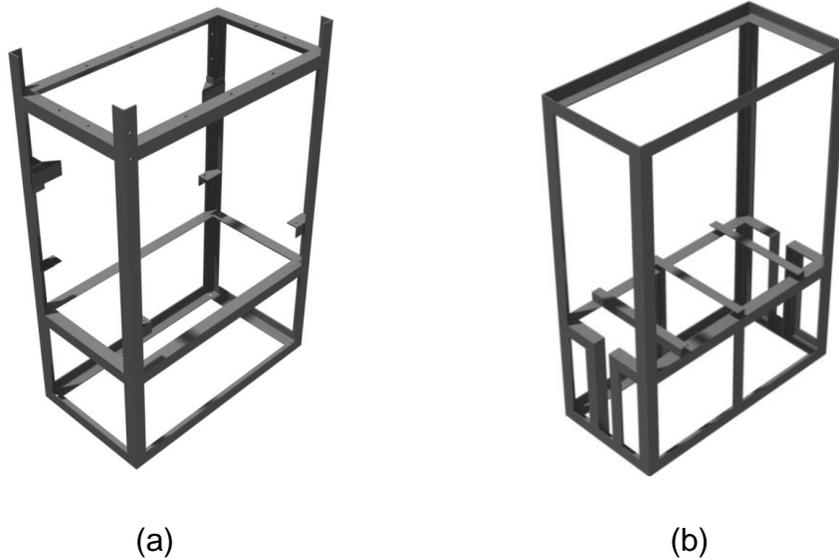


Figura 4.1. Estructura del Módulo 1: Distribución (a) y del Módulo 2: Fabricación (b)

4.3 MONTAJE

Una vez concluida la construcción de los elementos, se procede al montaje de la máquina, el cual se realiza por módulos.

4.3.1 Montaje del Módulo 2: Fabricación

1. Una vez terminada la estructura, se procede a la colocación de los ejes de guía y se empernan las placas de las bases a la estructura. Se alinean los ejes mediante varillas para garantizar que se encuentren paralelos los ejes. Una vez alineados se procede a soldar las bases de los ejes. En la figura 4.2 se muestra la estructura con los cuatro ejes de guía.

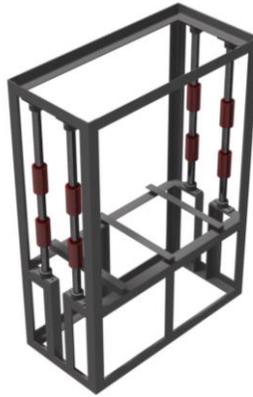


Figura 4.2. Estructura con los ejes de guía

2. Se coloca un tablero de madera sobre los ángulos de la estructura, y sobre este se ubica el molde. Se emperna el molde con las placas de las correderas. Se verifica la distancia de las correderas, y se procede a soldar la placa con las dos correderas, de tal manera de obtener un solo elemento. En la figura 4.3 se observa la placa empernada al molde y soldada a las correderas.



Figura 4.3. Placa empernada al molde y soldada a las correderas

3. Se ubican los apisonadores y se alinea mediante láminas de acero en los extremos. Se realizan puntos de soldadura para fijar temporalmente los apisonadores con el molde. Se procede a empernar la placa sobre la que se fijan los apisonadores con la placa de las correderas. Se verifica la distancia de las correderas con la placa, y se procede a soldar la placa base con las dos correderas, de tal manera de obtener un solo elemento. En la figura 4.4 se observa el montaje de la placa de las correderas y la placa de los apisonadores.

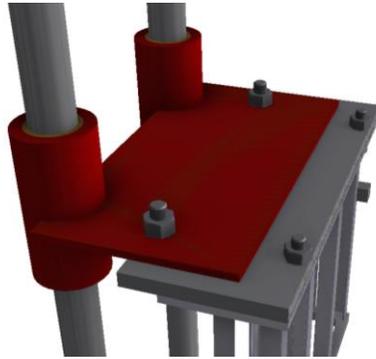


Figura 4.4. Placa de las correderas de los apisonadores

1. Se procede al montaje del cilindro de compactación en la parte superior de la estructura y se emperna la placa de sujeción con la placa de los apisonadores. Se ensambla el acople del eje del cilindro con la placa de sujeción, mediante un pasador. En la figura 4.5 se observa el montaje del cilindro de compactación.
2. Se empernan las chumaceras con el eje y los brazos. Se procede a montar las bielas y se unen mediante pasadores, con los acoples de la placa que soporta los apisonadores. Se retiran los puntos de soldadura para separar el molde de los apisonadores. En la figura 4.5 se observa el montaje de los brazos de los apisonadores.

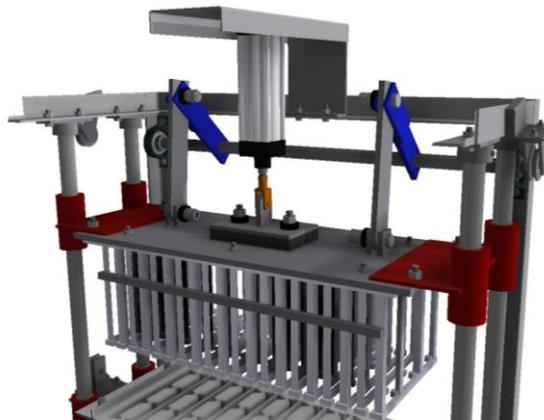


Figura 4.5. Montaje de los brazos y el cilindro de compactación

3. Se retiran los pernos del molde y la placa de las correderas, y se procede a colocar las bases de motor. Sobre la placa de las correderas se empernan las bases para la biela y el acople para el cable de acero, que se muestra en la figura 4.6.

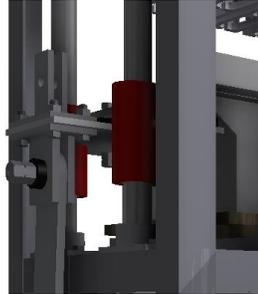


Figura 4.6. Bases para la biela y el acople para el cable de acero

4. Se empernan las chumaceras de la parte inferior. Se ensambla el eje con los brazos y las bielas mediante pasadores. Los cuales servirán de guía para que el molde se desplace uniformemente. En la figura 4.7 se observa el montaje de los brazos.
5. Se emperna las chumaceras del eje de vibración al molde, con las masas excéntricas montadas. Se fija la placa del motor mediante soldadura. Se verifica la alineación del motor y emperna el motor a la placa. En la figura 4.7 se observa el montaje del motor y el eje del sistema de vibraciones.

