



UNIVERSIDAD NACIONAL “PEDRO RUIZ GALLO”



Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

TESIS

Para Optar el Título Profesional de

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

**“OPTIMIZACIÓN EN LA PRODUCCIÓN DE LA PLANTA DE
ELEMENTOS PREFABRICADOS DE CONCRETO AB
PROVEEDORES, IMPLEMENTADA PARA EL CASO
ESPECÍFICO DE CAJAS DE CONCRETO DEL ESTÁNDAR
30X40X70 cm CON GRADO DE RESISTENCIA 175 kg/cm²”**

Autor:

Bach. MONTOYA CEVALLOS ANTONY STEVE

Asesor:

Ing. JULCA OROZCO TEOBALDO EDGAR

LAMBAYEQUE – PERÚ

Enero del 2019



UNIVERSIDAD NACIONAL “PEDRO RUIZ GALLO”



Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

TESIS DE INGENIERÍA

Para Optar el Título Profesional de

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

**“OPTIMIZACIÓN EN LA PRODUCCIÓN DE LA PLANTA DE
ELEMENTOS PREFABRICADOS DE CONCRETO AB
PROVEEDORES, IMPLEMENTADA PARA EL CASO
ESPECÍFICO DE CAJAS DE CONCRETO DEL ESTÁNDAR
30X40X70 cm CON GRADO DE RESISTENCIA 175 kg/cm²”**

Autor:

Bach. MONTOYA CEVALLOS ANTONY STEVE

Aprobado por el Jurado Examinador

PRESIDENTE: M.Sc. JUAN ANTONIO TUMIALAN HINOSTROZA

SECRETARIO: Dr. DANIEL CARRANZA MONTENEGRO

VOCAL: M.Sc. CARLOS JAVIER COTRINA SAAVEDRA

ASESOR: Ing. JULCA OROZCO TEOBALDO EDGAR

LAMBAYEQUE – PERÚ

Enero del 2019



UNIVERSIDAD NACIONAL “PEDRO RUIZ GALLO”



Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

TESIS DE INGENIERÍA

TITULO

“OPTIMIZACIÓN EN LA PRODUCCIÓN DE LA PLANTA DE ELEMENTOS PREFABRICADOS DE CONCRETO AB PROVEEDORES, IMPLEMENTADA PARA EL CASO ESPECÍFICO DE CAJAS DE CONCRETO DEL ESTÁNDAR 30X40X70 cm CON GRADO DE RESISTENCIA 175 kg/cm²”

CONTENIDOS

CAPITULO I: PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.

CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO.

CAPITULO IV: PROPUESTA DE LA INVESTIGACIÓN

CAPITULO V: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS.

CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Autor: Bach. MONTOYA CEVALLOS ANTONY STEVE

PRESIDENTE

SECRETARIO

VOCAL

ASESOR

LAMBAYEQUE – PERÚ

Enero del 2019

DEDICATORIA

A Dios por iluminar mi camino y fuente de esperanza en todo momento.

A mis padres, por creer en mí, por su apoyo incondicional, por su comprensión, por ser mi mayor orgullo, mi fortaleza, ejemplo de vida y superación, por inculcarme los mejores valores, por iluminar mi sendero en la oscuridad, les dedico mi esfuerzo y un paso más en mi superación profesional, en reconocimiento a todo su sacrificio puesto para ahora ser lo que soy.

A mis hermanos, por su apoyo, cariño y por ser parte de todo mi crecimiento.

Éste logro también es de ustedes.

A mi novia, por estar conmigo durante el desarrollo de mi proyecto, por motivarme incisivamente día a día a seguir creciendo profesionalmente, porque con su amor me mantuvo firme en lograr cada objetivo propuesto, por ser una de mis más importantes motivaciones de vida, le dedico este logro que no hubiera sido posible sin su apoyo incondicional.

A mi asesor por guiarme y darme sus aportes y recomendaciones para el buen desarrollo de mi proyecto.

AGRADECIMIENTO

A Dios por darme la vida, permitirme crecer y superar día a día mis metas trazadas.

A mi Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica e ingenieros que durante mi etapa universitaria contribuyeron con sus enseñanzas y apoyo en mi formación profesional.

A mi asesor, Ing. Teobaldo Edgar Julca Orozco, quien fue participe del proceso del desarrollo de tesis y gracias a sus observaciones y recomendaciones pude concluir satisfactoriamente mi proyecto de tesis.

A la empresa AB Proveedores, quienes me abrieron las puertas con predisposición y humildad con la finalidad de poder formular sin inconvenientes mi proyecto de tesis.

A la Sra. Carmen Ocaña, quien me apoyó, aconsejó y alentó a no declinar la culminación del proyecto.

RESUMEN

El proyecto de tesis tiene como objetivo la mejora de la producción de cajas de concreto prefabricado con la implementación del sistema de vibrocompactación unidireccional.

Para el cumplimiento del objetivo, se realizó la búsqueda de información y se analizó el sistema de vibrocompactación unidireccional, detectando los pros y contras que contribuirán en el proceso productivo.

Para culminar el trabajo se elaboró el diseño del sistema de vibrocompactación unidireccional, con lo cual se mejoró notoriamente en calidad y cantidad de producción.

PALABRAS CLAVES: Vibrocompactación, Cono de Abram, slump y lixiviación.

ABSTRACT

The aim of the thesis project is to improve the production of prefabricated concrete boxes with the implementation of the unidirectional vibrocompaction system.

For the fulfillment of the objective, the information search was carried out and the unidirectional vibrocompaction system was analyzed, detecting the pro and cons that will contribute in the productive process.

To complete the work, the design of the unidirectional vibrocompaction system was elaborated, with which the quality and quantity of production were significantly improved.

KEY WORDS: Vibrocompaction, Abram Cone, slump and leaching.

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	I
AGRADECIMIENTO.....	II
RESUMEN	III
ABSTRACT	IV
INTRODUCCIÓN.....	15
CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	16
1.1. Realidad problemática	16
1.1.1. Prefabricados	17
1.1.2. Plan de desarrollo local	20
1.1.3. Reto empresarial	21
1.2. Formulación del problema	21
1.3. Delimitación de la investigación.....	21
1.3.1. Delimitación espacial	22
1.3.2. Delimitación temporal	22
1.3.3. Delimitación conceptual.....	23
1.4. Justificación e importancia de la tesis.....	23
1.4.1. Justificación metodológica	23
1.4.2. Justificación práctica.....	23
1.5. Objetivos de la tesis.....	24
1.5.1. Objetivo general	24
1.5.2. Objetivo específicos.....	24
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO	25
2.1. Antecedentes de estudios.....	25
2.2. Desarrollo de la temática correspondiente.....	27
2.2.1. Elementos prefabricados de concreto.....	27
2.2.2. Elementos para alcantarillado.....	29
2.2.3. Elementos para agua potable	30
2.2.4. Mezcla de concreto con Slump "cero".....	31
2.2.5. Insumos para producir los elementos prefabricados	32
2.2.6. Herramientas y equipos para la producción de prefabricados.....	46
2.2.7. Estandarización de especificaciones de productos prefabricados.....	49

2.2.8. Productividad y gestión de la producción de elementos prefabricados	52
2.2.9. Empresas locales que ofertan elementos prefabricados	74
2.2.10. Herramientas a utilizar en la optimización de la producción	74
2.2.11. Maquinaria fabricada en el país	77
2.2.12. Maquinaria disponible internacionalmente	79
2.2.13. Consideraciones para la determinación de las especificaciones.....	84
2.2.14. La Casa de la Calidad	85
CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO	94
3.1. Tipo y diseño de investigación	94
3.2. Población y muestra	94
3.2.1. Población.....	94
3.2.2. Muestra	94
3.3. Hipótesis.....	95
3.3.1. Hipótesis general.....	95
3.4. Variables - Operacionalización	95
3.4.1. Variable	95
3.5. Métodos y técnicas de investigación.....	95
3.5.1. Técnicas.....	95
3.5.2. Instrumentos.....	96
3.6. Descripción de los instrumentos utilizados	96
3.7. Análisis Estadístico e interpretación de los datos	97
3.7.1. Análisis de desperdicios	95
3.7.2. Optimización del tiempo.....	97
3.7.3. Optimización de costos.....	99
3.7.4. Optimización de la calidad	99
CAPITULO IV: PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN.....	102
4.1. Propuesta de la investigación	102
4.1.1. Análisis funcional	102
4.1.2. Análisis de los diagramas funcionales	107
4.1.3. Modularidad.....	108
4.2. Soluciones para cada módulo.....	112
4.2.1. Módulo 1.....	133
4.2.2. Módulo 2.....	133
4.2.3. Módulo 3.....	140

4.2.4. Módulo 4.....	142
4.2.5. Selección del principio de accionamiento de la máquina	152
CAPITULO V: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS.....	151
5.1. Descripción de la planta de prefabricados	151
5.1.1. Ubicación de la planta de prefabricados	151
5.1.2. Requerimiento de elementos prefabricados para las obras de saneamiento	151
5.1.3. Estandarización de los productos	152
5.1.4. Recursos involucrados	153
5.1.5. Equipos y maquinarias	159
5.1.6. Rendimientos.....	161
5.1.7. Proceso de producción	163
5.1.8. Layout de la planta de prefabricados	166
5.2. Cálculo y selección de componentes.....	170
5.2.1. Técnicas de vibrado.....	171
5.2.2. Generación de la vibración	172
5.2.3. Principio de funcionamiento.....	173
5.2.4. Tipos de vibradores	175
5.2.5. Tipo de vibrador a utilizar.....	178
5.2.6. Conceptos teóricos	180
5.2.7. Descripción de funcionamiento del vibrador.....	191
5.2.8. Módulo 1: Mezcladora	236
5.2.9. Módulo 2: Banda Transportadora	240
5.2.10. Módulo 3: Distribuidor de concreto y sistemas de tableros	249
5.2.11. Módulo 4. Cálculo y Dimensionamiento del sistema de compactación.....	254
5.2.12. Cálculo y dimensionamiento del sistema de desmolde	255
5.2.13. Diseño del sistema hidráulico	261
5.3. Costos	272
5.3.1. Costos directos.....	272
5.4. Costos totales.....	280
5.4.1. Análisis de costos por operación y mantenimiento.....	280
5.4.2. Costos diferenciables	282
CAPITULO VI: RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES.....	286
Conclusiones.....	286
Recomendaciones.....	287

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	289
Linkografía:.....	289
ANEXOS	290

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1: Matriz: Cobertura en los servicios de agua y saneamiento	20
Tabla 2.1: Dimensiones de la caja porta medidor	31
Tabla 2.2: Consistencia y asentamiento del concreto	33
Tabla 2.3: Normas y requisitos químicos de los cementos portland	37
Tabla 2.4: Normas y requisitos físicos de los cementos portland	37
Tabla 2.5: Empresas que fabrican cemento portland en el Perú	38
Tabla 2.6: Participación de cada empresa en los despachos totales de cemento en el Perú en el 2008	38
Tabla 2.7: Despachos de cemento y participación de mercado	39
Tabla 2.8: Clasificación de los agregados según su tamaño	40
Tabla 2.9: Clasificación de los agregados según su uso	40
Tabla 2.10: Limite granulométrico del agregado fino	42
Tabla 2.11: Tamaño nominal del agregado	43
Tabla 2.12: Requisitos mínimos para el agua	45
Tabla 2.13: Datos Técnicos de mezcladora de concreto tipo batea	47
Tabla 2.14: Ficha de producción	48
Tabla 2.15: Cuadro cualitativo de desperdicios	62
Tabla 2.16: Cuadro comparativo de desperdicios	63
Tabla 2.17: Criterios para muestreo de concreto fresco	72
Tabla 2.18: Limites para calificación como defectos superficiales	74
Tabla 2.19: Grado de calificación de acabado superficial en función del tipo de defecto	74
Tabla 2.20: Simbología que permite planificación de calidad.	88
Tabla 2.21: Simbología que permite planificación del techo de la calidad.	90
Tabla 2.22: Casa de Calidad	92
Tabla 3.1: Operacionalización de variables	96
Tabla 3.2: Descripción de instrumentos	97
Tabla 3.3: Clasificación de defectos superficiales	102
Tabla 4.1: Alternativas de módulos	118
Tabla 4.2: Evaluación de cada criterio	119
Tabla 4.3: Evaluación de las soluciones respecto a la calidad del mezclado	120
Tabla 4.4: Evaluación de las soluciones respecto al desgaste	120
Tabla 4.5: Evaluación de las soluciones respecto a la visualización de la mezcla	120
Tabla 4.6: Evaluación de las soluciones respecto a la sencillez del mecanismo	121
Tabla 4.7: Evaluación de las soluciones respecto a la fiabilidad	121
Tabla 4.8: Tabla de conclusiones para el módulo 1	122
Tabla 4.9: Combinación de soluciones para el módulo 2	125
Tabla 4.10: Evaluación del peso específico de cada criterio para el módulo 2	125
Tabla 4.11: Evaluación de las soluciones respecto a la facilidad de mantenimiento	126
Tabla 4.12: Evaluación de las soluciones respecto al costo del equipo	126
Tabla 4.13: Evaluación de las soluciones respecto a la cantidad de concreto por minuto	127
Tabla 4.14: Evaluación de las soluciones respecto a la alta fiabilidad	127
Tabla 4.15: Evaluación de las soluciones respecto a la durabilidad	127
Tabla 4.16: Evaluación de las soluciones respecto al desperdicio	128
Tabla 4.17: Conclusiones para el módulo 2	128
Tabla 4.18: Combinación de soluciones para módulo 3	133

Tabla 4.19: Evaluación de cada criterio	134
Tabla 4.20: Evaluación de las soluciones respecto a la facilidad de mantenimiento	134
Tabla 4.21: Evaluación de las soluciones frente al costo equipo	134
Tabla 4.22: Evaluación de las soluciones respecto a la distribución de concreto	135
Tabla 4.23: Evaluación de soluciones respecto a la fiabilidad	135
Tabla 4.24: Evaluación de las soluciones respecto al desperdicio	136
Tabla 4.25: Tabla de conclusiones para el módulo 3	136
Tabla 4.26: Evaluación de criterios para la selección del principio de vibración	140
Tabla 4.27: Evaluación del principio de vibración respecto al costo	140
Tabla 4.28: Evaluación del principio de vibración respecto del mantenimiento	141
Tabla 4.29: Combinación de soluciones para módulo 4	143
Tabla 4.30: Evaluación de cada criterio	144
Tabla 4.31: Evaluación de las alternativas respecto al costo	144
Tabla 4.32: Evaluación de las alternativas respecto a la facilidad de mantenimiento	144
Tabla 4.33: Evaluación de las alternativas respecto a la fiabilidad	145
Tabla 4.34: Evaluación de las alternativas respecto a las vibraciones	145
Tabla 4.35: Tabla de conclusiones para el módulo 4	145
Tabla 4.36: Evaluación de cada criterio para el accionamiento de la máquina	148
Tabla 4.37: Evaluación del principio de accionamiento respecto al control	148
Tabla 4.38: Evaluación del principio de accionamiento respecto al mantenimiento	149
Tabla 4.39: Evaluación del principio de accionamiento en función al costo	149
Tabla 4.40: Evaluación del principio de accionamiento respecto a la fiabilidad	149
Tabla 4.41: Tabla de conclusiones	150
Tabla 5.1: Cronograma histórico de entrega de elementos prefabricados a obra	151
Tabla 5.2: Canteras de agregados en uso en Lambayeque	154
Tabla 5.3: Mano de obra para la producción de cajas de registro	158
Tabla 5.4: Mano de obra para la producción de cajas porta medidor	159
Tabla 5.5: Rendimiento de mano de obra de la planta de prefabricado	161
Tabla 5.6: Dimensionamiento de áreas	167
Tabla 5.7: Función por ciclo de trabajo	192
Tabla 5.8: Medidas estándar del módulo intermedio	193
Tabla 5.9: Masas de los elementos y sistemas vibratorios.	193
Tabla 5.10: Valores recomendados para el modo de vibración	205
Tabla 5.11: Parámetros del sistema de vibración para $r=5$	208
Tabla 5.12: Parámetros del sistema de vibración para $r=8$	209
Tabla 5.13: Parámetros del sistema de vibración para $r=11$	210
Tabla 5.14: Parámetros del sistema de vibración para $r=14$	211
Tabla 5.15: Potencia requerida por el motor	215
Tabla 5.16: Longitud del largo del motor con kit de ventilación forzada y características eléctricas del motor a seleccionar	216
Tabla 5.17: Tabla de selección	217
Tabla 5.12: Se recomiendan los valores de los siguientes parámetros	235
Tabla 5.13: Dimensiones de la caja porta medidor	236
Tabla 5.14: Variación de la altura en función del diámetro	238
Tabla 5.15: Datos técnicos	239
Tabla 5.16: Ancho de banda	243
Tabla 5.17: Dimensiones según DIN15207	244

Tabla 5.18: Dimensiones módulo de cabeza y cola	245
Tabla 5.19: Fuerzas requeridas para cada proceso	264
Tabla 5.20: Diámetros requeridos	265
Tabla 5.21: Costos de materiales y accesorios mecánicos	272
Tabla 5.22: Costos de materiales hidráulicos	275
Tabla 5.23: Costos e materiales y accesorios eléctricos y electrónicos	276
Tabla 5.24: Costos e materiales y accesorios eléctricos y electrónicos	276
Tabla 5.25: Costos total por materiales	278
Tabla 5.26: Costos por maquinaria y equipos utilizados	278
Tabla 5.27: Costos por mano de obra	279
Tabla 5.28: Costos por transporte	279
Tabla 5.29: Valor total costos directos	280
Tabla 5.30: Costos indirectos	280
Tabla 5.31: Consumo eléctrico	281
Tabla 5.32: Costos de operación y mantenimiento en un mes	281
Tabla 5.33: Depreciación anual de la máquina	283
Tabla 5.34: Costos fijos y costos variables de funcionamiento	284

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Layout de la planta de vigas de concreto prefabricadas para el proyecto del tren eléctrico	26
Figura 2: Dimensiones de la caja para registro	30
Figura 3: Caja de registro para servicio de agua potable	31
Figura 4: Esquema típico de la estructura del cemento endurecido	40
Figura 5: Juego de moldes metálicos para cajas de concreto para el sistema de desagüe	46
Figura 6: Mezcladora para concretos de eje vertical tipo batea	47
Figura 7: Masa vibradora	48
Figura 8: Diseño de procesos constructivos	53
Figura 9: Sistema clásico de operación sin coordinación.	57
Figura 10: Sistema de operación con coordinación	58
Figura 11: Sistemas de transporte de insumos	59
Figura 12: Tiempos en procesos productivos	60
Figura 13: Esquema de proceso de producción	66
Figura 14: Modelo clásico	67
Figura 15: Modelo Lean o modelo TFV	68
Figura 16: Modelo Lean	68
Figura 17: Máquinas y moldes de uso regional	78
Figura 18: Bloquetera tipo ponedora	79
Figura 19: Máquina bloquetera estacionaria	80
Figura 20: Bloquetera automática para prefabricados de concreto	81
Figura 21: Esquema de planta de prefabricados de concreto con dosificador	81
Figura 22: Central automática de bloques de concreto	83
Figura 23: Máquina MBH-500 semiautomática para la fabricación de bloques de concreto	84
Figura 24: Máquinas volteadoras para la fabricación de piezas de hormigón	85
Figura 25: Oferta diaria de cajas de registro por el mercado local	98
Figura 26: Tiempo de entrega de cajas de registro y porta medidor	99
Figura 27: Desarrollo de los diagramas funcionales	104
Figura 28: Diagrama de flujo para tapas y cajas de registros de alcantarillado y cajas porta medidor de agua	105
Figura 29: División modular del primer conjunto	111
Figura 30: División modular del segundo conjunto	112
Figura 31: Criba de acero y cernidor da capacidad promedio:8 m3/día	113
Figura 32: Mezcladora de eje horizontal	114
Figura 33: Mezcladora de eje vertical	115
Figura 34: Mezcladora satelital o comúnmente llamada tipo trompo	116
Figura 35: Sistema de banda transportadora de concreto	123
Figura 36: Recipiente móvil para transporte de concreto	124
Figura 37: Distribuidor móvil	130
Figura 38: Tolva sobre molde	131
Figura 39: Detalle del desmolde vertical del molde por medio de palanca de mano	137
Figura 40: Detalle de los apisonadores	139
Figura 41: Mesas vibradoras accionada por motor vibrador (a) y por eje desbalanceado por masa (b)	142
Figura 42: Molde vibrador	142
Figura 43: Vía de acceso a la Cantera Tres Tomas	155
Figura 44: Vía de acceso a la Cantera "Pampa de Burros"	157
Figura 45: Mezcladora para concretos de eje vertical tipo batea	160

Figura 46: Máquina semiautomática de prefabricados de concreto	160
Figura 47: Mini cargador para carguío de prefabricados como también para agregados	161
Figura 48: Flujo de proceso productivo	164
Figura 49: Esquema Layout de la planta de prefabricados de concreto	168
Figura 50: Vibrado rotacional (01 eje) y vibrado unidireccional (02 ejes paralelos en rotación sincronizada)	171
Figura 51: Eje con masa excéntrica	171
Figura 52: Ejes paralelos con masas excéntricas y en rotación opuesta	172
Figura 53: Esquema del conjunto completo de la mesa vibradora.	173
Figura 54: Bastidor del molde ensamblado (fuente: Besser Company)	175
Figura 55: Vista frontal de la máquina (Fuente: Besser Company)	175
Figura 56: Sistema Indirecto de vibración	176
Figura 57: Diseño de sistema de vibración (Motor-CVT-Vibrador)	178
Figura 58: Grados de libertad	180
Figura 59: Tipos de excitación de acuerdo a la fuente generadora	182
Figura 60: Esquema de un sistema con masas rotatorias desbalanceadas	186
Figura 61: Respuesta en amplitud vs relación de frecuencias	189
Figura 62: Ángulo de fase Vs Relación de frecuencias	190
Figura 63: Sistema de vibración unidireccional	195
Figura 64: Funcionamiento de la transmisión del CVT	196
Figura 65: Variador electrónico de velocidad	198
Figura 66: Esquema de funcionamiento del sistema vibrador	199
Figura 67: Sistema de aislamiento de vibraciones hacia el mecanismo de movimiento del molde	199
Figura 68: Esquema del sistema vibratorio	199
Figura 69: Esquema del sistema vibratorio	200
Figura 70: Curva FA – r	205
Figura 71: Kit de ventilación forzada W22	216
Figura 72: Diagrama típico de montaje	218
Figura 73: CVT de correa de goma plana	219
Figura 74: Detalles de poleas de diámetros variables.	219
Figura 75: Vista Isométrica del Árbol.	223
Figura 76: Esfuerzos en una sección transversal del árbol	224
Figura 77: Diagrama de cuerpo libre del árbol desbalanceado	228
Figura 78: Bosquejo del árbol del vibrador	230
Figura 79: Los diagramas de fuerza cortante de momento flector	233
Figura 80: Los diagramas de fuerza cortante de momento torsión	233
Figura 81: Ciclo de carga y descarga del eje en su parte central	235
Figura 82: Mezcladora Industriales tipo batea	239
Figura 83: Banda transportadora	240
Figura 84: Área transversal de material transportado por la banda	241
Figura 85: Ubicación de la faja transportadora sobre la máquina bloquetera	242
Figura 86: Las nervaduras de las bandas transportadoras	243
Figura 87: Tambor motriz y tambor de cola	245
Figura 88: Distancia de rodillos	245
Figura 89: Distancia de ejes	246
Figura 90: Alimentador de mezcla	249
Figura 91: Eje de ruedas de carro transportador	251
Figura 92: Sistema de alimentación de tableros	252
Figura 93 : Placa de compactación	253
Figura 94: El área que se necesita para la compresión es tomada de la forma de una caja de registro de medidas indicadas.	254

Figura 95: Mecanismo de desmolde	255
Figura 96: Separación entre el molde y el tablero	256
Figura 97: El muro de retención con respaldo de arena (a) está sujeto a una distribución triangular de presión (b)	258
Figura 98: El funcionamiento del sistema se describe en el numeral	264
Figura 99: Características de cilindros hidráulicos seleccionados - configuración de montaje.	266
Figura 100: Secuencia de movimientos	271

INTRODUCCIÓN

Hoy en día las empresas de producción o de prestación de un servicio, buscan alternativas para incrementar sus ganancias por medio de su actividad económica, tomando en cuenta que estamos en un mercado que es competitivo, donde se debe estar actualizado en todos los aspectos.

El instrumento fundamental que origina una mayor productividad es la utilización de métodos, el estudio de tiempos. Las actividades en métodos, estudio de tiempos presentan verdaderos retos. Las industrias que cuenten con personal de alta competencia: ingenieros industriales, administradores de empresas, encargados de desarrollar técnicas de métodos, de estudio de tiempos, indudablemente estarán mejor preparados para enfrentarse a sus competidores y para operar con mayores utilidades su procesos.

En el presente proyecto se busca realizar un estudio a la **Planta de Prefabricados de Concreto AB Proveedores**, acerca del proceso de fabricación de cajas de concreto y otros, buscando sus fallas mediante observaciones, poder detectar las causas que lo origina, y poder presentar una propuesta en pro de mejoras tanto en tiempo, costo y calidad, repercutiendo favorablemente a la empresa y sus trabajadores.

Uno de los objetivos del proyecto está basado en aplicar el estudio de métodos para optimizar el proceso de la fabricación de cajas de concreto **vibro prensados** para el servicio de saneamiento, el cual servirá como base para la realización de cada uno de los capítulos que contempla el presente proyecto.

Los instrumentos para realizar el examen crítico; enfoques primarios, técnica de la OIT y técnica del interrogatorio; permiten a las empresas alcanzar una mayor eficacia en la toma de decisiones.

CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Realidad problemática

Jueves, 19 de enero del 2017.

Asocem: Este 2017 se recuperará el consumo de cemento, luego de dos años de caídas.

El consumo crecería entre 3% y 5% este año, por destrabe de obras y recuperación de inversión privada, según industria del cemento. Además, apuestan por prefabricados.

El sector construcción cayó en el último año 3% y, de la mano, el consumo de cemento (que descendió en 5.2%). Pero las cifras parecen revertirse para este año, como producto del destrabe de las inversiones del sector público y la recuperación de la inversión privada, sostiene Carlos Ferraro, director ejecutivo de la Asociación de Productores de Cemento (Asocem).

“Para el 2017 el escenario es positivo, por las obras de infraestructura que se estima que deben sumar US\$ 20,000 millones y US\$ 40,000 millones en el 2018. Recuperaremos el espacio que hemos tenido tras dos años de caídas”, remarcó.

Ferraro refiere que el mercado del cemento para este 2017 depende, en gran parte, de que se destraben dos principales proyectos: Gasoducto Sur Peruano y la Línea 2 del Metro.

En tanto, en la autoconstrucción, que representa alrededor del 70%, confía en que mostrará un comportamiento positivo.

1.1.1. Prefabricados

En los últimos años la industria del cemento ha invertido más de US\$ 500 millones en ampliar y modernizar sus instalaciones, o desarrollar nuevas unidades productivas. Al respecto, Ferraro explica que con la capacidad actual puede afrontar el consumo para este año, y no prevé anuncios próximos.

Asimismo, indicó que la industria del cemento mira su apuesta hacia los prefabricados, a lo que ellos denominan “soluciones integrales”, que son bloques de cemento, lo que ya se viene usando en la construcción de centros comerciales o almacenes, pero que también miran su apuesta para puentes y estadios.

Por ello, las cementeras tienen unidades productivas complementarias. Sobre la llegada de nuevos participantes, opinó que hay espacio, pero que cada uno debe construir su propio mercado.

Lambayeque, 9 de marzo del 2017. Con la firma del convenio N° 101-2017-VIVIENDA/VMCS/PNSU, suscrito en la sede del Ministerio de Vivienda,

Construcción y Saneamiento (MVCS), en los próximos meses, miles de pobladores que residen en los 12 pueblos jóvenes ubicados en las márgenes de la carretera que conduce de Chiclayo a Pomalca podrán ver concretado el sueño de contar con un moderno sistema de agua potable y alcantarillado con conexiones domiciliarias. Estos son Progreso, Miraflores, Las Vegas, Samán, San Francisco de Asís, La Unión, San Juan de Dios y Ramiro Prialé, que gracias al convenio firmado entre el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento y la Empresa Prestadora de Servicios de Lambayeque (Epsel), se le permitirá transferir el monto de financiamiento, que es de 63 millones 265, 471 soles; presupuesto que incluye el 100% de las partidas constructivas y el total de la supervisión a realizarse.

En trascendental acto se hizo presente el congresista Héctor Becerril y el alcalde de la provincia de Chiclayo, David Cornejo.

El documento lleva las rúbricas del gerente general de Epsel, Néstor Salinas, y el director ejecutivo del Programa Nacional de Saneamiento Urbano del MVCS, Humberto Chávarry, ratificando más los logros en favor de la comunidad por parte de la actual gestión municipal.

La obra beneficiará a más de 20 mil habitantes quienes esperaron la ejecución de esta obra por más de 40 años.

05 de abril 2017. Tras las gestiones que realizó la Entidad Prestadora de Servicios de Saneamiento de Lambayeque (Epsel) en el Ministerio de

Economía y Finanzas (MEF) se consiguió el financiamiento de **45 millones de soles** para ejecutar siete proyectos de cambio de redes de agua y desagüe, así como el compromiso para otorgar cinco millones de soles para realizar los estudios técnicos para la obra del drenaje pluvial.

Así lo informó el gerente general de EPS, Néstor Salinas Vásquez, quien precisó que este anuncio se hizo en la reunión que se sostuvo con el ministro de dicha cartera, Alfredo Thorne.

Subrayó que el presupuesto se destinará para la ejecución de los proyectos en los pueblos jóvenes Santa Rosa, José Balta, Ricardo Palma, San Antonio, Ampliación San Antonio, San Lorenzo, así como en las urbanizaciones San Juan, El Porvenir, San Lorenzo, además de la ampliación del alcantarillado de la zona noreste del distrito de José Leonardo Ortiz.

Respecto al drenaje pluvial, Salinas indicó que se presentó la estructura para los términos de referencia para esta obra. “Lo importante es que el ministro ha mostrado su disposición para entregar el presupuesto que se requiere para efectuar los estudios técnicos”, recalcó.

En esa línea manifestó que los técnicos de Epsel trabajan para tener información actualizada sobre los puntos críticos por inundación a causa de las lluvias.

“El drenaje pluvial resulta importante para evacuar las aguas de lluvias de las ciudades. En las últimas precipitaciones pluviales se evidenció la necesidad de contar con dicha estructura”.

1.1.2. Plan de desarrollo local

Por otro lado en el documento “Plan de Desarrollo Local Concertado 2016 -2021 de la Provincial de Chiclayo”, formulado en el marco de los lineamientos del Sistema Nacional de Planeamiento Estratégico, con una visión de desarrollo al 2030 y con metas al 2021, orienta el desarrollo de la Provincia de Chiclayo, se encuentra vinculado al Plan de Desarrollo Regional, a los Programas Presupuestales y a las Metas del Programa de Incentivos, como un claro propósito de alineación a la consecución de los objetivos nacionales.

Con el propósito de alcanzar dichos objetivos se ha elaborado una MATRIZ de Identificación de Indicadores y Recolección de Data, del cual se ha extraído en parte la siguiente información.

Tabla 1.1. Matriz: Cobertura en los servicios de agua y saneamiento

VARIABLE	INDICADOR	FUENTE	VALORES HISTORICOS (%)					VALOR ACTUAL (%)
			2011	2012	2013	2014	2015	
Cobertura en los servicios de agua y saneamiento	% de vivienda con servicios de agua potable por red dentro de la vivienda	EPSEL SA	67,96	65,58	87,09	87,92	86,53	86,53
	% de vivienda con servicios de desagüe por red pública dentro de la vivienda	EPSEL SA	51,37	51,62	71,01	72,36	71,01	71,51

Fuente: Plan de Desarrollo Local Concertado 2016 -2021 de la Provincial de Chiclayo”

El escenario apuesta al 2030 que la Provincia de Chiclayo, ha logrado coberturar satisfactoriamente el 97% de hogares con servicio de agua potable, el 86.50% de viviendas gozan con servicios de desagüe.

1.1.3. Reto empresarial

En función a tales expectativas y por experiencias en obras similares, es que se conoce que parte de la **ruta crítica** para el desarrollo continuo de toda obra es el suministro e instalación de buzones, cajas de registros y cajas porta medidores, es así que las empresas de prefabricados del mercado local, frente a la demanda potencial de elementos pre fabricados, generan una baja confiabilidad en torno al cumplimiento de las especificaciones técnicas del cliente (**calidad, por falta o no control del sistema de compactación mecánica por vibrado**) y al suministro oportuno de los requerimientos de cada frente de trabajo por la elevada demanda diaria de los elementos prefabricados en los proyectos en ejecución.

1.2. Formulación del problema

¿Cómo Optimizar la producción de la Planta de Elementos Prefabricados de Concreto **AB Proveedores**, implementada para el caso específico de cajas de concreto del estándar 30x40x70 cm con grado de resistencia 175 kg/cm²?

1.3. Delimitación de la investigación

La investigación del proyecto va a estudiar la productividad, es decir, la optimización en la producción (tiempo, calidad y costo) básicamente del kit de cajas domiciliarias del sistema de alcantarilla (Caja base, Intermedio, Marco y

Tapa).

1.3.1. Delimitación espacial

La investigación del proyecto se realizará en la Planta de elementos prefabricados AB Proveedores, ubicado en el trayecto Chiclayo – Pomalca 2.5 km, Distrito de Chiclayo, Provincia de Chiclayo, Departamento de Lambayeque.

1.3.2. Delimitación temporal

La investigación del proyecto se desarrollará durante 09 meses, lapso que contemplará los siguientes periodos de tiempo:

- a. Obtención y evaluación de datos e información técnica sobre el producto.
- b. Identificación y evaluación de procesos
- c. Identificación y evaluación de desperdicios
- d. Diseño de procesos según el concepto Lean Construction.
- e. Diseño del sistema de vibrado unidireccional.
- f. Diseño de la maquina vibro compactadora.
- g. Obtención de muestras de prefabricado unidireccional y ensayos de rotura
- h. Calibración de equipos.
- i. Obtención de muestras de prefabricado unidireccional y ensayos de rotura después de calibración de equipos.
- j. Conclusiones y recomendaciones.

1.3.3. Delimitación conceptual

El origen del concepto de la ciencia de vibraciones mecánicas no es adjudicado a una sola persona, debido a que a lo largo de la historia grandes científicos realizaron aportaciones importantes que contribuyeron para que el fenómeno de las vibraciones sea toda una ciencia.

El estudio del fenómeno de las vibraciones se remonta a la antigua Grecia, donde científicos como Pitágoras (570 – 497 a.C.) y Aristóteles (374 – 355 a.C.) ya habían realizado publicaciones sobre el objeto de estudio. Asimismo Galileo Galilei (1564 – 1642) e Isaac Newton (1642 – 1727), dentro algunos científicos más sobresalientes, quienes también realizaron aportaciones importantes sobre las vibraciones.

1.4. Justificación e importancia de la tesis

1.4.1. Justificación metodológica

Para optimizar la producción de la planta de elementos prefabricados de concreto se aplican los fundamentos de la filosofía Lean Construction que establece los conceptos para determinar los flujos y conversiones de cada proceso de producción y así disminuir los costos, reducir los plazos y mejorar la calidad, es decir, dando como resultado la optimización.

1.4.2. Justificación práctica

Con la planta de prefabricados optimizada se abastece en forma oportuna y exclusiva a los frentes de trabajo, de esta manera se garantiza la ejecución continua del proyecto en los plazos establecidos. Además, al incluir el vibrado unidireccional (tecnología no usada en nuestro medio local) resulta

una alternativa constructiva atractiva para lograr la optimización en tiempo y costo de obra, teniendo en cuenta también la calidad del producto en comparación de la oferta de empresas locales del rubro de elementos prefabricados. Las ventajas se ven reflejadas en superficies con mejor acabado, productos más uniformes, resistencia por encima del estándar (según NTP), menores tiempos de obra in situ y además precios competitivos.

1.5. Objetivos de la tesis

1.5.1. Objetivo general

Optimizar en tiempo, costo y calidad la producción de la Planta de Elementos Prefabricados de Concreto: AB Proveedores, implementada para el caso específico de cajas de concreto del estándar 30x40x70 cm con grado de resistencia 175 kg/cm².

1.5.2. Objetivo específicos

- a. Introducir el diseño de vibrado unidireccional (vertical),
- b. Diseñar el sistema compactador con mando hidráulico.
- c. Determinar los procesos en los cuales se controle la calidad y homogeneidad de los elementos prefabricados de concreto de acuerdo al estándar requerido por el cliente.
- d. Mejorar significativamente la economía del cemento y mano de obra.
- e. Mejorar el precio unitario de los elementos prefabricados de concreto en la planta implementada con respecto a los del mercado local.
- f. Suministrar oportunamente el requerimiento diario de los elementos prefabricados de concreto para las obras de saneamiento locales.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudios

Las unidades de concreto/hormigón se producen prácticamente en todos los países del mundo debido a su alta calidad y a la demanda de materiales económicos de construcción. Una variedad de materias primas pueden ser utilizadas para producir unidades de concreto/hormigón, en diferentes cantidades, tamaños y formas. Todos estos productos se pueden producir en una misma fábrica con solo cambiar de moldes.

Los antecedentes referidos al estudio de investigación, después de haberse realizado la búsqueda bibliográfica está orientada a determinar investigaciones a la optimización en la producción de una planta de producción de elementos prefabricados para una mercado potencialmente atractivo (**Chiclayo – Provincia y sus Distritos**) en los próximos 12 años, los cuales servirán de ayuda en el desarrollo del presente estudio y para lo cual se señala a continuación:

El proyecto del tramo 1 – Línea 1 del Tren Eléctrico fue ejecutada por el Consorcio Odebrecht Perú y GyM; es una obra emblemática de la ciudad de Lima, en su ejecución de los dos tramos se implementó una planta en la cual se prefabricaba vigas de concreto pos tensadas, pre losas, bordes típicos de viaducto y estación.

En la siguiente figura se presenta el Layout de la planta de prefabricados de las vigas para el viaducto.

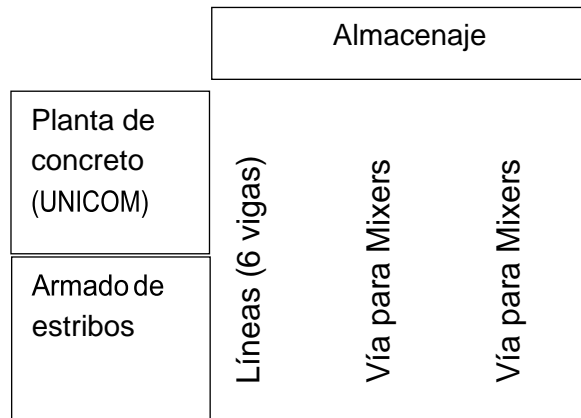


Figura 1: Layout de la planta de vigas de concreto prefabricadas para el proyecto del Tren Eléctrico.
Fuente: Consorcio Tren Eléctrico (2009)

Esta investigación presenta las actividades a controlar en cada etapa del proceso de producción de las vigas pretensadas para optimizar el costo, tiempo y calidad, dicho así, que la optimización hace referencia principalmente a tres actividades que tiene mayor incidencia en el costo, las cuales son:

- a. Control de materiales frente a la mano de obra,
- b. Control de la vibración en la colocación del concreto para reducir cangrejas y disminuir los resanes mejorando calidad, y
- c. La eficiencia en el desplazamiento del pórtico grúa; puesto que lo mencionado, eleva el costo de producción del prefabricado.
- d. Lo mencionado en el párrafo anterior nos ayuda a poner mayor énfasis de control en las actividades determinadas en el proceso de producción para un mejor control y reducir los re-trabajos, es decir disminuir los desperdicios.

Torres, M.A. (2010), productividad en la fabricación del concreto con mini planta instalada en obra (Caso Aplicativo de Producción de Paneles Prefabricados de Concreto), UNI, Lima – Perú.

El proyecto del Túnel Santa Rosa fue ejecutado por la empresa GyM, este conectara los distritos de San Juan de Lurigancho con el Rímac, en el cual se prefabricaron paneles de concreto para el sostenimiento de las paredes del túnel.

Esta investigación hace referencia al estudio de la producción de concreto en una mini planta PICCINI que finalmente es más rentable que el concreto premezclado, dando mayor versatilidad al vaciado en planta que deja de depender de la llegada de los mixers al área de vaciado.

2.2. Desarrollo de la temática correspondiente

2.2.1. Elementos prefabricados de concreto

Los elementos prefabricados son módulos de concreto producidos en serie en un lugar diferente a la ubicación final del producto de acuerdo a la forma y dimensiones requeridas, que se transporta a obra y finalmente se montan.

Las 10 ventajas principales para usar prefabricados son:

1. Construcción Industrializada: Los prefabricados de hormigón son productos a medida fabricados en plantas industriales que ofrecen todas las garantías tanto en funcionalidad como en calidad.

2. Mínimo tiempo de ejecución: Los prefabricados de hormigón únicamente se montan en obra (no hay construcción in situ), lo que permite reducción de tareas auxiliares y mano de obra.
3. Seguridad en su construcción y uso: La resistencia de los prefabricados de hormigón está garantizada desde la salida de la planta y a lo largo de toda la vida del producto.
4. Durabilidad: Las materias primas empleadas y los controles de calidad de los productos acabados posibilitan una máxima durabilidad frente a otras opciones de construcción.
5. Máxima resistencia: Los prefabricados de hormigón conservan todas sus características de resistencia incluso en situaciones adversas, por ejemplo, en incendios.
6. Aislante acústico y térmico: Los prefabricados de hormigón mejoran el aislamiento acústico y optimización energética mediante la masa térmica.
7. Excelente relación coste/beneficio: Los prefabricados de hormigón consiguen una reducción de tareas en todo el proceso de la construcción que redunda en un mejor balance entre la inversión y sus beneficios.
8. Calidad controlada: La calidad del producto está avalada por la empresa fabricante, independiente de la ejecución.
9. Versatilidad y diseño: Los prefabricados de hormigón se adaptan a cualquier necesidad técnica o de diseño y consiguen una alta competitividad en productos seriados.
10. Sostenibilidad: El empleo de prefabricados de hormigón supone tener un óptimo control de impactos ambientales, sociales y económicos tanto durante la construcción como durante el uso y gestión posterior.

Las 10 desventajas del uso de prefabricados:

1. Si no se manejan adecuadamente, las unidades prefabricadas pueden ser dañados durante el transporte.
2. Se hace difícil para producir conexiones satisfactorias entre los miembros prefabricados.
3. Es necesario disponer de un equipo especial para el levantamiento y traslado de las unidades prefabricadas.
4. La economía alcanzada en la construcción de prefabricados está parcialmente compensada por la cantidad que se gasta en el transporte y la manipulación de los miembros prefabricados. Se hace, pues, necesario localizar la fábrica de prefabricados en un lugar tal que los gastos de manipulación y transporte son llevados a la mínima medida posible.
5. Mayor detalle en planos de construcción y montaje.
6. Mayor planeación (estudio en tiempo y movimientos de maquinaria y transporte).
7. Se requiere maquinaria pesada (tracto – camión, grúas, etc.).
8. Mano de obra especializada.
9. Se requiere de espacio para maniobras en las obras.
10. La inversión en moldes metálicos es muy alta.

2.2.2. Elementos para alcantarillado

2.2.2.1. Cajas prefabricadas de concreto para registro de desagüe

Las cajas de concreto son elementos de concreto simple, que sirven como recolectores, inspección y para limpieza de la descarga del desagüe de las viviendas para conectarlos con la red del servicio de alcantarillado público.

(a) Especificaciones técnicas

La caja a utilizar será la de 30x40x70 cm, con una resistencia de concreto $f'c = 175 \text{ Kg/cm}^2$.



Figura 2: Dimensiones de la caja para registro

Fuente: NTP

2.2.3. Elementos para agua potable

2.2.3.1. Cajas porta medidor de agua

Las cajas prefabricadas porta medidor de agua son elementos de concreto simple que se instalan debajo de la vereda de cada predio y que van apoyadas sobre un solado de fondo que contienen y protegen a los medidores de agua.

(a) Especificaciones Técnicas

La resistencia de cada elemento es:

Cuerpo: $f'c = 175 \text{ Kg/cm}^2$.

Solado (5cm): $f'c = 140 \text{ Kg/cm}^2$.

Las dimensiones a fabricar se muestran en la tabla 2.1:



Figura 3. Caja de registro para servicio de agua potable

Fuente: Fedihuro SAC. <http://www.fedihurosac.com/web/productos/tapas-de-concreto/>

Tabla 2.1. Dimensiones de la caja porta medidor

Descripción	Medidores 1/4" – 3/4"	
Dimensiones exteriores	AxL (mm)	400x600
Espesor	.e (mm)	50
Altura total	H (mm)	300
Abertura para tapa	lxa (mm)	250x205
Abertura para paso de tubería	.txh (mm12)	80x130
Peso	Kg	70

Fuente: NTP

2.2.4. Mezcla de concreto con Slump "cero"

La mezcla de concreto con Slump cero es el concreto fresco de consistencia seca, que no tiene asentamiento por el contenido mínimo de agua, esto se determina por medio del ensayo del cono de Abrams.

Este tipo de mezcla es la usada en la fabricación de los elementos prefabricados especialmente en las cajas porta medidor y de registro por el corto tiempo de desmolde de los elementos y el menor consumo de cemento en la mezcla.

2.2.5. Insumos para producir los elementos prefabricados

2.2.5.1. Concreto

El concreto es un material compuesto básicamente por cemento, agregados, agua, aire y en diseños especiales aditivos, estos elementos tienen un comportamiento y rol bien diferenciados dentro de la masa del concreto y su **proporción en la mezcla es clave** para lograr las propiedades deseadas, esto es: trabajabilidad, resistencia, durabilidad y economía.