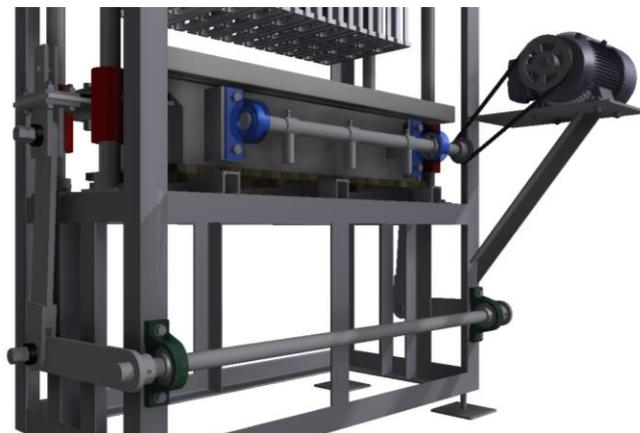


Figura 4.7. Montaje de los brazos y el sistema de vibraciones

6. Se procede a soldar las bases para las poleas a la estructura y se empernan las poleas a las bases. En la figura 4.8 se observa el montaje de la polea a la estructura.



Figura 4.8. Montaje de la polea a la estructura

En la figura 4.9 se muestra el ensamble del Módulo 2: Fabricación.

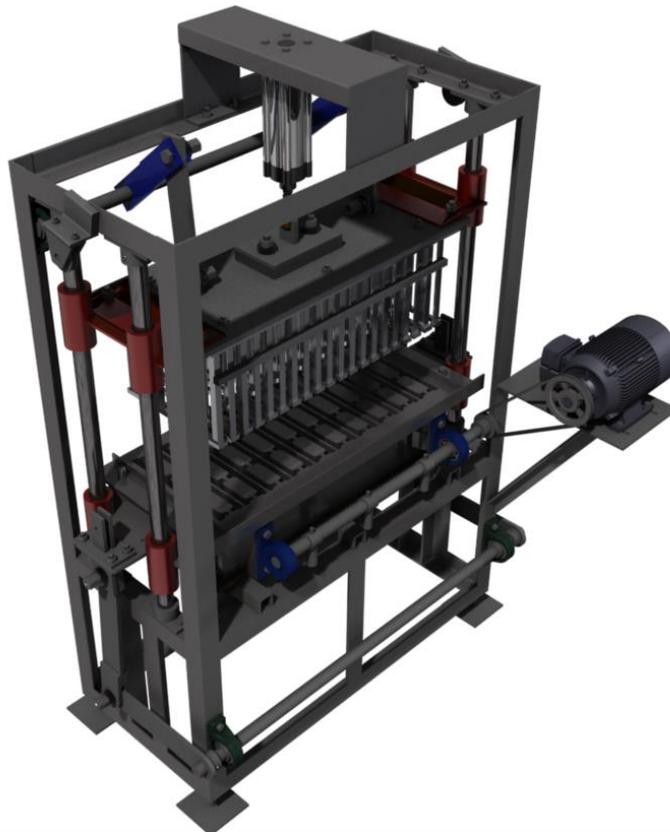


Figura 4.9. Módulo 2: Fabricación

4.3.2 Detalle de la construcción del Módulo 1: Suministro

1. Según la geometría y dimensiones establecidas para la tolva, se inicia la construcción con el trazado y corte de la plancha de acero, se realiza los dobleces necesarios. Las planchas se unen mediante el proceso de soldadura SMAW. En la figura 4.10 se observa la tolva construida.

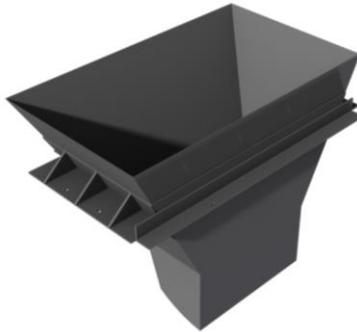


Figura 4.10. Tolva construida

2. Se empernan las chumaceras con el eje y los brazos de la compuerta de la tolva. En la figura 4.11 se muestra el montaje de la chumacera con el eje de los brazos de la compuerta.

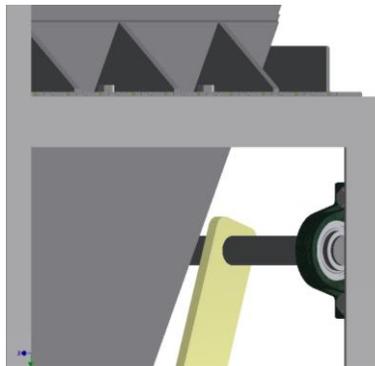


Figura 4.11. Montaje de las chumaceras de la compuerta

3. Se empernan las chumaceras posteriores y se coloca el eje con los brazos para el mecanismo de movimiento del contenedor. Se emperna la plancha y su marco a los apoyos de la estructura, sobre la que se apoya el contenedor. Se ubica el contenedor sobre la plancha con unas varillas de separación para posicionarlo. Se empernan las placas de las guías a la estructura. Se fija mediante soldadura los ángulos de acero con las placas empernadas a la

estructura, los ángulos servirán de guía para que se desplace el contenedor. En la figura 4.12 se observa el montaje del contenedor y sus guías.

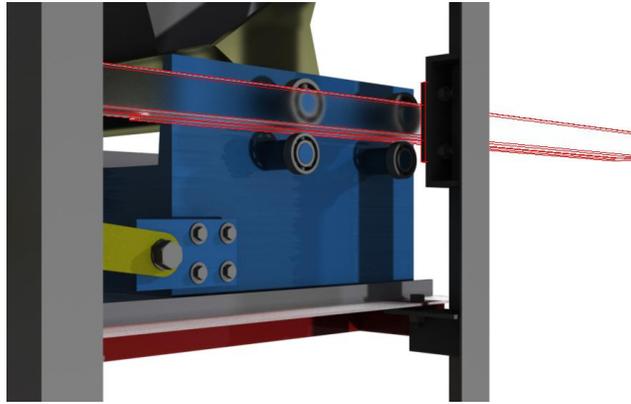


Figura 4.12. Montaje del contenedor y sus guías

4. Se ensambla las bielas del mecanismo que desplaza el contenedor, mediante pasadores. Se procede a empernar los cilindros a las bases. Se ensambla mediante pasadores los acoples de los ejes de los cilindros con los brazos del mecanismo que desplaza el contenedor, que se muestra en la figura 4.13.

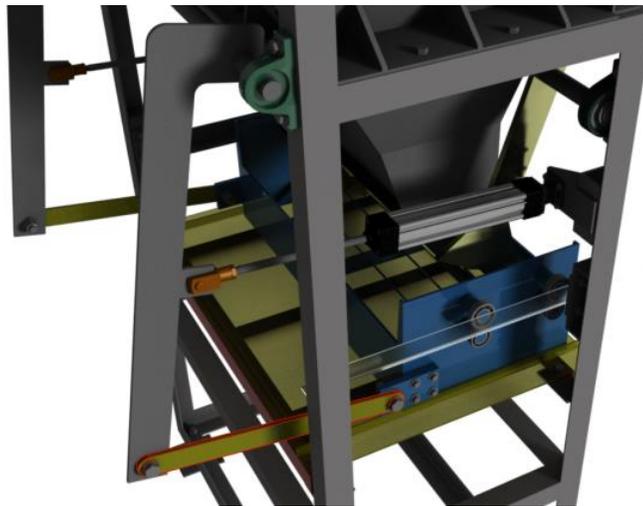


Figura 4.13. Mecanismo de movimiento del contenedor

5. Se fija mediante soldadura la base para el cilindro que controla la compuerta de la tolva. Se emperna el cilindro que controla la compuerta de la tolva y se ensambla mediante un pasador el acople del cilindro con el de la compuerta. En la figura 4.14 se observa el montaje del cilindro que controla la compuerta.