- a. **Trabajabilidad.-** Medida de la facilidad con la que el concreto puede ser colocado, consolidado y acabado.
- b. **Resistencia.-** Para obtener la capacidad de resistir cargas estructurales.
- c. **Durabilidad.-** Capacidad para resistir la acción del ambiente.
- d. **Economía.-** Los mayores beneficios con los menores costos.

El control de la calidad del concreto debe tener carácter preventivo, poniendo énfasis tanto en el seguimiento de los componentes como en el concreto fresco, para así minimizar los esfuerzos en los controles del concreto endurecido.

La aceptación del concreto está determinada por los resultados de ensayos en concreto fresco y endurecido:

- a. Lo primero que se debe realizar al preparar la mezcla es medir su consistencia con el Cono de Abrams, siendo recomendable un Slump de cero a dos pulgadas.

Tabla 2.2. Consistencia y asentamiento del concreto

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

Fuente: Laura, S.H. (2006)

- b. El siguiente paso es realizar la rotura de la probeta para controlar la resistencia del concreto.
- c. Por último, debemos realizar un diseño de mezcla (en un laboratorio certificado) para obtener las proporciones óptimas para cada tipo de resistencia (100, 140, 175, 210, 280, 360 Kg/cm²).
- d. Los prefabricados de concreto se curaran completamente imbuidos en una solución de agua de Cal 3g/L.
- e. El propósito del curado húmedo es para maximizar la hidratación del cemento, con esto se logra su resistencia máxima (según diseño de mezcla), y la adición de cal al agua busca subirle el PH hasta un rango de 13 o 14 para que no le quite cal al concreto (evita la lixiviación).
- f. Tecnología del concreto. (*)

La dosificación en planta será controlada por peso mediante una balanza digital, para el caso de los agregados y el cemento y para el caso del agua con un medidor de volumen (litros) en un proceso que depende del operario del área. Se espera alcanzar una precisión superior al 1% para el cemento y al 2% para los agregados.

La mezcla se deberá efectuar en las proporciones establecidas durante su diseño, admitiéndose las siguientes variaciones en el peso de sus componentes:

Cemento $\pm 1\%$

Agua $\pm 2\%$

Aditivos $\pm 3\%$

Agregado fino $\pm 2\%$

Agregado grueso hasta de 38 mm $\pm 2\%$

Agregado grueso mayor de 38 mm $\pm 3\%$

Fuente: (*) file:///D:/Modulo%20IV_%20Tecnolog%C3%ADa%20del%20Concreto2.html

2.2.5.2. Insumos para la elaboración del concreto

A continuación se definen los insumos que se utilizan para la mezcla del concreto:

2.2.5.2.1. Cemento Portland

El cemento Portland es una alúmina silicato de calcio, patentado por J. Aspdin en 1824, y denominado Portland por su semejanza a una piedra que abunda en esa localidad de Inglaterra. Se obtiene por calentamiento incipiente (aprox. 1300 °C) de una mezcla de minerales finamente molidos, formados por piedra caliza y arcilla.

El Material obtenido denominado “Clinker” se muele finamente adicionándole de un 2% a 3% de yeso para evitar que fragüe instantáneamente.

La totalidad de los cementos empleados en el Perú son cementos Portland tal como los especifica la Norma ASTM C 150 o cementos combinados, de acuerdo a lo indicado en la norma ASTM C 595.

De acuerdo a lo recomendado por la Norma ASTM C 150, los cinco tipos de cementos Portland normal que pueden ser clasificados como estándar y cuya fabricación está formada por requisitos específicos, son:

TIPO I: De uso general, donde no se requiere propiedades especiales.

TIPO II: De moderada resistencia a los sulfatos y moderado calor de hidratación. Especialmente adecuados para ser empleados en estructuras en ambientes agresivos y/o vaciados masivos.

TIPO III: De desarrollo rápido de resistencia con elevado calor de hidratación. Especiales para uso en los casos en que se necesita adelantar la puesta en servicio de las estructuras, o para uso en climas fríos.

TIPO IV: De bajo calor de hidratación, recomendable para concretos masivos.

TIPO V: Recomendable para ambientes muy agresivos por su alta resistencia a los sulfatos.

2.2.5.2.1.1. Cemento Portland Tipo MS

Es un Cemento Portland con adiciones de escoria de altos hornos, el cual tiene una actividad potencial brindando al concreto moderado calor de hidratación, moderada resistencia a los sulfatos y otras características.

Este cemento es más resistente a la agresión química, ya que debido a la acción química de sus adiciones aditivas es más resistente cuando se

encuentra en contacto con suelos húmedos que contienen sulfatos y sustancias salitrosas que deterioran el concreto. Es adecuado para estructuras, cimentaciones y pisos.

Este cemento desarrolla con el tiempo una resistencia mecánica superior a la del cemento de uso común.

Está compuesto por 30% de escoria, 5% de yeso y 65% de Clinker. Debido a sus propiedades de moderado calor de hidratación y moderada resistencia a los sulfatos se compara con el cemento tradicional tipo II que tiene requisitos físicos iguales, a excepción del tiempo de fraguado que para el Cemento tipo MS es de 420 minutos y para el Cemento Tipo II de 375 minutos.

El cemento tipo MS esta normado por la ASTM C 1157 y en el Perú por la NTP 334.082.

Tabla 2.3.: Normas y Requisitos Químicos de los Cementos Portland

REQUISITOS QUIMICOS	TIPO I		TIPO II		TIPO V		TIPO MS	IP,I (PM),
	ASTM	C	ASTM	C	ASTM	C	ASTM C	ICo
Norma ASTM	150		150		1157		1157	ASTM C
	NTP		NTP		NTP		NTP	595
Norma Técnica Peruana	334.009		334.009		334.009		334.082	NTP 334.090
<hr/>								
Oxido de Magnesio (MgO), Max, %	6,0		6,0		6,0		--	6,0
Trióxido de Azufre (SO ₂), Max, %	3,5		3,0		2,3		--	4,0
Perdida por ignición, Max, %								
<hr/>								

	3,0	3,0	3,0	--	8,0
Residuo insoluble Max, %	0,75	0,75	0,75	--	--
Aluminato tricálcico (C2A) Max, %	--	8	5	--	--
Álcalis Equivalentes (Na₂O + 0,658 K₂O), Max, %	0,6*	0,6*	0,6*	--	--

Fuente: <https://es.slideshare.net/MoisesGonzaloPinedoBlas/tabla-de-elementos-del-concreto>

Tabla 2.4.: Normas y Requisitos Físicos de los Cementos Portland

REQUISITOS FÍSICOS	TIPO I	TIPO II	TIPO V	TIPO MS	IP, I (PM)
Norma ASTM	ASTM C150	ASTM C150	ASTM C150	ASTM C 1157	ICo
Norma Técnica Peruana	MTP 334.009	MTP 334.009	MTP 334.009	MTP 334.082	ASTM C 595 NTO 334.090
Resistencia a compresión					
3 días, kg/cm², mín.	120	100	80	100	130
7 días, kg/cm², mín.	190	170	150	170	200
28 días, kg/cm², mín.	280 (opcional)	280 (Opcional)	210	280 (Opcional)	250
Tiempo de fraguado, mín.					
Inicial, mín.	45	45	45	45	45
Final, máx.	375	375	375	420	420
Expansión en autoclave					
% máximo	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
Resistencia a los sulfates					
% máximo de expansión	-	-	0,04 (14 días)	0,10 (6 meses)	0,10 (6 meses)
Calor de hidratación					
7 días, máx. kJ/kg	-	290 (Opcional)	-	-	290 (Opcional)
28 días, máx. kJ/kg	-		-	-	330 (Opcional)

Fuente: <https://es.slideshare.net/MoisesGonzaloPinedoBlas/tabla-de-elementos-del-concreto>

2.2.5.2.1.2. Estructura de mercado y grado de concentración industrial

Las empresas que conforman el sector son 07 y a continuación detallamos los productos que fabrican:

Tabla 2.5. Empresas que fabrican cemento portland en el Perú

Empresa	Cementos Portland				
	Tipo I	Tipo II	Tipo V	Tipo MS	IP, I (PM), ICo
Cemento Andino	√	√	√	---	√ Puzolánico (PM)
Caliza Cemento Inca	√	√	---	---	---
Cementos Lima	√ Marca "Sol"- BA	√ BA	√ BA	---	√ Súper Cemento Atlas (IP)
Cementos Pacasmayo	√	√	√	√	√ Compuesto I Co
Cementos Selva	√	√	√	---	√ Puzolánico IP Compuesto I Co
Cemento Sur	√	√	√	--	√ Puzolánico IP
Cemento Yura	√	√	√	---	√ Puzolánico IP

Fuente: Reporte Financiero Burkenroad Perú – Sector Cementero del Perú Mayo 26, 2010

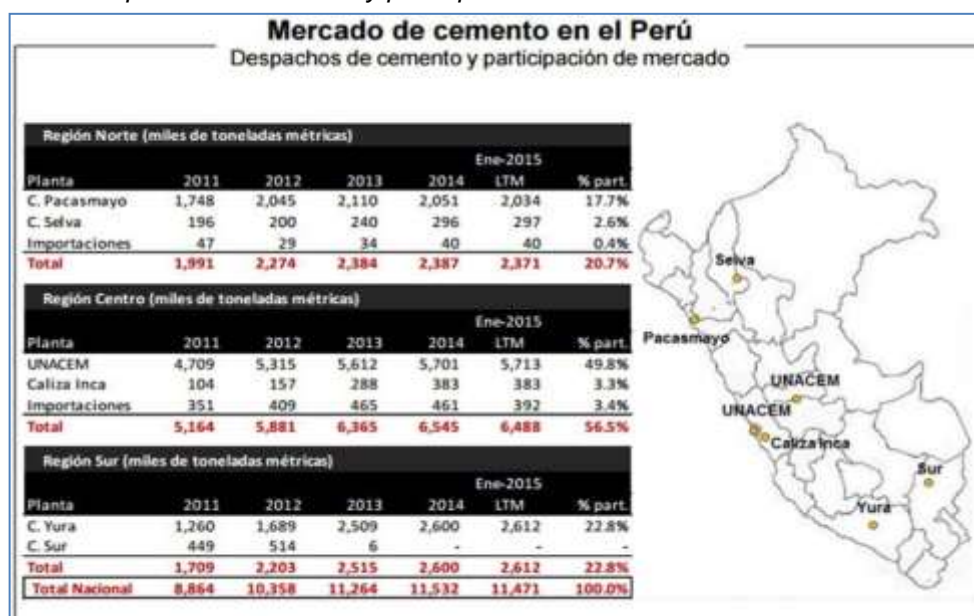
Tabla 2.6. Participación de cada empresa en los Despachos totales de Cemento en el Perú en el 2008

Empresa	Participación %
Cemento Andino *	18
Caliza Cemento Inca	1
Cementos Lima *	43
Cementos Pacasmayo	20
Cementos Selva	2
Cemento Sur	2
Cemento Yura	14

TOTAL	100
--------------	-----

**UNACEM es la fusión de cementos Lima y cementos Andino*

Tabla 2.7. Despachos de cemento y participación de mercado



Fuente: Reporte Financiero Burkenroad Perú – Sector Cementero del Perú Mayo 26, 2010

2.2.5.2.2. Agregados

Los agregados son un conjunto de partículas inorgánicas de origen natural o artificial provenientes de la desintegración de las rocas que cumplen una cierta granulometría de acuerdo a la NTP 400.011.

Generalmente se entiende por “agregado” a la mezcla de arena y piedra de granulometría variable, conocida como la fase discontinua el concreto, embebidos en las pasta cementicia y ocupan del 70 al 80% de la unidad cubica del concreto.

2.2.5.2.2.1. Granulometría

Deberá permitir obtener la máxima densidad del concreto con una adecuada trabajabilidad en función de las condiciones de colocación de la mezcla.

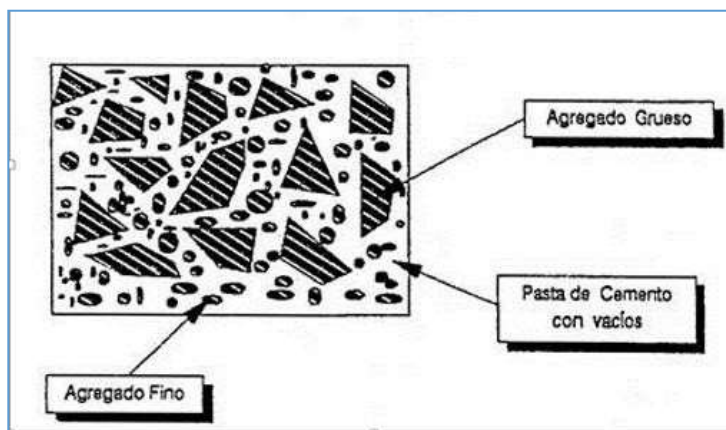


Figura 4. Esquema típico de la Estructura del Cemento Endurecido

Fuente: <https://civilgeeks.com/2011/12/11/propiedades-principales-del-concreto/>

Tabla 2.8. Clasificación de los agregados según su tamaño

TAMAÑO (mm)	Mayor a 50	Entre 50 y 19,0	Entre 19,0 y 4,75	Entre 4,75 y 2,36	Entre 2,36 y 0,42	Entre 0,42 y 0,074	Entre 0,074 y 0,002	Menor a 0,002
Denominación	Piedra	Grava	Gravilla	Arena gruesa	Arena media	Arena fina	Limo	Arcilla
Denominación	Agregado grueso			Agregado fino			Fracción muy fina	
Recomendación	Material bueno para producir concreto			Material bueno para producir concreto			Material no recomendable	

Fuente: NTP 400.037 2014

Tabla 2.9. Clasificación de los agregados según su uso

Agregados para hormigones y morteros	Arena (0 – 5 mm)
	Grava (6 - 12 y 12 – 20 mm)
Agregados para prefabricados	Arena (0 – 3 mm)
	Gravilla (6 – 12 y 12 – 18 mm)
Balasto para construcción de vías férreas	Grava (10 – 25 mm)
	Balasto fino (16 – 31,5 mm)

	Balasto grueso (25 – 50 mm)
Agregados para carreteras	Material de relleno y plataforma. Sub-base
	Base de gravas: 14 -16 mm y arena (0 – 4 mm)
	Capa de rodadura (aglomerado asfáltico): 40% de arena 60% grava

Fuente: NTP 400.037 2014

2.2.5.2.2.2. Propiedades de los agregados

Los requisitos de calidad establecidos para los agregados se pueden separar en dos grupos:

Grupo A: las partículas deben ser duras, resistentes y durables.

Grupo B: Las partículas deben ser limpias, libres de impurezas, de tamaño y forma adecuadas.

Si el material de estudio no reúne alguna de las características del Grupo A, no podrá ser empleado como agregado para hormigón, por ser estas características determinantes, y no es posible modificarlas.

2.2.5.2.2.3. Funciones de los agregados

- Proporcionar un relleno económico.
- Proveer una masa de partículas aptas para resistir la acción de cargas.
- Reducir los cambios de volumen.

2.2.5.2.2.4. Agregado fino

Consistirá en arena natural, arena manufacturada o una combinación de ambas; definiéndose como aquel proveniente de desintegración natural o artificial de las rocas. Es el agregado que pasa el tamiz 9,51 mm (3/8") y queda

retenido en el tamiz 74 μm (N° 200) que cumple con los límites establecidos en la NTP 400.037.

Tabla 2.10. Límite granulométrico del agregado fino

MALLA	% PESO QUE PASA
	C
9,50 mm (3/8")	100
4,75 mm (N° 4)	95 – 100
2,36 mm (N° 8)	80 – 100
1,18 mm (N° 16)	50 – 85
600 μm (N°30)	25 – 60
300 μm (N° 50)	10 – 30
150 μm (N° 100)	2 – 10

Fuente: Tecnología de los materiales 2011-II

2.2.5.2.2.4.1. Especificaciones técnicas

Debe estar compuesto de partículas limpias de perfil angular duras y compactas, libre de materia orgánica u otras sustancias dañinas. Debe ser graduado dentro de los límites dados en los requisitos.

Tabla 2.11. *Tamaño nominal del agregado*

Tamaño Nominal	Porcentajes que pasan por las siguientes mallas							
	2"	1 ½"	1"	¾"	½"	3/8"	Nº 4	Nº 8
2"	95-100	-	35-70	-	10-30	-	0,5	-
1 ½"	100	95-100	-	35-70	-	10-30	0,5	-
1"	-	100	95-100	-	25-60	-	0,1	0,5
¾"	-	-	100	90-100	-	20-55	0,1	0,5
½"	-	-	-	100	90-100	40-70	0,15	0,5
3/8"	-	-	-	-	100	85-100	10-30	0,1

Fuente: NTP 400.037 2014

El módulo de fineza debe estar entre 2,3 a 3,1.

2.2.5.2.2.5. Agregado Grueso

Se define como agregado grueso al material retenido en el Tamiz NTP 4,75 mm (Nº 4) y que cumple con los límites establecidos en la norma 400.037.

Según la NTP 400.037 (2012), el agregado grueso está conformado por partículas limpias, de perfil preferentemente angular, duras compactas, resistentes y textura preferentemente rugosa.

La granulometría seleccionada no deberá tener más del 5% del agregado retenido en la malla de 1 ½" y no más del 6% del agregado que pasa la malla de ¼".

2.2.5.2.2.6. Piedra triturada o chancada

La NTP 400.011 define como el agregado grueso obtenido por trituración artificial de rocas o gravas.

2.2.5.2.2.7. Características químicas

El ataque químico sobre los agregados es importante por la influencia de la durabilidad del concreto, pues ciertos agregados reaccionan con los álcalis del cemento produciendo compuestos expansivos.

2.2.5.2.2.8. Análisis Granulométricos

El análisis granulométrico es la representación numérica de los contenidos volumétricos de determinados tamaños del agregado.

La granulometría influye considerablemente en las propiedades del concreto fresco y en algunas del concreto endurecido.

Lo que importa es la granulometría de la mezcla.

En el anexo N° 1 se encontrará el formato de control de calidad del análisis granulométrico de los agregados a usar en la planta.

2.2.5.2.3. Agua

Según la NTP 339.088, 2013, se define al agua como el insumo que reacciona con el cemento para hidratarlo y actuar como lubricante para contribuir la trabajabilidad de la mezcla.

Las aguas potables y no potables pueden ser buenas para el concreto, siempre y cuando cumplan con los siguientes requisitos establecidos en la NTP.

Tabla 2.12. *Requisitos mínimos para el agua*

DESCRIPCION	LIMITE PERMISIBLE
Sólidos en suspensión	5000 ppm máximo
Materia orgánica	3 ppm máximo
Carbonatos y bicarbonatos alcalinos (Alcalinidad total expresada en NAHCC_3)	1000 ppm máximo
Sulfatos (Ion SO_4)	600 ppm máximo
Cloruros (Ion Cl)	1000 ppm máximo
pH	Entre 5,5 y 8

Fuente: NTP 339.088, 2013

2.2.5.2.4. Aditivo

Los aditivos son insumos químicos que modifican las propiedades conglomerantes de la mezcla en estado fresco. A continuación se describen algunos de ellos:

2.2.5.2.4.1 Acelerante de fragua

Según Chema, 2013, el acelerante de fragua es un aditivo que sirve para obtener una fuerza a la compresión del concreto en menor tiempo, de esta manera se desencofrara en menor tiempo, adicionalmente este producto proporciona una propiedad de resistencia a las sales y sulfatos.

En el mercado tenemos al producto Chema 3 de la empresa CHEMA, este tendrá una dosificación de 500 ml por bolsa de cemento de 42,5 Kg (en el agua de amasado).

2.2.5.2.5. Moldes metálicos

El molde metálico es una pieza de metal que sirve para dar forma a los elementos que se desean obtener; se utilizan para producir masivamente diferentes productos de concreto de tamaño pequeño o regular y con dimensiones estándares.



Figura 5: Juego de moldes metálicos para cajas de concreto para el sistema de desagüe.
Fuente: FAMACON Fabricantes de moldes para prefabricados.

2.2.6. Herramientas y equipos para la producción de prefabricados

2.2.6.1. Mezcladora de eje vertical

Este equipo es la solución perfecta para la producción de mezcla de concreto duro y seco (hormigón compactado), y por ende es ampliamente usado en la producción de bloques, piezas prefabricadas, concreto reforzado en acero, concreto de color, mortero seco, etc.

El material se mezcla en un recipiente cilindro mediante la acción de paletas cuyo eje se encuentra dispuesto de manera vertical.

Características:

- a. Fácil manejo.

- b. Mantenimiento reducido.
- c. Costos de energía de producción baja.
- d. Tiempos de mezclados reducidos (2 a 5 min. Según el tipo de mezcla).
- e. Posibilidad de incorporar control de producción automática.
- f. Mezcla para sistemas de colorantes.
- g. La pala mezcladora está compuesta por varios grupos de brazos de mezcla que cubren la región de mezcla completamente aportando un mezclado fuerte y homogéneo, adicional a ello posee rascadores laterales exteriores e interiores que mantienen el material en la zona de mezclado.



Figura 6: Mezcladora para concretos de eje vertical tipo batea

Fuente: <https://sdshengya.en.made-in-china.com/product/NyTxHMzZCEI/China-Jq350-Portable-Concrete-Mixer-for-Block-Machine.html>

Tabla 2.13. Datos Técnicos de mezcladora de concreto tipo batea

Capacidad (L)	Pesos Inertes (Kg)	Peso Concreto (Kg)	Balanza Cimento (Kg)	Balanza Agua (L)	Potencia (hp)	Velocidad (rpm)	Potencia Skip (Kw)	Velocidad Skip (rpm)
230	325	370	65	30	10	30	2	57
365	510	580	111	60	15	30	3	57
500	700	800	160	90	20	26	4	57

750	1050	1200	250	150	30	26	5,5	46
-----	------	------	-----	-----	----	----	-----	----

Fuente: CARFEL, Plantas de hormigón

Tabla 2.14. Ficha de producción

Capacidad (L)	Volumen de material por ciclo (m ³)	Producción por Hora (m ³ /h)	Producción por Día (m ³ /8h)
230	0.16	9.20	73.60
360	0.24	14.40	115
500	0.33	20	160
750	0.50	30	240

Fuente: CARFEL, Plantas de hormigón

2.2.6.2. Mesa vibradora

La mesa vibradora consta de un bastidor apoyado al piso sobre el cual se monta una plataforma vibrante que descansa sobre cuatro amortiguadores (resortes). En esta unidad la vibración es producida por un motor vibrador trifásico (3hp/3000rpm).

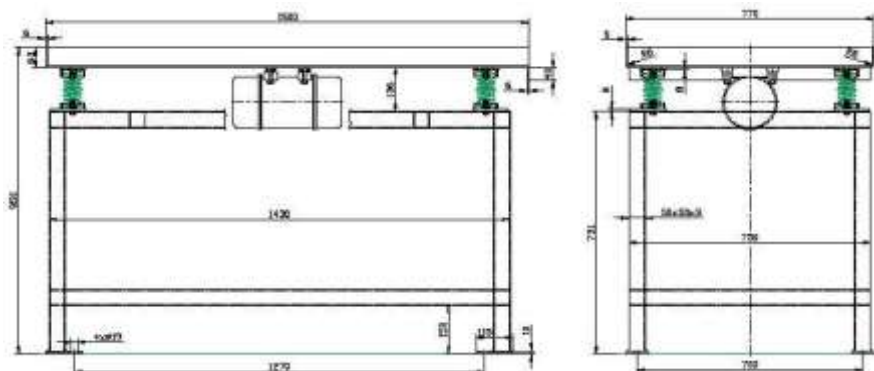


Figura 7: Masa vibradora

Fuente: <https://www.agrofy.com.ar/planos-completos-de-una-mesa-vibradora-a-su-necesidad.html>

La intensidad de vibración se regula cambiando la excentricidad de los contrapesos situados en el interior del motor vibrador, de esta forma mientras más desplazado del centro se encuentre el contrapeso mayor será la vibración de la unidad.

El sistema de amortiguamiento consta de cuatro resortes que permiten una vibración suave a la vez que aísla el bastidor de la plataforma vibrante.

2.2.7. Estandarización de especificaciones de productos prefabricados

La prefabricación fundamenta su desarrollo en los procesos de tipo industrial para asegurar las ventajas en sus productos finales que con otros métodos no es posible alcanzar como son bajo costo general y de mantenimiento, calidad en los acabados y una gran rapidez de construcción, todo lo cual permite una eficiencia y pronta optimización del capital invertido.

En la actualidad, las obras ya sean arquitectónicas o de ingeniería, además de cumplir con las características tecnológicas y de funcionalidad deben responder a un tercer requisito: una rápida recuperación de la inversión, y para conseguir lo anterior es necesario no perder de vista los dos elementos básicos, la industrialización y la estandarización:

a. La industrialización

Es el enfoque del proceso de manufactura a través del cual, por el uso de la tecnología, de organización y de técnicas de producción masiva se logra un incremento en la productividad, la eficiencia y la calidad del producto.

Entendiendo la eficiencia de la industrialización como la producción de objetos sin mano de obra artesanal, con máquinas manejadas por obreros capacitados, el desarrollo industrial exige de una nueva orientación del quehacer de a construcción pues la industria requiere tanto de la necesaria libertad de movimientos del desarrollo técnico, como del control de sus productos bajo las normas de calidad y marcas de fábrica.

Sin embargo, lo anterior demanda una nueva mentalidad que permita construir en el tiempo exacto siguiendo un plan preciso y adecuado, es decir, se requiere dejar atrás lo artesanal para atender las urgentes necesidades con el orden y la calma exigidas por una preparación minuciosa y metódica del trabajo que impone también la organización racional de todas las funciones que forman parte de la acción de edificar.

b. La estandarización

Este concepto, junto con la modulación, forma el binomio que hace posible la prefabricación, la cual sumada a los conocimientos, la calidad de cementos y concretos de muy alta calidad que se están logrando dentro de nuestras fronteras, se pueden diseñar secciones esbeltas de muy alta resistencia y gran rapidez de colocación.

Ahora bien, antes de llegar al manejo de la estandarización el arquitecto o el ingeniero debe tener en cuenta que esta medida traerá una simplificación de los procesos de trabajo en la obra, con la consiguiente significativa reducción de los oficios fáciles de aprender para un trabajador inexperto. Sin embargo, en oposición de quienes abogan por

una mano de obra improvisada bien se puede argumentar que la prefabricación conlleva un cambio tecnológico en los procesos de construcción y trae aparejada la superación personal del trabajador, además de las ventajas ya muy conocidas de:

1. Rapidez en el montaje y ejecución.
2. En las estructuras prefabricadas prácticamente se trabaja en seco, al contrario de las hechas en sitio.
3. Garantía de calidad.
4. La segmentación del conjunto de las operaciones de producción en fases elementales permite la especialización de los trabajadores, lo que repercute en un aumento de la productividad, de las características de los materiales, una disminución de los tiempos muertos y, por tanto, en una disminución en tiempo de construcción.

2.2.7.1. Calidad y optimización de los materiales

La construcción con elementos prefabricados ha permitido establecer un control de calidad que garantice los parámetros específicos para el concreto y la calidad, así como todas y cada una de las especificaciones exigibles al propio elemento prefabricado, como geometría, acabados, etc.

2.2.8. Productividad y gestión de la producción de elementos prefabricados

Para poder entender la funcionalidad de la producción en la planta de elementos prefabricados en el marco de la optimización de la productividad, será conveniente remarcar algunos conceptos, como:

2.2.8.1. Proceso

Actividades o fases que se realizan de manera sucesiva, dejando listo el producto para su posterior entrega. En nuestro caso los elementos prefabricados tienen un proceso que se inicia con el control de calidad de los materiales y concluye con los resanes, es así que se tiene el producto entregable para su transporte e instalación en la obra de saneamiento. Entonces, podemos concluir que un conjunto de procesos conforman un proyecto.

Según Koskela L, (1992), menciona que las características de un proceso, son naturales, sucesivos, independientes e indispensables, con un alcance definido y a cargo de un responsable determinado.

2.2.8.2. Procedimiento

Es el paso a paso, mediante el uso de distintas herramientas (como por ejemplo, diagrama de procesos) del conocimiento y experiencia acumulados en un proceso.

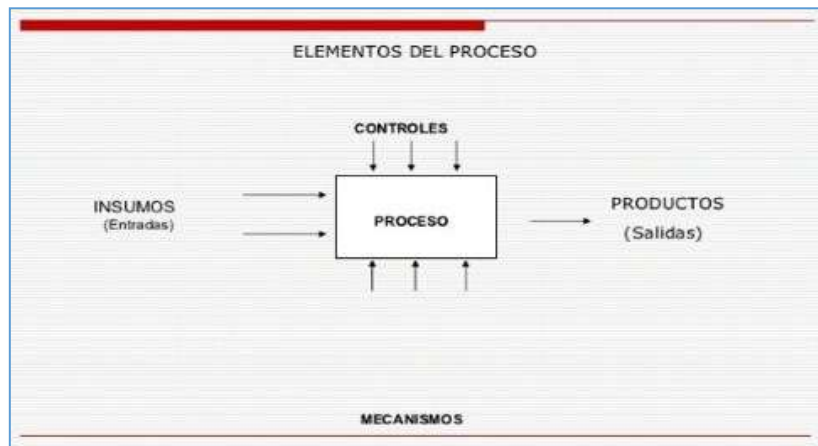


Figura 8. Diseño de procesos constructivos

Fuente: <https://es.slideshare.net/zgarios/organizacion-de-obras-presentation>

2.2.8.3. Rendimiento

En la construcción, se define como rendimiento a la cantidad de recurso de alguna actividad completamente ejecutada por una unidad de producción.

$$Rendimiento = \frac{Recurso\ usado}{Unidad\ de\ producción} \dots\dots\dots (2.2.8.3.1)$$

2.2.8.4. Productividad

Es la relación entre la cantidad de productos obtenida por un sistema productivo y los recursos utilizados para obtener dicha producción. Según Serpell Bley, Alfredo (1999) menciona que “También puede ser entendida como una medición de la eficiencia con que los recursos son administrados para completar un producto específico, dentro de un plazo establecido y con un estándar de calidad dado”. Cuanto menor sean los recursos utilizados para obtener el resultado deseado, más productivo es el sistema o actividad.

2.2.8.5. Desperdicio

La relación Desperdicio - Costo es directa, debido a que "Desperdicio es toda actividad del proceso que agrega costo pero no valor".

Definir el desperdicio de esta manera, representa cuestionar en profundidad todos nuestros procesos productivos, por lo que tomamos como referencia la clasificación estándar de actividades de un proceso:

- a. **Operación:** Indica las principales fases de un proceso, la modificación o agregación de valor a la pieza, [materia](#) o [producto](#).
- b. **Inspección:** Indica que se verifica cantidad, calidad o ambas.
- c. **Transporte:** Indica el movimiento de los trabajadores, materias o equipos.
- d. **Demora o espera:** Indica parada entre dos operaciones sucesivas.
- e. **Almacenamiento:** Indica depósito permanente, bajo vigilancia y autorización.

La nueva definición significa que las cuatro últimas actividades son desperdicio y deben ser eliminadas.

El planteamiento no es decretar la eliminación de desperdicio pero si establecerlos como un principio guía que oriente la mejora de la empresa.

Quizá sorprendan los diferentes datos, pero bajo los enfoques tradicionales de gestión, tenemos que el tiempo de ciclo de un producto, en la mayoría de los procesos, se descomponen de la siguiente manera:

- a. Almacenamiento y [transporte](#) $\approx 90\%$
- b. Demora e inspección $\approx 9,9\%$
- c. Operación $\approx 0,1\%$

Estas proporciones nos hablan del inmenso potencial de mejora que existe: el primer paso para erradicar el desperdicio es identificarlo. El desperdicio puede clasificarse en siete categorías:

- a. Por sobreproducción.
- b. Por espera.
- c. Por transporte.
- d. Por el proceso mismo.
- e. Por inventario en proceso.
- f. Por movimientos innecesarios.
- g. Por productos defectuosos.

2.2.8.5.1. Desperdicio por sobreproducción

Se refiere a la producción de materiales, partes o piezas que no son requeridas por el siguiente paso del proceso, o por el cliente, para el momento de ser producidos; el desperdicio por sobreproducción es el producir para inventario, ello hace necesario sistemas de almacenamiento y manejo de materiales, largos transportes y espacio, así como la mano de obra asociada a estas actividades. Actualmente con los costos de capital, espacio, recursos humanos, etc., así como las provisiones por obsolescencia y deterioro, el costo de un producto asociado a su sobreproducción eleva en más de un 50% el costo verdadero de producirlo. El desperdicio por sobreproducción es el peor de los desperdicios porque encubre a los otros.

La primera etapa en el proceso de eliminar el desperdicio es evitar la sobreproducción, para ello las líneas de producción deben ser reorganizadas y establecerse reglas que prevengan su ocurrencia. Debe producirse sólo la cantidad necesaria y para la oportunidad en que la necesite el cliente o paso siguiente del proceso.

2.2.8.5.2. Desperdicio por espera

Es creado cuando el trabajador está ocioso frente a una máquina, sirviendo sólo como un observador, o cuando no puede hacer nada porque aquellas están funcionando.

También se incluye las horas - hombres ociosa por falta de coordinación, materia prima, sincronización, fallas en los procesos, etc.

En la ilustración siguiente (Figura 9), un trabajador es asignado a cada una de las maquinas designadas como 1; 2 y 3. En este proceso él permanece ocioso mientras las máquinas operan, no puede trabajar aun cuando quiera hacerlo, esto es un desperdicio por espera.

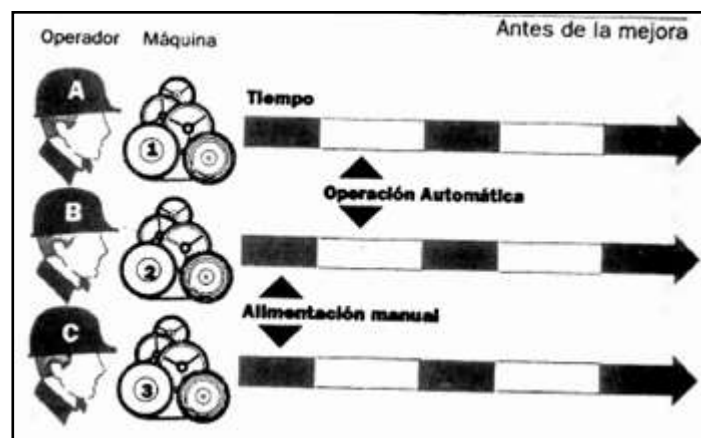
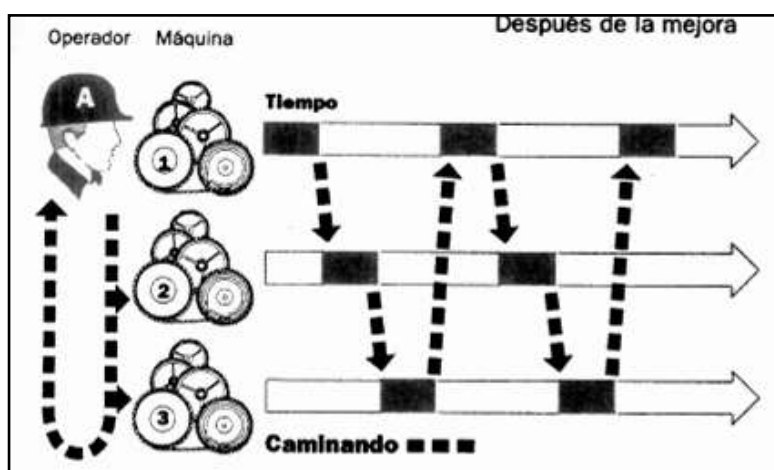


Figura 9. Sistema clásico de operación sin coordinación.

Fuente: <https://www.monografias.com/trabajos60/desperdicio-produccion/desperdicio-produccion.shtml>

En la dirección de eliminar este desperdicio, al trabajador A (Figura 10) le son asignadas las tres máquinas para operar su alimentación en secuencia, bajo este arreglo, el trabajador A pone material en la máquina "1" a la máquina "3", cuando el trabajador vuelve a la máquina "1" el trabajo de ésta ha sido completado y se inicia otro ciclo.

1. Diseño de operaciones estándar y entrenamiento de los trabajadores en ellas, luego, observancia estricta.
2. Evita la sobreproducción, producir en cada estación lo necesario en el momento necesario.
3. Establecer normas y medios de información en la línea (rayado, línea de transporte) para evitar que el trabajador adelante trabajo.



Fuente:<https://www.monografias.com/trabajos60/desperdicio-produccion/desperdicio-produccion2.shtml>

Ocurre cuando un material, parte o pieza es movida innecesariamente a una distancia para luego ser almacenada y temporalmente re arreglada.

57

temporalmente y luego se trasladará al pie de las máquinas y más tarde a las manos del trabajador para finalmente ser procesadas, en cada uno de estos pasos hay movimientos y traslados innecesarios, con algunas mejoras de los medios de transporte del material (paletas por ejemplo), ubicación y forma de colocarlos en la línea es posible obtener que un operador pase de alimentar una máquina, a alimentar dos como muestra la figura 9.

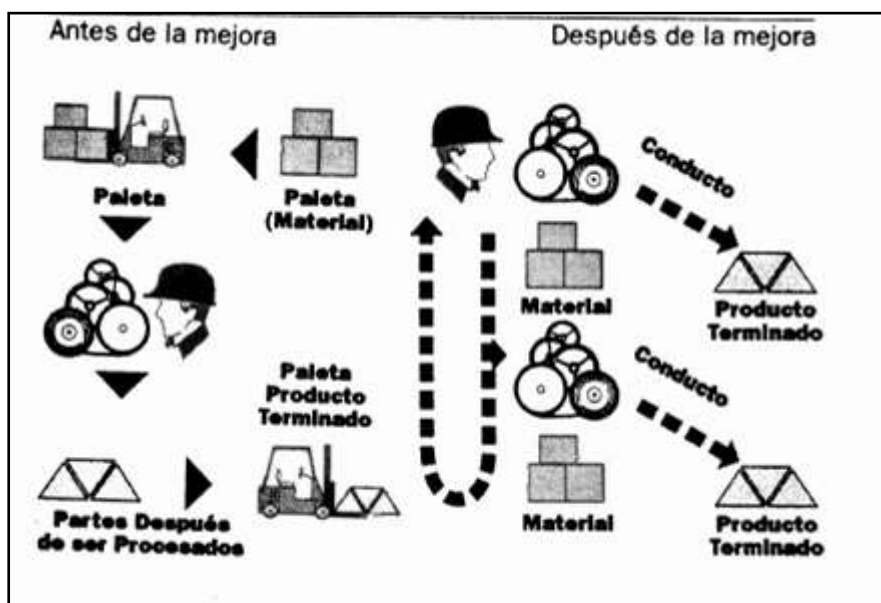


Figura 11. Sistemas de transporte de insumos

Fuente: <https://www.monografias.com/trabajos60/desperdicio-produccion/desperdicio-produccion2.shtml>

2.2.8.5.4. Desperdicio por el proceso mismo

Ocurre cuando el equipo o las operaciones no son costo-efectivas, hay exceso de capacidad o cuando los equipos no son operados eficientemente. Podemos medir la eficiencia basándonos en dos indicadores: El ratio de operación y el de trabajo (ver Figura 10). El primero mide el uso del equipo, la relación entre la capacidad de las máquinas y el tiempo que tardan en producir una cantidad determinada de productos buenos. Este ratio fluctúa en relación con las variaciones del mercado.

El segundo mide la diferencia entre operación productiva (trabajo) y operaciones no productivas (producción de efectos, paradas no programadas, cambios insuficientes, etc.) el objetivo es llevar este ratio a 100% eliminando la capacidad ociosa y la operación ineficiente.

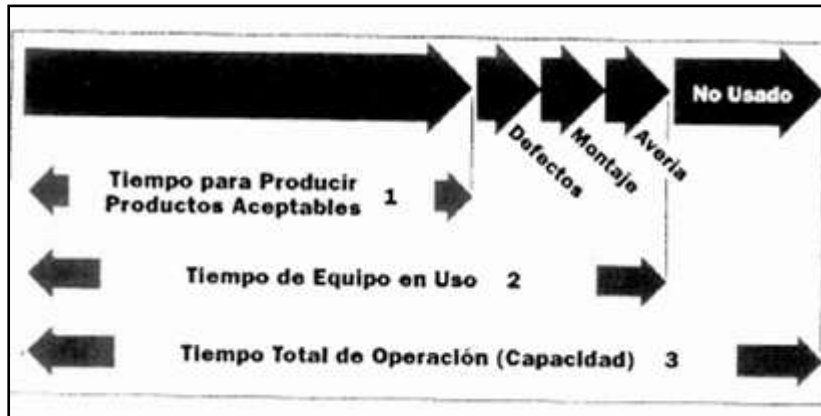


Figura 12. *Tiempos en procesos productivos*

Fuente: <https://www.monografias.com/trabajos60/desperdicio-produccion/desperdicio-produccion2.shtml>

2.2.8.5.5. Desperdicio por inventario en proceso

Se refiere al mantenimiento de inventarios en proceso entre cada operación y el concepto de inventarios de seguridad, ambas formas responden al objetivo de garantizar la continuidad de las operaciones a pesar de la ineficiencia. Se acepta y se conviene con el hecho de que:

- a. Producimos partes defectuosas.
- b. Las máquinas se dañan.
- c. La línea está desbalanceada.
- d. Los suministros fallan.
- e. Los tiempos de cambios son largos.

Dado todo esto, para garantizar la continuidad de la producción y la entrega, dejamos inventarios entre las operaciones y multiplicamos nuestra programación por un factor de seguridad directamente proporcional a la

ineficiencia del proceso.

En la perspectiva de los nuevos enfoques es necesario ir eliminando progresivamente el inventario en proceso y los factores de seguridad para hacer evidente la ineficiencia y superarla.

2.2.8.5.6. Desperdicio por movimientos innecesarios

Ocurre cuando se incluyen movimientos innecesarios que no agregan valor; está vinculado a la ergonomía del puesto de trabajo, la disponibilidad, la lejanía de los elementos (materiales, herramientas, etc.), necesarios para la operación y el inadecuado e inoportuno suministro de materiales, herramientas y partes al puesto de trabajo, creando la necesidad de traslados innecesarios y repetidos de los trabajadores.

2.2.8.5.7. Desperdicio causado por defecto

Cuando un producto o parte están fuera de especificación, el desperdicio en materiales y retrabajo no incluye sólo la manufactura del defectuoso, sino también el trabajo, el desecho, y otros costos indirectos.

No importa cuán determinados estemos en nuestra decisión de eliminar el desperdicio, si no conocemos qué lo constituye, no podremos hacer nada. El desperdicio no es algo que aparece a veces en nuestros procesos productivos "está en él", en la perspectiva de los nuevos enfoques; la forma tradicional de concebir y practicar la manufactura lleva consigo, por definición, el desperdicio en las distintas formas mencionadas.

Los nuevos enfoques y prácticas de manufactura tienen como objetivo

su eliminación sistemática.

2.2.8.5.8. Resultados

Las pérdidas se pueden generar por un inadecuado diseño, planificación deficiente o fallas de logística. Algunos estudios previos con respecto a la medición de desperdicios son:

a. Según Soibelman (1993):

En el siguiente cuadro, Soibelman presenta resultados cualitativos. En el presenta las causas más comunes de desperdicio de distintos materiales:

Tabla 2.15. Cuadro cualitativo de desperdicios

DESPERDICIOS EN OBRA	
Concreto premezclado	Diferencias entre cantidad solicitada y entregada Uso de equipos en mal estado Errores en el cubicaje Dimensiones mayores a las proyectadas
Mortero	Uso excesivo de mortero para reparar irregularidades Presencia de sobrantes diarios, los cuales debieron ser eliminados
Cemento	Uso excesivo de mortero para reparar irregularidades Rotura en bolsas al momento de recibir el material Almacenamiento inadecuado del material
Arena	Inexistencia de contenciones laterales para evitar dispersión de material Manipulación excesiva antes de su uso final

Fuente: Soibelman (1993), Según Flavio Picchi (1993)

Tabla 2.16: Cuadro comparativo de desperdicios

ESTIMACION DE DESPERDICIOS EN OBRA (% del costo total de obra)			
ITEM		DESCRIPCION	%
Dosificación optimizada	no	Concreto	
		Mortero	2
Reparaciones retrabajos computarizados en el resto	y/o no en el	Repintado	
		Retoques	2
		Corrección de otros servicios	
Problemas de calidad que generan pérdidas de productividad		Parada de operaciones adicionales por falta de calidad de los materiales y servicios anteriores.	3,5
Costos por atrasos		Costos adicionales por atrasos en las obras por ende, costos adicionales de administración, equipos y multas.	1,5

Fuente: Soibelman (1993), Según Flavio Picchi (1993)

Por lo mencionado, estos desperdicios generan pérdidas en costo y tiempo, es por eso la importancia de eliminarlas aplicando conceptos de Lean Construction, que se centran principalmente en reducir al máximo estos desperdicios, como lo dijo Koskela, (2006) “sacar la grasa y dejar solo la carne”.

2.2.8.6. Eficiencia

Podemos definir la eficiencia como la relación entre los recursos utilizados en un proyecto y los logros conseguidos con el mismo. Se entiende que la eficiencia se da cuando se utilizan menos recursos para lograr un mismo objetivo. O al contrario, cuando se logran más objetivos con los mismos o menos recursos.

Por ejemplo: se es eficiente cuando en 12 horas de trabajo se hacen 100 unidades de cajas porta medidor. Ahora, se mejora la eficiencia si esas 100 unidades se hacen en solo 10 horas. O se aumenta la eficiencia si en 10 horas se hacen 120 unidades. Aquí vemos que se hace un uso eficiente de un recurso (tiempo), y se logra un objetivo (hacer 100 o 120 productos).

Por lo tanto, la eficiencia es el grado de aprovechamiento de los recursos en el proceso productivo.

2.2.8.7. Eficacia

Respecto a la eficacia podemos definirla como el nivel de consecución de metas y objetivos. La eficacia hace referencia a nuestra capacidad para lograr lo que nos proponemos.

Ejemplo: se es eficaz si nos hemos propuesto construir un edificio en un mes y lo logramos. Fuimos eficaces por cuanto alcanzamos la meta, logramos lo que nos propusimos.

2.2.8.8. Efectividad

Es la capacidad de lograr un efecto deseado. Stephen Covey (2003), define la efectividad como el equilibrio entre la eficacia y la eficiencia, entre la producción y la capacidad de producción ($E=P/CP$). Es el logro de los objetivos con el menor uso de los recursos.

La efectividad es la combinación tanto de eficacia como de eficiencia; es decir, la capacidad de alcanzar los objetivos trazados mediante una adecuada utilización de los recursos, para de esta manera reducir desperdicios.

Por ejemplo el vaciado de las 60 tapas de buzón, se realizaran de manera efectiva si es que se llega a realizar en la fecha y hora establecida en la programación, y sin desperdicio de horas hombre o de materiales.

Por lo tanto, lo que se busca en toda obra de acuerdo a la Nueva Filosofía de la Construcción es la efectividad.

2.2.8.9. Lean Construction

Lean Construction, o construcción sin perdidas, es una nueva filosofía de la gestión de la producción en la construcción que tiene como objetivo la maximización del valor y minimización de los desperdicios.

En 1992, Lauri Koskela, académico Finlandés presento el estudio “Application of The New Production to Construction”, en el cual analiza el impacto de los nuevos enfoques de producción en la industria de la construcción. Dicho estudio identifica, que las nuevas tendencias comparten un fundamento común: el concebir la producción y sus operaciones como procesos. De acuerdo a Koskela, la nueva filosofía de producción puede ser definida como un flujo de materiales y/o información desde la materia prima hasta el producto final. En este flujo el material es procesado (conversiones), inspeccionado, se encuentra en espera o es transportado. Estas actividades

son diferentes entre sí. Los procesos representan las conversiones en la producción, mientras que los transportes, esperas e inspecciones son los flujos de la producción.

En resumen, el nuevo concepto de producción (Lean Production), establece que el proceso productivo se compone de conversiones y flujos a diferencia del sistema tradicional de producción en el que solo se considera los primeros.

Se denominan conversiones a todas las actividades de transformación que convierten los materiales y la información en productos, pensando en los requerimientos del cliente, por tanto en el proceso de producción son las actividades que agregan valor.

Las pérdidas por el contrario, se consideran todas las actividades que no agregan valor pero que consumen tiempo, recursos y espacio, generando costos en el proceso de producción (actividades de flujos).

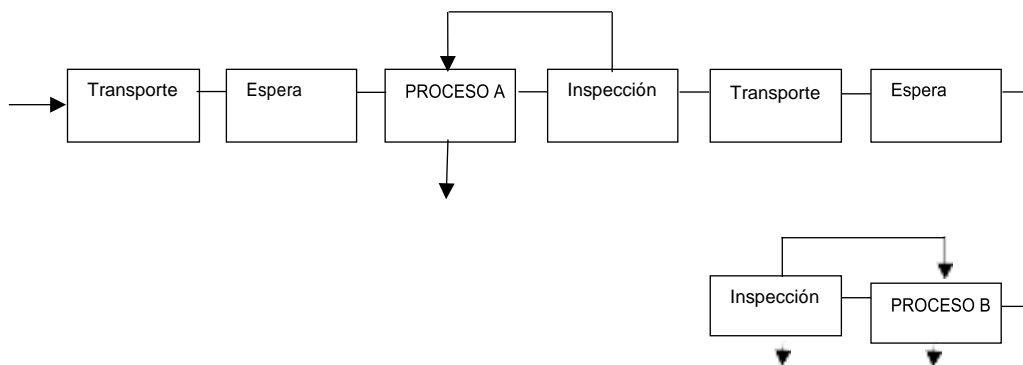


Figura 13: Esquema de proceso de producción

Fuente: Koskela, 2002

2.2.8.9.1. Modelo clásico vs modelo Lean

El modelo clásico o de transformación es un modelo de conversión en el cual cada actividad (encofrado, desencofrado, vaciado de concreto, etc.) es representado en un modelo de entrada-transformación-salida, en el cual la entrada es la materia prima y la salida es el producto final.

Materia prima:

Materiales, herramientas

Mano de obra

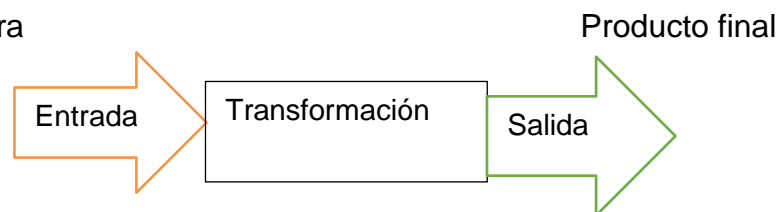


Figura 14: Modelo clásico
Fuente: Propia

El modelo clásico se centra únicamente en conversiones, y no toma en los flujos que ocurren dentro del proceso de transformación como son movimientos, esperas e inspecciones. Por lo tanto, el modelo clásico no mide las pérdidas, lo cual hace difícil encontrarlas y eliminarlas. De cierta forma, el modelo clásico muestra una idealización en el cual no existen actividades que no le agregan valor al cliente, pero en realidad esta idealización nunca ocurre.

Por otro lado, el modelo Lean o modelo TFF (transformación-flujo-valor) es un modelo de flujos que considera actividades como inspecciones, transporte y esperas. Su objetivo es cuantificar dichas pérdidas para después eliminarlas. El modelo TFF busca reducir al máximo (si es posible eliminar) las pérdidas.

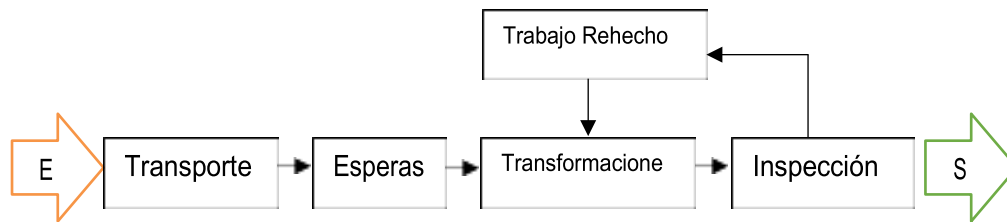


Figura 15: Modelo Lean o modelo TFV

Fuente: Buleje, K (2012)

Ejemplo: Fabricación de caja porta medidor de agua

MODELO Clásico:

ENTRA: Arena, cemento, agregado, molde de metal, 2 peones, 1 operario, mesa vibratoria de concreto, etc.

SALE: Caja prefabricada de concreto.

Modelo Lean



Figura 16: Modelo Lean

Fuente: Buleje, K (2012)

2.2.8.10. Variabilidad

Buleje, K (2012), define la variabilidad como todo lo que aleja a nuestro sistema de producción de un comportamiento regular o predecible. En otras palabras, considerando a un sistema como un conjunto de recursos que interaccionan entre sí (es decir, la interacción entre el recurso humano, los materiales, herramientas, el entorno), la variabilidad se define finalmente como todo aquello que impide que nuestros procedimientos se lleven a cabo de manera previsible.

Ejemplo:

- a. Un operario de la cuadrilla de concreto faltó el día lunes.
- b. Se malogró la mezcladora de concreto.
- c. Paralización de la obra por paro sindical.
- d. Falta de materiales a tiempo para iniciar el trabajo.

La variabilidad no se puede eliminar pero si se puede reducir mediante el planeamiento, desarrollo y control en la ejecución a corto plazo, es decir, aplicando las herramientas de programación detallada a corto plazo como el look ahead, programación semanal, programación diaria, análisis de restricciones para así identificarlas a tiempo y controlarlas.

2.2.8.11. Optimización de tiempo

Para la optimización del tiempo, según Gómez Giovanny (2001), se puede aplicar la metodología de producción Justo a tiempo (Just in Time) que tiene como objetivo un procesamiento continuo, sin interrupciones de la producción. Es decir, conseguir este objetivo supone la minimización del tiempo total necesario desde el comienzo de la fabricación hasta la entrega del producto fabricado.

También Gómez G. (2001), menciona que “En un sistema ideal de producción justo a tiempo, el tiempo total para un producto es igual al tiempo del proceso”.

Por lo tanto, el tiempo total para la producción para cada tipo de elemento prefabricado se puede representar como:

(+) Tiempo de preparación

(+) Tiempo de proceso

(+) Tiempo de espera

(+) Tiempo de inspección

(=) Tiempo total

De lo anterior se puede deducir que el tiempo total es igual al tiempo de todas las actividades que añaden valor al producto más todas las que no lo hacen.

La optimización del tiempo se obtiene de un análisis a las conversiones y flujos, e identificar el flujo que puede reducirse por la aplicación de algún procedimiento. Por ejemplo, en la prefabricación de las tapas de buzón el tiempo el tiempo mínimo para moverlo y desencofrarlo después de vaciarlo con concreto normal es de 10 horas, sin embargo este tiempo se puede reducir a 6 horas al utilizar un aditivo acelerante de fragua (Chema 3).

2.2.8.12. Optimización de la calidad

Según la Universidad de Palermo, 2002, la Calidad en un proyecto se asocia inicialmente con el diseño de acuerdo a la satisfacción del cliente, con los materiales, elementos, componentes, sistemas y con la ejecución de las obras.

2.2.8.12.1. El diseño y su relación con la calidad

Desde su diseño y planificación en cada decisión, deberá tener en cuenta la calidad del producto final, la calidad espacial y la calidad constructiva e incluso hasta la calidad de los sistemas de ejecución de la obra.

Estos son factores fundamentales, no solo para alcanzar el objetivo de calidad, sino plasmar las intenciones del proyecto.

2.2.8.12.2. Los materiales y su relación con la calidad

La selección se debe basar en la evaluación de los materiales en función de los criterios específicos derivados de los requerimientos del proyecto, del uso, del mantenimiento y de las especificaciones técnicas solicitadas. Es así que existen distintos fabricantes de un tipo de material, se debería determinar su aceptabilidad en función de la equivalencia de los insumos y/o materiales.

a. Agregados

Protocolo de cantera

Protocolo de granulometría

b. Cemento

Certificado de calidad del cemento que lo emite la empresa fabricante.

c. Agua

Certificado de calidad del agua, con el contenido de sulfatos y sales dentro del parámetro exigido por la norma.

Los protocolos de calidad los materiales listados los encontraremos en el Anexo 2.

2.2.8.12.3. La ejecución y su relación con la calidad

En todos los casos, para el éxito de la Obra con Calidad adecuada, se requiere especial cuidado en la “integración” de todas las acciones necesarias para que el resultado final (Obra) cumpla con el fin para el cual fue diseñada en el tiempo y con los cuales se debe realizar un control de calidad estricto con protocolos de liberación previa inspección de si cumple o no el estándar de calidad establecido en las especificaciones técnicas y documentos afines.

En esta etapa de la planta, se requiere controlar la calidad del concreto a utilizar como también la calidad de las estructuras en el pre vaciado y post vaciado del elemento, es así que tenemos los siguientes protocolos en el proceso de ejecución de la obra, los cuales son:

- a. Protocolo de concreto fresco.
- b. Protocolo de rotura de proveta.
- c. Protocolo de pre vaciado.
- d. Protocolo de post vaciado.

Los protocolos mencionados los encontramos en el anexo 2.

Las consideraciones para la mezcla de concreto se definen en la tabla 2.17 que se muestra a continuación:

Tabla 2.17. *Criterios para muestreo de concreto fresco*

ETAPA	ACTIVIDAD	ENSAYO	NORMA	OBSERVACIONES Y/O TOLERANCIAS
		Muestreo de concreto en estado fresco	ASTM C172	La muestra de concreto será de 1 pie ³ , tomada en buggie limpio y húmedo Se sugiere tomar la muestra para ensayos de verificación

Recepción del concreto	Monitoreo del concreto fresco	Medición de asentamiento	ASTM C143	dentro del tercio central del volumen total del tambor de la planta de concreto (mezcladora).
			ASTM C94	Slump especificado de (sin restricción): Tolerancia: 2" y menos: $\pm 1/2$ ", más de 2" a 4": ± 1 ", más de 4" $\pm 1/2$ "
		Contenido de aire	ASTM C231	Cuando obtengan muestras del transporte, se debe tener una tolerancia $\pm 1,5$ del valor especificado.
		Temperatura	ASTM C1064	El muestreo de temperatura se realizara en forma continua por cada despacha de concreto.
Producto en proceso	Muestreo de probetas	Muestreo y curado de probetas	ASTM C31	Tomar especímenes dentro de los 15 min. De tomada la muestra. Proteger las muestras de vibraciones, sol, viento y otras fuentes de rápida evaporación y contaminación.
				Desencofrar las probetas entre las 24 ± 8 horas después de moldeadas.
				Tomar 04 probetas (4"x8") para ser ensayadas a los 3, 7 y 28 días.
Producto terminado	Ensayo de probetas a compresión	Pozas de curado	ASTM C511	Las probetas deben estar saturadas completamente en una solución de hidróxido de calcio (se obtiene incorporando 3 g. de cal/litro de agua).
				Los testigos a ensayar a los 3 días tienen una tolerancia de ensayo de ± 2 horas
		Ensayo de probetas	ASTM C39	Los testigos a ensayar a los 7 días tienen una tolerancia de ensayo de ± 6 horas. Los testigos a ensayar a los 28 días tienen una tolerancia de ensayo de ± 20 horas.

Fuente: Optimización de una planta de prefabricados

<file:///D:/Tesis%20Vibrador/TESIS/Tesis/Contenido%20de%20tesis/OPTIMIZACION%20DE%20UNA%20PLANTA%20DE%20PREFABRICADOS.pdf>

Los parámetros a tener en cuenta en el protocolo N° 9 de post vaciado se muestran en las tablas 2.18 y 2.19.

Tabla 2.18. Límites para calificación como defectos superficiales

LÍMITES PARA CALIFICACION COMO DEFECTOS SUPERFICIALES			
CANGREJERAS		BURBUJAS	
Profundidad máxima	1/5 del espesor de muro	Diámetro máximo	15 mm
Profundidad máxima	O el espesor de recubrimiento	Profundidad máxima	10 mm
Extensión máxima general	en 10% del área total evaluada	Extensión máxima	3% del área evaluada
Extensión máxima ubicación	por 20% del área de la franja inferior		

Fuente: Optimización de una planta de prefabricados

<file:///D:/Tesis%20Vibrador/TESIS/Tesis/Contenido%20de%20tesis/OPTIMIZACION%20DE%20UNA%20PLANTA%20DE%20PREFABRICADOS.pdf>

Tabla 2.19. Grado de calificación de acabado superficial en función del tipo de defecto

GRADO DE CALIFICACION DE ACABADO SUPERFICIAL EN FUNCION DEL TIPO DE DEFECTO			
CANGREJERAS		BURBUJAS	
% Respecto al área total	Calificación	% Respecto al área total	Calificación
Menor a 1%	Grado 1 (Muy bueno)	0%	Grado 1 (Muy bueno)
Entre 1% y 5%	Grado 2 (Bueno)	Menor a 0,5%	Grado 2 (Bueno)
Entre 5% y 10%	Grado 3 (Aceptable)	Entre 0,5% y 1%	Grado 3 (Aceptable)

Mayor a 10%	Grado 4 (Deficiente)	Mayor a 1%	Grado 4 (Deficiente)
--------------------	---------------------------------	-------------------	---------------------------------

Fuente: Optimización de una planta de prefabricados
file:///D:/Tesis%20Vibrador/TESIS/Tesis/Contenido%20de%20tesis/OPTIMIZACION%20DE%20UNA%20PLANTA%20DE%20PREFABRICADOS.pdf

2.2.9. Empresas locales que ofertan elementos prefabricados

Empresa	Producto	Ubicación
TPCH	Tubos, postes, cajas de registro para agua y desagüe, cajas puesta a tierra, bloques de anclaje	Parque Industrial - Carretera Pimentes
D'Margot	Cajas para registro de agua y desagüe	Calle Chiclayo - JLO
Flores	Cajas para registro de agua y desagüe	Vía de evitamiento - La Victoria
Charli	Cajas para registro de agua y desagüe	Vía de evitamiento - La Victoria
COVIPRESA	Cajas de registro para agua y desagüe, cajas puesta a tierra, bloques de anclaje	Parque Industrial - Carretera Pimentes
Ancarda	Cajas puesta a tierra, bloques de anclaje	Leguía Cdra. 13
Matorel	Cajas para registro de agua y desagüe	Carretera Lambayeque
Rumi	Ladrillos y adoquines de concreto	Carretera San José

Fuente: Propia

2.2.10. Herramientas a utilizar en la optimización de la producción

2.2.10.1. Diagrama de procesos

Se le conoce como el diagrama de flujo, esta herramienta nos ayuda a identificar el proceso que se requiere para la fabricación de cada elemento prefabricado considerando las interdependencias de las actividades.

Ayuda a comprender el trabajo como un proceso y a identificar en que parte del proceso está el problema.

Es muy importante comprender que cada paso en el proceso crea relaciones o dependencias entre unos y otros para lograr la realización del trabajo. Cada paso del proceso depende en uno o varios proveedores de materiales o servicios y en algunos casos de información o recursos, los cuales deben ser: confiables, libres de defectos, oportunos y completos.

Cada proceso es un sistema y debe ser tratado de tal manera con todas las partes con las que conecta. Si se cambia una de las partes del subsistema siempre se verá afectado el cómo actúa el sistema en su totalidad.

2.2.10.2. Layout de la planta de prefabricados

Según la UCLM, (2009) la distribución de Planta, implica la ordenación de espacios para movimiento de material, almacenamiento, equipos o líneas de producción, equipos industriales, administración, servicios para el personal, etc. Integración de todos los factores que afectan la distribución.

- a. Movimiento de material según distancias mínimas.
- b. Circulación de trabajo a través de la planta.
- c. Utilización efectiva de todo el espacio.
- d. Mínimo esfuerzo y seguridad en los trabajadores.
- e. Flexibilidad en la ordenación para facilitar reajustes o ampliaciones.

Principios básicos de la distribución en planta (Trueba Jainaga, J.I.).

- a. Principio de la satisfacción y la seguridad.

A igualdad de condiciones, será siempre más efectiva la distribución que haga el trabajo más satisfactorio y seguro para los trabajadores.

b. Principio de la integración de conjunto.

La mejor distribución es la que integra a los hombres, materiales, maquinaria, actividades auxiliares y cualquier otro factor, de modo que resulte el compromiso mejor entre todas estas partes.

c. Principio de la mínima distancia recorrida.

A igualdad de condiciones, es siempre mejor la distribución que permite que la distancia a recorrer por el material sea la menor posible.

d. Principio de la Circulación o flujo de materiales

En igualdad de condiciones, es mejor aquella distribución que ordene las áreas de trabajo de modo que cada operación o proceso esté en el mismo orden o secuencia en que se transformen, tratan o montan los materiales. Hay que evitar los cruces y las interrupciones.

e. Principio de espacio cúbico.

La economía se obtiene utilizando de un modo efectivo todo el espacio disponible, tanto en horizontal como en vertical.

f. Principio de la flexibilidad.

A igualdad de condiciones será siempre más efectiva la distribución que pueda ser ajustada o reordenada con menos costo o inconvenientes.

2.2.11. Maquinaria fabricada en el país

En el país producen varios tipos de máquinas boqueras – adoquineras, con diferentes grados de productividad y prestaciones. Usualmente la mayoría de las maquinas son fabricadas de manera artesanal y empírica, lo que da como resultado maquinaria de baja producción (alrededor de 150 cajas de registro diarios /500 ladrillos diarios) y pobre calidad, no obstante es posible encontrar unos pocos talleres que producen maquinaria un tanto sofisticada para producciones mayores.



Figura 17. Máquinas y moldes de uso regional

*Fuente: (FAMACON: Fabricación de maquinaria industrial: Villa el Salvador Lima – Perú)
<http://famacon.blogspot.pe/2009/09/bloques-de-concreto-prefabricados.html>*

El modelo más difundido en zonas rurales y periféricas es completamente manual. El concreto se prepara en una mezcladora o manualmente, y es depositado por los operarios, comúnmente mediante palas, directamente en el molde. La vibración se obtiene gracias a un eje con una masa excéntrica solidaria a una plataforma, y en los modelos más

rudimentarios, no se cuenta con tal mecanismo que cumpla tal función. La fuerza de los apisonadores proviene únicamente de la gravedad y la fuerza humana. Todos los componentes son accionados de manera manual, y en el mejor de los casos, mediante sistemas de palancas. En el Figura 18 se muestra una maquina similar a la descrita.



Figura 18. Bloquera tipo ponedora

Fuente: Foto 4.2 (FAMACON: Fabricación de maquinaria industrial: Villa el Salvador Lima – Perú)

<http://famacon.blogspot.pe/2009/09/bloques-de-concreto-prefabricados.html>

Otro modelo muy difundido en el país, algo más sofisticado que el anterior, es el mostrado en el Figura 19.

Este modelo tiene un sistema de vibración por masas excéntricas (Método rotacional 360°), y los apisonadores bajan por gravedad. El desmolde se efectúa mediante un mecanismo de palancas, accionado por operarios.



Fuente: (FAMACON: Fabricación de maquinaria industrial: Villa el Salvador Lima – Perú)
<http://famacon.blogspot.pe/2009/09/bloques-de-concreto-prefabricados.html>

Para operar de manera continua, la máquina requiere de al menos 6 operarios distribuidos de la siguiente manera:

- a. Dos operarios para retirar el producto terminado y transportarlo hasta el área de secado.
- b. Dos operarios para depositar el concreto en el molde y accionar las palancas para el desmolde.
- c. Dos operarios para transportar el material a la mezcladora y accionarla.

El esquema antes descrito puede ser complementado con diferentes accesorios para incrementar la productividad:

- a. Tolva con compuerta manual para dosificar el material en el molde.
- b. Banda transportadora desde la mezcladora hasta la máquina.
- c. Automatización parcial de algún proceso como la vibro compactación o el desmolde.

2.2.12. Maquinaria disponible internacionalmente

En el ámbito internacional se cuenta con una enorme variedad de maquinaria con diferentes prestaciones y características, provenientes de varias partes del mundo. Las características más importantes de los

modelos más significativos se exponen en los apartados siguientes.

2.2.12.1. Centrales automáticas para la producción de prefabricados de concreto

Antes que máquinas, constituyen sistemas automatizados integrales en los que todo el proceso se lleva a cabo de manera automática. Se utilizan para producciones muy elevadas de más de 40 000 unidades por jornada de 8 horas. Maquinarias de este tipo pueden observarse en los Figuras siguientes.



Figura 20. Bloquera automática para prefabricados de concreto

Fuente: Rometa, S.A. Bloqueras y plantas de concreto/ España

<http://www.anuarioguia.com/empresa/rometa-sa-bloqueras-y-plantas-de-concreto>



Figura 21. Esquema de Planta de prefabricados de concreto con dosificador

Fuente: Bloquera y ladrillera Leo – Argentina

https://www.google.com.pe/search?q=planta+leo+con+dosificador&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiWpsmixubWAhUSdiYKHdIIA9UQ_AUICigB&biw=994&bih=441#imgsrc=GXDr2HehL0irQM:

El funcionamiento de las máquinas mostradas en las figuras 20 y 21 es de la siguiente manera:

- a. La materia prima para la elaboración del concreto es depositada en los silos que poseen dosificadores automáticos.
- b. El material es transportado desde los silos hasta la mezcladora mediante bandas transportadoras.
- c. Desde la mezcladora, mediante bandas transportadoras, el material es trasladado hasta un sistema de distribución cuya función es la de dosificar la cantidad justa de material en el molde.
- d. Las placas (*parihuelas*) para el producto terminado ingresan de manera automática a la máquina. Incluso algunos modelos cuentan con un sistema de limpieza de las placas antes de su ingreso a sistema.
- e. Se produce la vibro compactación. Las vibraciones se obtienen mediante masas excéntricas o, en modelos más sofisticados, mediante vibradores electromagnéticos.
- f. Se produce el desmolde del producto que va saliendo de manera automática a una banda transportadora. Algunas variantes de maquinaria cuentan con cepillos rotatorios que pulen las imperfecciones de producto.
- g. El producto es apilado de manera semiautomática o automática mediante sistemas robotizados.

2.2.12.2. Máquinas automáticas

Este tipo de maquina puede observarse en la Figura 22.

Esta maquinaria es similar a la descrita en el apartado anterior, sin embargo ciertos procesos ya no son ejecutados por elementos integrantes de la maquina o sistema. Estos procesos son:

- a. Dosificación automática de los ingredientes para la elaboración del concreto.
- b. Alimentación y limpieza automática de las placas (parihuelas) para el producto terminado.
- c. Corrección de imperfecciones del producto.
- d. Apilamiento automático del producto.



Figura 22. Central automática de bloques de concreto

Fuente: MENEGOTTI: máquinas y equipamientos; Santa Catarina - Brasil

<http://www.menegotti.net/esp/productos>

Este es el tipo de maquinaria con la que cuentan las empresas de gran producción del país, caso la empresa DINO cuya capacidad de producción mensual promedio es de 138 000 piezas de ladrillo de muro de 12x19x39 cm y de adoquín (20x10x6 cm), el promedio es de 235 000 piezas mensuales.

(Fuente: Limitación en la capacidad productiva DINO).

<http://www.monografias.com/trabajos-pdf2/limitacion-capacidad-produccion-adoquines/limitacion-capacidad-produccion-adoquines2.shtml>

Sin embargo y debido a la creciente demanda, se ven limitados en su capacidad productiva, lo que tiene como consecuencia la pérdida progresiva de clientes/mercados y pérdida de confianza por no tener las condiciones de oportunidad adecuada en la entrega del producto y a la vez propicia el ingreso

de nuevos productores de prefabricados prestos a lograr un espacio comercial aprovechando el auge económico del país.

2.2.12.3. Máquinas semiautomáticas

Son máquinas para producciones más modesta, de 8 000 a 15 000 unidades por día. Tiene cierto grado de automatización, no obstante muchas de las operaciones para la fabricación deben ser asistidas por operadores. Una máquina de este tipo puede observarse en la figura 23.



Figura 23. Maquina MBH-500 semiautomática para la fabricación de bloques de concreto.

Fuente: Industrias Molser: Fabricantes de máquinas Bloqueteras, Guatemala.

<http://industriasmolser.blogspot.pe/>

Usualmente, en el tipo de máquina mostrado en la fotografía anterior, la compactación y el desmolde se ejecutan mediante mecanismos accionados por cilindros neumáticos o hidráulicos. La distribución del material en el molde se ejecuta de manera semiautomática. El material es dosificado y dispuesto en el molde con la ayuda de un operador que para este efecto emplea accesorios incluidos en la máquina.

2.2.12.4. Máquina móvil automática

Constituye un tipo de máquina novedoso que opera bajo un principio diferente a las citadas anteriormente. La máquina tiene la capacidad de desplazarse sobre un terreno plano e ir depositando a intervalos regulares el producto. Para esto la unidad móvil cuenta con sistemas de distribución, vibro compactación y desmolde. Una máquina de estas características se muestra en la Figura 24.

La ventaja fundamental de este tipo de máquina es que se prescinde de la infraestructura necesaria para transportar el producto y apilarlo, no obstante una desventaja importante es que la materia prima debe ser transportada cada vez a una ubicación diferente, dependiendo de dónde se encuentre el sistema.



Figura 24. Máquinas volteadoras para la fabricación de piezas de hormigón

Fuente: VIFESA, España

http://www.anmopyc.es/producto/maquinas_volteadoras_para_la_fabricacion_de_piezas_de_hormigon_vifesa

2.2.13. Consideraciones para la determinación de las especificaciones

El diseño a proponerse en el presente proyecto de titulación, tiene como propósito satisfacer los requerimientos de una fábrica cuyo producto es variado

(Adoquines, bloques y cajas de registro para saneamiento), y cuya **implementación y optimización** apunta a la estandarización de cajas de registro y cajas porta medidor de agua. En tal motivo se tomó como referencia la Planta de Pre fabricados de: *AB PROVEEDORES*.

La maquinaria con la que actualmente cuenta la Planta de Pre fabricados no logra satisfacer la demanda y la calidad (parcialmente lograda) debido al incremento de la obra pública del país por un lado y por el otro la cada vez más exigencia del cumplimiento de las normas de calidad (NTP) exigida por el gobierno para el caso de obras públicas y privadas por lo que existe una necesidad de repotenciar y/o renovar sus equipos con el afán de obtener una mayor productividad y calidad.

2.2.14. La Casa de la Calidad

Las especificaciones técnicas de la máquina son determinadas por medio de la casa de la calidad, que es una herramienta del QFD (Quality function deployment) cuyo fin principal es el de plasmar los requerimiento y deseos del cliente en el producto, y permitir la planificación de la calidad durante todo el ciclo de vida.

Para elaborar la casa de la calidad se requiere, en primer lugar, conocer la voz del cliente, mediante la cual este manifiesta sus requerimientos y deseos del producto; luego estos son traducidos, por medio del criterio del ingeniero, en requerimientos técnicos. Finalmente estos requerimientos técnicos son evaluados para determinar aquellos de mayor importancia.

2.2.14.1. Voz del usuario

Por medio de entrevistas, el usuario manifiesta sus necesidades e ideas, y basados en estas necesidades, el producto debe contar en gran medida con las siguientes características:

a. Calidad de los productos

Que los prefabricados tengan un buen acabado superficial y que muestren simetría (NTP).

b. Capacidad de Producción

Que produzcan al menos 400 unidades de cajas de registro por jornada de 8 horas.

Que la cantidad de producto fabricado por cada ciclo sea manejable para un fácil transporte.

c. Confiabilidad/Fiabilidad.

Que se cuente con un stock permanente para la atención oportuna.

d. Robustez/Rigidez

Buena compactación del concreto (NTP).

e. Fácil mantenimiento

Tamaño y peso adecuado para su fácil manipulación y accesibilidad.

f. Modulabilidad

Que el proceso de fabricación sea semiautomático, esto permitirá en gran medida la estandarización de los productos.

Que funcione con energía eléctrica.

g. Seguridad

Usado de manera normal y previsible sin provocar daño alguno.

2.2.14.2. Voz del ingeniero




Una vez reconocidos los requerimientos, deseos del usuario, se procede a traducirlos a especificaciones o características técnicas:

- a. Volumen de molde
- b. Tiempo de ciclaje
- c. Componentes estándares
- d. Sistema de vibrado (Unidireccional) y dosificación de mezcla
- e. Peso
- f. Automatización
- g. Tiempo sin reparaciones
- h. Normas de seguridad y ergonomía

2.2.14.3. Relacionar la voz del usuario con los requisitos de ingeniería

El tipo de relación se manifiesta según la siguiente simbología (Tabla N° 2.20):

Tabla 2.20. Simbología que permite planificación de Calidad.

	Muy Importante
	Importante
	Poco Importante

Fuente: Diseño de Máquina para la Producción de Productos de hormigón Pre-Elaborados. Análisis y Verificación de sus Componentes

<file:///D:/Tesis%20Vibrador/TEIS/Tesis/Contenido%20de%20tesis/Proyecto%20Integrador%20IM%20Unidireccional-%20Maquina%20de%20Bloques%20de%20Hormigón.pdf>

2.2.14.4. La percepción del consumidor

En primera instancia se desarrolla una evaluación competitiva completa de los consumidores, “Benchmarking”, para lo cual se le asigna al producto de la competencia un valor para cada ítem que representa las necesidades de los consumidores, (en una escala del 1 al 5 según la importancia) estos valores pueden derivarse de un estudio de mercado o bien de una estimación propia según nuestra experiencia, en nuestro caso la elección fue por un análisis mixto. Luego es necesario llevar a cabo una serie de cálculos que se exponen a la derecha de la matriz de relaciones de la Casa de la Calidad, donde:

- a. Objetivo: Representa la marca que deseamos lograr en el concepto de los consumidores.
- b. Porcentaje: Indica cuanto es lo necesario para alcanzar el objetivo fijado.

$$\text{Porcentaje} = \frac{(\text{Objetivo})}{(\text{Nuestro Concepto}-\text{Nosotros})} \dots\dots\dots (2.2.14.4.1)$$

- c. Puntos de Venta: La posibilidad que el ítem de voz de consumidor apalanque las ventas del producto.
- d. Importancia: Es determinado por el propio consumidor (de 1 a 10)
- e. Peso: Peso del ítem para una comparación.

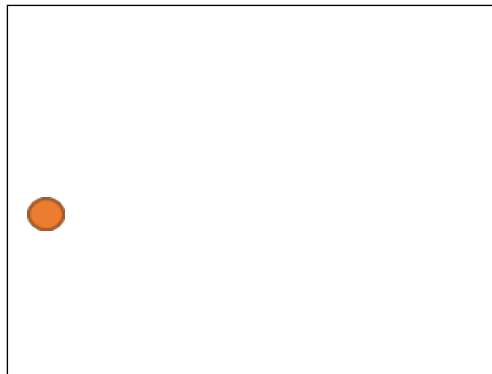
$$\text{Peso} = \text{Importancia} * \text{Puntos de venta} * \text{Porcentaje} \dots\dots\dots (2.2.14.4.2)$$

Se calcula cada uno de los parámetros. Luego será posible efectuar una evaluación, teniendo en cuenta no solo el comportamiento de los competidores sino también el valor objetivo, al que deberíamos llegar para ser competitivos. Además es posible visualizar rápidamente un orden de prioridad sobre que ítems del consumidor se desea satisfacer en mayor medida.

2.2.14.5. Correlación de los requisitos de proyecto

En esta etapa, conocida también como “Techo de la Calidad” se busca relacionar los requisitos de proyecto, para lo cual se evalúa que tipo de relación existe entre los requisitos manifestados, utilizándose la siguiente simbología:

Tabla 2.21. Simbología que permite planificación del Techo de la Calidad.



Fuente: Diseño de Máquina para la Producción de Productos de hormigón Pre-Elaborados. Análisis y Verificación de sus Componentes
<file:///D:/Tesis%20Vibrador/TEIS/Tesis/Contenido%20de%20tesis/Proyecto%20Integrador%20IM%20Unidireccional-%20Maquina%20de%20Bloques%20de%20Hormigón.pdf>

2.2.14.6. Planificación

Se lleva a cabo el cálculo de la Importancia de los Requisitos de Proyecto, para lo cual se efectúa el cálculo de la Importancia Absoluta y la Importancia Relativa de los mismos.

$$Importancia\ Absoluta = \sum P_i * V_i \dots\dots\dots (2.2.14.6.1)$$

Donde:

i = numero de linea

P_i = Peso de la fila

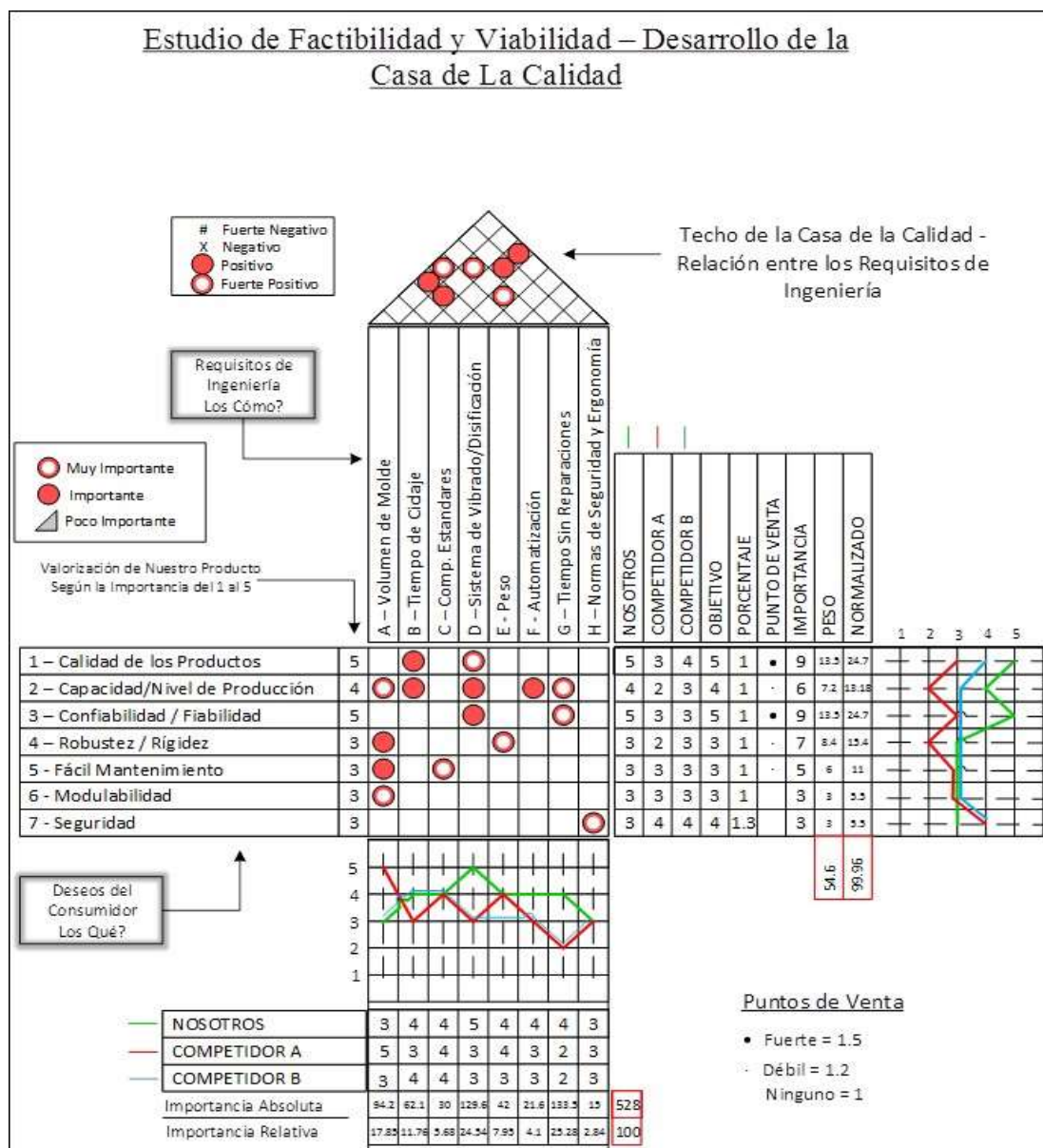
V_i = Valor relacionado a la linea

La Importancia resulta fundamental para afrontar la toma de decisiones en la etapa de diseño. En su determinación, se contempla el peso de importancia de cada una de las necesidades y el valor asociado a cada necesidad, por lo tanto, su valor representa la combinación de las distintas necesidades para un determinado requisito.

Con la determinación de cada una de la importancia, de los requisitos, será posible definir la METAS a cumplirse a la hora de llevar a cabo el diseño del producto.

Mediante la aplicación de cada uno de estos pasos se desarrolla la construcción de la Casa de la Calidad, la cual podrá observarse en la siguiente figura:

Tabla 2.22. Casa de Calidad



Fuente: Diseño de Máquina para la Producción de Productos de hormigón Pre-Elaborados. Análisis y Verificación de sus Componentes

<file:///D:/Tesis%20Vibrador/TESIS/Tesis/Contenido%20de%20tesis/Proyecto%20Integrador%20IM%20Unidireccional-%20Maquina%20de%20%20Bloques%20de%20Hormigón.pdf>

2.2.14.7. Conclusiones de la casa de la calidad

La casa de la calidad nos ha brindado valiosa información acerca de las características técnicas que satisfacen en mayor medida las demandas del cliente. Así se tiene que los requerimientos técnicos más importantes son:

a. Frecuencia de vibración

Para lograr una buena compactación del concreto se deben emplear

Frecuencias no menor a 4 000 ciclos/min.

b. Sistema y método de vibración.

El sistema a utilizar es el de oscilación libre con el ***método Unidireccional.***

Este método ha demostrado su mayor efectividad comparado con el Método Rotacional.

c. Tiempo de vibración

El tiempo de vibración es altamente dependiente de la frecuencia de vibración, así, mientras mayores sean las frecuencias, es menor el tiempo de vibro compactación. De acuerdo a la frecuencia de vibración establecida en el punto anterior, ***son suficientes unos 5 segundos*** de vibración, no obstante, el valor definitivo debe ser determinado experimentalmente.

d. Tolerancia entre compactadores y molde

$$1mm \leq Tolerancia \leq 1,5mm$$

e. Presión de los apisonadores

Para lograra una buena compactación de concreto se debe emplear una presión de alrededor de 5 000 Pa, que en la práctica da buenos resultados, según dato de La Tesis: *DISEÑO DE UNA MAQUINA SEMIAUTOMATICA PARA LA FABRICACION DE ADOQUINES Y BLOQUES* – Escuela Politécnica Nacional – Ecuador.

Presiones muy elevadas podrían eliminar el efecto de vibración.

f. **Unidades por ciclo.**

Por el volumen de la caja de registro se ha establecido una producción de una **(01) unidad por ciclo**. Con el compromiso de **producción de 400 unidades x 8h/día** (cajas de registro) por jornada de trabajo.

Como se ve, estos parámetros están directamente relacionados con dos aspectos muy importantes de la maquina: la **Calidad del producto** terminado y el **Volumen de producción**.

Por otro lado, en lo que se refiere a los compromisos técnicos se nota que, afortunadamente, la mayoría de las especificaciones técnicas son independientes entre sí. El compromiso técnico más importante es el existente entre **los ciclos por minuto** y **el tiempo de vibración**, pero aplicando una **vibración con la suficiente intensidad** (Método **Unidireccional**), se puede reducir el tiempo de vibración, disminuyendo así el tiempo por ciclo.

CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo y diseño de investigación

La investigación es experimental de tipo explicativo, debido a que se manipulan las variables independientes midiendo el efecto de esta sobre la variable dependiente y se comparan los resultados en base a un punto de control.

El método aplicado es la observación en la cual se registran los datos en planillas y también se realizan capturas fotográficas a los procesos de producción así como también grabaciones audiovisuales para determinar los tiempos en los que desarrollan los procesos de producción. (Anexos N° 2 y 3).

3.2. Población y muestra

3.2.1. Población

La población comprende los elementos prefabricados de concreto para la obras de saneamiento.

Cajas de registro para alcantarillado.

Cajas porta medidor para agua potable.

3.2.2. Muestra

La muestra del presente proyecto fue seleccionada de manera aleatoria, tomando en cuenta la NTP para determinar la cantidad de elementos de concreto prefabricados en la planta implementada.

Cajas de registro para alcantarillado.

Cajas porta medidor para agua potable.

3.3. Hipótesis

3.3.1. Hipótesis general

Aplicando los fundamentos de Lean Construction en tiempo, costo y calidad lograremos optimizar la producción de elementos prefabricados de concreto en la planta implementada.

3.4. Variables - Operacionalización

3.4.1. Variable

- a. Optimización de la producción.

Tabla 3.1. Operacionalización de variables

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Indicadores
Optimización de la producción	Acción de predecir, optimizar y planificar la calidad productiva, para obtener mejores resultados, mejor <u>eficacia o mayor eficiencia</u>	Diseñar un sistema de vibración unidireccional para obtener mayor eficacia o eficiencia en producción	Sistema de vibración unidireccional

Fuente: Propia

3.5. Métodos y técnicas de investigación

3.5.1. Técnicas

La técnica a usar es la observación y el seguimiento al desarrollo de las actividades que se desean medir, respecto a la entrega oportuna y al costo de producción se usa la técnica del grado de realización para que en su ejecución se determine la proporcionalidad de cantidades y costes.

Respecto a la calidad se utiliza la observación para luego utilizar la técnica de Cornell para determinar los resultados en los protocolos de calidad después de aplicar la escala de Liker en los ítems de medición.

3.5.2. Instrumentos

3.5.2.1. Formato de control de producción diaria

La entrega oportuna de los elementos prefabricados de concreto se garantiza con la producción y entrega en almacenes de la cantidad prevista diaria y esta se registra con el formato de control de producción diaria.

3.5.2.2. Hojas de cálculo

Los costos de producción de los elementos prefabricados se analizan en hojas de cálculo.

3.5.2.3. Protocolo de calidad

La calidad de los elementos prefabricados se controlan por medio de los protocolo de calidad, además se controla la calidad de los materiales con certificados de calidad. Se utilizó la Escala de Liker, que es un instrumento que se usa para medir las actividades de control en los protocolos de calidad, sobre el grado de calificación de las superficies de los elementos prefabricados.

3.6. Descripción de los instrumentos utilizados

De acuerdo a las técnicas utilizadas en la siguiente tabla se muestra el instrumento.

Tabla 3.2. Descripción de los instrumentos

Técnica	Instrumento
Observación	Cuaderno de apuntes
Análisis de documentos	Libros, tesis, revistas, internet, etc.

Fuente: Propia

3.7. Análisis Estadístico e interpretación de los datos

3.7.1. Análisis de desperdicios

Del análisis a los procesos que se realizan en la producción de los elementos prefabricados, se determinan los flujos que se requieren analizar y minimizar el tiempo de realización pues no agregan valor al producto, estos son:

- a. Tiempo de transporte del material acopiado en el almacén al pie de obra.
- b. Tiempo de espera para la liberación por el responsable de calidad.
- c. Tiempo de traslado de concreto de la panta de concreto (mezcladora VERTICAL) al área de vaciado.
- d. Resanes de cangrejas de los elementos fabricados.