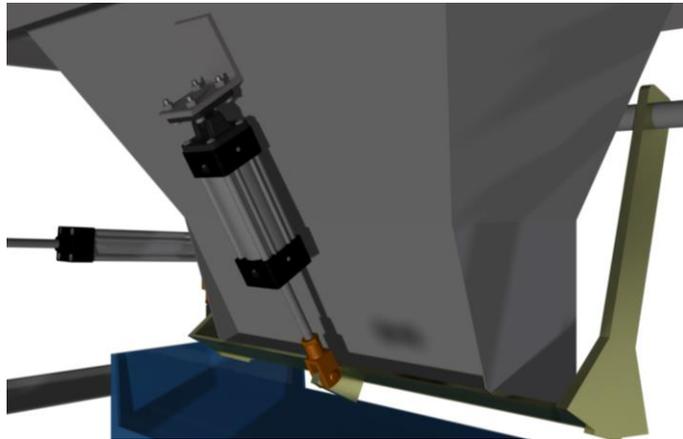


Figura 4.14. Montaje del cilindro de la compuerta

6. Se procede a fijar mediante soldadura las bases de las poleas y se fija mediante pernos y tuercas. Además, se fijan las placas a la estructura mediante soldadura, sobre las cuales se fijan los cilindros que controlan el desplazamiento del molde mediante cables de acero. En la figura 4.15 se muestra el módulo 1: Distribución.

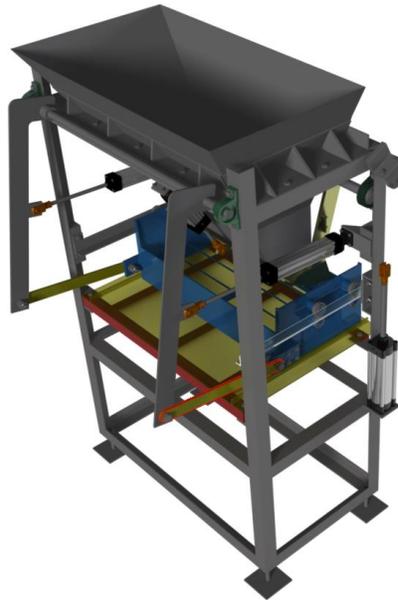


Figura 4.15. Módulo 1: Distribución

Una vez terminados los módulos, se posiciona y se emperna al concreto. Se fijan los cables de acero a las horquillas del eje de los cilindros y al acople de la placa con las correderas, mediante grilletes.

En la figura 4.16 se muestra la máquina semiautomática para la fabricación de bloques.

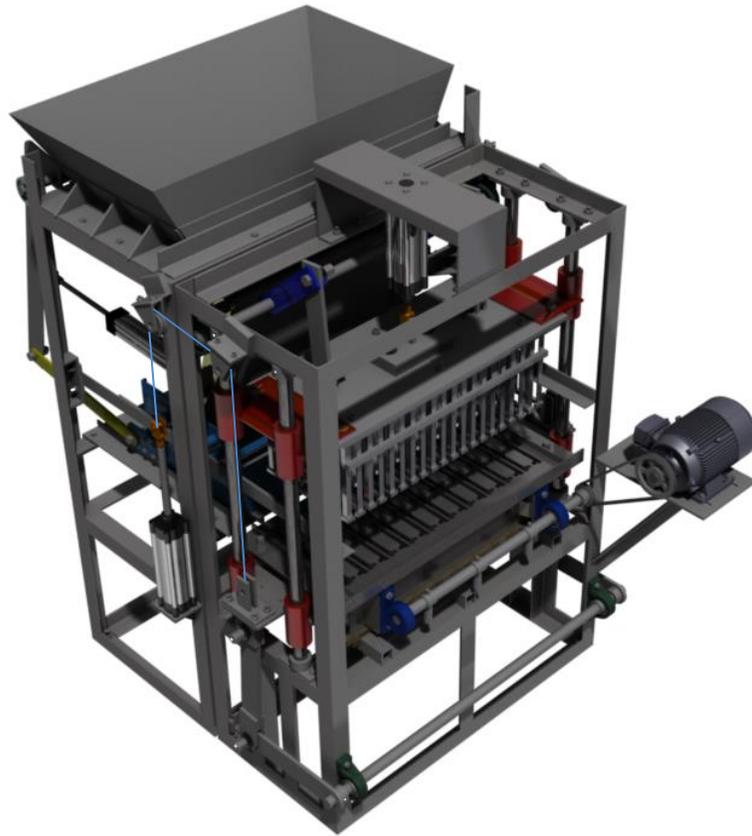


Figura 4.16. Máquina semiautomática para fabricar bloques

Para el sistema neumático se construye un pequeño tablero para la protección de la unidad de mantenimiento y las electroválvulas montadas en el manifold. Este tablero se fija a la estructura del módulo 1 mediante pernos. Los reguladores de caudal se instalaron en las entradas y salidas de los actuadores neumáticos con llaves mixtas. Para la distribución de aire desde la unidad de mantenimiento a los elementos de control y actuadores neumáticos se utiliza manguera, acoples rápidos y uniones.

En el tablero de control se instalaron las botoneras y la fuente de 24 VDC para energizar las bobinas de las electroválvulas. Además, los contactores y relés térmicos para el arranque y protección de los motores. En la figura 4.17 se observa el tablero de control con elementos eléctricos.



Figura 4.17. Tablero de control eléctrico

4.4 PRUEBAS DE CAMPO

Para realizar las pruebas de campo se utilizó el protocolo de pruebas planteado en el capítulo II de acuerdo a los formatos establecidos en el Anexo 3.

El funcionamiento mecánico, neumático y eléctrico no presentó ningún inconveniente. Se determinaron los tiempos de llenado del molde y de compactación durante el funcionamiento.

En cuanto a su dimensionamiento es satisfactorio ya que se encuentra dentro de los parámetros establecidos.

CAPITULO V

ANÁLISIS DE COSTOS

5.1 INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se da a conocer el costo total del diseño y construcción de la maquina semiautomática para la fabricación de bloques, para lo cual se tomara en cuenta todos los costos en los que se incurre para la obtención de materia prima, mano de obra, procesos de maquinado, etc.

5.2 COSTOS DE LA MÁQUINA

El costo del prototipo se establece a partir de las facturas emitidas por los proveedores de cada uno de los materiales y equipos. Para la construcción del prototipo se considera los costos directos y costos indirectos.

Costos directos:

- Costos de materiales.
- Costos de elementos normalizados.
- Costos de maquinado.
- Costos de montaje.

Costos indirectos:

- Costos no recuperables.
- Costo de insumos.
- Costos de ingeniería.
- Costos de imprevistos.

5.2.1 COSTOS DIRECTOS

Los costos directos son aquellos que se verifica con el producto terminado.

5.2.1.1 Costos de materiales

En la tabla 5.1 se detallan los costos de los materiales que se utilizan en la construcción de los diferentes elementos mecánicos.

Tabla 5.1. Costo de materiales

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO (Dólares)	VALOR TOTAL (Dólares)
MATERIA PRIMA					
1	Barra perforada A-36, D60x30	m	0.5	33.00	16.50
2	Barra perforada A-36, D80x45	m	1.3	55.00	71.50
3	Eje AISI 1018,D 1 1/2"	m	3.3	25.00	82.50
4	Eje AISI 1018,D 1 1/4"	m	2.5	14.00	35.00
5	Eje AISI 1018,D 1 3/4"	m	4.4	34.00	149.60
6	Perfil ángulo A-36, 50x50x6	u	1.5	33.50	50.25
7	Perfil ángulo A-36, 65x65x6	u	7.0	43.00	301.00
8	Perfil ángulo A-36, 80x80x8	m	0.1	15.00	1.50
9	Perfil canal U A-36, 200x50x50	m	0.6	17.00	10.20
10	Placa A-36, 1200x200x8	u	1.0	39.00	39.00
12	Plancha A-36, 0,6x0,2 m x 8 mm	u	1.0	18.00	18.00
13	Plancha A-36, 1,2x0,5 m x 10 mm	u	1.0	106.00	106.00
14	Plancha A-36, 1,2x0,5 m x 12 mm	u	1.0	135.00	135.00
15	Plancha A-36, espesor 3 mm	u	1.0	81.00	81.00
16	Plancha A-36, espesor 4 mm	u	1.0	92.00	92.00
17	Platina A-36, 100x6	m	3.0	5.90	17.70
18	Platina A-36, 25x5	m	6.5	4.30	27.95
19	Platina A-36, 50x8	m	1.6	11.00	17.60
20	Platina A-36, 60x10	m	2.0	12.10	24.20
21	Platina A-36, 75x8	m	1.2	11.70	14.04
22	Platina A-36, 80x10	m	3.2	13.20	42.24
1	Barra perforada A-36, D60x30	m	0.5	33.00	16.50
SUBTOTAL					1332.78
IVA 12%					159.93
TOTAL					1492.71

5.2.1.2 Costos de elementos normalizados

En las siguientes tablas se muestran los costos de los elementos normalizados que se utilizaron en la construcción de la máquina dosificadora de malvaviscos.

Tabla 5.2. Costo elementos normalizados – Material Eléctrico

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO (Dólares)	VALOR TOTAL (Dólares)
1	Fuente para Logo 24V	u	1	81.25	81.25
2	Base breaker	u	1	1.70	1.70
3	Borneras	u	35	1.04	36.56
4	Breaker 2 polos	u	1	10.27	10.27
5	Cable flexible AWG 12	u	12	2.41	28.93
6	Cable flexible AWG 16x12	u	4	3.04	12.14
7	Compresor 5 HP 1 etapa	u	1	1200.00	1200.00
8	Común borneras	u	2	2.50	5.00
9	Contactador LS MC-32a	u	1	29.46	29.46
10	Motor 3HP, 220V	u	1	258.93	258.93
11	Paro de emergencia	u	1	6.43	6.43
12	Pulsador NA plástico 22 mm	u	11	1.88	20.63
13	Relé térmico LS MT-32/3K	u	1	16.96	16.96
14	Riel DIN	u	1	3.13	3.13
15	Rollo cable flexible 18 AWG	u	1	20.54	20.54
				SUBTOTAL	1731.92
				IVA 12%	207.83
				TOTAL	1939.75

Tabla 5.3. Costo elementos normalizados – Material Neumático

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO (Dólares)	VALOR TOTAL (Dólares)
1	Acople recto 10mm x 3/8G	u	4	3.66	14.64
2	Acople recto 12mm x 3/8G	u	4	5.54	22.14
3	Acople recto 8mm x 3/8G	u	4	3.66	14.64
4	Basculante posterior hembra D50	u	2	25.89	51.79
5	Basculante posterior hembra D63	u	1	32.14	32.14
6	Basculante posterior macho D50	u	2	25.89	51.79
7	Basculante posterior macho D63	u	1	32.14	32.14
8	Bobina 24VDC Serie VE2	u	8	11.25	90.00
9	Cilindro D 63 C150 mm doble efecto	u	1	169.64	169.64
10	Cilindro D50 C250 mm doble efecto	u	2	187.50	375.00
11	Cilindro D63 C250 mm doble efecto	u	2	254.46	508.93
12	Cilindro D80 C200 mm doble efecto	u	1	276.79	276.79
13	Codo rápido 10 mm x 1/2 MPT	u	2	2.86	5.71
14	Codo rápido 8mm x 3/8 MPT	u	2	3.66	7.32
15	Conector 22 mm	u	8	6.70	53.57
16	Horquilla D50	u	2	25.00	50.00
17	Horquilla D63	u	3	36.61	109.82
18	Horquilla D80	u	1	46.43	46.43
19	Manguera 10 mm	u	12	3.66	43.93
20	Manguera 12 mm	u	7	4.38	30.63
21	Manguera 8 mm	u	10	2.59	25.89
22	Manifold B5 4-VIAS 3 estaciones	u	1	92.86	92.86
23	Regulador de caudal	u	1	11.16	11.16
24	Silenciador Br 3/8 MPT	u	4	2.89	11.57
25	Unidad de mantenimiento FRL 1/2"	u	1	69.64	69.64
26	Unión T 10mm	u	1	2.32	2.32
27	Unión T 8 mm	u	1	1.70	1.70
28	Válvula manual 3/8" 5-2 DS	u	1	162.50	162.50
29	Válvula solenoide 1/2" 5-2 DS	u	1	276.79	276.79
30	Válvula solenoide 3/8" 5-2 DS	u	3	194.64	583.93
SUBTOTAL					3225.41
IVA 12%					387.05
TOTAL					3612.46

Tabla 5.4. Costo elementos normalizados – Materiales Varios

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO (Dólares)	VALOR TOTAL (Dólares)
1	Brillete	u	8	1.60	12.80
2	Cable de acero D 3/8"	m	10	0.85	8.50
3	Chumacera de piso 1 1/2"	u	4	22.00	88.00
4	Chumacera de piso 1 1/4"	u	4	17.00	68.00
5	Perno 1/2-13 UNC - 2	u	8	0.15	1.20
6	Perno 1/4-20UNC - 0,75	u	3	0.85	2.55
7	Perno hexagonal 3/4-10 UNC - 4	u	2	1.50	3.00
8	Perno hexagonal 5/8 -11 UNC - 2	u	4	1.10	4.40
9	Perno hexagonal 7/16-14UNC - 1,5	u	4	0.19	0.76
10	Perno hexagonal 1/2-13 UNC - 1,75	u	38	0.22	8.36
11	Perno hexagonal 3/4-10 UNC - 3,5	u	8	1.20	9.60
12	Perno M10 x 1,5 x20	u	4	0.35	0.70
13	Prisionero 1/2-13UNC	u	8	0.17	1.36
14	Prisionero 1/4-20 UNC	u	6	0.13	0.78
15	Prisionero 3/8-16UNC	u	4	0.32	1.28
16	Rodamientos de bolas 6013	u	2	12.00	24.00
17	Tensor de cable	u	2	7.20	14.40
				SUBTOTAL	246.44
				IVA 12%	29.57
				TOTAL	276.01

Resumen de costos normalizados

Tabla 5.5. Resumen de elementos normalizados

ELEMENTOS NORMALIZADOS	COSTO (Dólares)
Eléctricos	1939.75
Neumáticos	3612.46
Varios	276.01
Total	5928.22

5.2.1.3 Costos de maquinado

Estos costos corresponden al costo de las máquinas herramientas empleadas incluido la mano de obra para la fabricación de componentes del prototipo.