3.7.2. Optimización del tiempo

En el mercado local las empresas especialistas en elementos prefabricados en saneamiento tienen una oferta máxima de acuerdo a su capacidad de producción diaria, y estas se representan a continuación:

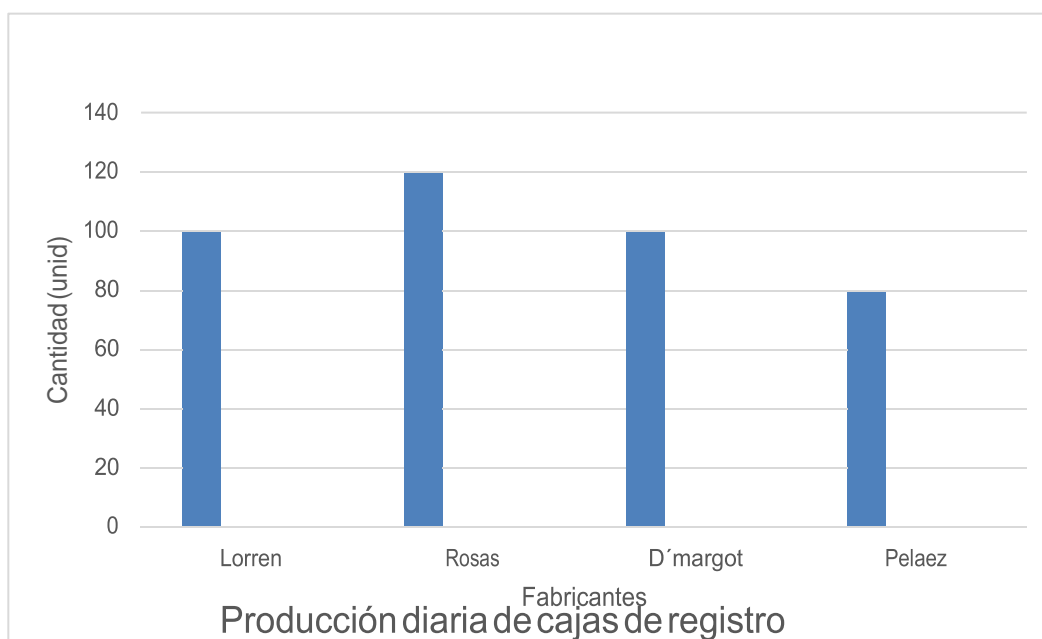


Figura 25: Oferta diaria de cajas de registro por el mercado local

Fuente: Propia

Teniendo en cuenta la oferta máxima de elementos prefabricados que puede abastecer cada empresa del mercado local, se deduce que el tiempo total de días que puede cada una de ellas abastecer con el requerimiento de Obra como por ejemplo la aprobada el **9 de marzo del 2017**. Con la firma del convenio N° 101-2017-VIVIENDA/VMCS/PNSU, suscrito en la sede del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS) la cual tiene una proyección de 2000 instalaciones domiciliarias (12 pueblos jóvenes ubicados en las márgenes de la carretera Chiclayo – Pomalca), se representa en la siguiente gráfica:

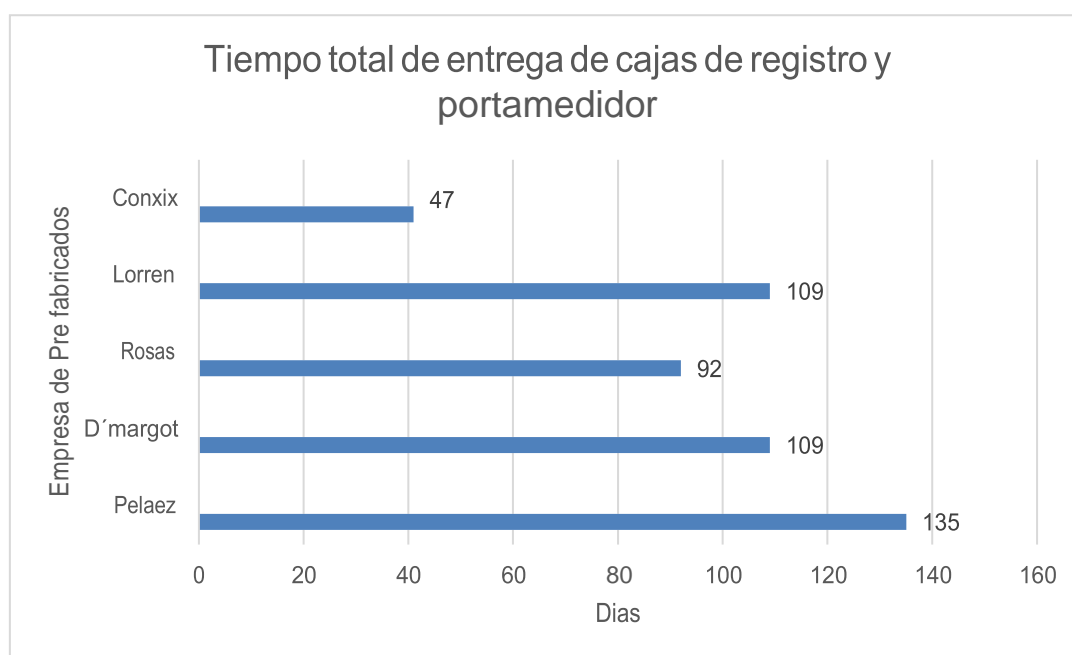


Figura 26: Tiempo de entrega de cajas de registro y porta medidor
Fuente: Propia

El tiempo de entrega que ofrece cada empresa del mercado local es superior al tiempo de entrega que ofrece la Empresa de prefabricados Conxix, es así, que se precede a analizar la producción de los elementos de concreto por la empresa Conxix tomando en cuenta el tiempo de entrega de su producto.

De acuerdo a la filosofía Lean Construction, el proceso de producción de cada tipo de elemento prefabricado, es decir, cajas de registro y cajas porta medidor de agua potable está compuesto de procesos de conversión y flujos que facilitan el dinamismo de la producción de los elementos, es así que a reducir el tiempo de los flujos se optimiza la producción de la planta; en base a ello, se va a reducir el tiempo de fraguado de las cajas prefabricadas y así trasladarlos al área de almacén de la obra y producir más en menos tiempo.

3.7.3. Optimización de costos

Para realizar el análisis económico de la planta de prefabricados, en principio se determinará el presupuesto de implementación de la planta y su costo durante el tiempo de funcionamiento, seguido se determinará el costo de la producción de cada tipo de elemento a fabricar, el monto de la implementación de la planta se incluirá en el precio de cada elemento prefabricado para determinar el Precio a todo costo del elemento, es decir el precio de venta.

3.7.4. Optimización de la calidad

Cuando hablamos de optimización de calidad nos referimos a un mejor control de la calidad de los elementos prefabricados para tener la conformidad del cliente.

Para la planta de prefabricados Concix (implementada), se debe de aplicar el sistema de gestión de calidad de los elementos a producir, esto implica implementar un control de calidad desde el diseño y planeamiento de la planta teniendo en cuenta la calidad del producto final de entrega, esto lo logramos con la definición de la estandarización de los elementos a fabricar,

con la inspección de los materiales a utilizar, con el control de los procedimientos de fabricación de la línea de producción, e incluso con el montaje y/o instalación de los elementos mecánicos.

En la planta de prefabricados implementada, se realizara un control de calidad de los insumos y materiales requeridos antes del ingreso a la planta, y cuando estén suministrados esos deben cumplir las características que mencionan las especificaciones técnicas de cada uno de ellos y se controlan con los protocolos de calidad listados en el anexo 2.

Dentro de cada diagrama de flujo de los procedimientos de fabricación de los elementos de la línea de producción, encontramos las siguientes actividades a controlar:

- a.** Molde metálico (encofrado), se verifica la verticalidad de los encofrados.
- b.** Recubrimiento mínimo del refuerzo de acero.
- c.** Separación de aceros de acuerdo a los planos.
- d.** Alineamiento de caras paralelas de encofrados, estos deben encontrarse dentro de las tolerancias dimensionales mínimas requeridas.
- e.** Control de Slump y la temperatura del concreto fresco antes del vaciado máximo 32 °C.
- f.** Se controla la resistencia del concreto mediante las probetas de concreto.
- g.** Desencofrado del elemento.

- h. Correcta ubicación de los elementos prefabricados en el patio de producción.

La calidad frente al cliente se determina en cada proceso que como se mencionó se controla con los protocolos de calidad implementados, sin embargo el producto final juega un papel importante pues es la entrega al cliente y es así que se determina la calidad del acabado superficial, para su medición se ha desarrollado las tablas N° 2.17 y N° 2.18 para determinar cuál es el estado final del elemento. Los cálculos y hojas de toma de datos se encuentran en el anexo N° 2 (en proceso) y se presentan en la tabla 4.9:

Tabla 3.3. Clasificación de defectos superficiales

DEFECTOS SUPERFICIALES			
DEFECTO	CANGREJERAS	Cantidad Elementos	de INCIDENCIA
	No presenta	15	13%
	Si presenta	105	
Cangrejas	Grado 1	32	27%
	Grado 2	49	41%
	Grado 3	24	20%
	Si presenta	120	
Burbujas	Grado 1	51	43%
	Grado 2	58	48%
	Grado 3	11	9%

Fuente:

<file:///D:/Tesis%20Vibrador/TESIS/Tesis/Contenido%20de%20tesis/OPTIMIZACION%20DE%20UNA%20PLANTA%20DE%20PREFABRICADOS.pdf>

De ella se observa que la mayor parte de elementos se encuentre en grado 2 y 1, lo que se debe controlar con el vibrado del concreto.

CAPITULO IV: PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN

4.1. Propuesta de la investigación

De acuerdo a la problemática existente en la empresa y con el objetivo de optimizar la producción, se propone lo siguiente:

4.1.1. Análisis funcional

El análisis funcional es una técnica propuesta por el Ing. Estadounidense Lawrence D. Miles, cuyo propósito es el de separar la acción que se efectúa del componente o mecanismo, para de este modo buscar nuevas soluciones a un mismo problema. El análisis funcional logra obtener mejores productos a un menor costo.

Para aplicar esta herramienta de diseño, es necesario establecer claramente las funciones primarias y secundarias del producto. Las funciones primarias son aquellas por las que el cliente compra el producto, que en este caso es la de fabricar cajas de registro. Las funciones secundarias son aquellas que permiten que la función primaria se ejecute satisfactoriamente y son las que, mediante este análisis se determinan.

Una vez establecida todas las funciones secundarias se procede a plantear soluciones aptas para desempeñar estas funciones, para luego seleccionar aquellas más convenientes. Estas funciones pueden ser agrupadas con el fin de obtener módulos que sean capaces de cumplir un conjunto de funciones secundarias, obteniéndose así un diseño modular.

La descomposición funcional del producto se lleva a cabo mediante diagramas de flujo en los que en cada recuadro aparece cada función, que puede tener tres tipos de entradas y salidas: control, material y energía. Los diagramas de flujo se presentan en diferentes niveles, comenzando con el nivel 0 o función global, y continuando hasta el nivel que se estime conveniente.

LAWRENCE D. MILES; techniques of Value Analysis and Engineering;
Lawrence D: Miles Value Foundation; Third Edition; 1989 USA.

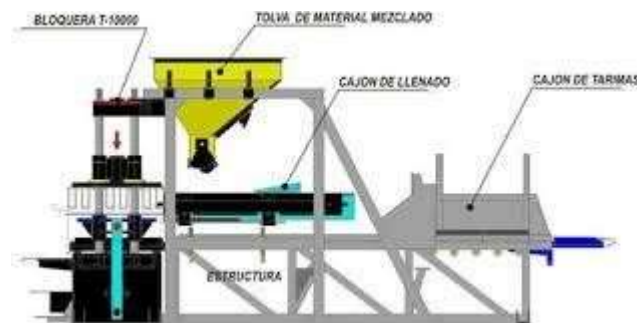


Figura 27. Desarrollo de los diagramas funcionales

Los diagramas funcionales se muestran en el anexo 2.

Fuente: Diseño de Máquina para la Producción de Productos de hormigón Pre-Elaborados. Análisis y Verificación de sus Componentes

<file:///D:/Tesis%20Vibrador/TESIS/Tesis/Contenido%20de%20tesis/Proyecto%20Integrador%20IM%20Unidireccional-%20Maquina%20de%20Bloques%20de%20Hormigón.pdf>

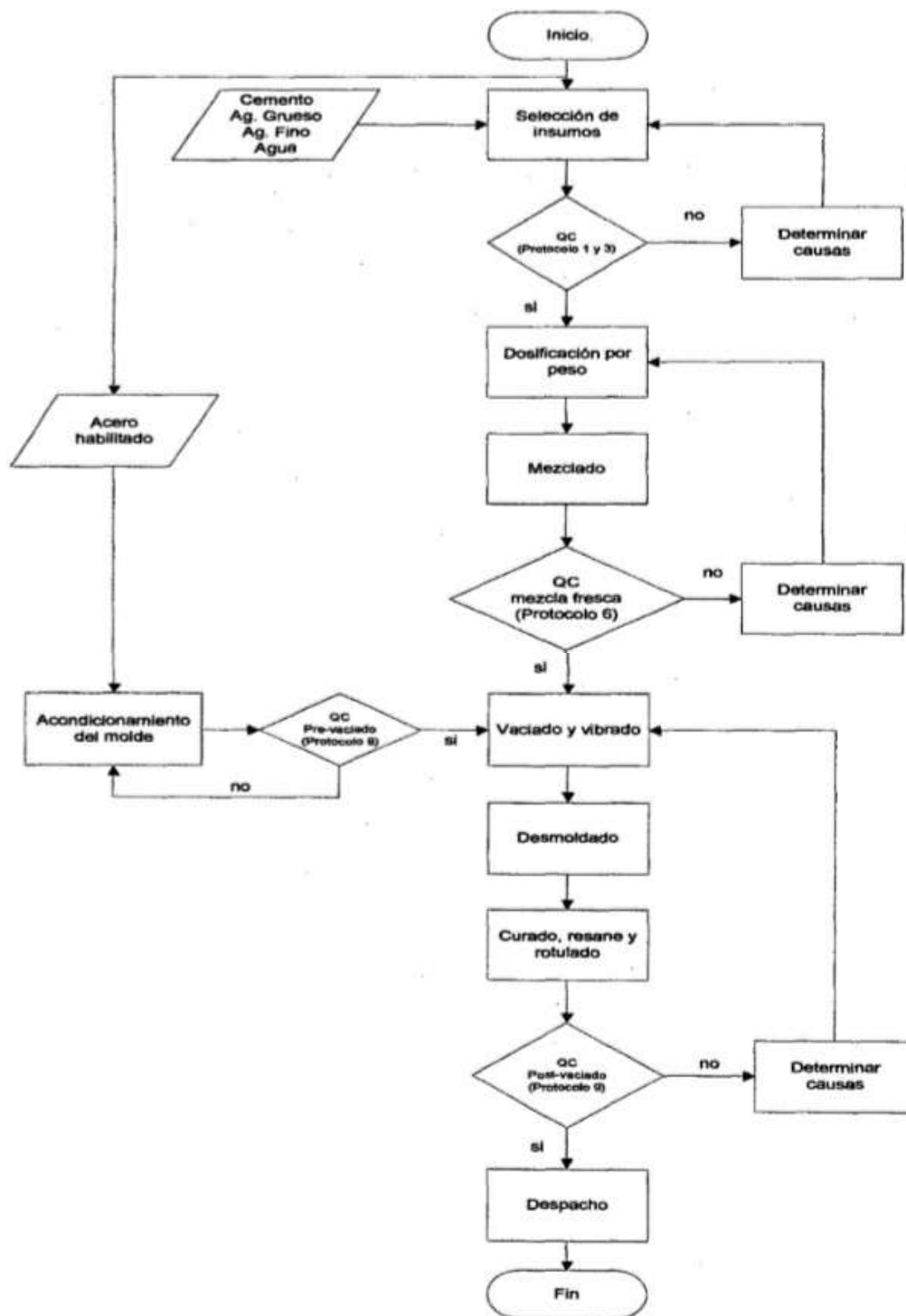


Figura 28. Diagrama de flujo para las tapas y cajas de registros de alcantarillado y cajas porta medidor de agua potable

Fuente: Optimización en la producción de la planta de elementos prefabricados de concreto implementada para el proyecto de saneamiento Pachacutec-Ventanilla Callao 2013.

<file:///D:/Tesis%20Vibrador/TESIS/Tesis/Contenido%20de%20tesis/OPTIMIZACION%20DE%20UNA%20PLANTA%20DE%20PREFABRICADOS.pdf>

El proceso de fabricación de las cajas de registro de alcantarillado y cajas porta medidor de agua potable, es de la siguiente manera:

1. Se reciben los materiales e insumos para producción del elemento de concreto prefabricado, los cuales son: cemento agregados y agua.
2. Se realiza el control de calidad de insumos que se van a utilizar para preparación de la mezcla de concreto, verificando que estos cumplan las condiciones mínimas establecidas en el diseño de mezcla y en el RNE (2012), estos parámetros son plasmados en diseño de mezcla de protocolo N° 1 y 3.
3. De acuerdo al diseño de la mezcla de concreto se dosifica la cantidad de cada insumo por pesaje en la planta de concreto (Mezcladora VERTICAL), esta producirá 5,4 m³ de concreto $f'c = 175 \text{ Kg/cm}^2$ a diario.
4. Realizada la mezcla de concreto y lista para el traslado al área de vaciado, se procede a extraer muestras del concreto fresco para el control de slump, de la temperatura y para ensayar probetas de resistencia, los cuales se representan en el protocolo 6 de anexo N° 2.
5. Se acondiciona el encofrado metálico de cada elemento previa limpieza, sobre la maquina vibro compactadora.
6. Se realiza la liberación de los elementos controlando que el molde metálico tenga las caras que darán forma al elemento libre de residuos de cemento endurecido y otros, que las dimensiones de separación del encofrado cumplan con las especificaciones técnicas de cada elemento y estén dentro de las tolerancias establecidas; este proceso se controla con el protocolo 8 de pre-vaciado (Anexo N° 5)

7. Se traslada la mezcla de concreto desde la mezcladora hasta la tolva que alimenta el carrito repartidor, que luego vierte el concreto fresco en el molde ya acondicionado sobre la vibro compactadora.
8. Se vibra el molde hasta que el nivel de llenado del molde no disminuya.
9. Se termina el vibrado con la compactación del elemento prefabricado para luego proceder al desmolde.
10. Se retira el elemento desmoldado de la maquina vibro compactadora con el carro porta elementos vibrados con mucho cuidado hasta el patio de producción.
11. Inmediatamente se inspeccionan los elementos desmoldados y se proceden a solaquear algunas imperfecciones usando una lechada.
12. Finalmente se verifican los productos terminados por inspección visual usando el protocolo N° 9 de post-vaciado y en caso de detectar productos defectuosos se trasladan a la zona de productos no conformes y los conformes se rotulan y se entregan a obra.

4.1.1.1. Flujos de procesos productivos

Del diagrama de procesos diseñados para la producción de cada tipo de elementos prefabricados se determinaron los siguientes flujos:

- a. Realizar el control de calidad de los materiales e insumos de acuerdo a los protocolos establecidos en la planta.
- b. Transporte de material del almacén al pie del área de trabajo.
- c. Realizar el control de calidad del molde metálico (encofrado) y colocación de acero de acuerdo a los planos.
- d. Realizar el control de calidad del concreto fresco.

4.1.2. Análisis de los diagramas funcionales

Se ha estimado conveniente desarrollar el diagrama funcional hasta en nivel 2 debido a que en este caso, un despliegue mayor conducirá a establecer implícitamente determinadas soluciones.

En el nivel 0, como ya se explicó, se presenta la función global o primaria, que en este caso es la de fabricar cajas de registro. Evidentemente, para que la maquina cumpla su función se requieren materiales, energía y señales de control generadas por los operarios.

El nivel 1 resulta muy similar al proceso de fabricación establecido en el apartado 1.2, pues se especifican de manera general los diferentes procesos (funciones) a realizarse para obtener el producto. No obstante, en el diagrama además se toma en cuenta el grado de automatización deseado por el cliente. Por esta razón, en aquellas acciones que deben ser manuales, se observa que ingresa un flujo energético manual.

En el nivel 2 aparecen desglosadas varias acciones implícitas que en el nivel anterior no se especificaron, pero que son funciones fundamentales para el funcionamiento de la máquina. Así, en el diagrama aparecen las funciones de transportar y depositar el concreto en un contenedor. Esto para que cierta cantidad de concreto quede almacenado y permita que la máquina continúe funcionando mientras se mezcla más concreto. El transporte del concreto desde la mezcladora hasta el contenedor es una función que no necesariamente aparecerá en el diseño definitivo, si es que la mezcladora y el contenedor están próximos.

Otra función de gran importancia que queda establecida en el diagrama es la distribución del concreto en el molde. Esta función permite que la cantidad justa de material sea dispuesta en cada una de las cavidades del molde. De esta función dependen en gran medida la uniformidad del producto terminado así como el grado de desperdicio de material.

Por otro lado, queda claramente establecidos los flujos energéticos, de materiales, de control y la relación entre las funciones. En lo que se refiere a las relaciones funcionales, el diagrama muestra información importante relacionada con la dependencia y simultaneidad de funciones. Así por ejemplo, se tiene que el llenado del distribuidor de concreto y la vibro – compactación pueden ejecutarse al mismo tiempo para optimizar el tiempo por ciclo.

4.1.3. Modularidad

La modularidad consiste en dividir al producto en varios bloques (módulos) funcionales o constructivos. El diseño de productos tomando en cuenta la modularidad ayuda enormemente en varios aspectos tales como la reducción de costos, la facilidad de mantenimiento, la ampliación de la gama y facilidad de producción, entre otros.

Debido a que dentro del proceso de elaboración de prefabricados de concreto (cajas de concreto) se cumplen varias funciones, resulta conveniente llevar a cabo una división modular más apropiada tomando en cuenta las interfaces de los flujos energéticos, de material y de señal.

Al estudiar el diagrama se puede establecer dos conjuntos principales de funciones:

- a. El mezclado y transporte de concreto. Que va desde la función “Cerrar compuerta de mezcladora” hasta “Depositar concreto en contenedor”.
- b. Moldeo y compactación. Que va desde la función “Colocar placa sobre mesa vibradora” hasta “Retirar placa con producto”.

Esta primera división se ha efectuado por la relativa independencia con la que operan estos dos conjuntos de funciones. El primero de estos conjuntos se encarga de elaborar el concreto y transportarlo hasta la máquina. El segundo tiene la tarea de fabricar las cajas. Se considera que existe independencia entre estos dos conjuntos ya que solamente existe una interfaz de flujo de material, lo que, en otras palabras, significa que el primer y segundo conjuntos pueden operar con libertad mutua en tanto el primero provea al segundo con la suficiente cantidad de material.

A continuación se prosigue con la subdivisión de estos dos conjuntos para establecer los módulos.

4.1.3.1. División modular del primer conjunto

Al establecer el diagrama funcional de nivel 2, se tiene que este primer conjunto cumple dos funciones principales fácilmente identificables: mezclar y transportar, por lo que se establecen los módulos que realicen las funciones correspondientes.

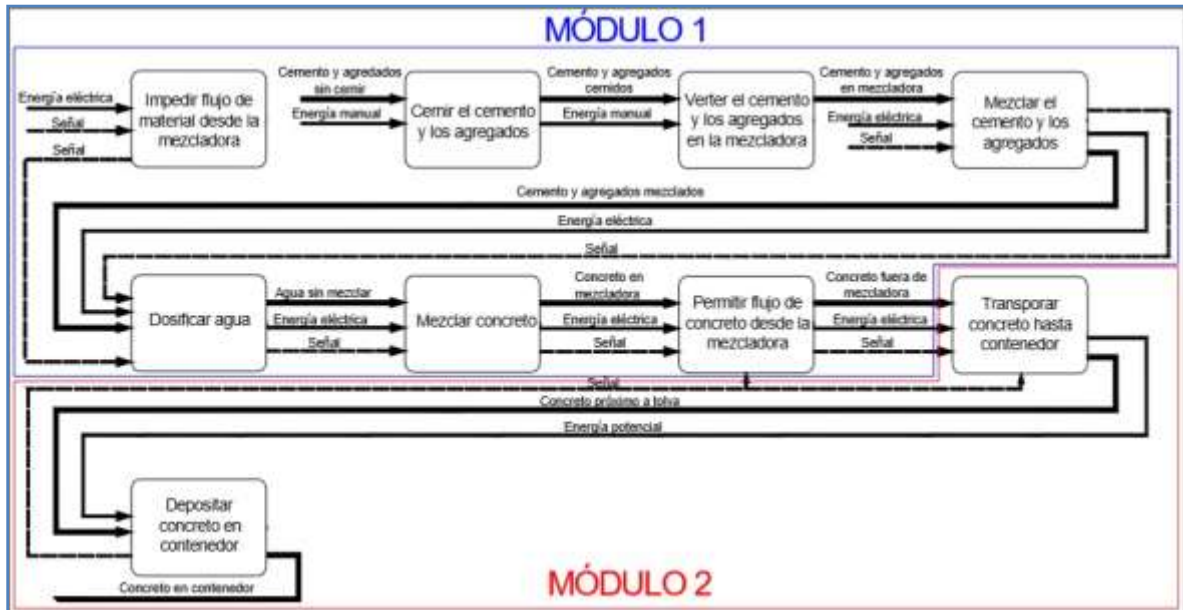


Figura 29. División modular del primer conjunto

Fuente: Diseño de una maquina semiautomática para la fabricación de adoquines y bloques.
<file:///D:/Tesis%20Vibrador/TESIS/Tesis/Contenido%20de%20tesis/proyecto%20para%20la%20fabricacion%20de%20adoquines%20CALCULOS%20DE%20DISEÑO.pdf>

4.1.3.2. División modular del segundo conjunto

La definición de módulos en este conjunto resulta más complicada que en el anterior debido a que las diferentes funciones presentan un elevado grado de interacción entre sí, sin embargo la opción más razonable consiste en dividir este conjunto en dos subconjuntos:

- La distribución del concreto en el molde.
- La fabricación propiamente de la caja, esto es la vibro – compactación y desmolde.

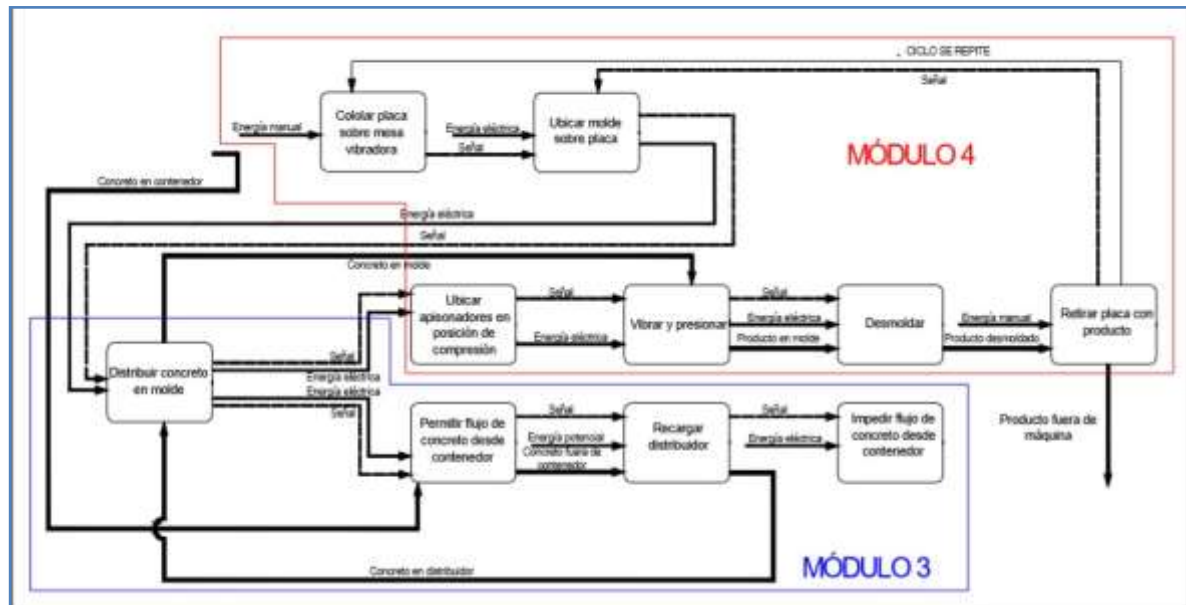


Figura 30. División modular del segundo conjunto

Fuente: Diseño de una máquina semiautomática para la fabricación de adoquines y bloques.
<file:///D:/Tesis%20Vibrador/TESIS/Tesis/Contenido%20de%20tesis/proyecto%20para%20la%20fabricacion%20de%20adoquines%20CALCULOS%20DE%20DISEÑO.pdf>

4.2. Soluciones para cada módulo

4.2.1. Módulo 1

Este módulo cumple las siguientes funciones:

- Cernir el cemento y los agregados.
- Verter el cemento y los agregados en la mezcladora.
- Mezclar cemento y agregados.
- Dosificar agua.
- Mezclar el concreto
- Sacar concreto de la mezcladora.

A continuación se propone posibles soluciones para cada una de estas funciones para luego combinarlas y establecer diferentes opciones de módulos.

4.2.1.1. Cernir el cemento y los agregados

La manera más práctica de efectuar esta tarea es a través de un cernidor o rejilla que evite que partículas con dimensiones mayores a las estipuladas ingresen a la mezcladora.



Figura 31. Criba de acero y cernidor da capacidad promedio: 8 m³/día

Fuente: <https://www.cosmos.com.mx/catalogo/malla-metalica-de-acero-inoxidable-fabrica-de-alambrados-y-cribas-478x1cjh.html>

4.2.1.2. Verter el cemento y los agregados en la mezcladora

De acuerdo a las especificaciones, esta función debe ser realizada de manera manual por los operarios. Lo que hay que garantizar es que la altura a la cual se depositan los materiales sea tal que permita que la tarea pueda efectuarse con facilidad.

4.2.1.3. Mezclar el cemento y los agregados

Existen varios tipos de mezcladoras que operan bajo diferentes principios las cuales se exponen a continuación:

- a. Mezcladora de eje horizontal.
- b. Mezcladora de eje vertical.
- c. Mezcladora satelital o comúnmente llamada tipo Trompo.

4.2.1.3.1. Mezcladora de eje horizontal

En este tipo de mezcladora, el material, contenido en un recipiente más o menos cilíndrico, se mezcla gracias al movimiento rotatorio de un eje horizontal al que se encuentran adheridas un conjunto de paletas distribuidas simétricamente para la realización de un mezclado homogéneo.



Figura 32. Mezcladora de eje horizontal

Fuente: <https://www.dismet.com/productos/mezcladoras-helicoidales/>

Ventajas:

- a. El desgaste generado en las aspás y en el recipiente es aceptable.
- b. Permite vigilar el estado de la mezcla en todo momento, lo que es útil sobre todo cuando interesa saber si la mezcla cuenta con la cantidad de agua adecuada.
- c. Fácil mantenimiento.
- d. Recomendable para mezclas secas. ($a/c \leq 0,5$)
- e. Óptimo mezclado.

Desventajas:

- a. Puede ser complicado vaciar la mezcladora.

4.2.1.3.2. Mezcladora de eje vertical

El material se mezcla en un eje cilíndrico mediante la acción de paletas cuyo eje se encuentra dispuesto de manera vertical.



Figura 33. Mezcladora de eje vertical

Fuente: <http://www.concretebatchingplants.com/es/mezcladores-de-concreto/mezcladores-eje-vertical/>

Ventajas:

- a. Se puede observar el estado de la mezcla en todo momento.
- b. El desgaste generado en las aspas y en el recipiente es aceptable.
- c. Funcionamiento simple.
- d. Fácil mantenimiento.
- e. Fácil vaciado de la mezcla.
- f. Versátil, pues se usa tanto para mezclas secas ($a/c \leq 0,5$) como para mezclas húmedas ($a/c > 0,5$).
- g. Optimo mezclado.

Desventajas:

- a. Ninguno.

4.2.1.3.3. Mezcladora satelital o comúnmente llamada tipo trompo

En este tipo de mezcladora, el mezclado se efectúa gracias al movimiento del contenedor alrededor de un eje que pasa por su centro. Aspas solidarias al contenedor agitan la mezcla.



Figura 34. Mezcladora satelital o comúnmente llamada tipo Trompo

Fuente: <http://famacon.blogspot.com/2009/09/mezcladora-de-concreto-tipo-trompo-de.html>

Ventajas:

- a. Fácil mantenimiento.
- b. Fácil vaciado de la mezcla.
- c. Funcionamiento simple.
- d. Desgaste del contenedor aceptable.
- e. Recomendado para mezclas húmedas ($a/c > 0,5$)
- f. Optimo mezclado.

Desventajas:

- a. No es posible observar la mezcla.

4.2.1.4. Dosificar agua

El proceso de dosificación se lleva a cabo mediante un sistema de dosificación, el mismo que puede ser fácilmente encontrado en el mercado.

4.2.1.5. Mezclar el concreto

La función de mezclado de concreto se realiza con el mismo elemento utilizado en la función de “mezclar cemento y los agregados.

4.2.1.6. Retirar concreto de la mezcladora

Esta función es la que permite que, una vez mezclado, el concreto abandone la mezcladora para ser transportado. Se han considerado tres posibles principios que permiten llevar a cabo esta función.

4.2.1.6.1. Inclinación de la mezcladora

El concreto se extrae de la mezcladora mediante la inclinación de la misma. El concreto cae gracias a la gravedad a través de una compuerta. Este principio resultaría práctico únicamente en el caso de la mezcladora satelital, para los otros modelos resulta inaplicable.

Ventajas:

- a. Permite vaciar completamente la mezcladora.

Desventajas:

- a. Compatible solo con la mezcladora satelital.

4.2.1.6.2. Compuerta

El concreto sale de la mezcladora a través de una compuerta que se abre y cierra de manera automática, ubicada en la parte inferior. El concreto es empujado hacia el exterior por la acción de las paletas de mezclado.

Ventajas:

- a. Principio sencillo de funcionamiento.

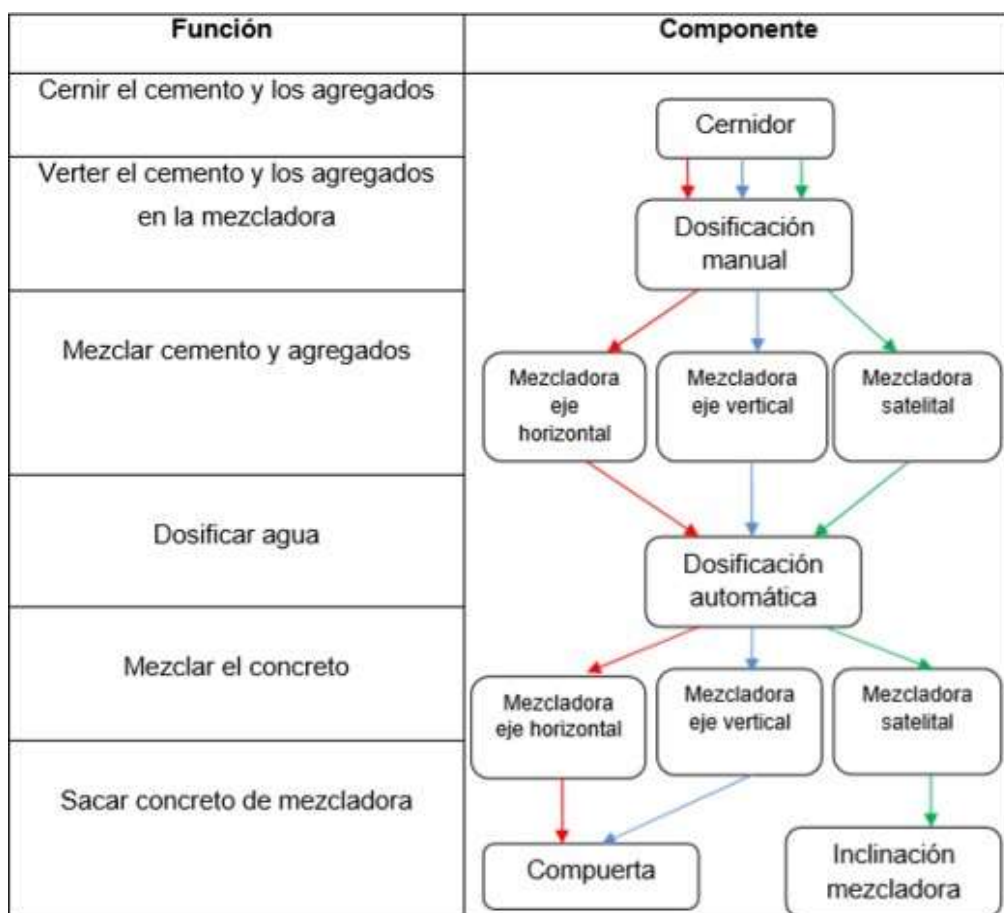
Desventajas:

- a. Es posible que queden residuos de concreto dentro de la mezcladora.

4.2.1.7. Alternativas de módulos

Para determinar diferentes alternativas de módulos se combinan entre si las soluciones para cada función, como se muestra en la tabla 4.1. Es importante notar que no resulta conveniente realizar todas las combinaciones, sino aquellas cuyos componentes sean compatibles entre sí.

Tabla 4.1. Alternativas de módulos



Alternativa 1 Alternativa 2 Alternativa 3

Fuente: Diseño de una maquina semiautomática para la fabricación de adoquines y bloques.

<file:///D:/Tesis%20Vibrador/TESIS/Tesis/Contenido%20de%20tesis/proyecto%20para%20la%20fabricacion%20de%20adoquines%20CALCULOS%20DE%20DISEÑO.pdf>

4.2.1.8. Evaluación y selección de los módulos

Con el fin de determinar aquel módulo que resulte más conveniente, se emplea el método ordinal corregido de criterios ponderados (3).

Se listan a continuación los criterios de valoración más determinantes.

- a. Calidad de mezclado, ya que de esto depende la calidad del concreto, y por consiguiente del producto terminado.
- b. Nivel de desgaste de la mezcladora, ya que esto influye en los costos de mantenimiento.
- c. Permitir visualizar el concreto durante la mezcla, para determinar si se cuenta con la cantidad suficiente de agua.
- d. Mecanismos de funcionamiento sencillo, para permitir que el mantenimiento y la construcción puedan ejecutarse fácilmente.
- e. Alta fiabilidad en los componentes, para evitar paros imprevistos.

La evaluación de los criterios y módulos se detallan en las tablas siguientes:

Tabla 4.2. Evaluación de cada criterio

	Calidad	Desgaste	Visualizar	Mecanismo	Fiabilidad	I-1	Ponderación
	mezclado		mezcla	Sencillo			
Calidad		0.5	1	0.5	0.5	3.5	0.23
Mezclado							
Desgaste	0.5		1	1	0	3.5	0.23
Visualizar	0	0		0.5	0	1.5	0.10
Mezcla							
Mecanismo	0.5	0	0.5		0	2.0	0.14
Sencillo							
Fiabilidad	0.5	1	1	1		4.5	0.30
					Suma	15	1

Fiabilidad > Calidad de mezclado = Desgaste>Mecanismo sencillo>Visualizar Mezcla

Fuente: Diseño de una máquina semiautomática para la fabricación de adoquines y bloques.
<file:///D:/Tesis%20Vibrador/TESIS/Tesis/Contenido%20de%20tesis/proyecto%20para%20la%20fabricacion%20de%20adoquines%20CALCULOS%20DE%20DISEÑO.pdf>

Enseguida se evalúa cada una de las soluciones respecto a los criterios:

Tabla 4.3. Evaluación de las soluciones respecto a la calidad del mezclado

Calidad	Solución	Solución	Solución	I-1	Ponderación
Mezclado	1	2	3		
Solución 1		0.5	0	1.5	0.25
Solución 2	0.5		0	1.5	0.25
Solución 3	1	1		3	0.5
				6	1
Solución 3 > Solución 2 = Solución 1					

Fuente: Diseño de una maquina semiautomática para la fabricación de adoquines y bloques.
<file:///D:/Tesis%20Vibrador/TESIS/Tesis/Contenido%20de%20tesis/proyecto%20para%20la%20fabricacion%20de%20adoquines%20CALCULOS%20DE%20DISEÑO.pdf>

Tabla 4.4. Evaluación de las soluciones respecto al desgaste

Desgaste	Solución	Solución	Solución	I-1	Ponderación
	1	2	3		
Solución 1		0.5	1	2.5	0.42
Solución 2	0.5		1	2.5	0.42
Solución 3	1	0		1	0.16
				6	
Solución 3 > Solución 2 = Solución 1					

Fuente: Diseño de una maquina semiautomática para la fabricación de adoquines y bloques.
<file:///D:/Tesis%20Vibrador/TESIS/Tesis/Contenido%20de%20tesis/proyecto%20para%20la%20fabricacion%20de%20adoquines%20CALCULOS%20DE%20DISEÑO.pdf>

Tabla 4.5. Evaluación de las soluciones respecto a la visualización de la mezcla

Visualizar	Solución	Solución	Solución	I-1	Ponderación
Mezcla	1	2	3		
Solución 1		0.5	1	2.5	0.42
Solución 2	0.5		1	2.5	0.42
Solución 3	1	0		1	0.16
				6	1
Solución 3 > Solución 2 = Solución 1					

Fuente: Diseño de una maquina semiautomática para la fabricación de adoquines y bloques.
<file:///D:/Tesis%20Vibrador/TESIS/Tesis/Contenido%20de%20tesis/proyecto%20para%20la%20fabricacion%20de%20adoquines%20CALCULOS%20DE%20DISEÑO.pdf>

Tabla 4.6. Evaluación de las soluciones respecto a la sencillez del mecanismo

Sencillez	Solución	Solución	Solución	I+1	Ponderación
Mecanismo	1	2	3		
Solución 1		0	3	2	0.33
Solución 2	1		1	3	0.50
Solución 3	0	0	1	1	0.17
				6	1
Solución 3 > Solución 2 = Solución 1					

Fuente: Diseño de una maquina semiautomática para la fabricación de adoquines y bloques.
<file:///D:/Tesis%20Vibrador/TESIS/Tesis/Contenido%20de%20tesis/proyecto%20para%20la%20fabricacion%20de%20adoquines%20CALCULOS%20DE%20DISEÑO.pdf>

Tabla 4.7. Evaluación de las soluciones respecto a la fiabilidad

Fiabilidad	Solución	Solución	Solución	I+1	Ponderación
	1	2	3		
Solución 1		0	1	2	0.33
Solución 2	1		1	3	0.50
Solución 3	0	0		1	0.17
				6	1

Solución 2 > Solución 1 = Solución 3

Fuente: Diseño de una maquina semiautomática para la fabricación de adoquines y bloques.
<file:///D:/Tesis%20Vibrador/TESES/Tesis/Contenido%20de%20tesis/proyecto%20para%20la%20fabricacion%20de%20adoquines%20CALCULOS%20DE%20DISEÑO.pdf>

Tabla 4.8. Tabla de conclusiones para el módulo 1

Conclusiones	Calidad	Desgaste	Visualización	Sencillez	Fiabilidad	I	Prioridad
	mezclado		mezcla	mecanismo			
Solución 1	0.25x0.23	0.42x0.23	0.42x0.1	0-33x0.14	0.33x0.3	0.34	2
Solución 2	0.25x0.23	0.42x0.23	0.42x0.1	0.50x0.14	0.50x0.03	0.42	1
Solución 3	0.5x0.23	0.16x0.23	0.16x0.1	0.17x0.14	0.17x0.3	0.24	3

Fuente: Diseño de una maquina semiautomática para la fabricación de adoquines y bloques.
<file:///D:/Tesis%20Vibrador/TESES/Tesis/Contenido%20de%20tesis/proyecto%20para%20la%20fabricacion%20de%20adoquines%20CALCULOS%20DE%20DISEÑO.pdf>

4.2.2. Módulo 2

De acuerdo al diagrama funcional, este módulo cumple las siguientes funciones:

- Transportar concreto hasta el contenedor.
- Depositar concreto en contenedor.

A continuación se establecen soluciones:

4.2.2.1. Trasportar concreto hasta el contenedor

Para esta función se han considerado dos alternativas:

- a. Banda transportadora
- b. Recipiente móvil.

4.2.2.1.1. Banda transportadora

El transporte se efectúa por medio de una banda que gira de manera continua entre los puntos de carga y deposito.



Figura 35. Sistema de banda transportadora de concreto

Fuente: https://www.youtube.com/watch?v=N5DvJP4s_iY

Ventajas:

- a. Suministro uniforme y constante de concreto.
- b. Permite transporte de grandes volúmenes de concreto fresco.
- c. Principio de funcionamiento sencillo.
- d. Fácil carga y descarga del material.
- e. Fácil mantenimiento.

Desventajas:

- a. La longitud de la banda depende de la diferencia de las alturas entre los puntos de carga y deposito.
- b. Requiere de mayor potencia.
- c. Costo.

- d. Desperdicio de material.

4.2.2.1.2. Recipiente móvil

El material es transportado por medio de un contenedor, como se muestra en la figura.



Figura 36. Recipiente móvil para transporte de concreto.

Fuente: <http://www.mitnikmachine.com/es/yhzs35-mobile-concrete-mixing-plant-for-sale.html>

Ventajas:

- a. Ocupa poco espacio.
- b. Mecanismo sencillo y de fácil mantenimiento.

Desventajas:

- a. El suministro del concreto fresco es irregular.
- b. Para efectuar la carga y la descarga se requiere un mecanismo adicional.

4.2.2.2. Depositar concreto en el contenedor

La función de verter el concreto la realiza el mismo sistema de transporte sin la necesidad de un componente adicional. En la primera solución, el deposito se lleva a cabo gracias a la gravedad cuando el concreto alcance el extremo de la banda. En el segundo caso se vierte el concreto por la inclinación

del recipiente.

4.2.2.3. Alternativas de módulos

Para establecer las alternativas de módulos se combinan entre si las diferentes soluciones para cada función, como se muestra en la tabla 4.9:

Tabla 4.9. Combinación de soluciones para el módulo 2



Fuente: Fabricación de una máquina semiautomática para la fabricación de adoquines y bloques
<file:///D:/Tesis%20Vibrador/TESIS/Tesis/Contenido%20de%20tesis/proyecto%20para%20la%20fabricacion%20de%20adoquines%20CALCULOS%20DE%20DISEÑO.pdf>

4.2.2.4. Evaluación y selección de los módulos

Se listan a continuación los criterios de valoración más determinantes.