Tabla 5.6. Costo de maquinado

DETALLE	PERIODO DE TRABAJO (horas)	COSTO (Dólares/hora)	TOTAL (Dólares)
Torno paralelo	35	12	420
Fresadora Universal	4	15	60
TOTAL			480

5.2.1.4 Costos de montaje

Los costos de montaje se refieren a la mano de obra requerida para el armado y ensamblado de la máquina. En la tabla 5.7 se presentan los costos de montaje.

Tabla 5.7. Costos de montaje

DETALLE	PERIODO DE TRABAJO (días)	PERSONAL REQUERIDO	VALOR (Dólares/día)	VALOR TOTAL (Dólares)
Soldador	20	1	18	360
Técnico Industrial	4	1	15	60
Ayudante	35	1	13	455
TOTAL			875	

5.2.2 COSTOS INDIRECTOS

Los costos indirectos son aquellos que no se pueden medir en el producto.

5.2.2.1 Costos no recuperables

Tabla 5.8. Costos no recuperables

ITEM	DETALLE	TIEMPO DE TRABAJO (horas)	VALOR (Dólares/hora)	VALOR TOTAL (Dólares)
1	Taladro de pedestal	40	3.0	120.00
2	Taladro de mano	30	2.1	63.00
3	Esmeril	15	1.0	15.00
4	Amoladora	90	0.9	81.00
5	Tronzadora	30	3.0	90.00
6	Cortado oxicorte	10	4.0	40.00
SUBTOTAL				409.00
IVA 12%				49.08
TOTAL				458.08

5.2.2.2 Costo de insumos

Tabla 5.9. Costo de insumos

ITEM	DETALLE	UNIDADES	CANTIDAD	VALOR UNITARIO (Dólares)	VALOR TOTAL (Dólares)
1	Disco de desbaste	u	2	2.90	5.80
2	Disco de corte	u	15	1.40	21.00
3	Electrodo E6011	u	2	21.00	42.00
4	Electrodo E6013	u	0.5	20.00	10.00
5	Gafas	u	2	2.40	4.80
6	Guaípe	u	5	0.89	4.45
7	Guantes antideslizantes	u	2	2.10	4.20
8	Guante de cuero	u	2	4.90	9.80
9	Lijas	u	4	0.60	2.40
10	Pintura anticorrosiva	u	1	45.00	45.00
11	Thinner	L	6	1.50	9.00
SUBTOTAL					158.45
IVA 12%					19.01
TOTAL					177.46

5.2.2.3 Costos de Ingeniería

El costo de ingeniería corresponde al tiempo y conocimiento invertido por parte del profesional para el diseño de la máquina, supervisión de construcción y de montaje; en el presente proyecto de titulación interviene una persona encargada de realizar este trabajo. El costo de la hora de diseño considerada es 15 dólares.

Tabla 5.10. Costos de Ingeniería

ACTIVIDAD	TIEMPO (horas)	VALOR (Dólares/hora)	VALOR TOTAL (Dólares)
Definición del problema	3	15	45.00
Preselección de las alternativas	8	15	120.00
Selección de las alternativas	4	15	60.00
Diseño y selección de componentes principales	50	15	750.00
Supervisión de construcción del prototipo	25	15	375.00
Supervisión del montaje del prototipo	12	15	180.00
SUBTOTAL			1530.00
IVA 12%			183.60
TOTAL			1713.60

5.2.2.4 Costos de imprevistos

Tabla 5.11. Costos de imprevistos

DETALLE	VALOR TOTAL (Dólares)
Movilización	80.00
Papelería	15.00
Impresiones de documentos	30.00
Impresión de planos	40.00
Varios	15.00
TOTAL	180.00

5.2.3 COSTO TOTAL DE LA MÁQUINA

En la tabla 5.12 se detalla el costo total de la máquina.

Tabla 5.12. Costo total de la máquina

ITEM	DESCRIPCIÓN COSTOS DIRECTOS E INDIRECTOS	TABLA DE REFERENCIA	SUB TOTAL (Dólares)
1	COSTOS DE MATERIA PRIMA	5.1	1492.71
2	COSTOS ELEMENTOS NORMALIZADOS	5.5	5928.22
3	COSTOS DE FABRICACIÓN Y MAQUINADO	5.6	480.00
4	COSTOS DE MONTAJE	5.7	875.00
5	COSTOS NO RECUPERABLES	5.8	458.08
6	COSTO DE INSUMOS	5.9	177.46
7	COSTOS DE INGENIERÍA	5.10	1713.60
8	COSTO DE IMPREVISTOS	5.11	180.00
TOTAL			11125.07

CAPITULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

1. Se realizó un estudio del proceso de fabricación de bloques para establecer las especificaciones técnicas de la máquina para su correcto funcionamiento y se obtengan productos de calidad.
2. Se estudió y analizó las alternativas preseleccionadas para los distintos módulos que conforma la máquina, de las cuales se seleccionaron las más conveniente tomando en cuenta ciertos criterios de evaluación.
3. Al someter la maquina a las pruebas de campo se determinó a través del protocolo de pruebas que se cumple con las especificaciones establecidas, referentes a la funcionalidad y producción.
4. Con esta máquina se logra facilitar el proceso de fabricación de bloques, en la que los trabajadores pasan a ser operarios de la máquina con lo cual se reduce al mínimo el esfuerzo físico. Además, permite incrementar la producción y mejora la calidad de los bloques, la cual se mantiene constante independientemente del periodo de jornada de trabajo, a diferencia de las máquinas manuales, puesto que no depende directamente de la habilidad del trabajador.

5.2. RECOMENDACIONES.

1. Es importante mantener la unidad de mantenimiento con el nivel necesario de aceite para mantener una buena lubricación de los elementos neumáticos, además, purgar el agua almacenada en el recipiente del filtro.
2. Es necesario realizar un cronograma de actividades periódicas sobre toda la máquina para mantener una eficiencia y seguridad constante. Se recomienda realiza los ajustes periódicos para verificar que los pernos y prisioneros tengan el ajuste adecuado, puesto que al estar la máquina sujeta a vibración pueden aflojarse.
3. Evitar almacenar por largos periodos de tiempo el concreto en la tolva de almacenamiento para evitar aglomeraciones y dificultad para la salida del concreto hacia el contenedor. Estas aglomeraciones incrementan el tiempo de ciclo de producción, debido a la dificultad de ingresar por las cavidades del molde.
4. El uso de brazos para equilibrar el molde facilita el desplazamiento y evita posibles desviaciones durante el desmolde que pueden provocar fisurar en los bloques. Además, mediante el uso de cable de acero y poleas se evita la transmisión de vibraciones hacia los cilindros neumáticos, prolongando su tiempo de vida.