- a. Fácil mantenimiento, rápido y bajo costo.
- b. Costo de equipo.
- c. Cantidad de concreto transportado por minuto, que se ajuste a la capacidad de producción de a máquina.
- d. Alta fiabilidad, con la finalidad de evitar interrupciones en la producción.
- e. Cantidad de material desperdiciado.

Tabla 4.10.Evaluación del peso específico de cada criterio para el módulo 2

	Fácil Mantenimiento	Costo equipo	Cantidad Concreto Por min	Alta fiabilidad	Durabilidad	Desperdicio	I-1	Ponderación
Fácil mantenimiento		0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	3.5	0.18
Costo equipo	0.5		0.5	0	0	1	3.0	0.15
Cantidad concreto por min.	0.5	0.5		0	0	0.5	2.5	0.13
Alta fiabilidad	0.5	1	1		0.5	1	5.0	0.25
Durabilidad	0.5	1	1	0.5		0.5	4.5	0.23
Desperdicio	0.5	0	0.5	0	0		2.0	0.10
						suma	20	1

Fuente: Diseño de una maquina semiautomática para la fabricación de adoquines y bloques.
<file:///D:/Tesis%20Vibrador/TESIS/Tesis/Contenido%20de%20tesis/proyecto%20para%20la%20fabricacion%20de%20adoquines%20CALCULOS%20DE%20DISEÑO.pdf>

Tabla 4.11. Evaluación de las soluciones respecto a la facilidad de mantenimiento

Fácil mantenimiento	Solución 1	Solución 2	Σ -3	Ponderación
Solución 1		1	2.0	0.7
Solución 2	0		1.0	0.3
			3.0	1

Solución 1 > Solución 2

Fuente: Diseño de una maquina semiautomática para la fabricación de adoquines y bloques.
<file:///D:/Tesis%20Vibrador/TESIS/Tesis/Contenido%20de%20tesis/proyecto%20para%20la%20fabricacion%20de%20adoquines%20CALCULOS%20DE%20DISEÑO.pdf>

Tabla 4.12. Evaluación de las soluciones respecto al costo del equipo

Costo	Solución	Solución	$\Sigma + 1$	Ponderación
Equipo	1	2		
Solución 1		0.5	1.5	0.5
Solución 2	0.5		1.5	0.5
			3	1.0
Solución 1 = Solución 2				

Fuente: Diseño de una maquina semiautomática para la fabricación de adoquines y bloques.
<file:///D:/Tesis%20Vibrador/TESIS/Tesis/Contenido%20de%20tesis/proyecto%20para%20la%20fabricacion%20de%20adoquines%20CALCULOS%20DE%20DISEÑO.pdf>

Tabla 4.13. Evaluación de las soluciones respecto a la cantidad de concreto por minuto

Cantidad concreto por min	Solución	Solución	$\Sigma + 1$	Ponderación
	1	2		
Solución 1		1	2.0	0.7
Solución 2	0		1.0	0.3
			3	1.0
Solución 1 = Solución 2				

Fuente: Diseño de una maquina semiautomática para la fabricación de adoquines y bloques.
<file:///D:/Tesis%20Vibrador/TESIS/Tesis/Contenido%20de%20tesis/proyecto%20para%20la%20fabricacion%20de%20adoquines%20CALCULOS%20DE%20DISEÑO.pdf>

Tabla 4.14. Evaluación de las soluciones respecto a la Alta fiabilidad

Alta Fiabilidad	Solución	Solución	$\Sigma + 1$	Ponderación
	1	2		
Solución 1		1.0	2.0	0.7
Solución 2	0		1.0	0.3
			3	1.0
Solución 1 = Solución 2				

Fuente: Diseño de una maquina semiautomática para la fabricación de adoquines y bloques.
<file:///D:/Tesis%20Vibrador/TESIS/Tesis/Contenido%20de%20tesis/proyecto%20para%20la%20fabricacion%20de%20adoquines%20CALCULOS%20DE%20DISEÑO.pdf>

Tabla 4.15. Evaluación de las soluciones respecto a la Durabilidad

Durabilidad	Solución 1	Solución 2	$\Sigma + 1$	Ponderación
Solución 1		1	2.0	0.7
Solución 2	0		1.0	0.3
			3	1.0

Solución 1 = Solución 2

Fuente: Diseño de una maquina semiautomática para la fabricación de adoquines y bloques.
<file:///D:/Tesis%20Vibrador/TESIS/Tesis/Contenido%20de%20tesis/proyecto%20para%20la%20fabricacion%20de%20adoquines%20CALCULOS%20DE%20DISEÑO.pdf>

Tabla 4.16. Evaluación de las soluciones respecto al desperdicio

Desperdicio	Solución 1	Solución 2	$\Sigma + 1$	Ponderación
Solución 1		0.5	1.5	0.5
Solución 2	0.5		1.5	0.5
			3	1.0

Solución 1 = Solución 2

Fuente: Diseño de una maquina semiautomática para la fabricación de adoquines y bloques.
<file:///D:/Tesis%20Vibrador/TESIS/Tesis/Contenido%20de%20tesis/proyecto%20para%20la%20fabricacion%20de%20adoquines%20CALCULOS%20DE%20DISEÑO.pdf>

Finalmente se presenta la tabla de conclusiones:

Tabla 4.17. Conclusiones para el módulo 2

Conclusiones	Fácil Mantenimiento	Costo equipo	Cantidad concreto por	Alta fiabilidad	Durabilidad	Desperdicio	Σ	Prioridad
Solución 1	0.7 x 0.18	0.5 x 0.15	0.7x0.13	0.70 x 0.25	0.7 x 0.25	0.5x0.23	0.68	1
Solución 2	0.3 x 0.18	0.5 x 0.15	0.7x0.13	0.3x0.13	0.3x0.25	0.5x0.23	0.32	2

Fuente: Diseño de una maquina semiautomática para la fabricación de adoquines y bloques.
<file:///D:/Tesis%20Vibrador/TESIS/Tesis/Contenido%20de%20tesis/proyecto%20para%20la%20fabricacion%20de%20adoquines%20CALCULOS%20DE%20DISEÑO.pdf>

Según se observa en la tabla 4.17 la solución que cumple los criterios de evaluación de mejor manera es la solución número 1.

4.2.3. Módulo 3

Este módulo cumple con las siguientes funciones:

- a. Distribuir concreto en el molde.
- b. Permitir flujo de concreto desde el contenedor.
- c. Recargar distribuidor.
- d. Impedir flujo desde contenedor.

Algunas de estas funciones pueden ser agrupadas, ya que pueden ser realizadas por el mismo mecanismo. Los grupos son los siguientes:

- a. Distribuir concreto al molde.
- b. Permitir flujo de concreto, que involucra las funciones “permitir flujo de concreto desde contenedor” e “impedir flujo desde el contenedor”.
- c. Recargar distribuidor.
- d. A continuación se establecen posibles soluciones para cada una de estas funciones para luego combinarlas y establecer diferentes opciones de módulos.

4.2.3.1. Distribuir concreto en molde

Esta función es la que permite que el concreto sea dosificado de manera uniforme en cada una de las cavidades del molde. Se han considerado las siguientes soluciones:

- a. Distribuidor móvil.
- b. Flujo directo desde tolva.
- c. Molde móvil.

4.2.3.1.1. Distribuidor móvil

Este sistema consta de un recipiente móvil que se desplaza entre dos posiciones, una de carga y otra de descarga. Cuando el recipiente se

encuentra en la posición de descarga, sobre el molde, este realiza movimientos alternativos horizontales, con la finalidad de que el concreto sea distribuido uniformemente en el molde.

Ventajas:

- a. Llenado uniforme de concreto en el molde.
- b. Poco desperdicio de concreto.

Desventajas:

- a. Mecanismo complejo.
- b. Costo.



Figura 37. Distribuidor móvil

Fuente: <http://www.maquias.com/>

4.2.3.1.2. Flujo directo desde tolva

La tolva se encuentra ubicada sobre el molde, permitiendo que el concreto caiga en este por gravedad.



Figura 38. Tolva sobre molde

Fuente: <http://www.esmma.com/>

Ventajas:

- a. Costo
- b. Funcionamiento sencillo
- c. No requiere de mantenimiento.

Desventajas:

- a. Desperdicio de concreto.
- b. Mala distribución de concreto sobre el molde.
- c. El diseño del módulo 4 resulta más complejo, debido a que se requiere que los apisonadores se desplacen para permitir que el flujo de concreto pase desde la tolva al molde.

4.2.3.1.3. Molde móvil

Consiste en desplazar el molde horizontalmente y ubicado bajo la tolva, permitiendo así que el concreto fluya hacia el molde.

Ventajas:

- a. Costo
- b. Funcionamiento sencillo

Desventajas:

- a. Agrega cierta complejidad al módulo 4, ya que el molde, a más de tener un movimiento vertical, debe moverse horizontalmente.
- b. No existe buena distribución de concreto en el molde.
- c. Existe desperdicio de concreto.
- d. Existe la posibilidad de generar una desalineación entre el molde y los apisonadores.

4.2.3.2. Permitir flujo de material

Para esta función se ha tomado en consideración únicamente una compuerta, la cual es accionada mediante un sistema neumático o mecánico.

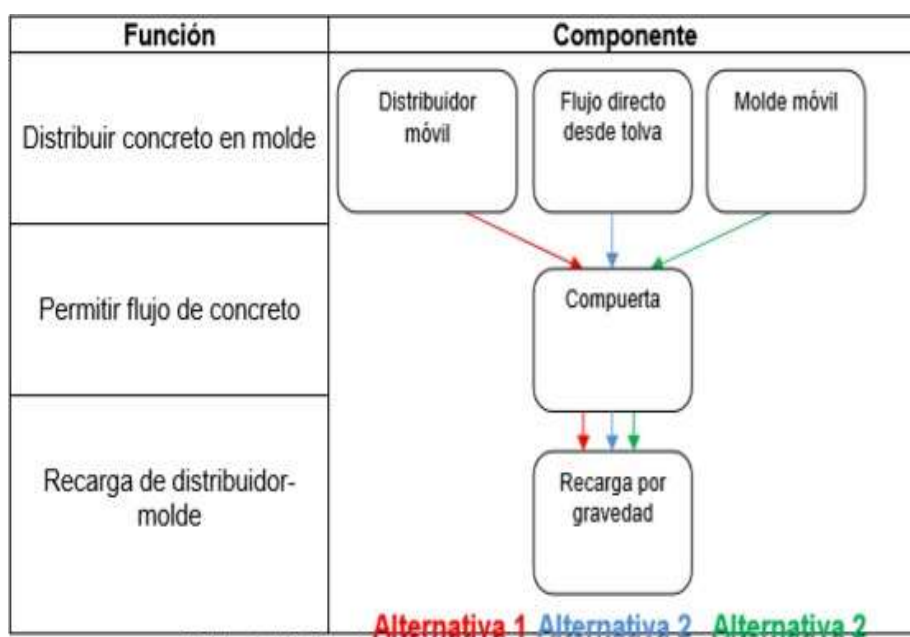
4.2.3.3. Recargar distribuidor/molde

Esta función se refiere al mecanismo mediante el cual el concreto llega desde la tolva al distribuidor o al molde. Debido a que la tolva se encuentra a una altura mayor que el distribuidor o molde, el concreto se desplaza por gravedad, en consecuencia no se requiere un componente adicional.

4.2.3.4. Alternativas de módulos

Para establecer las alternativas de módulos se combinan entre sí las diferentes soluciones para cada función, como se muestra en la tabla 4.18.

Tabla 4.18. Combinación de soluciones para módulo 3



Fuente: Diseño de una maquina semiautomática para la fabricación de adoquines y bloques.
<file:///D:/Tesis%20Vibrador/TESIS/Tesis/Contenido%20de%20tesis/proyecto%20para%20la%20fabricacion%20de%20adoquines%20CALCULOS%20DE%20DISEÑO.pdf>

4.2.3.5. Selección de la solución para el módulo 3

A valoración de las alternativas de solución se la hace tomando en cuenta los siguientes criterios:

- a. Fácil mantenimiento.
- b. Costo de equipo.
- c. Distribución de concreto.
- d. Alta fiabilidad.
- e. Cantidad de desperdicio.

La ponderación de cada uno de estos criterios, su respectiva evaluación para cada una de las soluciones y la selección de la solución se muestra desde la tabla 4.19 hasta la 4.25.

Tabla 4.19. Evaluación de cada criterio

	Fácil mantenimiento	Costo Equipo	Distribución de concreto	Alta fiabilidad	Desperdicio	$\Sigma +1$	Ponderación
Fácil mantenimiento		0.5	0	0.5	0.5	2.5	0.17
Costo equipo	0.5		0	0	0.5	2.0	0.13
Distribución de concreto	1	1		0.5	1	4.5	0.30
Alta fiabilidad	0.5	1	0.5		1	4.0	0.27
Desperdicio	0.5	0.5	0	0		2.0	0.13
					Suma	15	1

Distribución Concreto > Alta Fiabilidad > Fácil mantenimiento > Costo Equipo = Desperdicio

Fuente: Diseño de una maquina semiautomática para la fabricación de adoquines y bloques.
<file:///D:/Tesis%20Vibrador/TESIS/Tesis/Contenido%20de%20tesis/proyecto%20para%20la%20fabricacion%20de%20adoquines%20CALCULOS%20DE%20DISEÑO.pdf>

Tabla 4.20. Evaluación de las soluciones respecto a la facilidad de mantenimiento

Fácil Mantenimiento	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma + 1$	Ponderación
Solución 1		0	0.5	1.5	0.25
Solución 2	1		1	3.0	0.50
Solución 3	0.5	0		1.5	0.25
				6.0	1

Solución 2 > Solución 1 = Solución 3

Fuente: Diseño de una maquina semiautomática para la fabricación de adoquines y bloques.
<file:///D:/Tesis%20Vibrador/TESIS/Tesis/Contenido%20de%20tesis/proyecto%20para%20la%20fabricacion%20de%20adoquines%20CALCULOS%20DE%20DISEÑO.pdf>

Tabla 4.21. Evaluación de las soluciones frente al costo equipo

Costo Equipo	Solución	Solución	Solución	$\Sigma * 1$	Ponderación
	1	2	3		
Solución 1		0	0,5	1,5	0,25
Solución 2	1		1	3,0	0,50
Solución 3	0,5	0		1.5	0,25
				6,0	1.0

Solución 1 > Solución 2 = Solución 3

Fuente: Diseño de una maquina semiautomática para la fabricación de adoquines y bloques.
<file:///D:/Tesis%20Vibrador/TESIS/Tesis/Contenido%20de%20tesis/proyecto%20para%20la%20fabricacion%20de%20adoquines%20CALCULOS%20DE%20DISEÑO.pdf>

Tabla 4.22. Evaluación de las soluciones respecto a la distribución de concreto

Distribución	Solución	Solución	Solución	$\Sigma * 1$	Ponderación
concreto	1	2	3		
Solución 1		1	1	3.0	0.50
Solución 2	0		0.5	1.5	0.25
Solución 3	0	0.5		1.5	0.25
				6	1.0

Solución 1 > Solución 2 = Solución 3

Fuente: Diseño de una maquina semiautomática para la fabricación de adoquines y bloques.
<file:///D:/Tesis%20Vibrador/TESIS/Tesis/Contenido%20de%20tesis/proyecto%20para%20la%20fabricacion%20de%20adoquines%20CALCULOS%20DE%20DISEÑO.pdf>

Tabla 4.23. Evaluación de soluciones respecto a la fiabilidad

Alta	Solución	Solución	Solución	$\Sigma + 1$	Ponderación
Fiabilidad	1	2	3		
Solución 1		1.0	1.0	3.0	0.50
Solución 2	0		0.5	1.5	0.25
Solución 3	0	0,5		1.5	0.25
				6	1.0

Solución 1 > Solución 2 = Solución 3

Fuente: Diseño de una maquina semiautomática para la fabricación de adoquines y bloques.
<file:///D:/Tesis%20Vibrador/TESES/Tesis/Contenido%20de%20tesis/proyecto%20para%20la%20fabricacion%20de%20adoquines%20CALCULOS%20DE%20DISEÑO.pdf>

Tabla 4.24. Evaluación de las soluciones respecto al desperdicio

Desperdicio	Solución	Solución	Solución	$\Sigma +3$	Ponderación
	1	2	3		
Solución 1		1.0	1.0	3.0	0.50
Solución 2	0		0.5	1.5	0.25
Solución 3	0	0.5		1.5	0.25
				6	1.0

Solución 1 > Solución 2 = Solución 3

Fuente: Diseño de una maquina semiautomática para la fabricación de adoquines y bloques.
<file:///D:/Tesis%20Vibrador/TESES/Tesis/Contenido%20de%20tesis/proyecto%20para%20la%20fabricacion%20de%20adoquines%20CALCULOS%20DE%20DISEÑO.pdf>

Tabla 4.25. Tabla de conclusiones para el módulo 3

Conclusiones	Fácil	Costo	Distribución	Alta	Desperdicio	Σ	Prioridad
	mantenimiento	equipo	concreto	fiabilidad			
Solución 1	0.25 x 0.17	0.25 x 0.13	0.5 x 0.30	0.50x0.27	0.50 x 0.13	0.43	1
Solución 2	0.50 x 0.17	0.50 x 0.13	0.5 x 0.30	0.25x0.13	0.25 x 0.13	0.32	2
Solución 3	0.25 x 0.17	0.50 x 0.13	0.25 x 0.30	0.25 x 0.13	0.25 x 0.13	0.26	3

Fuente: Diseño de una maquina semiautomática para la fabricación de adoquines y bloques.
<file:///D:/Tesis%20Vibrador/TESES/Tesis/Contenido%20de%20tesis/proyecto%20para%20la%20fabricacion%20de%20adoquines%20CALCULOS%20DE%20DISEÑO.pdf>

4.2.4. Módulo 4

Las siguientes funciones están incluidas en el módulo 4:

- a. Colocar placa sobre mesa vibradora.
- b. Ubicar molde sobre placa.
- c. Ubicar apisonadores en posición de compresión.
- d. Vibrar.
- e. Presionar.
- f. Desmoldar (retirar molde y apisonadores).

4.2.4.1. Retirar placa con producto.

Es importante notar que algunas de estas funciones pueden ser agrupadas debido a que pueden ser realizadas por el mismo principio o componente.

Estos grupos son:

- a. Colocar placa sobre mesa vibradora.
- b. Mover molde, que incluye las funciones “ubicar molde sobre placa” y desmolde (retirar molde)”.
- c. Mover apisonadores, que incluye las funciones “ubicar apisonadores en posición de compresión”, desmoldar (retirar apisonadores)” y “presionar”.
- d. Vibrar.

Las soluciones para cada una de estas funciones se exponen en los apartados siguientes.

4.2.4.1.1. Colocar placa sobre mesa vibradora

Esta función se realiza de manera manual (interviene un operario) o mediante un brazo hidráulico. Al inicio de cada ciclo, se coloca una placa sobre

la mesa vibradora. Esta placa sirve de soporte para el producto terminado.

4.2.4.1.2. Mover molde

En este módulo se requiere que el molde se mueva entre dos posiciones, una de recarga y vibro prensado y la otra de desmolde. La solución seleccionada para el módulo 3 no requiere que el molde se desplace en otra dirección, por lo que el molde se mueve únicamente en el sentido vertical.

La manera más razonable de efectuar esta función es mediante el sistema eje guía más bocina, por lo tanto no se consideran alternativas adicionales. Es necesario notar que en el diseño se debe considerar un sistema de aislamiento apropiado entre el molde y el mecanismo de accionamiento para evitar que las vibraciones desgasten excesivamente a este último.



Figura 39. Detalle del desmolde vertical del molde por medio de palanca de mano

Fuente: <http://famacon.blogspot.com/2009/09/maquina-bloquetera-tipo-rosacometa.html>

4.2.4.2. Mover apisonadores

Debido a que el módulo 3 no exige que los apisonadores se desplacen, estos únicamente se mueven verticalmente entre 2 posiciones, una inferior para aplicar presión, y otra superior para permitir el desmolde y la recarga del molde. Al igual que en el apartado anterior, se considera una única solución mediante el sistema eje guía más bocina. La presión se aplica gracias al

sistema de accionamiento hidráulico seleccionado (detallado más adelante).



Figura 40. Detalle de los apisonadores

Fuente: <http://moldesylapeados.honingtec.com/adoquines.html>

4.2.4.3. Vibrar

De acuerdo al mecanismo por medio del cual la vibración se transmite al material, se pueden considerar las siguientes posibilidades:

- a. Vibración interna, que transmite la vibración mediante un dispositivo que se inserta al interior del material. Sistema aplicado a concretos húmedos a fluidos (asentamiento de 100 a 200 mm).
- b. Vibración exterior, que trasmite la vibración a través de las paredes del recipiente que contiene el material (molde). Sistema aplicado a concretos secos a fluidos (asentamiento de 0 a 200 mm).

La vibración interna no resulta conveniente en el caso de los prefabricados de concreto, pues no aporta de manera eficiente a que el material tome la forma del molde.

De acuerdo al principio de generación de la vibración, se tiene las siguientes opciones:

- Vibración por masas excéntricas.
- Vibración por efecto electromagnético.
- Vibración por efecto neumático.

Se procede a evaluar y seleccionar el principio de vibración más adecuado.

Tabla 4.26. Evaluación de criterios para la selección del principio de vibración

	Costo	Fácil Mantenimiento	Fiabilidad	Disponibilidad	Frecuencia	$\Sigma+1$	Ponderación
Costo		0.5	0.5	0	1	3.0	0.20
Fácil	0.5		0.5	0	1	3.0	0.20
Mantenimiento							
Fiabilidad	0.5	0.5		0.5	1	3.5	0.23
Disponibilidad en el mercado	1	1	0.5		1	4.5	0.30
Frecuencia alcanzada	0	0	0	0		1.0	0.07
Suma						15	1
Disponibilidad > Fiabilidad > Costo = Mantenimiento > Frecuencia							

Fuente: Diseño de una maquina semiautomática para la fabricación de adoquines y bloques.
<file:///D:/Tesis%20Vibrador/TESIS/Tesis/Contenido%20de%20tesis/proyecto%20para%20la%20fabricacion%20de%20adoquines%20CALCULOS%20DE%20DISEÑO.pdf>

Tabla 4.27. Evaluación del principio de vibración respecto al costo

Costo	Masas	Electromagnético	Neumático	$\Sigma + 1$	Ponderación
Masas		1	1	3	0.50
Electromagnético	0		1	2	0.33
Neumático	0	0		1	0.17
Suma				6	1
Masas > Electromagnético > Neumático					

Fuente: Diseño de una maquina semiautomática para la fabricación de adoquines y bloques.
<file:///D:/Tesis%20Vibrador/TESIS/Tesis/Contenido%20de%20tesis/proyecto%20para%20la%20fabricacion%20de%20adoquines%20CALCULOS%20DE%20DISEÑO.pdf>

Tabla 4.28. Evaluación del principio de vibración respecto del mantenimiento

Mantenimiento	Masas	Electromagnético	Neumático	$\Sigma + 1$	Ponderación
Masas		1	0.50	2.5	0.42
Electromagnético	0		0	1.0	0.16
Neumático	0.5	1		2.5	0.42
Suma				6	1
Masas > Neumático > Electromecánico					

Fuente: Diseño de una maquina semiautomática para la fabricación de adoquines y bloques.
<file:///D:/Tesis%20Vibrador/TESIS/Tesis/Contenido%20de%20tesis/proyecto%20para%20la%20fabricacion%20de%20adoquines%20CALCULOS%20DE%20DISEÑO.pdf>

Habiendo ya establecido el mecanismo de transmisión y de generación de vibración más conveniente, se procede a establecer soluciones.

4.2.4.3.1. Mesa vibradora

Consiste en una plataforma metálica a la cual se le transmite la vibración generada por masas excéntricas directamente sobre el motor (a) o aplicadas a un eje (b). Esta plataforma, a su vez, transmite la vibración al molde.

Ventajas:

- Fácil construcción.
- Fácil mantenimiento.
- Mecanismo de funcionamiento sencillo

Desventajas:

- Ruido.

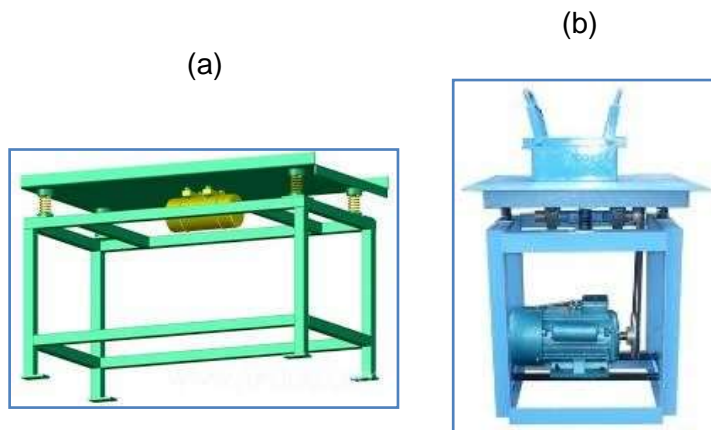


Figura 41. Mesas Vibradoras accionada por motor vibrador (a) y por eje desbalanceado por masa (b)
Fuente: https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-614881483-mesa-vibradora-calculo-de-partes-criticas-planos-completos-_JM?quantity=1

4.2.4.3.2. Molde vibrador

El dispositivo vibrador se encuentra solidario al molde por lo que la vibración se transmite directamente a este último.



Figura 42. Molde Vibrador
Fuente: https://lima.locanto.com.pe/ID_1802145334/MAQUINAS-BLOQUETERAS.html

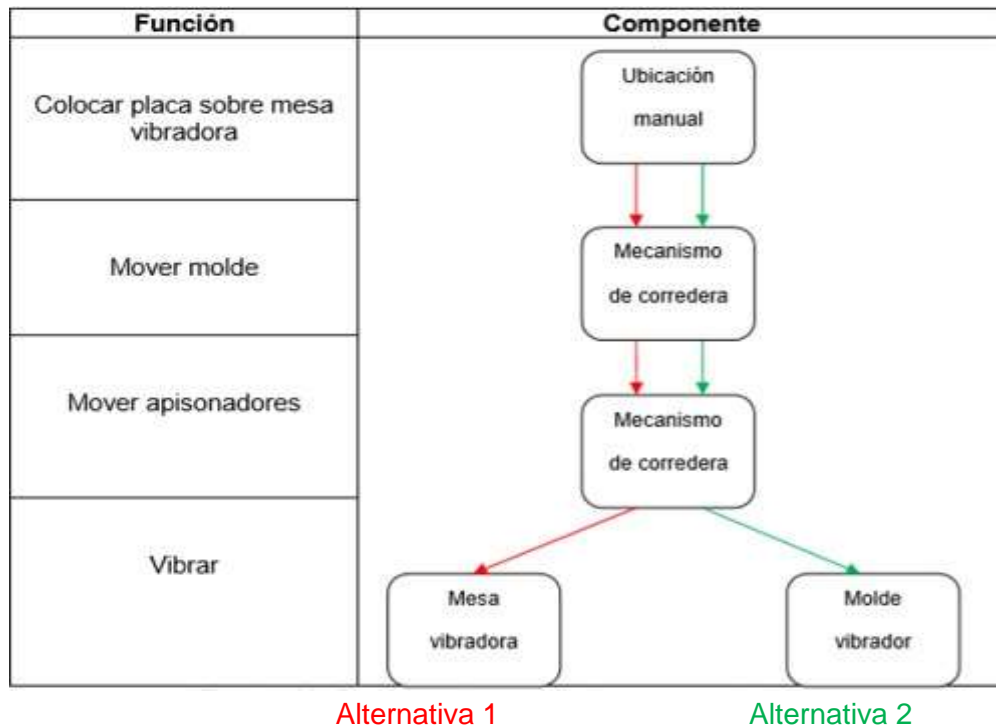
4.2.4.4. Retirar placa con producto:

Una vez efectuado el desmolde, un operario, por medio de un coche, procede retirar el producto.

4.2.4.5. Alternativas para el módulo 4:

La combinación de las diferentes soluciones para este módulo se muestra en las tablas.

Tabla 4.29. Combinación de soluciones para módulo 4



Fuente: Diseño de una maquina semiautomática para la fabricación de adoquines y bloques.
<file:///D:/Tesis%20Vibrador/TESIS/Tesis/Contenido%20de%20tesis/proyecto%20para%20la%20fabricacion%20de%20adoquines%20CALCULOS%20DE%20DISEÑO.pdf>

4.2.4.6. Selección de la solución para el módulo 4

Los criterios que se consideran para su evaluación y selección de alternativa para el módulo 4 son:

- a. Costo.
- b. Facilidad de mantenimiento.
- c. Fiabilidad.
- d. Eficacia para la transmisión de las vibraciones.

La ponderación de cada uno de estos criterios su respectiva evaluación para cada una de las soluciones y la selección de la solución se muestran desde la tabla 4.30 hasta a tabla 4.35.

Tabla 4.30. Evaluación de cada criterio

	Costo equipo	Mantenimiento	Fiabilidad	Trasmisión vibraciones	$\Sigma + 1$	Ponderación
Costo		0.5	0	0	1.5	0.15
Mantenimiento	0.5		0	1	2.5	0.25
Fiabilidad	0.5	1		0	2.5	0.25
Trasmisión vibraciones	0.5	1	1		3.5	0.35
					3.5	1.0
		Suma			10	1.0

Trasmisión vibraciones > Alta Fiabilidad = Fácil Mantenimiento > Costo

Fuente: Diseño de una maquina semiautomática para la fabricación de adoquines y bloques.
<file:///D:/Tesis%20Vibrador/TEIS/Tesis/Contenido%20de%20tesis/proyecto%20para%20la%20fabricacion%20de%20adoquines%20CALCULOS%20DE%20DISEÑO.pdf>

Tabla 4.31. Evaluación de las alternativas respecto al costo

	Costo	Alternativa 1	Alternativa 2	$\Sigma + 1$	Ponderación
Alternativa 1			1	2	0.67
Alternativa 2		0		1	0.33
				3	1.0

Alternativa 1 > Alternativa 2

Fuente: Diseño de una maquina semiautomática para la fabricación de adoquines y bloques.
<file:///D:/Tesis%20Vibrador/TEIS/Tesis/Contenido%20de%20tesis/proyecto%20para%20la%20fabricacion%20de%20adoquines%20CALCULOS%20DE%20DISEÑO.pdf>

Tabla 4.32. Evaluación de las alternativas respecto a la facilidad de mantenimiento

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

Fuente: Diseño de una maquina semiautomática para la fabricación de adoquines y bloques.
<file:///D:/Tesis%20Vibrador/TESIS/Tesis/Contenido%20de%20tesis/proyecto%20para%20la%20fabricacion%20de%20adoquines%20CALCULOS%20DE%20DISEÑO.pdf>

Tabla 4.33. Evaluación de las alternativas respecto a la fiabilidad

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

Fuente: Diseño maquina

de una

semiautomática para la fabricación de adoquines y bloques.
<file:///D:/Tesis%20Vibrador/TESIS/Tesis/Contenido%20de%20tesis/proyecto%20para%20la%20fabricacion%20de%20adoquines%20CALCULOS%20DE%20DISEÑO.pdf>

Tabla 4.34. Evaluación de las alternativas respecto a las vibraciones.

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

Fuente: Diseño de una maquina semiautomática para la fabricación de adoquines y bloques.
<file:///D:/Tesis%20Vibrador/TESIS/Tesis/Contenido%20de%20tesis/proyecto%20para%20la%20fabricacion%20de%20adoquines%20CALCULOS%20DE%20DISEÑO.pdf>

Tabla 4.35. Tabla de conclusiones para el módulo 4

Conclusiones	Costo	Mantenimiento	Fiabilidad	Transmisión	$\Sigma + 1$	Prioridad
				vibraciones		

Solución 1	0.67x0.15	0.67x0.25	0.67x0.25	0.67x0.35	0.67	1
Solución 2	0.33x0.15	0.33x0.25	0.33x0.25	0.33x0.35	0.33	2

Fuente: *Diseño de una maquina semiautomática para la fabricación de adoquines y bloques.*
<file:///D:/Tesis%20Vibrador/TESIS/Tesis/Contenido%20de%20tesis/proyecto%20para%20la%20fabricacion%20de%20adoquines%20CALCULOS%20DE%20DISEÑO.pdf>

De acuerdo al análisis anterior, la solución 1 se ajusta e mejor manera a los criterios establecido.

4.2.5. Selección del principio de accionamiento de la máquina

Una vez establecidas las funciones para cada módulo, se continúa con la determinación del principio de accionamiento de los componentes de la máquina. Los componentes que requieren accionamiento son:

- Mezcladora.
- Compuesta de la mezcladora y tolva.
- Movimientos de los apisonadores, molde y sistema de distribución.

4.2.5.1. Accionamiento de la mezcladora

La mezcladora se acciona mediante un motor y un reductor de velocidades. El motor es eléctrico, como fue estipulado en las especificaciones de la máquina.

4.2.5.2. Accionamiento de compuertas, molde, apisonadores y sistema de distribución.

Para el accionamiento de estos componentes se han considerado 3 opciones:

- Accionamiento mecánico

- b. Accionamiento hidráulico
- c. Accionamiento neumático

Fuente: *Diseño de una maquina semiautomática para la fabricación de adoquines y bloques.*
<file:///D:/Tesis%20Vibrador/TESIS/Tesis/Contenido%20de%20tesis/proyecto%20para%20la%20fabricacion%20de%20adoquines%20CALCULOS%20DE%20DISEÑO.pdf>

4.2.5.2.1. Accionamiento mecánico

Ventajas:

- a. Fácil mantenimiento.

Desventajas:

- a. No existe flexibilidad.
- b. Velocidad no regulable.
- c. Dificultad para automatizar.

4.2.5.2.2. Accionamiento hidráulico

Ventajas:

- a. Fácil de instalar.
- b. El movimiento es continuo.
- c. Amplia variedad de cilindros hidráulicos en el mercado.
- d. Maneja potencias elevadas.

Desventajas:

- a. Costo elevado.
- b. Velocidad baja en los actuadores.
- c. Exige mantenimiento especializado.

4.2.5.2.3. Accionamiento neumático

Ventajas:

- a. Fácil de instalar.
- b. El movimiento es continuo.

- c. Amplia variedad de cilindros neumáticos en el mercado.
- d. Costo.
- e. Disponibilidad de repuestos y accesorios en el mercado local.

Desventajas:

- a. Maneja potencias moderadas.
- b. Exige mantenimiento especializado.

4.2.5.2.4. Evaluación y selección

Tabla 4.36. Evaluación de cada criterio para el accionamiento de la máquina

	Control	Fácil	Costo	Fiabilidad	$\Sigma + 1$	Ponderación
	mantenimiento					
Control			0.5	0.5	3.0	0.30
Fácil	0		1	0.5	2.5	0.25
Mantenimiento						
Costo	0.5	0		0.5	2.0	0.20
Fiabilidad	0.5	0.5	0.5		2.5	0.25
				Suma	10	1.0
Control > Mantenimiento = Fiabilidad > Costo						

Fuente: Diseño de una maquina semiautomática para la fabricación de adoquines y bloques.
<file:///D:/Tesis%20Vibrador/TESIS/Tesis/Contenido%20de%20tesis/proyecto%20para%20la%20fabricacion%20de%20adoquines%20CALCULOS%20DE%20DISEÑO.pdf>

Tabla 4.37. Evaluación del principio de accionamiento respecto al control

Control	Mecánico	Hidráulico	Neumático	$\Sigma + 1$	Ponderación
Mecánico		0	0	1.0	0.16
Hidráulico	1		0.5	2.5	0.42
Neumático	1	0.5		2.5	0.42
			Suma	6	1.00
Hidráulico > Neumático = Mecánico					

Fuente: Diseño de una maquina semiautomática para la fabricación de adoquines y bloques.
<file:///D:/Tesis%20Vibrador/TESIS/Tesis/Contenido%20de%20tesis/proyecto%20para%20la%20fabricacion%20de%20adoquines%20CALCULOS%20DE%20DISEÑO.pdf>

Tabla 4.38. Evaluación del principio de accionamiento respecto al mantenimiento.

Mantenimiento	Mecánico	Hidráulico	Neumático	$\Sigma + 1$	Ponderación
Mecánico		0	0	1	0.17
Hidráulico	1		0	2	0.33
Neumático	1	1		3	0.50
				6	1.00

Mecánico > Neumático > Hidráulico

Fuente: Diseño de una maquina semiautomática para la fabricación de adoquines y bloques.
<file:///D:/Tesis%20Vibrador/TESIS/Tesis/Contenido%20de%20tesis/proyecto%20para%20la%20fabricacion%20de%20adoquines%20CALCULOS%20DE%20DISEÑO.pdf>

Tabla 4.39. Evaluación del principio de accionamiento en función al costo

Costo	Mecánico	Hidráulico	Neumático	$\Sigma + 1$	Ponderación
Mecánico		1	1	3	0.50
Hidráulico	0		0	1	0.17
Neumático	0	1		2	0.33
				6	1.00

Mecánico > Hidráulico

Fuente: Diseño de una maquina semiautomática para la fabricación de adoquines y bloques.
<file:///D:/Tesis%20Vibrador/TESIS/Tesis/Contenido%20de%20tesis/proyecto%20para%20la%20fabricacion%20de%20adoquines%20CALCULOS%20DE%20DISEÑO.pdf>

Tabla 4.40. Evaluación del principio de accionamiento respecto a la fiabilidad

Fiabilidad	Mecánico	Hidráulico	Neumático	$\Sigma + 1$	Ponderación
Mecánico		0	0	1	0.16
Hidráulico	1		0.5	2.5	0.42
Neumático	1	0.5		2.5	0.42
				6	1.00

Mecánico > Hidráulico

Fuente: Diseño de una maquina semiautomática para la fabricación de adoquines y bloques.
<file:///D:/Tesis%20Vibrador/TESIS/Tesis/Contenido%20de%20tesis/proyecto%20para%20la%20fabricacion%20de%20adoquines%20CALCULOS%20DE%20DISEÑO.pdf>

Tabla 4.41. Tabla de conclusiones

Conclusiones	Control	Fácil	Costo	Fiabilidad	Σ	Prioridad
		mantenimiento				

Mecánico	0.16x0.30	0.17x0.25	0.50x0.20	0.16x0.25	0.24	3
Hidráulico	0.42x0.30	0.33x0.25	0.17x0.20	0.42x0.25	0.35	2
Neumático	0.42x0.30	0.50x0.25	0.33x0.20	0.42x0.25	0.42	1

Fuente: Diseño de una maquina semiautomática para la fabricación de adoquines y bloques.
<file:///D:/Tesis%20Vibrador/TESIS/Tesis/Contenido%20de%20tesis/proyecto%20para%20la%20fabricacion%20de%20adoquines%20CALCULOS%20DE%20DISEÑO.pdf>

Por consiguiente, de acuerdo al análisis anterior, el principio de accionamiento más convenientemente para la maquina es mediante un sistema neumático.

CAPITULO V: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

5.1. Descripción de la planta de prefabricados

5.1.1. Ubicación de la planta de prefabricados

Ubicado en La Región Lambayeque, Departamento de Lambayeque, Provincia de Chiclayo, Distrito de Chiclayo, carretera Chiclayo - Pomalca km 2,5.

5.1.2. Requerimiento de elementos prefabricados para las obras de saneamiento

El siguiente cronograma muestra el requerimiento mensual histórico de elementos prefabricados.

Tabla 5.1. Cronograma histórico de entrega de elementos prefabricados a obra

Ítem	Descripción	MES 1	MES 2	MES 3	MES 4	MES 5	MES 6	MES 7	MES 8
1	Elementos prefabricados de concreto								
1.01	Suministro de tapas de buzón.								40
1.02	Suministro de cajas porta medidor de agua potable.				150	150			
1.03	Suministro de cajas de registro de alcantarillado.	100	100	100					
1.04	Suministro de Cajas circulares para sistemas eléctricos de Puesta a Tierra.							40	
1.05	Suministro de Bloques/Retenidas de AT.						10		
1.06	Suministro de Bloques/Retenidas de BT.						30		

Fuente: Propia

Es así, que muestran además de la producción histórica las metas mensuales con los hitos de entrega para la planta de prefabricados.

5.1.3. Estandarización de los productos

5.1.3.1. Para las tapas de las cajas de registro

Código: NTP 350.085 1997

Título: MARCO Y TAPA PARA CAJA DE MEDIDOR DE AGUA Y PARA CAJA DE DESAGUE. 2a. ed.

Publicado: 1997/06/28

Resumen: Establece los requisitos, muestreo y métodos de ensayo que debe cumplir los marcos y tapas que se instalan en cajas para medidor de agua y cajas de registro conexiones domiciliarias de desagüe.

5.1.3.2. Para las cajas porta medidor de agua potable y de registro de desagüe

Código: NTP 334.081 1998

Título: CAJA PORTAMEDIDOR DE AGUA POTABLE Y DE REGISTRO DE DESAGUE. 1a. ed.

Publicado: 1999/03/08

Resumen: Establece los requisitos que deben cumplir las cajas de hormigón (concreto) utilizadas como porta medidor agua potable y registro de desagüe.

5.1.3.3. Referencias normativas

- a. NTP 400.035 – AGREGADOS. Requisitos.
- b. NTP 334.040 – CEMENTO PORTLAND. Tipo 5. Requisitos.
- c. NTP 339.086 – ADITIVOS PARA HORMIGON (CONCRETO). Requisitos.
- d. NTP 339.033 – HORMIGON (CONCRETO). Método de ensayo para la elaboración y curado de probetas cilíndricas de hormigón en obra.

- e. NTP 339.034 – HORMIGON (CONCRETO). Método de ensayo a la compresión de probetas de hormigón.
- f. NTP 339.088 – HORMIGON (CONCRETO). Agua para mortero y hormigón de cemento portland. Requisitos.

5.1.4. Recursos involucrados

Se dimensionan los recursos involucrados en función del tiempo de funcionamiento de la planta y del espacio requerido.

El requerimiento de agregado grueso de Huso N° 67 nos lleva a determinar la calidad de los agregados teniendo en cuenta los siguientes parámetros:

- a. Análisis granulométrico: La gradación de los agregados deben estar dentro del rango del Huso 67 para cajas de registro y caja porta medidor.
- b. Peso específico: Su valor para agregados normales oscila entre 2 500 y 2 750Kg/m³.
- c. Porosidad: Los valores usuales en agregados normales pueden oscilar entre 0 y 15% aunque por lo general en rango común es de 1 al 5%.
- d. Resistencia: Agregados normales con Peso específico entre 2,5 a 2,7; tienen resistencias en compresión del orden de 750 a 1 200 Kg/cm².
- e. Abrasión: el valor de desgaste a la abrasión tiene que ser mucho menor que el 50%.
- f. Módulo de finura: Parámetro ideal para el diseño de mezclas.

Los resultados de estos ensayos se incluyen en el anexo N° 4.

5.1.4.1. Cantera de agregados

Existen materiales de áridos y agregados de origen aluvial fluvial, que resultan los mejores por estar lo bastante exentos de finos (limos; arcillas); y que tienen gran demanda del mercado Chiclayano y de las poblaciones en franco proceso de crecimiento de la industria de la construcción.

- a. Destacamos las Canteras Tres Tomas de Ferreñafe; Punto 5 de Pátapo y La Victoria de Pátapo. Podrán abastecer la demanda de las obras de la ciudad de Chiclayo, Lambayeque y Ferreñafe hasta por (50) cincuenta años a futuro.
- b. Las canteras de áridos y agregados de los Valles de Zaña, provincia de Chiclayo; y de Olmos en la Provincia de Lambayeque son de buena calidad y se presentan en volúmenes apreciables para abastecer sus áreas de influencia hasta por (50) cincuenta años a futuro.

Tabla 5.2. Canteras de agregados en uso en Lambayeque

Cantera	Acceso	Estado del acceso	Posibles usos	Propietario
Cantera Tres Tomas	Si	Regular	Base, Sub base granular y piedra para concreto	Asociación de trabajadores Sector 04 de Mayo
Cantera La Victoria	Si	Regular	Agregado (arena) para concreto	Asociación civil Las Canteras “Pampas de Burros” – La Victoria – Pátapo.

Fuente: Identificación de canteras en Lambayeque (Dr. Cáceres Narrea, Aníbal – FICSA-UNPRG)- <https://www.youtube.com/watch?v=sEVPNAKhQhc>

5.1.4.1.1. Cantera Tres Tomas

Esta cantera tiene buenos volúmenes de materiales de construcción, los que vienen siendo utilizados tanto en la construcción de viviendas, como en el mantenimiento de carreteras, protección de riberas, etc.; destacan las arenas, gravas y piedra de varias dimensiones.

5.1.4.1.1.1. Accesibilidad

Desde la ciudad de Chiclayo a la ciudad de Ferreñafe son 20,6 Km, al canal Taymi (Distrito de Mesones Muro) 9 Km, todo ello en una vía asfaltada en buen estado de conservación en su mayoría; del canal Taymi a la cantera Tres Tomas recorremos una vía en regular estado de 6 Km, para llegar a la cantera 1.5 Km, se podría llegar a pie o en volquetes (que van a recoger los agregados que se explotan en la zona).

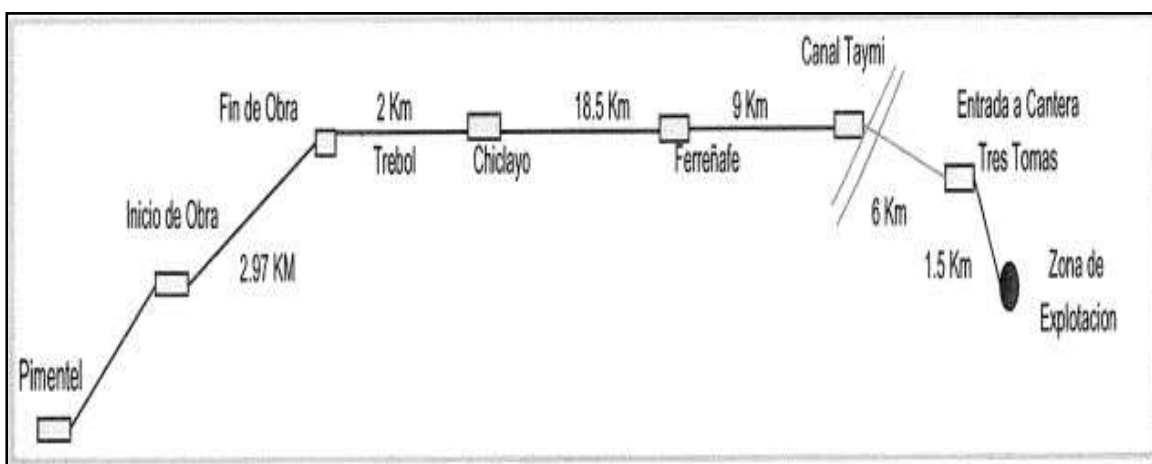


Figura 43. Vía de acceso a la Cantera Tres Tomas

Fuente: Proyecto de infraestructura Vial de transporte nacional

5.1.4.1.1.2. Descripción de la Cantera “Tres Tomas”

De los estudios realizados a la cantera tres tomas con las siguientes características:

Suelos identificados en el sistema AASHTO, como A – 1 –a (0), gravas limosas, mezcla de gravas, arena y limo de baja plasticidad.

Uso : Base, sub base, relleno y piedra para concreto.

Mesones Muro, provincia de Ferreñafe, Departamento de Lambayeque.

Potencia útil (2011)	: 45 472,08 m ³ .
Rendimiento para concreto	: 51%
Granulometría	: Uniforme
Acceso	: Tiene.
Clasificación SUCS	: GW (Grava excelente), GM (Grava buena a excelente) Anexo N° 4.
Límite líquido	: 23,22
Límite plástico	: 20,21
Índice plástico	: 3,01
Máxima densidad	: 2,21 g/cm ³ .
Humedad óptima	: 7,71 %
Abrasión	: 19,58 %

Fuente: Volumen 1, memoria descriptiva, anexo 3B

<http://gis.proviasnac.gob.pe/Expedientes/2012/LP021/015%20Autopista%20Pimentel-Chic/Estudio%20definitivo%20Pimentel%20Chiclayo/Volumen%201.%20memoria%20descriptiva,%20anexo%203B.pdf>

Se sabe que durante años esta cantera provee a empresas que explotan en conformidad, debido a que el proceso de explotación directa es muy complicado demandando mucho tiempo, por tal motivo se obtiene de una forma directa el material.

5.1.4.1.2. Cantera “Pampa de Burros – La Victoria”

Ubicado en el sector Pampa La Victoria o Pampa de Burros provincia de Ferreñafe a una distancia de 30 km de Chiclayo y a 3 km del distrito de Pátapo.

5.1.4.1.2.1. Accesibilidad

Desde la Ciudad de Chiclayo al Distrito de Pátapo son 24,2 km, al Canal Taymi 1,12 km todo ello en una vía asfaltada; del canal Taymi a la cantera La

Victoria 3,62 km de trocha carróza en regular estado de conservación 6 km y de 22,2 km hasta la zona de explotación en una vía en regular estado.

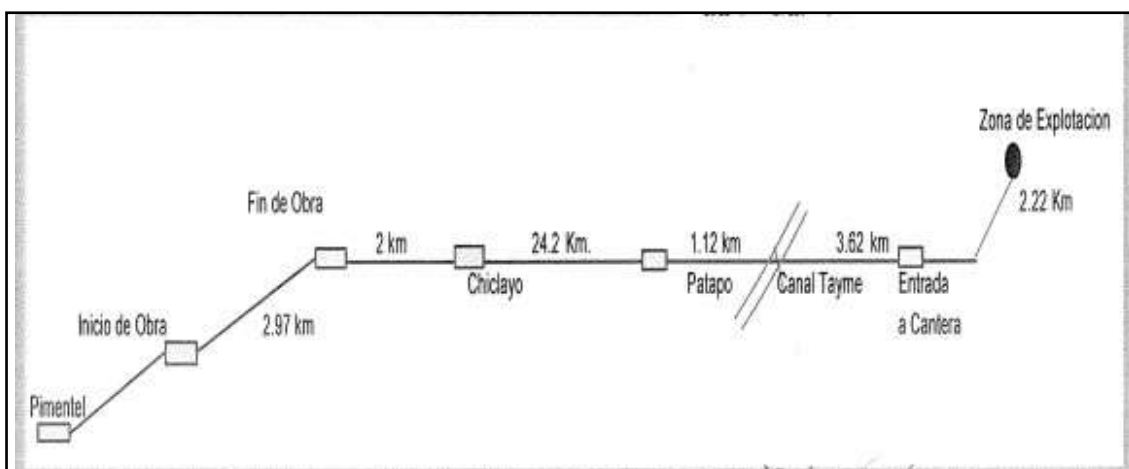


Figura 44. Vía de acceso a la Cantera “Pampa de Burros”

Fuente: Proyecto de infraestructura Vial de transporte nacional

5.1.4.1.2.2. Descripción de la Cantera “Pampa de Burros – La Victoria”

De los estudios realizados a la cantera Pampa de burros – La Victoria, con las siguientes características:

Arenas mal gradadas con pocos o nada de finos.

Uso : Arena fina para concreto.

Pampa de burros, Pátapo, provincia de Chiclayo, Departamento de Lambayeque.

Potencia útil (2011) : 11 942,34 m³.

Rendimiento para concreto : 93,3%

Acceso : Tiene.

Clasificación SUCS : SP (Arenas – Aceptable a buenas)

Fuente: Volumen 1, memoria descriptiva, anexo 3B

<http://gis.proviasnac.gob.pe/Expedientes/2012/LP021/015%20Autopista%20Pimentel-Chicl/Estudio%20definitivo%20Pimentel%20Chiclayo/Volumen%201,%20memoria%20descriptiva,%20anexo%203B.pdf>

La explotación se efectuara mediante la utilización de zarandas de $\frac{1}{4}$ ", para obtener la granulometría deseada.

Se sabe que durante años esta cantera provee a empresas que explotan en conformidad, debido a que el proceso de explotación directa es muy complicado demandando mucho tiempo, por tal motivo se obtiene de una forma directa el material. El material de agregados para concreto se comprará en cantera.

5.1.4.2. Para las cajas de registro y porta medidor de agua

El concreto debe ser una mezcla que sea resistente al ataque de sulfatos, y para lograr esto, se va a usar cemento tipo V, el agregado grueso tendrá el tamaño máximo nominal de $\frac{1}{2}$ ", por lo que el uso será el N° 67, la mezcla es de consistencia seca con 0" de Slump.

- a.** Encofrado: El encofrado será metálico, por la rigidez y múltiples usos que brinda.
- b.** Plastificante: Sika Paver AE – 1PE; facilitador de compactación y reductor de eflorescencias para la elaboración de elementos prefabricados de mezcla semi seca.

Esta innovadora tecnología de aditivos ha sido desarrollada específicamente para mezclas semi secas con bajo contenido de cemento.

- c.** Personal y mano de obra.

Tabla 5.3. Mano de obra para la producción de cajas de registro

N°	Cuadrilla	Operario	Oficial	Peón
1.00	Cuadrilla de colocación de concreto			
1.01	Para la base	3	2	1
1.02	Para el módulo intermedio	3	2	1
1.03	Para el marco pestaña	2	1	1
1.04	Para la tapa	2	1	1
2.00	Cuadrilla de habilitación de moldes	1	1	-
3.00	Cuadrilla de resane	-	1	-

Fuente: Propia

Tabla 5.4. Mano de obra para la producción de cajas porta medidor

N°	Cuadrilla	Operario	Oficial	Peón
1	Cuadrilla para colocación de concreto	3	1	1
2	Cuadrilla para habilitación de moldes	-	1	-
3	Cuadrilla para curado de concreto	-	1	-
4	Cuadrilla para solaqueado	-	1	-

Fuente: Propia

5.1.5. Equipos y maquinarias

5.1.5.1. Planta de concreto (mezcladora vertical)

Según la planificación de producción, los productos a fabricar son las cajas de registro y las cajas porta medidor. Dentro de este plan se ha establecido la producción de 400 unidades diarias en consecuencia se necesitan 5,5 m³ de concreto al día (concreto f'c = 175 Kg/cm²).

Entonces considerando la operatividad de la máquina de 8 horas, se requiere una planta de concreto que produzca 0,675 m³ de concreto por hora.



Figura 45: Mezcladora para concretos de eje vertical tipo batea

Fuente: <https://sdshengya.en.made-in-china.com/product/NyTxHMzZCEcl/China-Jq350-Portable-Concrete-Mixer-for-Block-Machine.html>

5.1.5.2. Central semiautomática para la producción de prefabricados de concreto.

Son máquinas para producciones más modestas desde 400 unidades (cajas porta medidor) y 8000 unidades (adoquín de 4x10x20cm). Tienen cierto grado de automatización, no obstante muchas de las operaciones para la fabricación deben ser asistidas por operadores. Una máquina de este tipo se puede observar en la fotografía 20.



Figura 46. Maquina semiautomática de prefabricados de concreto

Fuente:

https://www.google.com.pe/search?q=bloqueras+hidraulicas&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwirzli036rWAhVGLSYKHTqwCScQ_AUICygC&biw=577&bih=438#imgrc=OzM0OtPXYaK8fM:3.5.6.

Usualmente, en el tipo de maquina mostrada en la fotografía anterior, la compactación y desmolde se ejecutan mediante mecanismos accionados por

cilindros neumáticos o hidráulicos. La distribución del material en el molde se ejecuta de manera semiautomática. El material es dosificado y dispuesto en el molde con la ayuda de un carrito distribuidor accionado igualmente por cilindros neumáticos o hidráulicos incluidos en la máquina.

5.1.5.3. Monta carga

Este equipo transportara los elementos prefabricados tanto en el proceso productivo como en el apilamiento para el curado y secado.

Se va a requerir una unidad.



Figura 47: Mini cargador para carguío de prefabricados como también para agregados
Fuente: https://www.google.com.pe/search?biw=994&bih=442&tbm=isch&q=minicargador+bobcat+s185&sa=X&ved=0ahUKEwj3w-W75arWAhUGJiYKHGQBicQhyYIJg#imgsrc=3_C486KI67svHM:

5.1.6. Rendimientos

Los rendimientos de los diversos trabajos se resumen en el cuadro siguiente, previo a la toma de datos de las visitas realizadas a las plantas de producción:

Tabla 5.5. Rendimiento de mano de obra de la planta de prefabricados

RENDIMIENTO DE LA MANO DE OBRA PARA LA COLOCACIÓN DEL CONCRETO									
DESCRIPCIÓN	RENDIMIENTO				N° Cuadrillas	Peón	Opera rio	Ofici al	MO Sub Total
CÁLCULO DE M.O. PARA EL VACIADO DE CONCRETO DE LAS CAJAS PORTAMEDIDOR									
PARA EL CUERPO	0,02	m3	6,67	hh/m³					
2 personas/1 pieza	4	min	0,13	hh/und					
8 horas al día	480	min							

Producción diaria	120	Unid			2		1	1		4
PARA EL SOLADO	0,012	m3	3,47	hh/m³						
2 personas/1 pieza	2,5	min	0,04	hh/und						
8 horas al día	480	min								
Producción diaria	192	unid			1			1		1
CALCULO DE M.O. PARA EL VACIADO DE CONCRETO DE LAS CAJAS PORTAMEDIDOR					Nº Cuadrillas	Peón	Operario	Oficial	MO Sub	Total
PARA LA BASE	0,052	.m3	2,56	hh/m³						
2 personas/1 pieza	4	min	0,13	hh/und						
8 horas al día	480	min								
Producción diaria	120	unid			2	1	1			4
PARA EL MODULO INTERMEDIO	0,033	.m3	1,52	hh/m³						
2 personas/1 pieza	1,5	min	0,05	hh/und						
8 horas al día	480	min								
Producción diaria	320	unid			1	1	1			2
PARA EL MODULO PESTAÑA	0,019	.m3	2,63	hh/m³						
2 personas/1 pieza	1,5	min	0,05	hh/und						
8 horas al día	480	Min								
Producción diaria	320	Unid			1	1	1			2
PARA TAPA	0,0102	.m3	6,54	hh/m³						
2 personas/1	2	Min	0,07	hh/und						

pieza							
8 horas al día	480	Min					
Producción diaria	240	Unid		1	1	1	2

Fuente: Propia

5.1.7. Proceso de producción

Es necesario conocer el proceso de producción de cada elemento prefabricado para identificar los inputs y determinar las conversiones y flujos de cada actividad del proceso y de esta manera plantear alternativas de solución para reducir los desperdicios evitables, y también para establecer los puntos de control de calidad.

5.1.7.1. Para la tapas y cajas de cajas de registros y cajas porta medidor

5.1.7.1.1. Flujos de procesos productivos

Del diagrama de procesos diseñados para la producción de cada tipo de elementos prefabricados se determinaron los siguientes flujos:

- a. Realizar el control de calidad de los materiales e insumos de acuerdo a los protocolos establecidos en la planta.
- b. Transporte de material del almacén al pie del área de trabajo.
- c. Realizar el control de calidad del molde metálico (encofrado) y colocación de acero de acuerdo a los planos.
- d. Realizar el control de calidad del concreto fresco.

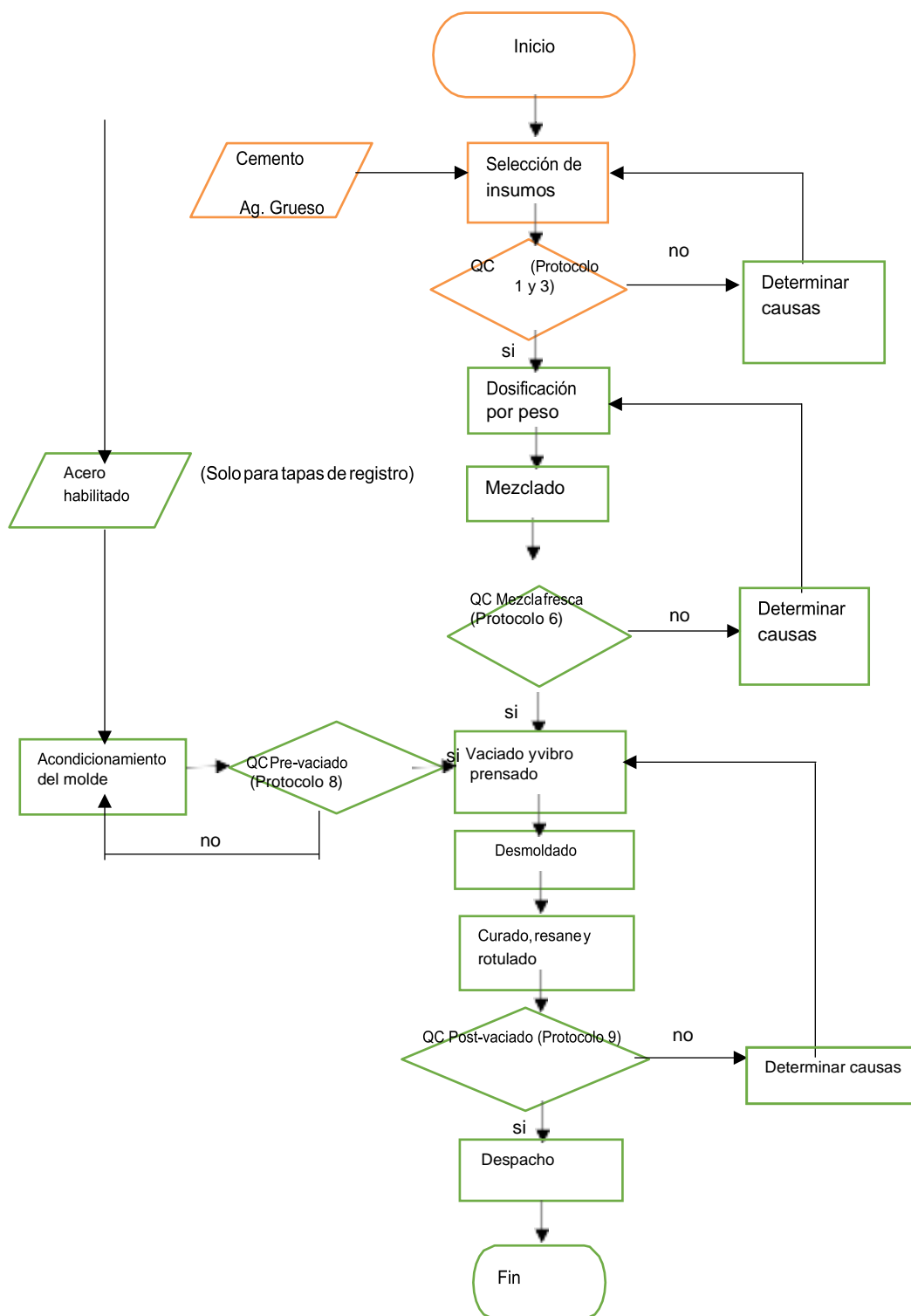


Figura 48: Flujo de Proceso Productivo

Fuente: Optimización en la producción de la planta de elementos prefabricados de concreto implementada para el proyecto de saneamiento Pachacutec– Ventanilla– Callao 2013

El proceso de fabricación de las cajas de registro de alcantarillado y cajas porta medidor de agua potable, es de la siguiente manera:

1. Se reciben los materiales e insumos para producción del elemento de concreto prefabricado, los cuales son: cemento agregados y agua.
2. Se realiza control de calidad de insumos que se van a utilizar para la preparación de mezcla de concreto, verificando que cumplan las condiciones mínimas establecidas en el diseño de mezcla y en el RNE (2012), estos parámetros son plasmados en el diseño de mezcla de protocolo N° 1 y 3.
3. De acuerdo al diseño de la mezcla de concreto se dosifica la cantidad de cada insumo por pesaje en la planta de concreto (Mezcladora VERTICAL), esta producirá 5,4 m³ de concreto $f'c = 175 \text{ Kg/cm}^2$ a diario.
4. Realizada la mezcla de concreto y lista para el traslado al área de vaciado, se procede a extraer muestras del concreto fresco para el control de slump, de la temperatura y para ensayar probetas de resistencia, los cuales se representan en el protocolo 6 de anexo N° 2.
5. Se acondiciona el encofrado metálico de cada elemento previa limpieza, sobre la maquina vibro compactadora.
6. Se realiza la liberación de los elementos controlando que el molde metálico tenga las caras que darán forma al elemento libre de residuos de cemento endurecido y otros, que las dimensiones de separación del encofrado cumplan con las especificaciones técnicas de cada elemento y estén dentro de las tolerancias establecidas; este proceso se controla con el protocolo 8 de pre-vaciado (Anexo N° 5)
7. Se traslada la mezcla de concreto desde la mezcladora hasta la tolva que alimenta el carrito repartidor, que luego vierte el concreto fresco en el molde ya acondicionado sobre la vibro compactadora.

8. Se vibra el molde hasta que el nivel de llenado del molde no disminuya.
9. Se termina el vibrado con la compactación del elemento prefabricado para luego proceder al desmolde.
10. Se retira el elemento desmoldado de la maquina vibro compactadora con el carro porta elementos vibrados con mucho cuidado hasta el patio de producción.
11. Inmediatamente se inspeccionan los elementos desmoldados y se proceden a solaquear algunas imperfecciones usando una lechada.
12. Finalmente se verifican los productos terminados por inspección visual usando el protocolo N° 9 de post-vaciado y en caso de detectar productos defectuosos se trasladan a la zona de productos no conformes y los conformes se rotulan y se entregan a obra.

5.1.8. Layout de la planta de prefabricados

Después de realizar el análisis de costos, tiempo y calidad, y aplicar la filosofía Lean Construction para reducir el tiempo de los flujos, se procede a determinar la áreas mínimas requeridas y la distribución en planta más óptima para la planta de prefabricados.

5.1.8.1. Diagrama y áreas mínimas

Con la cantidad definida de los elementos a producir diariamente, se procede a plasmar el Layout de la planta en función a la producción diaria, es así que a continuación se presenta un cuadro de resumen con las áreas mínimas necesarias para atender el requerimiento de los elementos

prefabricados.

Tabla 5.6. Dimensionamiento de áreas

DIMENSIONAMIENTO DE AREAS			
Descripción	Largo (m)	Ancho (m)	Área (m2)
Área de habilitación de acero	30	4	120
Área de almacenamiento (bolsas de cemento y acero)	8	3	24
Área del módulo Base de cajas de registro	20	5	100
Área de prod. Mod. Intermedio de las cajas de registro	20	5	100
Área de prod. Marco pestaña de las cajas de registro	20	5	100
Área de prod. Tapa de cajas de registro	20	5	100
Área de prod. Cuerpo de cajas porta medidor de agua	20	5	100
Área de prod. Solado de las cajas porta medidor	20	5	100
Área del grupo electrógeno	3	2	6
Área de oficina	3	2	6
Área de SSHH	2	1.5	3
Área de la planta de concreto (Mezcladora VERTICAL)	4	2	8
Área de central de Vibro prensado	6	4	24
Área de pozas de curado de tapas	15	4	60
Área de comedor de obreros	4	4	16
Área de tanque de agua	3	3	9
Área de almacén de herramientas	2	2	4
Área de laboratorio	2	2	4
Área de almacén de productos terminados	50	20	1000
Área de agregados	30	10	300
AREA TOTAL MINIMA PARA LA IMPLEMENTACION DE LA PLANTA DE PREFABRICADOS (m2)			2184

Fuente: Propia

5.1.8.2. Layout propuesto

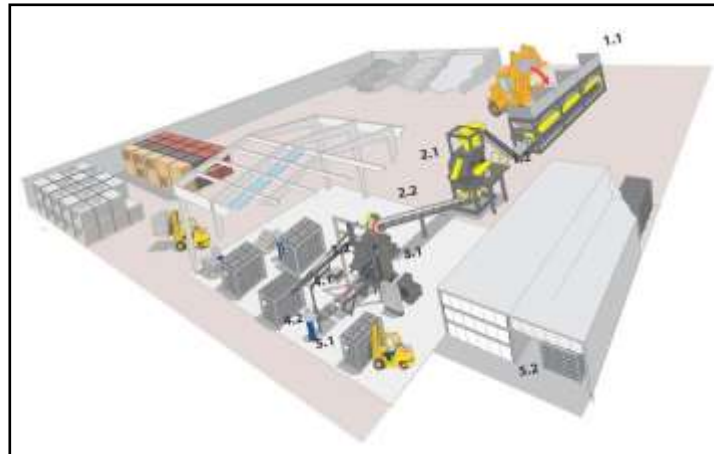


Figura 49: Esquema Layout de la planta de prefabricados de concreto

Fuente: <http://www.grupomorbeck.com/site/en/blog/bloques/factory-layout-blocks>

5.1.8.3. Fases de la producción

La idea es llegar a tener un concreto *justo a tiempo*, con las condiciones adecuadas en las que se pueda realizar un buen vaciado, sin tener esperas de las cuadrillas de vaciado y sin tener tiempos muertos de la planta durante la producción. Así se podrá cumplir la producción programada, con la utilización planificada de recursos, pues se reducirá la variabilidad.

- a. FASE I: Habilitación de los moldes en la central vibrocompactadora de los elementos prefabricados.
- b. II FASE: Preparación del concreto en la planta (Mezcladora vertical).
- c. III FASE: Colocación del concreto en los moldes habilitados en la central vibrocompactadora.
- d. IV FASE: Desmolde de los elementos prefabricados.
- e. V FASE: Ubicación de los elementos prefabricados en el patio de producción.
- f. VI FASE: Curado de los elementos prefabricados.
- g. VII FASE: Resane y codificación de los elementos prefabricados.

h. VIII FASE: Transporte a obra.

5.2. Cálculo y selección de componentes

El proceso de vibración del concreto en la construcción es de vital importancia, especialmente al hablar de **durabilidad de la estructura**.

Este proceso consiste en someter al concreto fresco a vibraciones de alta frecuencia inmediatamente después de ser vertido al molde o formaleta, mediante vibradores que funcionan con presión de aire comprimido o electricidad. Esto significa, la agitación eficaz de las partículas contenidas en la mezcla, fluidificar la mezcla y hacer que el aire atrapado, en forma de burbujas dentro de la mezcla, suba hacia la superficie.

Como es sabido, estos vacíos o burbujas de aire disminuyen la densidad del concreto haciendo que este sea más permeable, poco resistente y menos durable.

El propósito de vibrar el concreto es movilizarlo lo suficiente para que adquiera la plasticidad que le permita eliminar las burbujas de aire, y haga que las partículas de agregados se unan por gravitación y formen una masa homogénea dándole el carácter de solido monolítico.

De acuerdo a lo expuesto, con el uso de la vibración se puede colocar mezclas con menor contenido de Agua (en relación a la cantidad de agua por unidad de volumen de mezcla compactada) que las compactadas manualmente. Así mediante el uso de mezclas más consistentes y ásperas, el vibrado permite una mejora substancial de la calidad del hormigón, sin

aumentar la proporción de cemento, o bien una economía de este último para calidades equivalentes.

Las ventajas cualitativas de trabajar con mezclas con menor contenido de Agua son:

- a. Aumentar la resistencia mecánica.
- b. Mayor impermeabilidad.
- c. Mayor durabilidad y resistencia a los agentes agresivos.
- d. Menores cambios volumétricos.
- e. Menor tendencia a la segregación o exudación del agua ("Bleeding").

Debemos tener muy en cuenta, que del diseño de mezcla y de las necesidades respectivas del proyecto (prefabricado), dependen el tipo de vibrado y equipo que vayamos a utilizar.

5.2.1. Técnicas de vibrado

Los sistemas que usan técnicas de vibración, se pueden subdividir en:

- a. **Sistemas de oscilación libre**; de los cuales hablaremos en este informe.
- b. **Sistemas resonantes**; que requieren un estudio específico y profundo y no es motivo de nuestro proyecto.

El sistema de **oscilación libre** se subdivide, a su vez, en dos tipos:

- a. **Vibrado Rotacional**: La fuerza vibrante se dirige en todas las direcciones, 360° rotativamente, en sentido horario o anti horario.

b. Vibrado Unidireccional: En este método la fuerza vibrante se dirige a lo largo de una sola dirección en modo alternativo (modelo elegido en el proyecto). Figura 50.

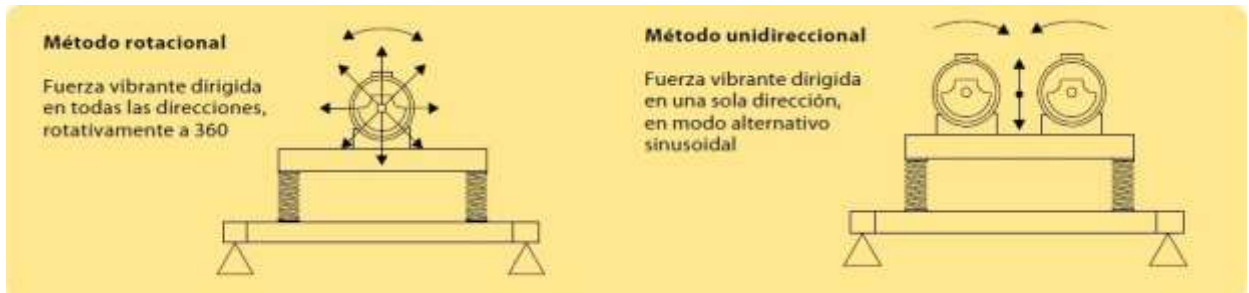


Figura 50. Vibrado Rotacional (01 eje) y Vibrado Unidireccional (02 ejes paralelos en rotación sincronizada)

Fuente: file:///D:/Tesis%20Vibrador/TESIS/vibradores%20unidireccionales%20spagnolo_completo.pdf

5.2.2. Generación de la vibración

5.2.2.1. ¿Cómo se genera el vibrado rotacional?

Se tiene un eje con masa excéntrica, apoyado sobre rodamientos y anclado solidariamente a la plataforma vibrante y conectada por medio de poleas y faja a un motor eléctrico, el cual al accionar el eje desbalanceado, crea una fuerza centrífuga dirigida en todas las direcciones que sacude fuertemente a la plataforma. Figura 51.



Figura 51. Eje con masa excéntrica

Fuente: https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-616228411-excentrico-regulable-para-mesas-vibradoras-y-zarandas-_JM

5.2.2.2. ¿Cómo se genera el vibrado unidireccional?

Se tiene dos ejes paralelos con masas excéntricas, apoyado sobre rodamientos y anclados solidariamente a la plataforma vibrante, los ejes están conectados entre sí, por medio de dos engranajes de dientes helicoidales y del mismo diámetro, además uno de los ejes está conectado al motor eléctrico por medio de un acoplamiento flexible de bandas, y este, al accionar el eje desbalanceado crea una fuerza centrífuga dirigida en todas las direcciones, y su eje paralelo originara lo mismo pero en rotación contraria logrando la suma de fuerzas en el eje “y” y la anulación de fuerzas en el eje “x”, sacudiendo fuertemente a la plataforma en una sola dirección. Figura 52.

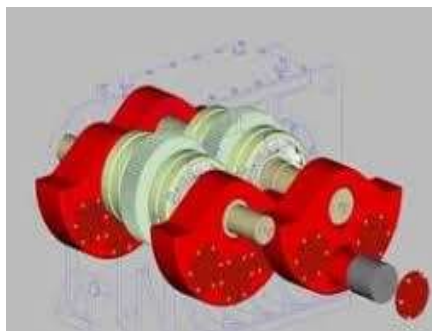


Figura 52. Ejes paralelos con masas excéntricas y en rotación opuesta

Fuente: <http://www.edilresine.cl/Venanzetti.html>

La experiencia de la empresa con ambos métodos de vibración le permite **seleccionar al método unidireccional** como el más eficiente en función a la resistencia obtenida (mejorada en un 50%), menor tiempo de vibrado y una mejora notable en el acabado superficial.

5.2.3. Principio de funcionamiento

El fenómeno de vibrado en la producción de bloques resulta indispensable para sus cualidades finales, en consecuencia vale la pena describir su funcionamiento como así también su evolución en el tiempo.

El sistema consiste en una mesa vibradora ubicada por debajo de la base del molde, en el momento de la conformación del producto prefabricado entre ellas se ubica la bandeja ⁽²⁾ sobre la cual se apoyaran los productos terminados.

La vibración se transmite desde la mesa vibradora a la base del molde en forma indirecta, interactuando entre ellas la bandeja. Estas conforman un sistema de un solo grado de libertad (1 SGLD) que durante la fase de moldeado/compactación se mueve únicamente en dirección vertical, el movimiento es proporcionado por un par de conjuntos de masas excéntricas que al estar girando en forma sincronizada y en sentido opuesto provocan el desplazamiento unidireccional en forma vertical. Figura 53.

⁽²⁾Se denomina como bandeja a la tabla/plancha por lo general fabricadas de madera sobre la cual se apoyaran los productos terminados, su superficie delimita la cantidad de productos posibles de realizar.

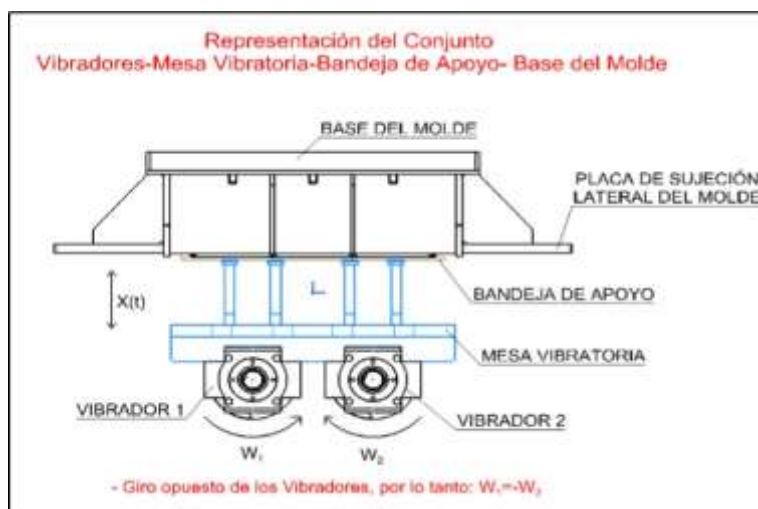


Figura 53. Esquema del conjunto completo de la mesa vibradora.

Fuente: Proyecto Integrador de la Carrera de Ingeniería Mecánica- Universidad Nacional de Córdoba.

Esta descripción general de funcionamiento se repite para cada una de las máquinas que existe en el mercado, cuya diferencia radica en los tipos de vibradores utilizados, en el lugar donde se encuentran ubicados (si en forma directa al molde o vinculada a la bandeja de vibración), en la forma de activar o desactivar su movimiento, el tipo de vínculo entre los vibradores y su unidad de potencia, etc. No obstante las particularidades que se deben cumplir en cada una de ellas son:

- a. El movimiento resultante debe ser unidireccional en forma vertical.
- b. Las variables de amplitud – frecuencia deben regularse para cada uno de los moldes que se utilicen.
- c. Los componentes de aislación deben absorber en gran parte el movimiento, a fin de transmitir la menor cantidad de vibración posible a la estructura con la que se encuentra vinculada.
- d. El sistema debe ser capaz de activarse y desactivarse en el tiempo de aplicación deseado.

5.2.4. Tipos de vibradores

Con respecto a la vinculación entre los vibradores y la base del molde podemos decir que existen dos alternativas, por un lado aquellos sistemas que se vinculan directamente y aquellos que transmiten el movimiento de una mesa vibradora y está a la base del molde respectivamente, siendo una alternativa indirecta de transmitir el movimiento.

5.2.4.1. Sistema Directo

En esta disposición el sistema de vibración se vincula a la base del molde en forma directa. Las cajas porta rodamientos se encuentran en forma solidaria a los largueros del molde a partir de una fijación por bulones.

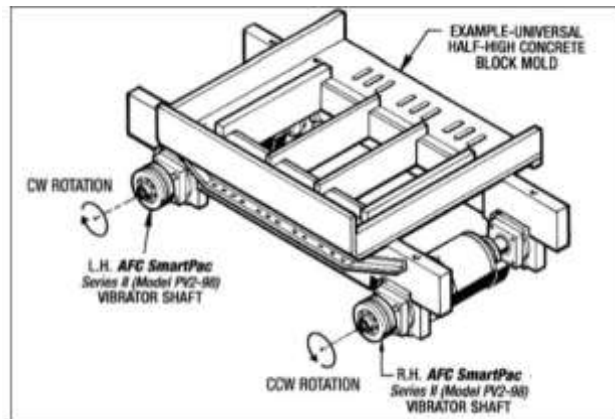


Figura 54. Bastidor del molde ensamblado (fuente: Besser Company)

Fuente: Proyecto Integrador de la Carrera de Ingeniería Mecánica- Universidad Nacional de Córdoba.

Como se observa en la figura 54, los vibradores se apoyan en forma directa a los largueros de la base del molde, de esta manera la vibración se aplica en forma directa.

La disposición del molde en la maquina se puede observar en la Figura 55 en ella es posible observar los motores eléctricos que proporcionan el movimiento, a partir de una transmisión por correa.

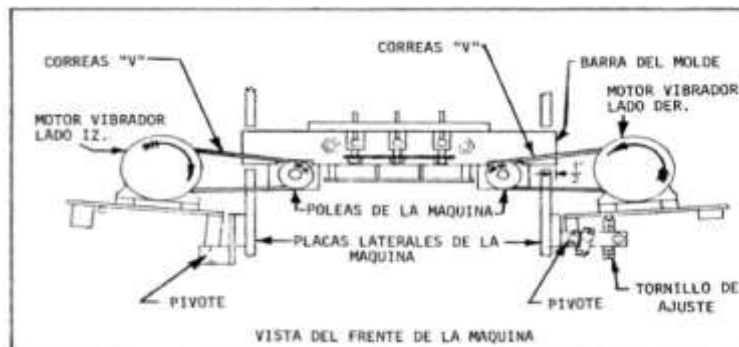


Figura 55. Vista frontal de la máquina (Fuente: Besser Company)

Fuente: Proyecto Integrador de la Carrera de Ingeniería Mecánica- Universidad Nacional de Córdoba.

5.2.4.2. Sistema indirecto

En este caso la vibración es transmitida a un bastidor sobre la cual se apoya la bandeja y esta transmite el movimiento a la base del molde, conformando una vinculación tipo sándwich con el bastidor, la bandeja y la base del molde. Figura 56.

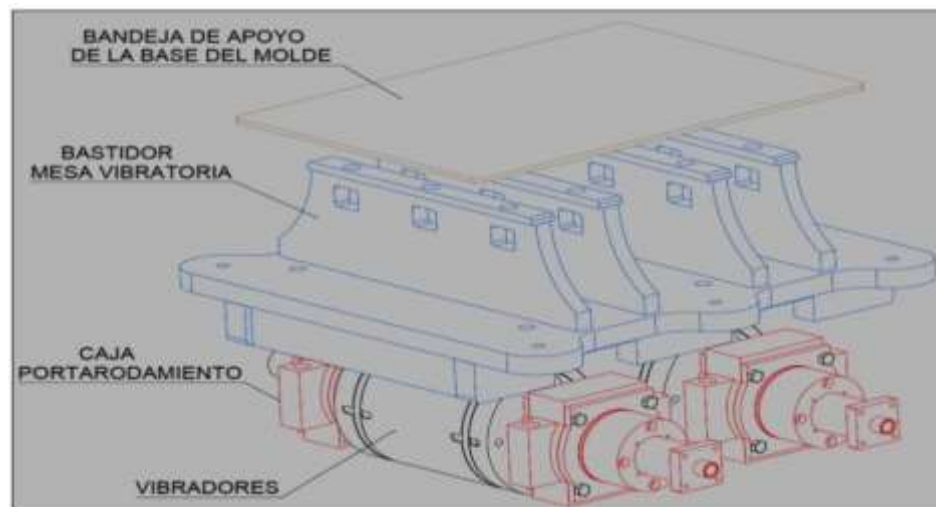


Figura 56. Sistema Indirecto de vibración

Fuente: Proyecto Integrador de la Carrera de Ingeniería Mecánica- Universidad Nacional de Córdoba.

El sistema de vibración se vincula a la mesa vibradora, provocando el movimiento axial requerido, a diferencia del sistema descrito anteriormente en este caso la vibración se transmite a la mesa y no al molde, en consecuencia se consigue una distribución más uniforme de la vibración.

En los conjuntos más modernos la caja porta buje del eje se encuentra bañado de aceite asegurando una correcta lubricación y el movimiento de rotación de los ejes se controla electrónicamente para asegurar el sincronismo de ambos y generar únicamente un movimiento unidireccional en forma vertical.

Los contrapesos (“masas excéntricas”) son similares a los utilizados en distintos sistemas, no obstante sus dimensiones como así también su disposición geométrica será diseñada en base a las prestaciones que se deban satisfacer, lo cual dependerá de la variedad de moldes que puedan montarse sobre ella.

5.2.5. Tipo de vibrador a utilizar

La máquina tendrá una mesa vibradora sobre la cual se apoyara la base del molde pero su movimiento será impulsado por un conjunto vibrador.

El desarrollo de este sistema se basa en el Método Unidireccional, el conjunto vibrador estará compuesto de 2 ejes vibradores sincronizados, con engranajes en baño de aceite con un solo motor eléctrico trifásico de 5 kW con funcionamiento Non-Stop, el motor arranca una sola vez al día.

Vibración unidireccional con preselecciones diferentes de velocidad, lograda desde el motor eléctrico hasta el conjunto vibrador por medio del sistema de transmisión conocida como CVT (Transmisión Continua Variable), tanto para el llenado, como para la compactación.

Variador de frecuencia, lo que permitirá la regulación de los valores máximo y mínimo de frecuencia para el embrague y desembrague del CVT, lo que trae como consecuencia la activación y desactivación del conjunto vibrador, sin apagar el motor.

El sistema tendrá la posibilidad de controlar no solo la frecuencia de rotación del mismo sino también la amplitud de la vibración suministrada al molde, con ello es posible obtener una mayor compactación y tiempos de ciclos más rápidos en comparación a los obtenidos con sistemas convencionales de vibración. Con este sistema es posible regular la vibración según los requerimientos del molde, optimizando los parámetros deseados para cada uno de estos. Provee una mayor versatilidad, permitiendo ofrecer una elevada calidad para cada uno de los productos elaborados.

Además el ajuste de la vibración puede ser diseñada para múltiples tiempos, dentro del ciclo de la máquina, y eso puede hacerse sobre la marcha mientras los motores siguen funcionando, no siendo necesario como en algunos vibradores contar con sistemas de frenado de la vibración.

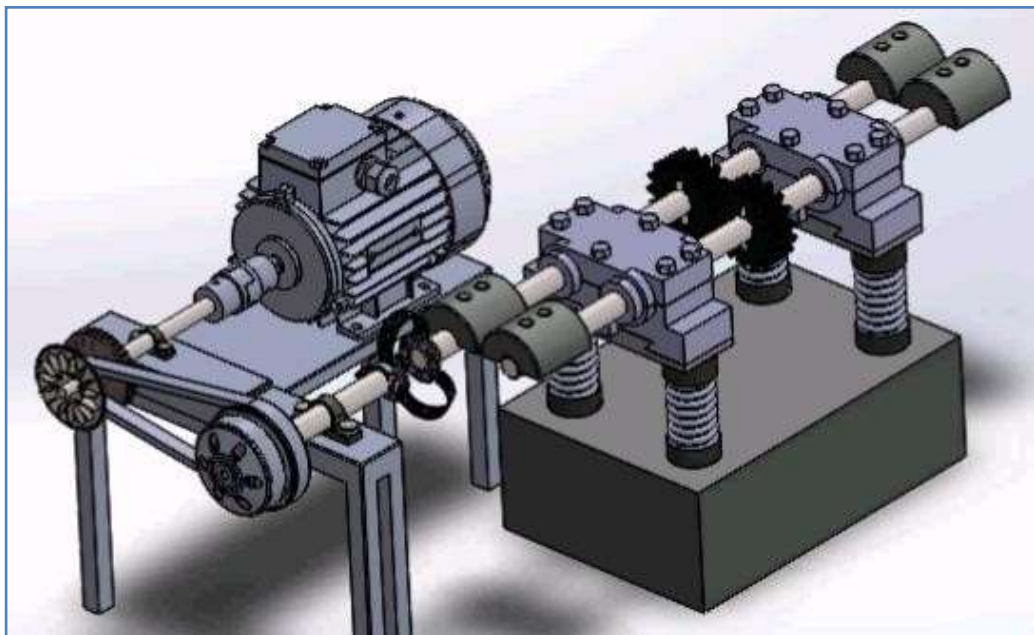


Figura 57. Diseño de sistema de vibración (Motor-CVT-Vibrador)

Fuente: Propia

5.2.5.1. Beneficios alcanzados con su utilización:

- a. Reduce considerablemente el mantenimiento del motor del vibrador.

- b. La frecuencia puede ser controlada desde el panel de control durante el ciclaje de la máquina.
- c. Ajustes independientes de la vibración en el llenado de la máquina.
- d. Mayor vida útil del molde en comparación con los sistemas de vibración convencional.

Antes de continuar con la descripción y características del vibrador, es necesario repasar algunos de los conceptos teóricos acerca de la vibración generada por una masa desbalanceada, sobre los cuales se apoya el desarrollo de este vibrador.

5.2.6. Conceptos teóricos

Se hace referencia sobre algunos de los conceptos más importantes involucrados en un sistema vibratorio, a fin de tenerlos presentes sobre el desarrollo del trabajo. Luego se describen todos los conceptos de vibración asociados al caso de una **masa desbalanceada**, ya que en nuestro caso el movimiento oscilatorio se genera a través de este medio.

5.2.6.1. Conceptos básicos de la vibración.

5.2.6.1.1. Vibración

Es la variación o cambio de configuración de un sistema en relación al tiempo, en torno a una posición de equilibrio estable, su característica fundamental es que es periódico, siendo frecuente el movimiento armónico simple, por lo que este movimiento adquiere una singular importancia en los estudios vibratorios.

5.2.6.1.2. Partes elementales de sistemas vibratorios

Por lo común un sistema vibratorio incluye un medio para almacenar y liberar energía potencial (resorte o elasticidad), cuya magnitud queda representada por el valor de la rigidez “K” del sistema, un medio para conservar y liberar energía cinética (masa o inercia del sistema, representado por lo general por la letra “M”) y un medio por el cual la energía se pierde gradualmente (amortiguador) cuya magnitud se representa por el coeficiente de amortiguamiento equivalente “C” (si bien no es objeto de este escrito, vale la pena aclarar que existen diversos mecanismos de amortiguamientos, entre ellos el amortiguamiento viscoso, de Coulomb o de fricción seca, material o sólido o histérico y el amortiguamiento por fluido).

5.2.6.1.3. Cantidad de grados de libertad

El mínimo de coordenadas independientes requerido para determinar por completo todas las partes de un sistema en cualquier instante de tiempo define la cantidad de grados de libertad del sistema. En la siguiente imagen se muestran algunos ejemplos:

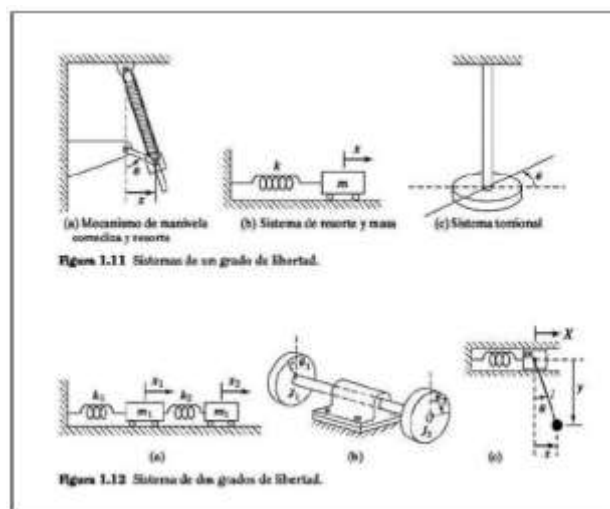


Figura 58. Grados de libertad

Fuente: (Gentileza del Capítulo 1 – Vibraciones mecánicas 5ta. Ed. RAO).

http://vibracionesmecanicas-esimecu-isisa.blogspot.com/2014/09/grados-de-libertad_2.html

5.2.6.1.4. Clasificación de la vibración

La vibración se puede clasificar de varias formas, entre las clasificaciones más importantes se destacan las siguientes:

5.2.6.1.4.1. Vibración libre

Si se deja que un sistema vibre por sí mismo después de una perturbación inicial, la vibración resultante se conoce como vibración libre. Ninguna fuerza externa actúa en el sistema. La oscilación de un péndulo simple es un ejemplo de ello.