BIBLIOGRAFÍA

- Budynas R., Nisbett K.; (2008); *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*; México; Ed.McGRAW-HILL; Octava Edición.
- CARFEL; Catálogo Ecobloc – Máquina Fija; Portugal.
- CARFEL; Catálogo Ecobloc – Ponedora; Portugal.
- Carrasco María; (2009); *Tecnología del hormigón*; Argentina; Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Santa Fe.
- Catalogo FAG 41250 SA; *Rodamientos de bolas FAG*.
- COBOS C., SALINAS J., RODRIGUEZ A.; *Geometría para ingenieros*; Volumen 1; Editorial Tebar.
- FAIRES, V.; *Diseño de elementos de máquinas*; Editorial Montaner y Simons.
- Hess Group; Maquinaria y Equipo para la Industria de Productos de Concreto.
- Kosmatka S., Kerkhoff B., Panarese W. y Tanesi J.; (2004); *Diseño y Control de Mezclas de Concreto*; México; Portland Cement Association.
- Linha Pneumática; Catálogo 1001-8 Br Componentes para Automação Industrial.
- MABIE H., REINHOLZ Ch.; (1998); *Mecanismos y Dinámica de Maquinaria*; Estados Unidos; Limusa Wiley; 2da edición.
- RIBA i ROMEVA; (2002); *Diseño Concurrente*; España; ETSEIB – UPC.
- Tecnologia Pneumática Industrial; Parker Training, Apostila M1001-1 Br; Jacarei SP Brasil.
- THOMSON, W.; (1983); *Teoría de vibraciones, aplicaciones*; Editorial Dossat.

- Vierck, R.; (1967); *Vibration Analysis*; Estados Unidos; International Textbook Company.
- http://www.lafarge.com.ec/wps/portal/ec/2_3_A-Products
- <http://www.topwerk.com/es/hess-group/productos/plantas-de-fabricacion-de-bloques-de-hormigon/multimat-rh-2000/>
- http://articulo.mercadolibre.com.ve/MLV-406618146-maquina-para-fabricar-bloques-de-concreto-estatica-_JM
- <http://www.geogebra.org/>
- <http://www.carfel.pt/pt/>

ANEXOS

ANEXO 1

CATÁLOGO MÁQUINA FIJA CARFEL



\\ FR \\ ES

Machine Fixe
Maquina Fija

\\ ECOBLOC



\\ ECOBLOC
\\ Machine Fixe

- > Construction robuste
- > Qualité de l'article qui doit être produit
- > Contrôle totalement automatique par ordinateur
- > Contrôle facile
- > Economique, fiable et puissante

\\ ECOBLOC
\\ Maquina Fija

- > Construcción sólida
- > Calidad del artículo que se va a fabricar
- > Control totalmente automático por ordenador
- > Facilidad de control
- > Económica, fiable y potente



\\ ASPECTS TECHNIQUES

- > HAUTEURS POSSIBLES POUR L'ARTICLE: 60mm - 300mm
- > DIMENSION DES PLANCHES (MM): 1.240 X 600 X 45
- > TRÉMIE D'APPROVISIONNEMENT :
 - 750L
 - OUVERTURE PAR BOÎTE À ENGRENAGE
- > EXTRACTEUR DE PLANCHES
- > TABLE DE VIBRATION REPOSANT SUR DEUX AXES VIBRANTS SYNCHRONISÉS
- > CONTRÔLE ÉLECTRIQUE : Siemens et Télémécanique
- > SYSTÈME HYDRAULIQUE RÉFRIGÉRÉ

\\ ASPECTOS TÉCNICOS

- > GAMA DE ALTURAS POSIBLES PARA EL ARTÍCULO: 60mm - 300mm
- > DIMENSIÓN DE LAS PALETAS (MM): 1.240 X 600 X 45
- > TOLVA DE ABASTECIMIENTO:
 - 750 L
 - APERTURA POR CAJA DE CAMBIO
- > EXTRACTOR DE PALETAS
- > MESA VIBRATORIA CON VIBRACIÓN A TRAVÉS DE DOS EJES VIBRANTES SINCRONIZADOS
- > CONTROL ELÉCTRICO: Siemens y Telemecanique
- > SISTEMA HIDRÁULICO REFRIGERADO

\\ LE BON PRODUIT AU BON MOMENT

Grâce à une grande variété de produits, en termes de forme et de hauteur, l'Ecobloc vous permet de produire plusieurs types d'éléments pour les routes, les jardins et les trottoirs.

Il est très facile de produire des blocs, des pavés, des blocs de coffrage et des bordures en raison de la flexibilité de l'Ecobloc, ce qui permet ainsi au client de s'adapter aux changements du marché, tout en maintenant une excellente qualité et en répondant aux besoins de la demande la plus exigeante.

\\ EL PRODUCTO ADECUADO EN EL MOMENTO ADECUADO

Debido a la gran variedad de productos, en cuanto a forma y altura, Ecobloc permite fabricar diferentes tipos de artículos para carreteras, jardines y paseos.

Bloques, pavimentos, bloques de encofrado y bordillos son los principales elementos producidos, gracias a la flexibilidad de Ecobloc, permitiendo al cliente reaccionar ante los cambios del mercado, manteniendo una excelente calidad al tiempo que satisface la demanda más exigente.

\\ PRODUCTION \\ PRODUCCIÓN

Réf Ref.	Production / 0h Producción / 0h	Cycles/min Min/ciclo	Unités par cycle Unid p/ciclo	Articles produits Artículos	Malaxeur Mezcladores
ECOBLOC	7200	3	1x5 [50*20*20]	> Blocs Bloques > Hourdis Bovedilla	MCF 600L
	10080	3	1x7 [50*20*15]		
	14400	3	1x10 [50*20*10]		
	2880	3	2	> Bordures Bordillo	
	36000	3	2 m2	> Pavés Adoquín	

Les valeurs ci-dessus mentionnées sont données à titre indicatif.
Las cifras anteriores son una estimación.

\\ DESIGN

Toutes les machines CARFEL sont dessinées et projetées en utilisant des systèmes 3D-CAD modernes et en vigueur. Nous appliquons les meilleurs matériaux pour la fabrication de tous nos produits et garantissons une norme de qualité soumise à des contrôles constants.

Nous n'utilisons, pour la fabrication des modules et des pièces pour nos machines, que de l'acier certifié combiné à une découpe et un usinage CNC. Ces équipements nous permettent de répondre aux exigences les plus pointues, en assurant toujours la meilleure qualité possible en ce qui concerne les produits fabriqués.

\\ DISEÑO

Todos los equipos CARFEL están diseñados y concebidos en sistemas modernos y actuales 3D-CAD. Aplicamos los mejores materiales para cada artículo producido, garantimos un padrón de calidad sujeto a verificaciones constantes.