5.2.6.1.4.2. Vibración forzada

Si un sistema se somete a una fuerza externa (a menudo, una fuerza repetitiva) la vibración resultante se conoce como vibración forzada. La vibración que aparece en máquinas como motores diésel es un ejemplo de vibración forzada. Si la frecuencia de la fuerza externa coincide con la frecuencia natural del sistema ocurre una condición conocida como resonancia, y el sistema sufre oscilaciones peligrosamente grandes. Las fallas de estructuras como edificios, puentes, turbinas y alas de avión se asocian a la ocurrencia de resonancia.

5.2.6.1.4.3. Vibración amortiguada y no amortiguada

Si no se pierde o disipa energía por fricción u otra resistencia durante la oscilación, la vibración se conoce como vibración no amortiguada. Sin embargo, si se pierde energía se llama vibración amortiguada. En muchos sistemas físicos, la cantidad de amortiguamiento suele ser tan pequeña que puede ser ignorada en la mayoría de las aplicaciones de ingeniería. Sin embargo la consideración del amortiguamiento se vuelve extremadamente

importante al analizar sistemas vibratorios próximos a la resonancia.

5.2.6.1.4.4. Vibración lineal y no lineal

Si todos los componentes básicos del sistema vibratorio, el resorte, la masa y el amortiguamiento se comportan linealmente, la vibración resultante se conoce como vibración lineal. Pero si cualquiera de los componentes básicos se comporta de manera no lineal, se conoce como vibración no lineal.

5.2.6.1.4.5. Vibración determinística y aleatoria

Si el valor o magnitud de la excitación (fuerza o movimiento) que actúa en un sistema vibratorio se conoce en cualquier tiempo dado, la excitación se llama determinística y en consecuencia la vibración resultante se conoce como vibración determinística. En algunos casos la vibración es no determinística u aleatoria; el valor de la excitación en un momento dado no se puede pronosticar. En estos casos, una recopilación de registros de la excitación puede presentar cierta regularidad estadística. Es posible estimar promedios como los valores medio o medios al cuadrado de la excitación.

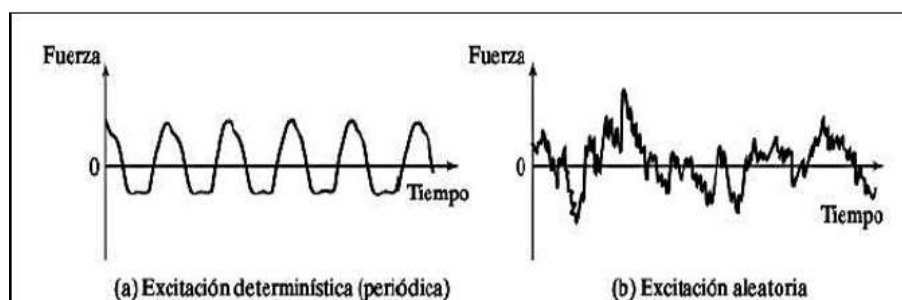


Figura 59. Tipos de excitación de acuerdo a la fuente generadora

Fuente: (Gentileza del Capítulo 1 – Vibraciones mecánicas 5ta. Ed. RAO).

<https://www.slideshare.net/Masson72/vibraciones-unidad-1-57136601>

Ejemplos de excitaciones aleatorias son la velocidad del viento, la aspereza del camino y el movimiento de tierra durante sismos. Por lo tanto si la excitación es aleatoria la vibración se conoce como vibración aleatoria.

5.2.6.1.5. Frecuencia natural “ ω_n ” y Factor de amortiguamiento “ ζ ”

La definición de ambos parámetros resulta de gran importancia, no solo porque las cantidades de estos parámetros dependen de las propiedades del sistema sino también porque las respuestas del mismo pueden interpretarse en base a los valores de estos parámetros.

5.2.6.1.5.1. Frecuencia natural “ ω_n ”

En el caso de las oscilaciones por traslación en un sistema de un solo grado de libertad, la frecuencia natural “ ω_n ” se define como:

$$\omega_n = 2\pi f_n = \sqrt{\frac{K}{M}} \text{ (rad/s)} \dots\dots\dots (5.1.6.1.5.1.1)$$

Dónde:

K es la rigidez del Sistema.

M es la masa del Sistema.

La cantidad “ f_n ” se denomina frecuencia natural, tiene unidades de Hz.

Con el valor de la frecuencia natural del sistema es posible conocer si el sistema está o no en resonancia, en base a la frecuencia de excitación establecida. La resonancia es una condición indeseable y en consecuencia con la determinación de la frecuencia natural, es posible determinar en forma rápida y sencilla que frecuencia de excitación “ ω ” implica dicha condición. Además

con su determinación es posible determinar la relación adimensional de frecuencias “ $\Omega=\omega/\omega_n$ ” que posteriormente se utiliza para caracterizar la respuesta de un sistema en forma adimensional y analizar su comportamiento.

5.2.6.1.5.2. Factor de amortiguamiento “ ζ ”

Para el caso de oscilaciones por traslación en un sistema de un grado de libertad se define por factor de amortiguamiento o relación de amortiguamiento ζ a la siguiente relación adimensional:

$$\zeta = \frac{c}{2m\omega_n} = \frac{c}{2\sqrt{k}} = \frac{c\omega_n}{2k} \dots\dots\dots (5.1.6.1.5.2.1)$$

Donde:

“c” es el coeficiente de amortiguamiento del sistema en unidades de (N.s/m)

“k” es la rigidez del sistema.

“m” es la masa del sistema.

Se define como **amortiguamiento crítico** a la cantidad:

$$C_c = 2m\omega_n = 2\sqrt{k} \dots\dots\dots (5.1.6.1.5.2.2)$$

El sistema oscilatorio puede caracterizarse en función del valor que adopte el factor de amortiguamiento en distinto tipos de respuestas²¹, las cuales se distinguen a continuación:

Si:

$\zeta = 0 \rightarrow$ Sistema no amortiguado

$0 < \zeta < 1 \rightarrow$ Sistema subamortiguado

$\zeta = 1 \rightarrow$ Sistema amortiguado crítico

$\zeta > 1 \rightarrow$ Sistema sobreamortiguado

Cada uno de estos casos tiene sus particularidades, no obstante no es objeto de este escrito su desarrollo, pero si vale la pena aclarar que cada uno de estos representa una característica de como el sistema disipa energía y en consecuencia como la respuesta se atenúa con el transcurso del tiempo. Suele ser de gran importancia para caracterizar la parte transitoria de la respuesta de desplazamiento (la resolución de EDO, que representa el movimiento oscilatorio de un sistema, está constituida por dos términos, una representa la parte transitoria que solo está presente una cierta cantidad de períodos y por otro lado el término que representa el régimen permanente que está presente a lo largo del tiempo) la determinación del valor , además en caso de tener la respuesta en el tiempo del desplazamiento será posible determinar el valor de a partir usar el “**decremento logarítmico**”.

En algunos casos la determinación del factor de amortiguamiento nos permite determinar otros parámetros relacionados al sistema, como son la rigidez “k” o bien la frecuencia natural del sistema “ ω_n ” entre otros.

5.2.6.1.6. Ecuación rectora de movimiento de un sistema de un grado de libertad

Existen dos métodos para la determinación de la ecuación que gobierna el movimiento de un sistema de un grado de libertad, el primero consiste en los métodos de equilibrio de fuerzas y balance de momentos, y el segundo se basa en las ecuaciones de Lagrange. Si bien son dos métodos diferentes se llega al mismo resultado, pudiendo expresar la ecuación de la siguiente manera:

$$m \frac{\partial^2 x}{\partial t^2} + c \frac{\partial x}{\partial t} + kx = (t) \dots\dots\dots (5.1.6.1.6.1)$$

O bien en término de la frecuencia natural y el factor de amortiguamiento, la ecuación puede escribirse:

$$\frac{\partial^2 x}{\partial t^2} + 2\zeta\omega_n \frac{\partial x}{\partial t} + \omega_n^2 x = \frac{f(t)}{m} \dots\dots\dots (5.1.6.1.6.2)$$

5.2.6.2. Sistemas con Masas Rotatorias Desbalanceada

Muchas máquinas giratorias, como ventiladores, secadoras de ropa, motores de combustión interna y motores eléctricos tienen un cierto grado de desbalanceo, las cuales representan una de las causas principales de vibración. Al modelar estos sistemas de un solo grado de libertad (1 SGLD) se supone que el desbalanceo genera una fuerza que actúa sobre la masa del sistema, la cual se transmite a través del resorte y el amortiguador a la base fija. A continuación se muestra un ejemplo de ello:

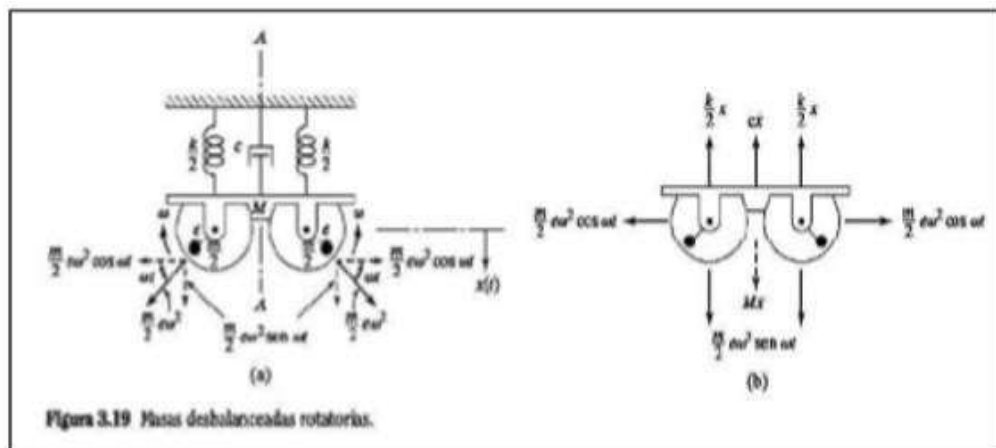


Figura 60. Esquema de un sistema con masas rotatorias desbalanceadas
Fuente: Gentileza del Capítulo 3– Vibraciones mecánicas 5ta. Ed. RAO.

En la figura se muestra un modelo simplificado de una máquina, en la cual la masa total se representa por medio de “M”, y tiene dos masas excéntricas “m/2” que giran en sentido opuesto con una velocidad angular “ω” constante, La fuerza centrífuga “ (mεω²)/2 ” producida por cada masa será la encargada de excitar a la masa M. Como ya se mencionó con anterioridad la

finalidad que ambas giren con la misma velocidad pero en sentido opuesto hace que el sistema solo tenga un desplazamiento vertical, provocado por la suma de ambas componentes de excitación vertical de la fuerza centrífuga. Mientras las componentes de excitación horizontal se anulan y en consecuencia el sistema no posee movimiento horizontal alguno.

Si la posición horizontal de las masas se mide respecto al plano horizontal, la ecuación de movimiento del sistema se puede escribir a partir de:

$$m \frac{\partial^2 x}{\partial t^2} + c \frac{\partial x}{\partial t} + kx = f(t) = m\varepsilon\omega^2 \text{sen}(\omega t) \dots\dots\dots (5.1.6.2.1)$$

En términos de la frecuencia natural y el factor de amortiguamiento, la ecuación puede expresarse como:

$$\frac{\partial^2 x}{\partial t^2} + 2\zeta\omega_n \frac{\partial x}{\partial t} + \omega_n^2 x = f(t) = \frac{m\varepsilon\omega^2}{M_1} \text{sen}(\omega t) \dots\dots\dots (5.1.6.2.2)$$

Donde:

$$F_a = m\varepsilon\omega^2 \rightarrow \text{magnitud de la fuerza aplicada desbalanceada}$$

$$M_1 = M + m \rightarrow \text{La masa total}$$

$$\omega_n = \sqrt{\frac{K}{M_1}} \rightarrow \text{Frecuencia natural del sistema}$$

Si introducimos el término de tiempo adimensional $\tau = \omega_n t$ se tiene:

$$\frac{\partial^2 x}{\partial \tau^2} + 2\zeta \frac{\partial x}{\partial \tau} + x = f(\tau) = M_\varepsilon \Omega^2 \text{sen}(\Omega \tau) \dots\dots\dots (5.1.6.2.3)$$

Donde:

$$M_{\varepsilon} = \frac{m\varepsilon}{M_1}$$

$$\Omega = \frac{\omega}{\omega_n} \rightarrow \text{Relación de frecuencias}$$

Al resolver esta ecuación, llegamos a la siguiente solución de la respuesta en desplazamiento:

$$x(\tau) = M_{\varepsilon} H_{desb}(\Omega) \text{sen}(\Omega\tau - \theta(\Omega)) \dots\dots\dots (5.1.6.2.4.)$$

Donde la respuesta en amplitud (\square) y la respuesta de fase $\theta(\Omega)$ se determinan por medio de:

$$H_{desb}(\Omega) = \Omega^2(\Omega) = \frac{\Omega^2}{\sqrt{(1-\Omega^2)^2 + (2\zeta\Omega)^2}} \dots\dots\dots (5.1.6.2.5)$$

$$\theta(\Omega) = \text{Tan}^{-1} \frac{2\zeta\Omega}{1-\Omega^2} \dots\dots\dots (5.1.6.2.6)$$

Tanto la respuesta de **Velocidad y Aceleración** se consiguen al derivar esta ecuación, pudiéndose manifestar de la siguiente forma:

$$\dot{x}(\tau) = M_{\varepsilon} \Omega H(\Omega) \cos(\Omega \tau - \theta(\Omega)) \dots\dots\dots (5.1.6.2.7)$$

$$\ddot{x}(\tau) = -M_{\varepsilon} \Omega^2 H(\Omega) \sin(\Omega \tau - \theta(\Omega)) = -\Omega^2 x(\tau) \dots\dots\dots (5.1.6.2.8)$$

Como puede observarse en la ecuación de la aceleración, para las oscilaciones armónicas, la magnitud de la aceleración es igual al cuadrado de la relación de frecuencias “ Ω ” por la magnitud del desplazamiento, y la respuesta de la aceleración retrasa 180° la respuesta del desplazamiento. Si comparamos estas ecuaciones con las obtenidas para un sistema en el cual la excitación armónica se aplica en forma directa sobre la masa, podemos visualizar que las respuestas de fase son las mismas y las respuestas en amplitud son distintas. Estas diferencias y similitudes se pueden apreciar de mejor manera al comparar las gráficas de ambas magnitudes²⁵ en cada uno de los sistemas.

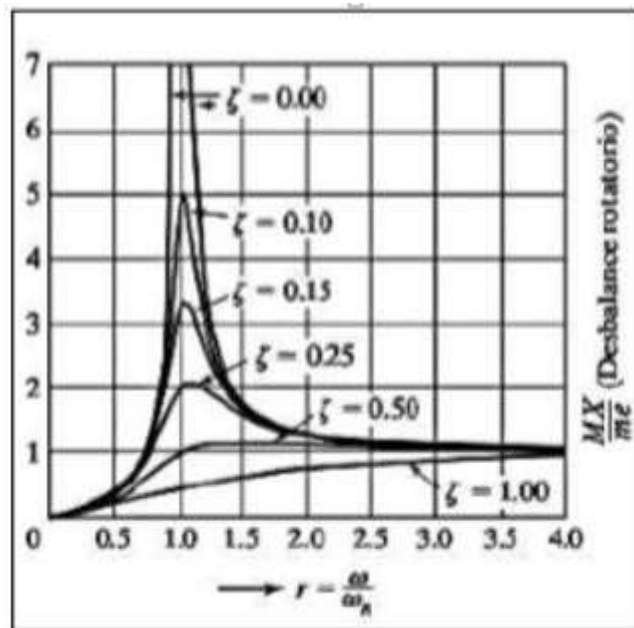


Figura 61. Respuesta en amplitud Vs Relación de frecuencias
Fuente: Gentileza del Capítulo 3 – Vibraciones mecánicas 5ta. Ed. RAO.

En nuestro trabajo nos remitiremos al análisis de las curvas pertenecientes a un sistema con masa desbalanceada, con el objetivo de comprender la respuesta del sistema bajo dicha excitación, como así también tener una visión clara de cómo la variación en los parámetros del mismo (excitación, rigidez, amortiguamiento e inercia) implican un cambio en la respuesta. Por lo tanto, con la respuesta del sistema se buscar comprender en base a la comparativa con el resto de las curvas en que situación estamos y en base ello analizar si es necesario o no la modificación de alguno de nuestros parámetros (en caso de tener una respuesta inapropiada a nuestras expectativas, se puede analizar si es necesario la modificación de la frecuencia natural “ ω_n ” a partir de la rigidez o masa del sistema, si se desea un menor desplazamiento incrementar el amortiguamiento, etc.) Las curvas se representan en la siguiente imagen:

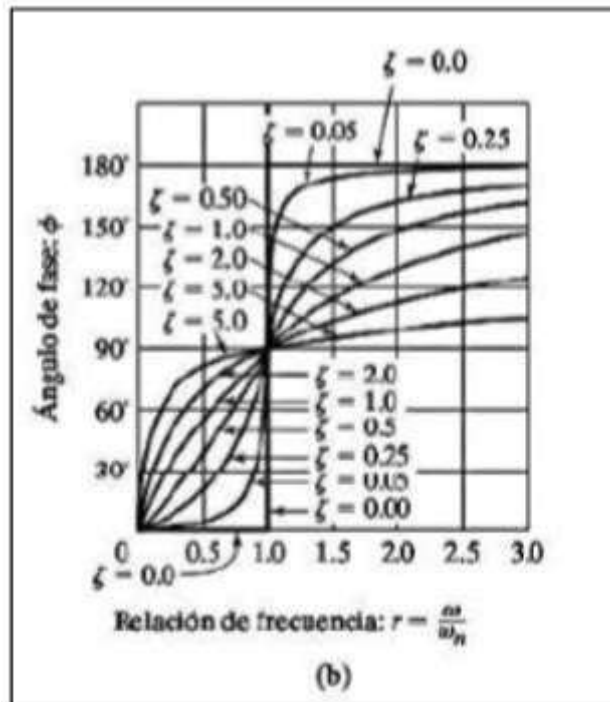


Figura 62. Ángulo de fase Vs Relación de frecuencias.
Fuente: Gentileza del Capítulo 3 – Vibraciones mecánicas 5ta. Ed. RAO.

De la visualización de ambas Figuras se pueden hacer las siguientes observaciones:

Todas las curvas se inician con un amplitud cero. La amplitud cerca de la resonancia ($\omega = \omega_n$) **se ve marcadamente afectada por el amortiguamiento**. Por lo tanto si la máquina tiene que funcionar cerca de la resonancia, deberá introducirse amortiguamiento a propósito para evitar amplitudes peligrosas.

A velocidades de excitación muy altas (ω grande), $\frac{xM_1}{m\varepsilon}$ es casi unitaria, y el efecto del amortiguamiento es insignificante.

Para $0 < \zeta < \frac{1}{\sqrt{2}}$, el valor máximo de $\frac{xM_1}{m\varepsilon}$ ocurre cuando:

$$\frac{\partial}{\partial \Omega} \left(\frac{xM_1}{m\varepsilon} \right) = 0$$

La solución de la ecuación derivada, da que el máximo ocurre cuando:

$$\Omega = \frac{1}{\sqrt{1 - 2\zeta^2}} > 1$$

Por lo tanto, los valores máximos ocurren a la derecha del valor de resonancia $\Omega=1$. Siendo el valor máximo $(\frac{xM_1}{m\varepsilon})(\text{máx.})$:

$$(\frac{xM_1}{m\varepsilon})_{(max)} = \frac{1}{2\zeta\sqrt{1-\zeta^2}} \dots\dots\dots(5.1.6.2.9)$$

Para $\zeta > \frac{1}{\sqrt{2}}$, $\frac{xM_1}{m\varepsilon}$ no alcanza un máximo, su valor crece desde cero en $\Omega = 0$ hasta 1 en $\Omega \rightarrow \infty$.

La fuerza transmitida a la base producida por la fuerza desbalanceada rotatoria (Fa) es $F(\tau) = kx(\tau) + cv(\tau)$, cuya expresión se puede determinar al reemplazar los valores del desplazamiento y de la velocidad respectivamente.

Su valor máximo puede determinarse a partir de derivar esta expresión con respecto al tiempo e igualarla a cero, llegando a la siguiente expresión:

$$|F| = m\varepsilon\omega^2 \left[\frac{1+4\zeta^2\Omega^2}{(1-\Omega^2)^2+4\zeta^2\Omega^2} \right]^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots(5.1.6.2.10)$$

5.2.7. Descripción de funcionamiento del vibrador

Describir el funcionamiento del vibrador, requiere primero, describir el funcionamiento de la maquina vibro compactadora.

Para ello empezamos por el análisis de tiempos realizado en el capítulo 3, del cual tomaremos los tiempos de la producción del módulo intermedio.

Tabla 5.7. *Función por ciclo de trabajo*

Ítem	Función por ciclo de trabajo	Tiempo(s)
1	Se traslada la mezcla de concreto desde la mezcladora hasta la tolva que alimenta el carrito repartidor	15
2	El carrito repartidor vierte el concreto fresco en el molde ya acondicionado sobre la vibro compactadora	30
3	Se vibra con un intensidad mínima el molde hasta que el nivel de llenado de concreto en el molde no disminuya	10
4	Se termina con un vibrado intenso además de la compactación del elemento prefabricado	5
5	Se procede al desmolde y retiro del elemento prefabricado	30
TOTAL por ciclo de trabajo		90s

Fuente: *Propia*

5.2.7.1. Requerimiento funcional N° 1

El vibrador requiere ser arrancado y apagado cada 90 s ó 1,5 minutos por cada ciclo de trabajo, lo que significa **40 arranques por hora** del motor que acciona el vibrador.

5.2.7.1.1. Observaciones

El número de arranques permitidos para motores eléctricos es de un máximo de 10 arranques por hora, debido al calentamiento del bobinado en el arranque.

Luego de analizar las posibles soluciones a este requerimiento se optara por la instalación de un CVT (Transmisión Continua Variable) el cual nos permitirá un embrague y desembrague suave del sistema vibrador sin tener la necesidad de apagar el motor.

El CVT también nos permitirá la óptima selección de las rpm necesarias para los distintos momentos de vibrado (llenado de molde y vibro compactación).

Se instalara un Variador de Velocidad que controle las rpm del motor.

Luego se necesita saber el flujo de concreto que se necesita por ciclo de trabajo, el cual fue calculado en el Capítulo 3, para la producción del módulo intermedio.

Tabla 5.8. Medidas estándar del módulo intermedio

Medidas	Volumen de concreto (V)	Masa/volumen
Modulo Intermedio 30x40x70	0,033 m ³	50 Kg

Fuente: NTP

Además se necesita saber la masa del molde y de la plataforma vibradora más el sistema vibrador:

Tabla 5.9. Masas de los elementos y sistemas vibratorios.

Elemento / accesorio mecánico	Masa (kg)
Molde del prefabricado	15
Plataforma vibradora	40
Sistema vibrador	35

Fuente: Propia

5.2.7.2. Requerimiento funcional N° 2

El vibrador requiere tener la fuerza centrífuga suficiente para poder sacudir y compactar la masa de concreto, además de no ser frenado por el peso de los elementos y accesorios mecánicos y el prensado hidráulico.

5.2.7.2.1. Observaciones

- a. Se incorporará el diseño de vibración unidireccional.
- b. Se necesita calcular adecuadamente la masa excéntrica del sistema vibrador para lograr una vibración óptima del concreto.
- c. Se necesita aislar la plataforma vibradora y sistema vibrador, del CVT, para lo cual estos se conectarán por medio de un acople flexible de banda.

5.2.7.3. Elementos constructivos del sistema vibrador

- a. Vibrador
- b. CVT
- c. Motor eléctrico /Variador de velocidad

5.2.7.3.1. Vibrador

Con la ayuda de la visualización del vibrador y sus partes Figura 63.b se busca introducir el concepto de funcionamiento del vibrador (el cual se desarrolla en base al Vibrado Unidireccional).

Tenemos que tener claro que la vibración del sistema se va a producir mediante una fuerza centrífuga resultado del desbalance. La imagen muestra las masas excéntricas montado en un par de ejes en rotación en sentido

contrario, las fuerzas generadas en el eje “x” se equilibran (anulan) mientras que las fuerzas generadas en el eje “y” suman, realizándose la oscilación en una sola dirección Figura 63.

El par de engranajes que conecta los dos ejes garantiza sincronismo (al interior de la carcasa). Los engranajes están protegidos por una carcasa de acero anti impacto. A los lados de la caja, hay cuatro rodamientos especialmente diseñados para maquinaria vibrante. La carcasa es adecuada para el montaje sobre la base de cualquier equipo de vibración.

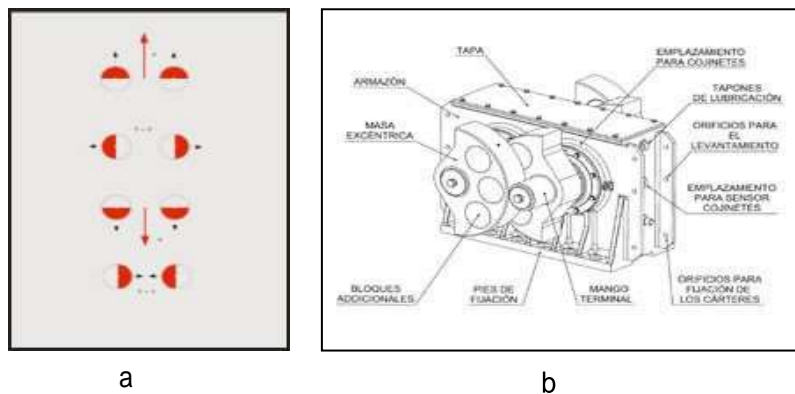


Figura 63. Sistema de vibración unidireccional

Fuente: <http://vibroin.blogspot.com/2015/04/maquinas-accionadas-por-motovibradores.html>
<http://www.edilresine.cl/Venanzetti.html>

La variación de momento se crea mediante la modificación del peso de los insertos con masas excéntricas (en plomo o acero, como en el dibujo o con placas semilunares específicas en acero).

Uno de los dos ejes debe estar conectado al CVT (Transmisión Continua Variable) con una cruceta elástica o acoplamiento de banda flexible, y esta a su vez es accionada por un motor eléctrico.

La incorporación del CVT nos permite tener un diseño confiable ya que logramos resolver las solicitudes funcionales críticas para el desempeño continuo y estable del sistema vibrador:

- a. Embrague y desembrague suave y eficiente del sistema vibrador, por cada ciclo de trabajo, sin necesidad de paradas del motor.
- b. Un solo arranque del motor del sistema vibrador.
- c. Permite una selección óptima de las rpm para cada molde.

5.2.7.3.2. CVT (transmisión continua variable)

Una Transmisión CVT es una "caja de velocidades" automática que no utiliza engranes sino una banda de goma o metálica que conecta dos poleas. Una de las poleas cuenta con un diámetro variable, lo cual permite que la transmisión ajuste el radio de la marcha con infinitas posibilidades y así para siempre estar en la marcha perfecta. El diagrama a continuación explica ese funcionamiento.

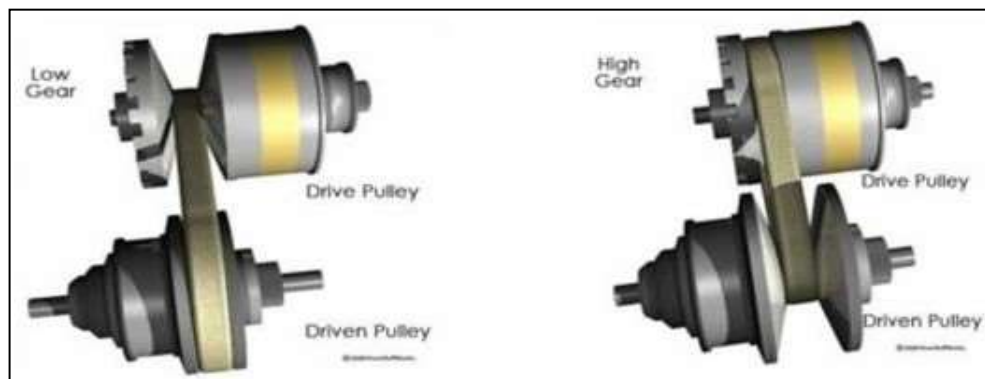


Figura 64. Funcionamiento de la transmisión del CVT

Fuente: <https://www.motorpasion.com.mx/otros/transmision-cvt-vale-la-pena-comprar-un-auto-con-ella-o-no>

Ventajas:

Después de comprender un poco más sobre el funcionamiento de una transmisión CVT, hay que hablar de las ventajas que ésta tiene sobre otras. Una de estas es su costo más bajo, el cual se debe a que una CVT utiliza menos componentes que una caja manual o automática.

La CVT es capaz de mantener la potencia y torque siempre óptimos,

esto no sólo se traduce en una mejor aceleración sino también en un menor gasto de energía. Esto se debe a que la caja cuenta con infinito número de radios de marcha.

El control del CVT se realiza variando las revoluciones del motor con un variador de velocidad

5.2.7.3.3. Motor eléctrico / Variador de velocidad

Recordemos que el principal tipo de motor usado en la industria es el motor eléctrico de inducción trifásico tipo jaula de ardilla. Fundamentalmente por los siguientes aspectos:

- d. Altos niveles de eficiencia comparado con otros tipos de motor.
- e. Bajos costos de mantenimiento.
- f. Bajo costo y facilidad de adquisición.
- g. Altos grados de protección y posibilidad de uso en áreas clasificadas.



Figura 65. Variador electrónico de velocidad

Fuente: <file:///D:/Tesis%20Vibrador/TESIS/Tesis/Contenido%20de%20tesis/WEG-seleccion-y-aplicacion-de-variadores-de-velocidad-articulo-tecnico-espanol.pdf>

El variador electrónico de velocidad o variación de frecuencia es un equipo compuesto de elementos electrónicos de potencia, que acciona un motor jaula de ardilla y realiza su arranque y su parada de manera suave. Adicionalmente, varía de manera controlada la velocidad del motor.

5.2.7.4. Cálculo de parámetros de la vibración

Como queda establecido en el apartado 5.2, las vibraciones se consiguen mediante el giro de una masa excéntrica que transmite el movimiento a una plataforma sobre la cual descansa el molde.

Como resultado del giro de la masa excéntrica, se genera vibraciones en sentido vertical y horizontal, sin embargo con el propósito de generar vibrado vertical es que trabajaran dos ejes con masas excéntricas en rotación contraria y sincronizada.

El esquema general del funcionamiento del sistema de vibración se muestra en el siguiente esquema:

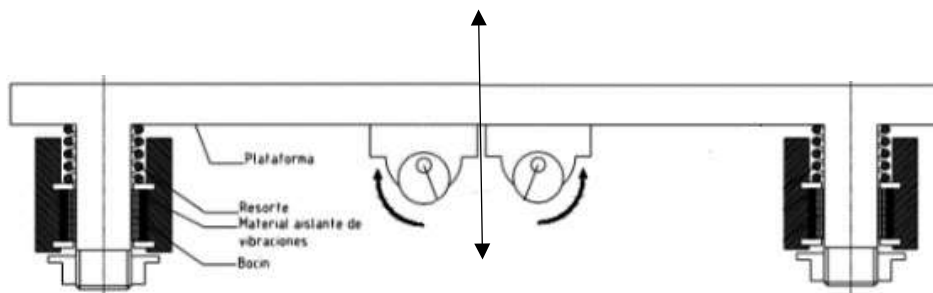


Figura 66. Esquema de funcionamiento del sistema vibrador
Fuente: Propia

Asimismo, se disminuyen las vibraciones que se transmiten al mecanismo que proporciona el movimiento vertical de desmolde, mediante el arreglo mostrado en el Figura 67.

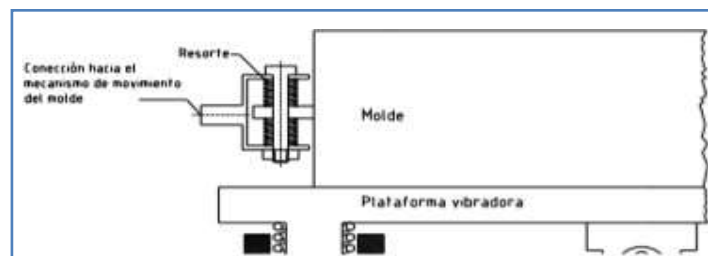


Figura 67. Sistema de aislamiento de vibraciones hacia el mecanismo de movimiento del molde
Fuente: Propia

5.2.7.4.1. Modelo matemático del movimiento vibratorio

El modelo matemático que describe el movimiento vibratorio del sistema se desarrolla de acuerdo al diagrama mostrado a continuación:

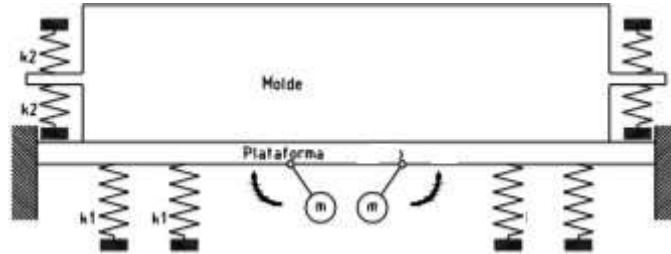


Figura 68. Esquema del sistema vibratorio
Fuente: Propia

Este diagrama puede simplificarse considerando que los resortes están en paralelo, con lo que se consigue el diagrama mostrado en el Figura 69.

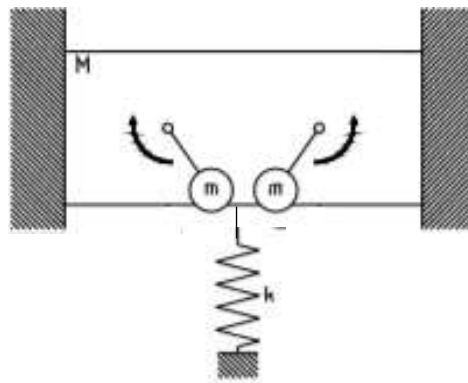


Figura 69: Esquema del sistema vibratorio
Fuente: propia

Los parámetros del sistema, mostrado en la figura anterior, tienen las siguientes equivalencias:

$$K = 4.K2 + 4.K1 \dots\dots\dots (5.1.7.4.1.1)$$

Donde:

K1 = constante del resorte que une la plataforma y el bastidor.

K2 = constante del molde que une el molde y el mecanismo de movimiento.

M_T = masa total del sistema = m₁ + m₂ + m₃ + m₄ + m₅ + 2m

Donde:

m_1 = masa de la plataforma.

m_2 = masa del molde.

m_3 = masa del material (concreto).

m_4 = masa del eje y las chumaceras.

$2m$ = masa excéntrica.

El tipo de movimiento que ejecuta el sistema en el sentido vertical es una vibración forzada sin amortiguamiento. La ecuación diferencial que gobierna este movimiento es:

$$M \frac{d^2x}{dt^2} + kx = P \dots\dots\dots (7.7.4.1.2)$$

o

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \omega^2 x = P \dots\dots\dots (7.7.4.1.3)$$

Donde:

$$\omega^2 = \frac{k}{M_T} : \text{Frecuencia natural}$$

X: desplazamiento de la masa M_T respecto a la posición de equilibrio

(considerando como positivo cuando es hacia abajo).

P: fuerza armónica.

La expresión general de la fuerza armónica es:

$$P = P_0 \sin(\omega_f t + x) \dots\dots\dots (5.1.7.4.1.4)$$

Donde:

P_0 : amplitud de la fuerza.

ω_f : frecuencia circular, correspondiente a la velocidad angular de la masa excéntrica.

X: ángulo de fase, que puede ser despreciado sin incurrir en un error importante.

$$P_o = m\omega_f^2 e \dots\dots\dots (5.1.7.4.1.5)$$

En la que “e” es el brazo de excentricidad de “m”.

Con las consideraciones anteriores la ecuación diferencial queda de la siguiente manera:

$$M_T \frac{\partial^2 x}{\partial t^2} + kx = me\omega_f^2 \text{sen}\omega_f t \dots\dots\dots (5.1.7.4.1.6)$$

Las soluciones complementarias x_a y particular x_b de la ecuación diferencial son:

$$x_a = A \text{sen}\omega t + B \cos\omega t \dots\dots\dots (5.1.7.4.1.7)$$

Donde A y B son constantes definidas por las condiciones iniciales, y:

$$x_b = \frac{me\omega_f^2}{K - M_T\omega_f^2} \cdot \text{sen}\omega_f t \dots\dots\dots (5.1.7.4.1.8)$$

El movimiento resultante del sistema es la suma de la solución complementaria y particular que representa la vibración libre y la forzada respectivamente. El movimiento que prevalece es el forzado debido a que la vibración libre es amortiguada luego de un breve lapso de tiempo, a causa de las pérdidas por histéresis de los resortes y fricción de los demás componentes, por consiguiente la solución que interesa es la particular.

La solución particular puede ser escrita del siguiente modo con el fin de introducir parámetros útiles para el análisis:

$$x_b = \frac{m e \omega_f^2}{K - M_T \omega_f^2} \cdot \text{sen} \omega_f t = \frac{x_0}{1 - r^2} \cdot \text{sen} \omega_f t = x \cdot \text{sen} \omega_f t \dots \dots \dots (5.1.7.4.1.9)$$

Donde:

$x = \frac{x_0}{1 - r^2}$: Amplitud de x_b

$x_0 = \frac{P_0}{k}$: Desplazamiento estático generado por la fuerza P_0

$r = \frac{\omega_f}{\omega}$: Razón entre la frecuencia y forzada.

Dentro del análisis resulta importante la determinación de la aceleración a la que está sometido el sistema, la cual se calcula mediante la segunda derivada de la expresión para x_b , así se tiene que:

$$a = -x \omega_f^2 \text{sen} \omega_f t \dots \dots \dots (5.1.7.4.1.10)$$

5.2.7.5. Consideraciones para el diseño del sistema vibratorio

Con el propósito de obtener una buena compactación de los prefabricados de concreto (caja de registro), lo cual resulta en una mejor resistencia del material, así como una reducción del tiempo de vibración, se hacen las siguientes recomendaciones técnicas para la compactación del concreto sobre la mesa vibradora. (**)

El rango de frecuencia optimo se ubica entre las 3 000 y 6 000 vibraciones por minuto.

Se requieren aceleraciones mínimas entre 20 y 39 m/s². Incrementos en la aceleración resultan en una disminución del tiempo de compactación.

Para una aceleración dada, una compactación más rápida resulta para una combinación de amplitudes elevadas y frecuencias moderadas.

Se debe emplear una amplitud mínima de 0,04 mm.

Otra consideración importante para el diseño de la plataforma vibratoria es que trabaje con un factor “r”, que se aleje lo suficiente de la región de resonancia, que podría producir la destrucción del sistema. Para estudiar el efecto de la frecuencia sobre la amplitud se puede trazar una gráfica “r” contra el factor de amplificación FA, que queda definido por:

$$\frac{x}{x_0} = \frac{1}{1-r^2} \dots\dots\dots (5.1.7.5.1)$$

El factor FA representa la razón entre la amplitud del movimiento forzado y la referencia arbitraria Xo.

(**) BRECON Smart vibration technology – Vibradores de alta frecuencia para concretos

file:///D:/Tesis%20Vibrador/TESIS/BRECON%20smart%20vibration%20technology_%20Alta%20Frecuencia.html

American Concrete Institute; Manual of Concrete Practice; 309.1 R-93; Reapproved 1990.

Tabla 5.10. Valores recomendados para el modo de vibración.

Tipo de proceso	Peso específico	Tamaño	Método de vibración		Vibraciones								Acelerac. en la línea de fuerza α
			Rotac.	Unidirec.	600 (50Hz)	750 (50Hz)	1000 (50Hz)	1500 (50Hz)	3000 (50Hz)	6000 (50Hz)	9000 (50Hz)		
					720 (60Hz)	900 (60Hz)	1200 (60Hz)	1800 (60Hz)	3600 (60Hz)	-	-	mxg	
Transporte	A	F		●				●	●				4÷9
Separación		M		●			●	●					4÷6
Cribado		G		●		●	●						3.5÷4.5
Orientación	B	F		●				●					5÷7
Clasificación		M		●			●						4÷5.5
Calibración		G		●		●	●						3.5÷5.5
Extracción													
Alimentación													
Limpieza filtros	A/B	F	●					●	●				2÷3
Aflojamiento y vaciado del material en silos, tolvas, etc.	A/B	F	●						●				Nota (1)
	A/B	M	●						●				
	A/B	G	●					●	●				
Lechos fluidos				●		●	●						2÷4
Separadores (ej en la molienda)				●	●	●							2÷4
Fondos vibrantes		F	●						●				0.7÷2
		M	●					●	●				
		G	●					●					
		F	●					●					
		M	●					●					
		G	●					●					
Compactación		F	●	●				●	●	●			2÷6
		M	●	●				●	●	●			
		G	●	●				●	●	●			
Compactación hormigón	-	-	●	●					●	●	●		1÷2
Bancos para test (envejecimiento acelerado)	-	-	●	●	●	●	●	●	●	●	●		0.5÷24

Fuente: Italvibras/g.silingardi: catálogo general de vibradores ES010

<file:///D:/Tesis%20Vibrador/Catalogo%20de%20motores%20vibradores%20y%20eleccion%20del%20sistema%20unidireccional.pdf>

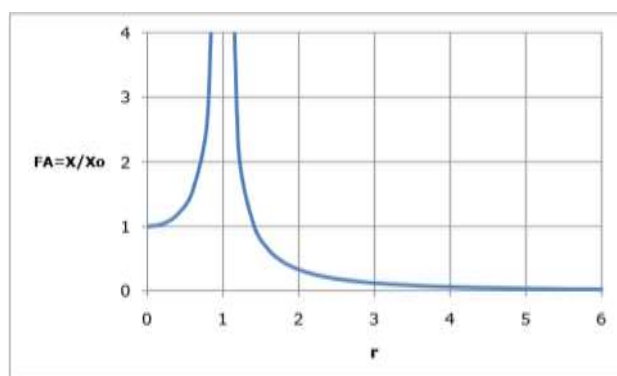


Figura 70. Curva FA – r

Fuente:

<file:///D:/Tesis%20Vibrador/TESES/Tesis/Contenido%20de%20tesis/proyecto%20para%20la%20fabricacion%20de%20adoquines%20CALCULOS%20DE%20DISEÑO.pdf>

Como se observa en el Figura 70 el factor FA crece abruptamente cuando “r” se acerca a 1, por lo que conviene emplear valores de “r” en los que FA se estabilice, esto sucede cuando $r > 5$.

Resulta útil reordenar la ecuación movimiento vibratorio para valores de $r > 1$, para evitar que la amplitud sea negativa, así se tiene:

$$x_b = \frac{x_0}{1-r^2} \cdot \text{sen} \omega_f t = \frac{x_0}{r^2-1} \cdot (-\text{sen} \omega_f t) \dots \dots \dots (5.1.7.5.2)$$

5.2.7.6. Determinación y cálculo de parámetros del sistema vibratorio

Parámetros del sistema vibratorio:

Frecuencia forzada (ω_f): La frecuencia forzada corresponde a la velocidad angular del eje que contiene la masa excéntrica. Este eje obtiene el movimiento desde un motor eléctrico mediante un sistema de banda y poleas (CVT). Los motores eléctricos trifásicos 220/380 V (se empleara un motor eléctrico trifásico), se encuentran disponibles en el mercado con velocidades de 1750 y 3500 rpm. Se empleara un motor de 3500 rpm, que cae dentro del rango admisible de frecuencias, para luego por medio del Variador de frecuencias y el CVT optimicen las rpm del proceso (aprox. 4800 rpm).

Amplitud (x): De acuerdo a las recomendaciones conviene emplear amplitudes moderadas, por consiguiente se seleccionara una amplitud de $x=1,5$ mm.

Masa total del sistema (M_T): Según los valores obtenidos en planta sobre las masas de los componentes que participan en la vibración, estos son:

m_1 = masa de la plataforma = 40 Kg m_2 = masa del molde = 15 Kg
 m_3 = masa del material (concreto) = 50 Kg
 m_4 = masa del eje, rodamientos y sus soportes = 35 Kg
 $2m$ = masa excéntrica.

Debe tenerse en cuenta que la primera etapa de vibración sucede mientras el carrito distribuidor esta sobre el molde (pero no se apoya a él), y continua cuando este se ha retirado, en una segunda etapa de vibrado (vibro compactación del concreto).

Relación de frecuencias (r): Se ejecutan cálculos para varios valores de r mayores que 5.

Una vez especificados los parámetros anteriores, queda por determinar m, e y K.

La masa excéntrica 2m se calcula despejando de la ecuación:

$$2m = \frac{\omega^2(1-r^2)}{\omega^2(r^2-1)-e\omega_f^2} \dots\dots\dots (5.1.7.6.1)$$

Donde:

$$\omega = \frac{\omega_f}{r}; \text{ y}$$

M = masa del sistema sin incluir 2m.