En la producción de módulos y piezas en nuestras máquinas únicamente se utiliza acero certificado combinado con corte y maquinaria CNC. Estos equipos nos permitieron alcanzar tolerancias más ajustadas, y fornecer siempre la mejor y mas fiable producto.

ANEXO 2

DIAGRAMA FUNCIONAL DE LA FABRICACIÓN DE BLOQUES

ANEXO 3

PROTOCOLO DE PRUEBAS



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
PROTOCOLO DE PRUEBAS**



Máquina: Fabricación de bloques de 10 cm

Fecha: 29/10/2014

Lugar: Latacunga

MB-01: FUNCIONES PRINCIPALES

FUNCIONES	ACEPTACIÓN	
	SI	NO
Sistema de vibraciones	X	
Elaboración de 10 bloques por ciclo	X	
Llenado del molde	X	
Compactación	X	
Desmole	X	
Producción de 3000 unidades diarias Tiempo máximo de ciclo: 1 minuto	X	

MB-02: DIMENSIONES PRINCIPALES

DIMENSIONES (cm)	ACEPTACIÓN	
	SI	NO
Separación entre molde y apisonadores, 19	X	
Separación entre bloques y molde (pos. superior), 6	X	
Altura máquina, 205	X	
Ancho máquina, 167	X	
Largo máquina, 213	X	

MB-03: MOVIMIENTOS

MOVIMIENTOS	ACEPTACIÓN	
	SI	NO
Compuerta de la tolva	X	
Contenedor	X	
Apisonadores	X	
Molde	X	

MB-04: ENERGÍA

ENERGÍA	ACEPTACIÓN	
	SI	NO
Energía eléctrica, 220 V	X	
Presión de aire comprimido, 6 bar	X	

MB-05: SEÑALES Y CONTROL

SEÑALES Y CONTROL	ACEPTACIÓN	
	SI	NO
Identificación clara de pulsadores	X	
Marcación de cables	X	
Marcación de mangueras para el aire comprimido	X	
Paro de emergencia	X	

MB-06: RESULTADOS

DIMENSIONES DE LOS BLOQUES (cm)	ACEPTACIÓN	
	SI	NO
Ancho promedio, 9	X	
Alto promedio, 19	X	
Largo promedio, 37	X	

OBSERVACIONES:

La máquina cumple con las pruebas realizadas, por lo tanto es aceptada.

RECOMENDACIONES:

Añadir las protecciones para las mangueras de aire comprimido.

FIRMA DE RESPONSABILIDAD:

.....

Diego Mise

.....

Ing. Fernando Jácome

ANEXO 4

INFORME DE LOS ENSAYOS REALIZADOS EN LOS AMORTIGUADORES DE CAUCHO EN EL LAEV

ANEXO 5

CARACTERÍSTICAS DE VIBRADORES INTERNOS

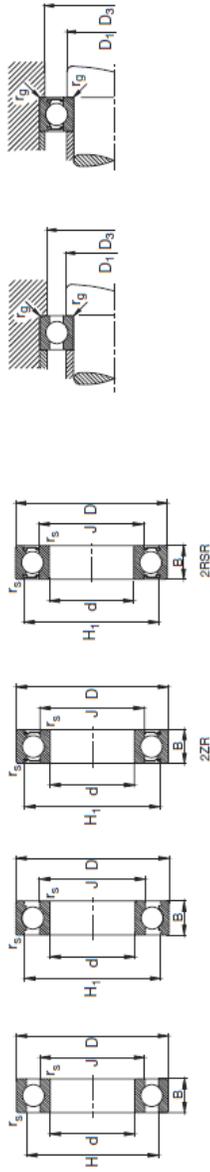
Tabla 5. Características, desempeño y aplicaciones de los vibradores internos.

Grupo	Diámetro de la cabeza (mm)	Frecuencia recomendada vibraciones por minuto	Valores sugeridos de			Valores aproximados de		Aplicación
			Momento de excentricidad (mm-kg)	Promedio de amplitud (mm)	Fuerza centrífuga (kg)	Radio de acción (mm)	Velocidad de colocación del Hº (m³/h)	
1	20 - 40	9000 - 15000	3.5 - 12	0.4 - 0.8	45 - 180	80 - 150	0.8 - 4	Hormigón plástico y fluido en miembros muy delgados y áreas confinadas. Se puede usar para suplementar vibradores grandes, especialmente en hormigón pretensado donde los cables y tubos causan congestión en las cimbras. También se usa en la producción de especímenes de ensayo en el laboratorio.
2	30 - 60	8500 - 12500	9 - 29	0.5 - 1.0	140 - 400	130 - 250	2.3 - 8	Hormigón plástico en muros delgados, columnas, vigas, pilares prefabricados, losas delgadas y a lo largo de juntas de construcción. Se pueden usar para suplementar vibradores grandes en áreas confinadas.
3	50 - 90	8000 - 12000	23 - 81	0.6 - 1.3	320 - 900	180 - 360	4.6 - 15	Hormigón plástico rígido (asentamiento < 80 mm) en la construcción general de columnas, vigas, pilares pretensados y losas pesadas. Vibración auxiliar adyacente a las cimbras del hormigón masivo y pavimentos. Se pueden montar en grupos para dar vibración interna en todo el largo de la losa de pavimento.
4	80 - 150	7000 - 10500	8 - 290	0.8 - 1.5	680 - 1800	300 - 510	11 - 31	Hormigón masivo y estructural de asentamiento de 0 a 50 mm depositados en cantidades de hasta 3m³ en cimbras relativamente abiertas de construcción pesada (centrales eléctricas, pilares de puentes y cimentaciones). También se usa para auxiliar la vibración en la construcción de presas cerca de las cimbras y alrededor de los artículos insertos y del acero de refuerzo.
5	130 - 150	5500 - 8500	260 - 400	1.0 - 2.0	1100 - 2700	400 - 610	19 - 38	Hormigón masivo en presas de gravedad, pilares grandes, muros masivos, etc. Dos o más vibradores se requerirán para operar simultáneamente para consolidar 3 m³ de hormigón o más, depositado en una sola vez en la cimbra.

ANEXO 6
CATÁLOGO FAG

Rodamientos FAG rígidos de bolas de una hilera

Los rodamientos pueden alcanzar una duración de vida ilimitada, si $C_0/P \geq 8$, ver Pág. 41.



Eje	Dimensiones		D	D	B	fs min	H	H1	J	J	Peso max	Capacidad de carga		Velocidad límite	Velocidad de referencia	Denominación abreviada	Medidas auxiliares		
	d	d										d ₁ min	d ₂ max				d ₃ max	d ₄ max	d ₅ max
30	30	62	16	52,1	54,9	40	0,195	40	19,3	11,2	14000	14000	6006	35,6	56,4	1			
	30	62	16	52,1	54,9	40	0,201	40	19,3	11,2	11000	11000	6006 ZFR	35,6	56,4	1			
	30	62	16	52,1	54,9	40	0,207	40	19,3	11,2	7500	7500	6006 ZRSR	35,6	56,4	1			
	30	62	16	52,1	54,9	40	0,211	40	19,3	11,2	7500	7500	6006 ZRSR.W203B	35,6	56,4	1			
	30	62	20	52,1	54,9	40	0,245	40	19,3	11,2	7500	7500	62206 ZRSR	35,6	56,4	1			
	30	72	19	1,1	59,6	61,6	44,6	0,355	44,6	29	16,3	24000	13000	6306	37	65	1		
	30	72	19	1,1	59,6	61,6	44,6	0,355	44,6	29	16,3	24000	13000	6306 W203B	37	65	1		
	30	72	19	1,1	59,6	61,6	44,6	0,363	44,6	29	16,3	9500	9500	6306 ZFR	37	65	1		
	30	72	19	1,1	59,6	61,6	44,6	0,369	44,6	29	16,3	6500	6500	6306 ZRSR	37	65	1		
	30	72	19	1,1	59,6	61,6	44,6	0,369	44,6	29	16,3	6500	6500	6306 ZRSR.W203B	37	65	1		
	30	72	27	1,1	59,6	61,6	44,6	0,499	44,6	29	16,3	6500	6500	62306 ZRSR	37	65	1		
	30	90	23	1,5	70,1	70,1	50,1	0,76	50,1	42,5	23,2	19000	12000	6406	41	79	1,5		
35	35	62	9	0,3	53,5	54,8	43,7	0,105	12,2	8,8	14000	10000	6007	37	60	0,3			
	35	62	14	1	53,3	55,4	43,2	0,157	16	10,2	28000	13000	6007	39,6	57,4	1			
	35	62	14	1	53,3	55,4	43,2	0,157	16	10,2	28000	13000	6007 W203B	39,6	57,4	1			
	35	62	14	1	53,3	55,4	43,2	0,163	16	10,2	7500	7500	6007 ZFR	39,6	57,4	1			
	35	62	14	1	53,3	55,4	43,2	0,163	16	10,2	7500	7500	6007 ZRSR	39,6	57,4	1			
	35	62	14	1	53,3	55,4	43,2	0,163	16	10,2	7500	7500	6007 ZRSR.W203B	39,6	57,4	1			
	35	72	17	1,1	60,7	63,3	47,2	0,291	47,2	25,5	15,3	24000	12000	6207	42	65	1		
	35	72	17	1,1	60,7	63,3	47,2	0,285	47,2	25,5	15,3	24000	12000	6207 W203B	42	65	1		
	35	72	17	1,1	60,7	63,3	47,2	0,301	47,2	25,5	15,3	8500	8500	6207 ZFR	42	65	1		
	35	72	17	1,1	60,7	63,3	47,2	0,303	47,2	25,5	15,3	6500	6500	6207 ZRSR	42	65	1		
	35	72	17	1,1	60,7	63,3	47,2	0,303	47,2	25,5	15,3	6500	6500	6207 ZRSR.W203B	42	65	1		
	35	72	23	1,1	60,7	63,3	47,2	0,393	47,2	25,5	15,3	6500	6500	62207 ZRSR	42	65	1		
35	80	21	1,5	65,5	67,6	49,3	0,471	49,3	33,5	19	20000	12000	6307	44	71	1,5			
35	80	21	1,5	65,5	67,6	49,3	0,471	49,3	33,5	19	20000	12000	6307 W203B	44	71	1,5			
35	80	21	1,5	65,5	67,6	49,3	0,481	49,3	33,5	19	8500	8500	6307 ZFR	44	71	1,5			
35	80	21	1,5	65,5	67,6	49,3	0,483	49,3	33,5	19	5600	5600	6307 ZRSR	44	71	1,5			
35	80	21	1,5	65,5	67,6	49,3	0,483	49,3	33,5	19	5600	5600	6307 ZRSR.W203B	44	71	1,5			
35	80	31	1,5	65,5	67,6	49,3	0,687	49,3	33,5	19	5600	5600	62307 ZRSR	44	71	1,5			
35	100	25	1,5	83,3	85,6	62	0,971	62	53	31,5	16000	11000	6407	46	89	1,5			
40	40	68	9	0,3	59,3	59,3	49,4	0,12	13,2	10,2	13000	9000	6008	42	66	0,3			
	40	68	15	1	59,1	61,6	49,3	0,194	16,6	11,6	26000	12000	6008	44,6	63,4	1			
	40	68	15	1	59,1	61,6	49,3	0,196	16,6	11,6	26000	12000	6008 W203B	44,6	63,4	1			
	40	68	15	1	59,1	61,6	49,3	0,2	16,6	11,6	10000	12000	6008 ZFR	44,6	63,4	1			
	40	68	15	1	59,1	61,6	49,3	0,202	16,6	11,6	6700	6700	6008 ZRSR	44,6	63,4	1			
	40	68	15	1	59,1	61,6	49,3	0,202	16,6	11,6	6700	6700	6008 ZRSR.W203B	44,6	63,4	1			

Bajo demanda también son suministrables otras ejecuciones; no duden en contactarnos.

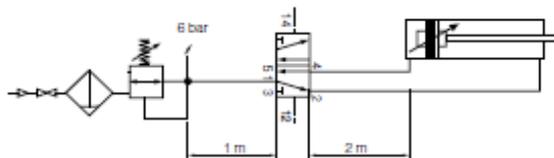
ANEXO 7

DIMENSIONAMIENTO DE ELECTROVÁLVULAS

Choice of components for air supply to cylinders

In the chart below can you find the suitable valves, tubes etc. for each cylinder size. If you have a tube length over 2 m, choose one tube size larger than in the chart. The table is based on a maximum cylinder speed of 0,5m/s.

Following data is valid:
Supply pressure: min 7,0 bar
Regulator pressure setting: 6,0 bar
Pipe length between air treatment unit and valve: max 1 m
Pipe length between valve and cylinder : max 2 m
The table is made for a cylinder speed max 0,5 m/s



Cylinder														
Cylinder diameter mm	Ø10	Ø12	Ø16	Ø20	Ø25	Ø32	Ø40	Ø50	Ø63	Ø80	Ø100	Ø125	Ø160	Ø200
Cylinder ISO connection	M5	M5	M5	G1/8	G1/8	G1/8	G1/4	G1/4	G3/8	G3/8	G1/2	G1/2	G3/4	G3/4
Tube														
Tube diameter mm Ext / Int	4 / 2,7	4 / 2,7	4 / 2,7	6 / 4	6 / 4	6 / 4	8 / 6	8 / 6 10 / 8	10 / 8	12 / 9 14 / 11	12 / 9	16 / 13	18 / 15	22 / 16
FRL units														
Global P31														
Global P32														
Global P33														
Valves														
4mm inst. fitting valve														
M5 valve														
6mm inst. fitting valve														
1/8 valve														
1/4 valve														
3/8 valve														
1/2 valve														

Possible
 Recommended
 Cylinder speed < 0,5 m/s
 Not recommended

ANEXO 8

FOTOGRAFÍAS OBTENIDAS EN CAMPO

ANEXO 9

PLANOS DE CONJUNTO Y TALLER