La constante del resorte se calcula como sigue:

$$K = \omega^2 M_T \dots\dots\dots (5.1.7.6.2)$$

Mediante una hoja de cálculo, con las ecuaciones anteriores, se obtienen para varios valores de “2m” y “e”, los siguientes parámetros:

2 m: masa excéntrica.

K : constante del resorte del sistema.

a : aceleración del sistema.

X : amplitud del sistema.

Los resultados se muestran en las siguientes tablas:

Tabla 5.11: Parámetros del sistema de vibración para $r=5$

Variables de entrada			
r	5	ω (rd/s)	100.5312
ωf (rpm y rd/s)	4800	M (kg)	140
	502.656	x (m)	0.0015
Variable entrada	Variable respuesta		
e (m)	$2m$ (Kg)	K (N/m)	a (m/s ²)
0.005	56.63	1987237.51	378.99
0.010	23.55	1652935.87	378.99
0.015	14.87	1565169.36	378.99
0.020	10.86	1524690.85	378.99
0.025	8.56	1501393.36	378.99
0.030	7.06	1486253.26	378.99
0.035	6.01	1475624.51	378.99
0.040	5.23	1467752.18	378.99
0.045	4.63	1461687.09	378.99
0.050	4.15	1456870.99	378.99

Fuente:

<file:///D:/Tesis%20Vibrador/TESIS/Tesis/Contenido%20de%20tesis/proyecto%20para%20la%20fabricacion%20de%20adoquines%20CALCULOS%20DE%20DISEÑO.pdf>

Tabla 5.12. Parámetros del sistema de vibración para $r=8$
Variables de entrada

r	8	ω (rd/s)	62.832
ω_f (rpm y rd/s)	4800	M (kg)	140
	502.656	x (m)	0.0015
Variable Entrada		Variable respuesta	
e (m)	$2m$ (Kg)	K (N/m)	a (m/s ²)
0.005	58.67	784319.90	378.99
0.010	24.25	648447.80	378.99
0.015	15.29	613047.27	378.99
0.020	11.16	596757.95	378.99
0.025	8.79	587393.35	378.99
0.030	7.25	581311.88	378.99
0.035	6.17	577044.50	378.99
0.040	5.37	573884.85	378.99
0.045	4.75	571451.17	378.99
0.050	4.26	569519.04	378.99

Fuente:

<file:///D:/Tesis%20Vibrador/TESIS/Tesis/Contenido%20de%20tesis/proyecto%20para%20la%20fabricacion%20de%20adoquines%20CALCULOS%20DE%20DISEÑO.pdf>

Tabla 5.13. Parámetros del sistema de vibración para $r=11$

Variables de entrada			
r	11	ω (rd/s)	45.696
ω_f	4800	M (kg)	140
(rpm y rd/s)	502.656	x (m)	0.0015
Variable entrada	Variable respuesta		
e (m)	$2m$ (kg)	K (N/m)	a (m/s ²)
0.005	59.29	416150.91	378.99
0.010	24.47	343425.51	378.99
0.015	15.41	324521.35	378.99
0.020	11.25	315828.82	378.99
0.025	8.86	310833.28	378.99
0.030	7.30	307589.81	378.99
0.035	6.21	305314.17	378.99
0.040	5.41	303629.42	378.99
0.045	4.79	302331.86	378.99
0.050	4.29	301301.77	378.99

Fuente:

<file:///D:/Tesis%20Vibrador/TESIS/Tesis/Contenido%20de%20tesis/proyecto%20para%20la%20fabricacion%20de%20adoquines%20CALCULOS%20DE%20DISEÑO.pdf>

Tabla 5.14. Parámetros del sistema de vibración para $r=14$

Variables de entrada			
r	14	ω (rd/s)	35.904
ω_f (rpm y rd/s)	4800	M (Kg)	140
	502.656	x (m)	0.0015
Variable entrada	Variable respuesta		
e (m)	$2m$ (Kg)	K (N/m)	a (m/s ²)
0.005	59.56	257256.93	378.99
0.010	24.56	212130.90	378.99
0.015	15.47	200412.62	378.99
0.020	11.29	195025.93	378.99
0.025	8.89	191930.70	378.99
0.030	7.33	189921.22	378.99
0.035	6.24	188511.45	378.99
0.040	5.43	187467.78	378.99
0.045	4.80	186664.00	378.99
0.050	4.31	186025.91	378.99

Fuente:

<file:///D:/Tesis%20Vibrador/TESIS/Tesis/Contenido%20de%20tesis/proyecto%20para%20la%20fabricacion%20de%20adoquines%20CALCULOS%20DE%20DISEÑO.pdf>

Según las tablas, se observa que la masa excéntrica “2m” disminuye a medida que el brazo de excentricidad “e” aumenta, por otro lado, la constante del resorte del sistema “K” disminuye a medida que la relación de frecuencias “r” aumenta. En cambio “a” permanece constante.

Para efectuar la selección de parámetros se toma un brazo excéntrico, tan pequeño como sea posible, por motivos de espacio, y que corresponda una

masa excéntrica moderada. Asimismo se selecciona una constante de resorte “K” que no sea muy grande para evitar la construcción de resortes muy rígidos cuyos materiales y procesos de construcción son más costosos.

5.2.7.6.1. Selección del motor eléctrico

Se empleara un motor trifásico de 3500 rpm cuya potencia se determinara a continuación.

La potencia requerida para ejecutar el movimiento vibratorio se puede calcular empleando la siguiente ecuación:

$$P = FV = M_T a V \dots\dots\dots (5.1.7.6.1.1)$$

En donde:

M_T : masa total del sistema.

a : aceleración del sistema.

V : velocidad del sistema.

La aceleración corresponde a la ecuación (5.1.7.6.1.1) y la expresión para la velocidad se obtiene sacando la primera derivada de la ecuación (5.1.7.6.1.1) con lo que expresión para la potencia queda:

$$P = Mx^2\omega_f^3(-sen\omega_f t.cos\omega_f t) = -\frac{Mx^2\omega_f^3}{2}.sen(2\omega_f t) \dots\dots\dots (5.1.7.6.1.2)$$

La ecuación anterior permite conocer la potencia en función del tiempo, sin embargo lo que interesa calcular es la potencia media. Para esto, se determina la energía empleada por ciclo y se la divide entre el tiempo que toma dicho ciclo en efectuarse.

La energía entregada por ciclo se calcula integrando la expresión siguiente:

$$E = - \int_{t_1}^{t_2} \frac{Mx^2\omega_f^3}{2} \cdot \text{sen}(2\omega_f t) \cdot dt \dots\dots\dots (5.1.7.6.1.3)$$

Donde los límites t_1 y t_2 son:

$$2\omega_f t_1 = 0 \rightarrow t_1 = 0$$

$$2\omega_f t_2 = 2\pi \rightarrow t_2 = \frac{\pi}{\omega_f}$$

Luego de integrar queda:

$$E = \frac{Mx^2\omega_f^2}{4} \cdot \cos\left(2\omega_f \cdot \frac{\pi}{\omega_f}\right) + \frac{Mx^2\omega_f^2}{4} \cdot \cos(2\omega_f \cdot 0) = \frac{Mx^2\omega_f^2}{4}$$

El tiempo empleado por ciclo es:

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

Por consiguiente la potencia media es:

$$P_m = \frac{\frac{Mx^2\omega_f^2}{2}}{\frac{2\pi}{\omega_f}} = \frac{Mx^2\omega_f^3}{4\pi}$$

Debe tomarse en cuenta que la energía suministrada por el motor es absorbida por el concreto, así como por los elementos mecánicos del sistema como guías, resortes, entre otros, por lo que, con el fin de obtener la potencia real “ P_{mr} ”, en la ecuación anterior se debe introducir un factor “ c ” que considere estas pérdidas (se considera que $c=1,4$). Finalmente la ecuación que permite calcular la **potencia del motor** es:

$$P_{mr} = \frac{cMx^2\omega_f^3}{4\pi} \dots\dots\dots (5.1.7.6.1.4)$$

Otro punto a tomarse en cuenta, sobre el motor de inducción, es que puede tener un aumento de la temperatura mayor, cuando es alimentado por convertidor de frecuencia, que cuando es alimentado con tensión sinusoidal. Esta sobre elevación de temperatura es decurrente de la combinación de dos factores:

- a.** El aumento de perdidas ocurrido en el motor, en función de las componentes armónicas de la tensión PWM suministrada por el convertidor, y
- b.** La reducción de la eficacia del sistema de resfriamiento, cuando el motor autoventilado opera a bajas frecuencias.

Básicamente existen las siguientes soluciones para evitar e sobrecalentamiento del motor:

- a.** Reducción del par nominal (sobredimensionamiento del motor autoventilado)

b. Utilización de un sistema de enfriamiento independiente (ventilación forzada). (*)

(*) *ecatalogo.weg.net – Catalogo técnico Mercado Latino Americano*

Los resultados de los cálculos de la potencia requerida se muestran en la tabla 5.15.

Tabla 5.15. Potencia requerida por el motor

C	1.4	ω_f (rd/s)	502.656
M (Kg)	x(m)	Potencia real (Pmr)	Potencia sobredimensionada
		P(W)de diseño	P(hp) de diseño
			P(hp) Sobredimensionada
	0.0015	4456.98	5.98
			7.5

Fuente:

<file:///D:/Tesis%20Vibrador/TESIS/Tesis/Contenido%20de%20tesis/proyecto%20para%20la%20fabricacion%20de%20adoquines%20CALCULOS%20DE%20DISEÑO.pdf>

Como se observa en la tabla anterior, se consume 5.98 hp, por tanto esta es la mínima que debe poseer el motor.

Según este requerimiento de potencia del motor, se selecciona, según catalogo Weg, uno de las siguientes características:

Potencia: 7,5 hp

Rpm : 3490

Voltaje : 380

Con Kit de ventilación forzada

Con encoders



Figura 71: Kit de ventilación forzada W22

Fuente: Catalogo WEG

Tabla 5.16. Longitud del largo del motor con Kit de ventilación forzada y características eléctricas del motor a seleccionar

Carcasa	Polos	Longitud total del motor	
		Sin ventilación forzada	Con ventilación forzada
90S	Todos	304	548
L90S	Todos	335	579
90L	Todos	329	573
L90L	Todos	360	604
100L	Todos	376	646
L100L	Todos	420	690
112M	Todos	393	660
L112M	Todos	420	690
132S	Todos	452	715
132M	Todos	490	753

www.weg.net 

W22 - IE3 Premium Efficiency - 60 Hz

Potencia		Carcasa	Par nominal (kgfm)	Corriente con rotor trabado I _h /I _n	Par con rotor trabado T _h /T _n	Par máximo T _b /T _n	Momento de inercia J (kgm ²)	Tiempo máximo con rotor trabado (s)		Peso (kg)	Nivel de ruido dB(A)	RPM	380 V						Corriente nominal I _n (A)	
								% de la potencia nominal												
								Rendimiento					Factor de potencia							
kW	HP							Caliente	Frío				50	75	100	50	75	100		
II Polos																				
0,12	0,16	63	0,034	6,3	3,3	3,2	0,0001	30	66	5,7	56	3410	54,0	61,0	64,5	0,53	0,65	0,74	0,382	
0,18	0,25	63	0,052	5,8	3	3	0,0001	25	55	6,2	56	3350	61,0	66,0	68,0	0,60	0,73	0,81	0,497	
0,25	0,33	63	0,072	5,9	3,1	3,2	0,0002	20	44	6,7	56	3385	64,0	69,0	70,0	0,58	0,71	0,80	0,679	
0,37	0,5	63	0,108	5,8	3	3	0,0002	17	37	7,7	56	3340	69,0	73,0	73,4	0,62	0,75	0,83	0,923	
0,55	0,75	71	0,158	6,4	3	3,1	0,0004	18	40	7,5	60	3400	72,5	75,5	76,8	0,69	0,81	0,87	1,25	
0,75	1	71	0,213	7,0	3,4	3,6	0,0005	17	37	9,0	60	3425	79,0	81,5	82,0	0,65	0,77	0,84	1,65	
1,1	1,5	80	0,311	8,4	3,6	3,8	0,0009	19	42	14,0	62	3445	81,0	84,0	84,6	0,64	0,76	0,83	2,38	
1,5	2	L80	0,427	7,8	3,6	3,6	0,0010	16	35	16,0	62	3425	84,0	85,0	85,7	0,68	0,79	0,85	3,13	
2,2	3	L90S	0,618	7,8	3,4	3,1	0,0023	14	31	22,0	68	3470	86,0	86,5	86,5	0,69	0,80	0,85	4,55	
3	4	L90L	0,841	7,8	3,7	3,7	0,0028	11	24	23,0	68	3475	87,0	88,0	88,5	0,62	0,75	0,82	6,28	
3,7	5	100L	1,03	8,7	3,1	3,8	0,0064	15	33	32,0	71	3505	86,4	88,3	88,6	0,69	0,80	0,86	7,38	
4,5	6	L100L	1,36	7,6	3,6	3,4	0,0080	14	25	40,0	69	3490	87,7	89,6	89,8	0,74	0,84	0,88	8,68	
5,5	7,5	112M	1,53	8,2	3	3,6	0,0095	18	40	43,0	69	3500	87,9	89,4	89,7	0,72	0,82	0,87	10,7	
7,5	10	132S	2,07	8,1	2,5	3,4	0,0218	20	44	67,0	72	3530	88,2	89,9	90,6	0,74	0,83	0,87	14,5	

Fuente: www.weg.net

5.2.7.6.2. Selección del convertidor de frecuencia

Los Convertidores de Frecuencia WEG son equipos destinados al control de velocidad de motores eléctricos de inducción trifásicos, para una amplia gama de aplicaciones industriales. Con tecnología de última generación y diseño moderno, los Convertidores de Frecuencia WEG permiten una fácil instalación/operación y se adaptan perfectamente a las necesidades de los accionamientos con una excelente relación coste beneficio.

5.2.7.6.2.1. Datos generales a considerar en la selección del Convertidor:

Red: 380 V/ 60 Hz / Trifásica

Ambiente: temperatura máxima 40°C; 1000 m altitud; atmosfera normal.

Convertidor CFW-09: $t_r=0,1 \mu s$; $f_{chav} = 5 \text{ KHz}$ (*)

(*) Guía técnica – Motores de inducción alimentados por convertidores de frecuencia PWM

5.2.7.6.2.2. CFW-09 - Tablas de selección

La forma correcta para especificar un Convertidor de Frecuencia es seleccionar un equipo que pueda suministrar como mínimo la corriente nominal del motor. Las tablas siguientes indican las potencias de motores correspondientes a cada modelo de Convertidor de Frecuencia.

Tabla 5.17. Tabla de selección

Tensión del Motor 380Vca / 460Vca:

Alimentación	Modelo	Par Constante (CT)	IEC		NEMA	Par Variable (VT)	IEC		NEMA
			50Hz 380V 415V	60Hz 380V 415V	60Hz 460V		50Hz 380V 415V	60Hz 440V 460V	60Hz 460V
			A	kW	HP		A	kW	HP
380-480 V	CFW090003T3848	3.6	1.5	2	2	3.6	1.5	2	2
	CFW090004T3848	4	1.5	2	2	4	1.5	2	2
	CFW090005T3848	5.5	2.2	3	3	5.5	2.2	3	3
	CFW090006T3848	6	4	6	6	6	4	6	6
	CFW090013T3848	13	5.5	10	7.5	13	5.5	10	7.5
	CFW090018T3848	16	7.5	16	16	16	7.5	16	16
	CFW090024T3848	24	11	15	15	24	11	15	15
	CFW090030T3848	30	15	20	20	36	18.5	25	25
	CFW090038T3848	38	18.5	30	25	45	22	30	30
	CFW090045T3848	45	22	30	30	54	22	40	40
	CFW090060T3848	60	30	40	40	70	37	50	50
	CFW090070T3848	70	37	50	50	86	45	60	60
	CFW090086T3848	86	45	60	60	105	55	75	75

Fuente: www.weg.net

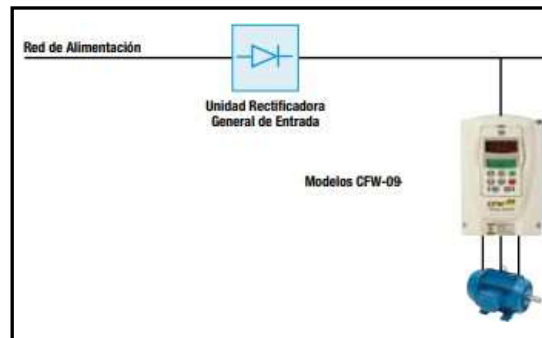


Figura 72. Diagrama típico de montaje
Fuente: www.weg.net

5.2.7.6.3. Transmisión Continua Variable (CVT)

La transmisión continuamente variable es un tipo de transmisión que estuvo presente en la industria del automóvil desde finales del siglo XIX pero fue abandonada por problemas de eficiencia y durabilidad, siendo desplazada por las transmisiones de relaciones fijas. La característica fundamental de este tipo de transmisiones es que son capaces de adoptar infinitas relaciones dentro de un rango, lo que permite, teóricamente, que el motor trabaje en su punto de máximo rendimiento con la finalidad de economizar energía y aumentar la estabilidad (no hay cambios bruscos al cambiar de una relación a otra).

5.2.7.6.4. CVT de correa de goma plana

Su funcionamiento está basado en la fricción estática, la cual supone la ausencia de movimiento relativo entre los elementos conductor y conducido. El esquema más común de este tipo de CVT es el de dos poleas de diámetro variable con una correa de longitud fija, en donde un mecanismo permite que mientras una aumenta su diámetro la otra disminuya.



Figura 73: CVT de correa de goma plana

Fuente: <https://www.youtube.com/watch?v=FKPmAfTjYYw>

Modificando la relación de transmisión. La correa presenta movimientos radiales y axiales con respecto a las poleas pero las fuerzas de fricción impiden que en teoría exista movimiento tangencial.

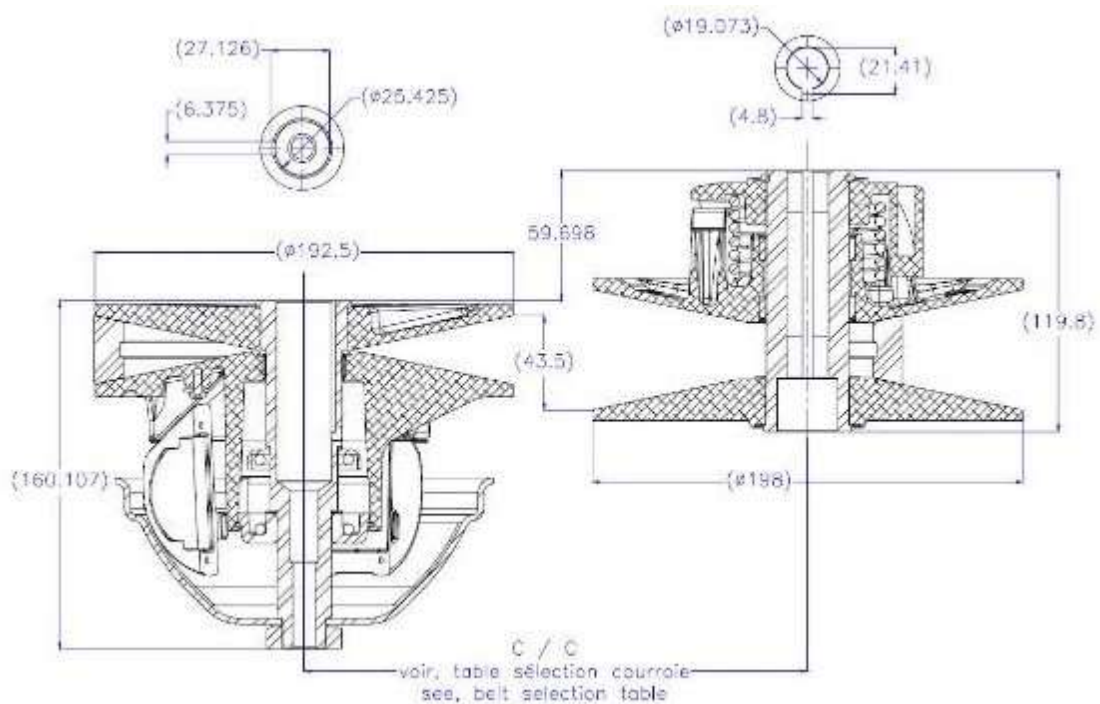


Figura 74: Detalles de poleas de diámetros variables.

Fuente: <http://159.90.80.55/tesis/000144533.pdf>

5.2.7.6.5. Selección del CVT

La CVT objeto de este estudio es la modelo#: 0600-0012 / 5100-0073® desarrollada por la empresa CVTech-IBC®. Se trata de una transmisión

continuamente variable de correa de goma en V (correa modelo#: B3211AA1008®) auto regulada mecánicamente en función de las condiciones de manejo mediante resortes y elementos inerciales. Esta CVT es construida especialmente para las competencias Baja SAE® a nivel mundial y está hecha sobre la plataforma de las CVT comerciales desarrolladas por la empresa para motos de cuatro ruedas, vehículos de nieve, etc.

Este sistema de transmisión es capaz de entregar 10 HP o 7,457 kW @ 4000 rpm y 18,6Nm @ 2600 rpm. El motor debe estar ajustado para alcanzar una velocidad angular máxima de 4800 rpm. En el rango de operación permitido se observa que éste siempre entregará mayor potencia a mayor velocidad de giro.

Las velocidades de embrague oscilan entre 1000 y 3500 rpm (*).

() Proyecto de Grado: Caracterización de la CVT del prototipo Baja SAE USB mediante la creación de un Banco de Pruebas.*

5.2.7.7. Cálculos y diseño del eje vibrador

5.2.7.7.1. Vibrador unidireccional

5.2.7.7.1.1. Comportamiento dinámico del eje del vibrador

El desarrollo del estado dinámico tiene por finalidad plasmar las cargas dinámicas que se desarrollan sobre el sistema al estar actuando una excitación que varía con el tiempo. En este caso el sistema al desbalancearse ya debería considerarse un caso dinámico en el cual a partir de una excentricidad del centro de masa del sistema se genera una fuerza centrífuga cuya magnitud es proporcional a la excentricidad y al cuadrado de la frecuencia de rotación del

árbol. La determinación de estas cargas será crucial no solo para la verificación de los rodamientos, que se encuentran ubicados en los apoyos del árbol, sino también para conocer el estado de carga del árbol y luego al plasmar los diagramas de esfuerzos, analizar que sección de este se encuentra con la mayor solicitud y sobre esta última hacer el análisis a la fatiga.

5.2.7.7.1.2. Conceptos teóricos para el análisis del árbol

Los árboles (también se conocen con el término de “flecha”) son elementos de máquinas, generalmente de sección transversal circular que giran soportando pares de torsión y transmitiendo potencia a diferencia de los ejes. En nuestro sistema la potencia aportada por el motor eléctrico será transmitida en forma directa a partir de un acoplamiento elástico. Los árboles están sometidos a torsión, flexión, carga axial y fuerzas cortantes, y al menos alguna de estas cargas es variable (en un árbol girando a un momento flector constante, actúan esfuerzos normales variables). Como los esfuerzos en los árboles son combinados y variables, debe aplicarse la teoría de fatiga para esfuerzos combinados.

Al diseñar el árbol debemos comprender las siguientes etapas:

- c.** Selección del material.
- d.** Diseño constructivo (Configuración geométrica).
- e.** Verificación a la resistencia: - Estática - A la fatiga - A las cargas dinámicas (por ejemplo cargas pico).
- f.** Verificación a la rigidez del árbol.
- g.** Análisis modal (Verificación de las frecuencias naturales del árbol).

Con respecto al material podemos decir que el más utilizado para ejes y árboles es el acero, se recomienda un acero de bajo o medio carbono, de bajo costo. No obstante, si las exigencias de las condiciones de resistencia son más exigentes que las de rigidez, podría optarse por aceros de mayor resistencia. En nuestro caso se adoptó un acero SAE 4140 para el árbol, tratado térmicamente (temple y revenido) y rectificado.

El diseño constructivo consiste en la determinación de las longitudes y diámetros de los diferentes tramos o escalones, así como en la selección de los métodos de fijación de las piezas que se van a montar sobre el árbol, para lo cual en el desarrollo del diseño se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos:

- a.** Fácil montaje, desmontaje y mantenimiento.
- b.** Compacto, se busca reducir el material tanto en longitud como en el diámetro (recordando que a mayor longitud mayores serán los esfuerzos por flexión y por ende mayores deberían ser los diámetros).
- c.** Permitir un fácil aseguramiento de las piezas sobre el árbol para evitar movimientos indeseables.
- d.** Las medidas de los diámetros deben ser preferentemente normalizadas.
- e.** Evitar discontinuidades y cambios bruscos de sección, especialmente en sitios de grandes esfuerzos.
- f.** Para evitar problemas de alineamiento es recomendable que el árbol se apoye preferentemente sobre dos puntos.
- g.** Las piezas que transmiten esfuerzos se ubiquen lo más próximo a los apoyos, con ello reducir los esfuerzos de flexión.

en consecuencia será la utilizada para el análisis de fatiga, podemos predecir que esta se encontrará sobre el plano transversal donde se ubique el centro de masa del sistema desbalanceado, cuya posición transversal (en el eje “x”) se ubica sobre el alojamiento pasante y en los extremos de los tramos BC y DE.

Con respecto a la resistencia del árbol podemos decir que estos deben tener la capacidad de soportar las cargas normales de trabajo y cargas eventuales máximas, durante la vida esperada. Por lo tanto será necesario verificar la resistencia del árbol a la fatiga y a las cargas dinámicas, estas últimas son generalmente las cargas producidas durante el arranque del equipo.

Como se podrá observar en la siguiente figura, en cualquier sección transversal del árbol existe, en general, un par de torsión T , una carga axial F , una fuerza cortante V , y un momento flector, M . Estas cargas producen los siguientes esfuerzos:

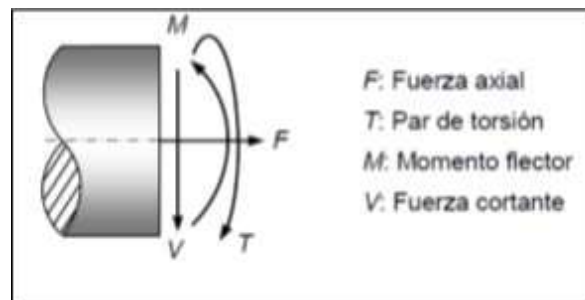


Figura 76: Esfuerzos en una sección transversal del Árbol

Fuente:

<file:///D:/Tesis%20Vibrador/TESIS/Tesis/Contenido%20de%20tesis/Proyecto%20Integrador%20IM%20Unidireccional-%20Maquina%20de%20Bloques%20de%20Hormigón.pdf>

Esfuerzos cortantes producidos por el par de torsión. Si la sección circular es sólida, los puntos de mayor esfuerzo son los ubicados en la periferia y dicho esfuerzo está dado por:

$$\tau = \frac{T * c}{j} \dots\dots\dots (5.1.7.7.1.2.1)$$

Donde T, c y J, son el par de torsión, la distancia desde el eje neutro hasta los puntos de mayor esfuerzo y el momento polar de inercia de la sección transversal que se está analizando.

En nuestro sistema la transmisión de potencia es en forma directa, es decir mediante un acople elástico se transmite el par del motor eléctrico al árbol directamente sin necesidad de la existencia de fuerzas tangenciales como en el caso de las poleas y los engranajes. Su determinación viene dada por:

$$\tau = \frac{T * c}{j}$$

Dónde:

El par de torsión lo determinamos de la ecuación de potencia en la cual:

$$P = T \cdot \omega \rightarrow T = \frac{P}{\omega}$$

Siendo $\rightarrow \omega_f = cte = 4800 \text{ rpm} = 502,656 \text{ rad/s}$

$\rightarrow P = \text{Potencia del motor electrico} = 7,5 \text{ hp} = 5,59275 \text{ kW}$

$$T = \frac{5592,75 \text{ (Watts)}}{502.656 \left(\frac{\text{rad}}{\text{s}}\right)} = 11.126 \text{ Nm}$$

Definimos al cociente entre el momento polar de inercia y la distancia desde el eje neutro a los puntos de mayor esfuerzo como el módulo resistente de la sección “W”:

$$W = \frac{I}{c} \dots \dots \dots (5.1.7.7.1.2.2)$$

En la cual su determinación dependerá de la configuración que tenga la sección transversal en estudio, pero para el caso de una sección transversal circular sólida su valor viene dado por:

$$W = \frac{\pi \cdot d^3}{16} \dots \dots \dots (5.1.7.7.1.2.3)$$

Esfuerzos normales producidos por el momento flector, el esfuerzo será máximo en las fibras más alejadas del eje neutro y está dado por:

$$\sigma_M = \pm \frac{M \cdot c}{I} \dots \dots \dots (5.1.7.7.1.2.4)$$

Donde **M**, **c** e **I** son el momento flector, la distancia desde el eje neutro hasta las fibras más alejadas y el momento rectangular de inercia, respectivamente, de la sección de análisis. Se toma el signo “+” si el punto analizado está en tracción y el signo si está a compresión. En general existen dos valores de c, uno para los puntos de tracción y otro para los puntos de compresión.

En nuestro caso al desbalancearse se genera una fuerza centrífuga, cuya magnitud es absorbida por los apoyos y produce un momento flector variable tanto para el plano XY como para el plano XZ, estos momentos para una velocidad de rotación constante ($\omega = \text{cte}$) tendrán un mismo modulo para todo instante de tiempo, aclarando que en uno de los planos el momento flector respetará una ley sinusoidal y en el otro plano una ley coseno, no obstante más adelante expondremos sus magnitudes y cálculos.

En estos casos donde se tienen dos componentes de momento flector M_{xy} y M_{xz} , donde x es la dirección axial e “y” y z son direcciones cartesianas paralelas a la sección del árbol se puede determinar, gracias a la perpendicularidad de estas componentes por el teorema de Pitágoras el momento resultante, a partir de:

$$M_R = (M_{xy}^2 + M_{xz}^2)^{\frac{1}{2}} \dots \dots \dots (5.1.7.7.1.2.5)$$

Esfuerzos cortantes producidos por la fuerza cortante, V. Normalmente estos esfuerzos son mucho más pequeños que, por ejemplo, los esfuerzos normales debido a la flexión y tienden a actuar en puntos donde otros esfuerzos son pequeños o iguales a cero. Debido a esto, es práctica común no tener en cuenta el efecto de la fuerza cortante, aunque si esta se considera suficientemente grande, debe tenerse en cuenta este efecto.

A continuación se desarrollan los cálculos para un estado con masa desbalanceada en el cual se da la presencia de la fuerza centrífuga (generada por este desbalance). Se verificará el árbol a la fatiga, con el sistema desbalanceado, a partir de la utilización del criterio de **Soderberg** considerándose para su análisis la sección más crítica del árbol.

Soderberg es uno de tantos autores que desarrollaron sus respectivos criterios para la verificación a la fatiga, sin embargo su criterio es el más conservador de todo, es por ello que su verificación también incluye la verificación a la fluencia para el caso estático.

5.2.7.7.1.3. Verificación a la fatiga del árbol bajo cargas dinámicas

El árbol funcionando normalmente está sometido a esfuerzos variables, en consecuencia será necesario llevar a cabo un estudio a la fatiga del mismo, y determinar si la configuración geométrica adoptada es válida o no. Para ello antes que nada es necesario conocer el estado de cargas, siendo máximos los esfuerzos cuando el sistema se encuentra desbalanceado. En consecuencia para la verificación será necesario conocer el estado de cargas del sistema desbalanceado, determinar los esfuerzos presentes en él, para luego adoptar alguno de los criterios de verificación a la fatiga. En nuestro caso como también deseamos verificar la resistencia estática del árbol adoptaremos el Criterio de Soderberg que resulta ser tan conservativo que incluye la verificación a la fluencia.

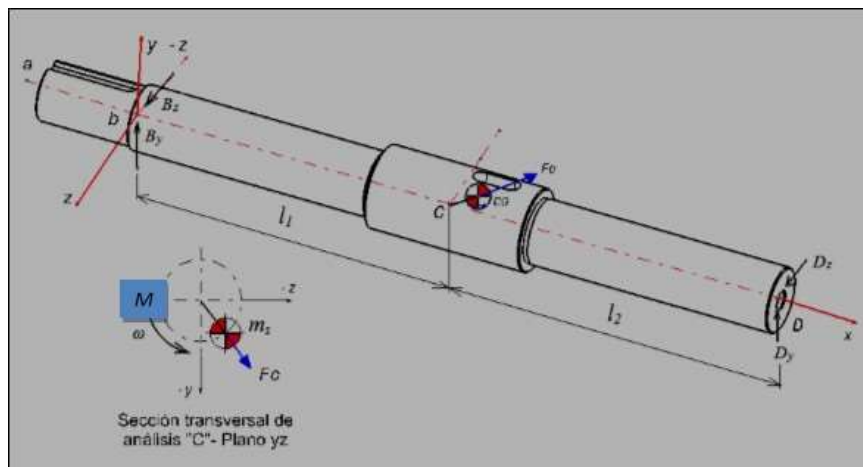


Figura 77: Diagrama de cuerpo libre del árbol desbalanceado

Fuente:

<file:///D:/Tesis%20Vibrador/TESIS/Tesis/Contenido%20de%20tesis/Proyecto%20Integrador%20IM%20Unidireccional-%20Maquina%20de%20Bloques%20de%20Hormigón.pdf>

Cuando la máquina bloquetera necesita de las fases vibratorias sobre la base del molde es allí cuando entra en acción el desbalance del árbol. Mediante la excentricidad del sistema se provoca el fenómeno de vibración deseado, y éste proporciona un estado dinámico desbalanceado, que lo analizaremos a continuación. Como ya hemos mencionado con anterioridad el desbalance se debe a la rotación de un contrapeso. El sistema se encuentra girando a una velocidad angular " ω " constante y por lo tanto esta excentricidad genera la presencia de una fuerza centrífuga F_c , que será absorbida por los puntos de apoyo del sistema. A continuación se expone un esquema del diagrama de cuerpo libre, en el cual se pueden observar las fuerzas actuantes y se muestra un esquema representativo de la sección transversal del centro de masa (plano yz). En esta última se denota como la excentricidad se ubica en el cuarto cuadrante para esas direcciones, por lo tanto se define el centro de masa con las siguientes coordenadas (en unidades longitudinales de "metro"):

$$CG = (\varepsilon_x; \varepsilon_y)(0,30; -0,0047; -0,0062)$$

5.2.7.7.1.3.1. Determinación de las reacciones de apoyo:

Para encontrar los valores de las reacciones de apoyo nos basaremos principalmente en las ecuaciones de la segunda ley de newton, tanto para la sumatoria de fuerzas como así también la sumatoria de momento con respecto a un punto inercial del sistema.

Es decir, si consideramos el "teorema de momento cinético", en el cual la suma de momentos de las fuerzas exteriores con respecto a un punto inercial

del sistema es igual a la tasa de variación en el tiempo del momento cinético, tenemos que:

5.2.7.7.1.3.2. Árbol del vibrador

Sobre el eje está montada la masa excéntrica, además está unido a la plataforma vibratoria mediante rodamientos y al acoplamiento elástico en uno de sus extremos. La carga que soporta el eje es aquella de la fuerza centrífuga de la masa excéntrica, el peso de dicha masa y la fuerza originada en el diente del piñón recto al transmitir movimiento al segundo eje vibrador. El análisis de carga se realiza para el caso más crítico, cuando la fuerza centrífuga y el peso de la masa están en la misma dirección.

Para evitar que toda la fuerza de la masa excéntrica se concentre sobre el centro del eje, esta es dividida en dos masas más pequeñas ubicadas de manera simétrica al eje, y a los extremos y lo más cerca posible a los cojinetes.

En la Figura 78 muestra un eje en rotación, mostrando la flexión que se produce debido al desbalance de carga.

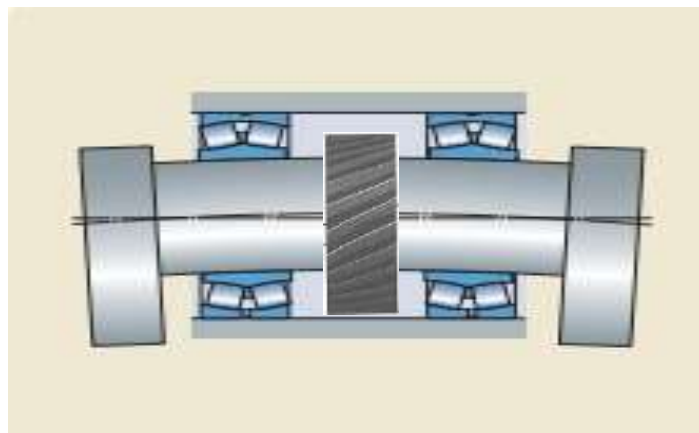


Figura 78: Bosquejo del árbol del vibrador

Fuente: Catálogo SKF

5.2.7.7.1.3.3. Cálculo de las cargas

$$T = F.R \dots\dots\dots (5.1.7.7.1.3.3.1)$$

$$P_1 = P_2 = P_o = m\omega_f^2 e + m$$

Donde:

F: Fuerza transmitida por el torque hacia el diente del piñón

P₁ y P₂: Fuerzas Centrifuga del centro de masa

R_B y R_C: Reacciones de las chumaceras.

R : Radio del piñón recto (8 cm)

m₁ y m₂: masa excéntrica. (1,2 Kg)

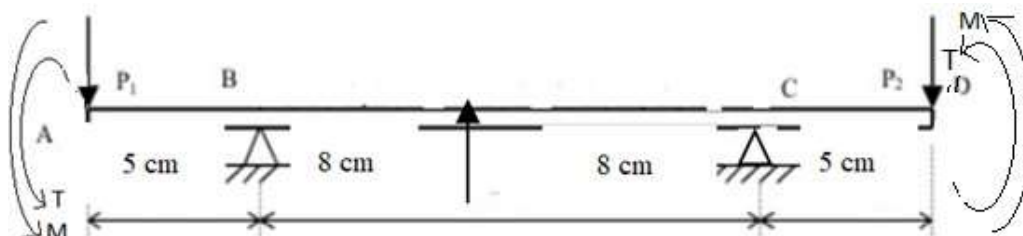
e : excentricidad. (0,045 m)

ω_f : Velocidad angular (502,656 rd/s)

Luego:

$$F = \frac{T}{R} = \frac{11,126 Nm}{0,08m} = 139,075 N \approx 140 N$$

$$P_o=P_1=P_2=m\omega_f^2 e + m = (1,2kg) \left(\frac{502,656 rd^2}{s} \right) (0,045m) + 1,2 = 13645,01 N$$



Fuente: Propia

R_B y R_C son las reacciones de las chumaceras en los puntos B y C respectivamente, las mismas que se calculan enseguida:

$$\sum M_B = 0 = P_1 * 5 + F * 8 + R_C * 16 - P_2 * 21$$

$$R_C = 13575,01N$$

Y por último, $\sum F_y = 0 = -P_1 + R_B + F + R_C - P_2$

$$R_B = 13575,01N$$

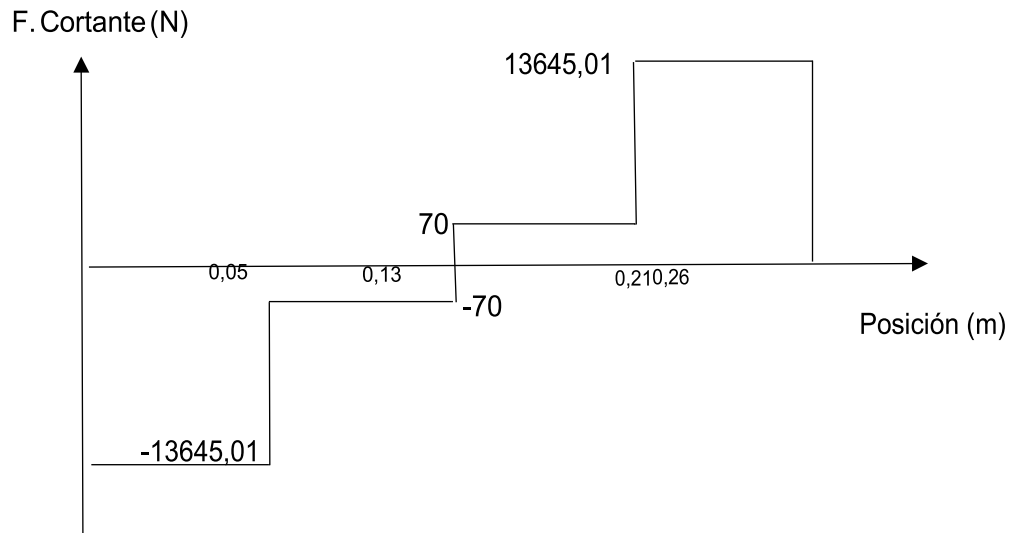


Figura 79. Diagrama de fuerza cortante, de momento flector

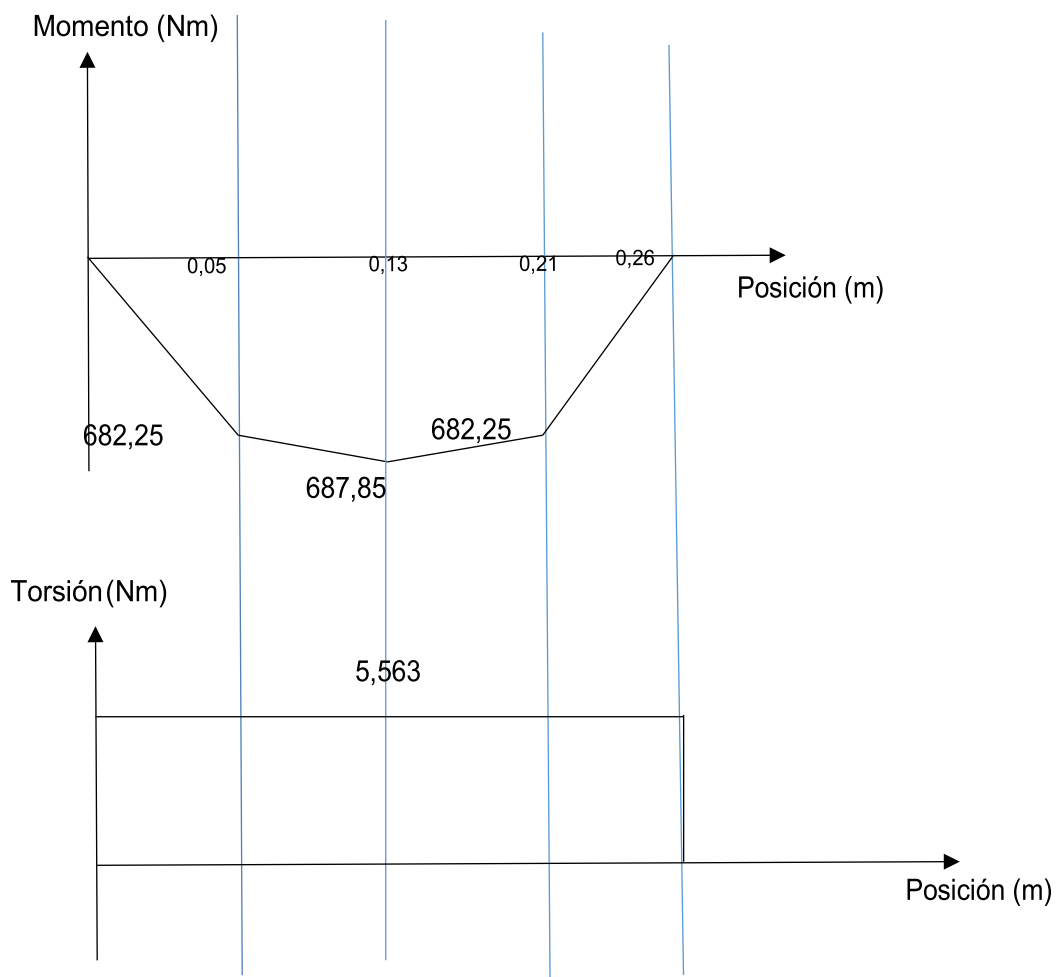


Figura 80. Diagramas de fuerza cortante, de momento de torsión.

Un examen de las figuras anteriores muestra que el punto crítico está localizado en el centro del eje, para el cual se tiene que:

$$M = 687,85 \text{ Nm}$$

$T = 5,563 \text{ Nm}$. (Cada masa excéntrica consume la mitad del torque suministrado por el motor)

Se continúa con el dimensionamiento estático del eje mediante la teoría de la energía de la distorsión, con la ecuación (7.7.7.1.3.3.2) para un factor de seguridad de 2 y un acero al carbono AISI 1045 con las siguientes propiedades:

$$S_y = 32 \text{ Kg/mm}^2 = 313,6 \text{ MPa}$$

$$S_u = 65 \text{ Kg/mm}^2 = 637,0 \text{ MPa}$$

Entonces:

$$d = \left[\frac{32n}{\pi S_y} \left(M^2 + \frac{3T^2}{4} \right)^{\frac{1}{2}} \right]^{\frac{1}{3}} \dots\dots\dots(5.1.7.7.1.3.3.2)$$

$$d = \left[\frac{32n}{\pi S_y} \left(M^2 + \frac{3T^2}{4} \right)^{\frac{1}{2}} \right]^{\frac{1}{3}} = \left[\frac{32 * 2}{\pi * 313,6 * 10^6} \left(687,85^2 + \frac{3 * 5,563^2}{4} \right)^{\frac{1}{2}} \right]^{\frac{1}{3}} = 0,0355 \text{ m}$$

Se prosigue con el diseño del eje a fatiga. Si bien podría considerarse que mientras el eje está girando la carga no varía ya que la fuerza centrífuga es constante, y el peso de las excéntricas es pequeño, la fatiga surge debido a los ciclos de encendido y apagado (embrague y desembrague) del vibrador. El gráfico de la variación de las cargas para el punto crítico (centro del eje) se presenta en la siguiente figura 81.

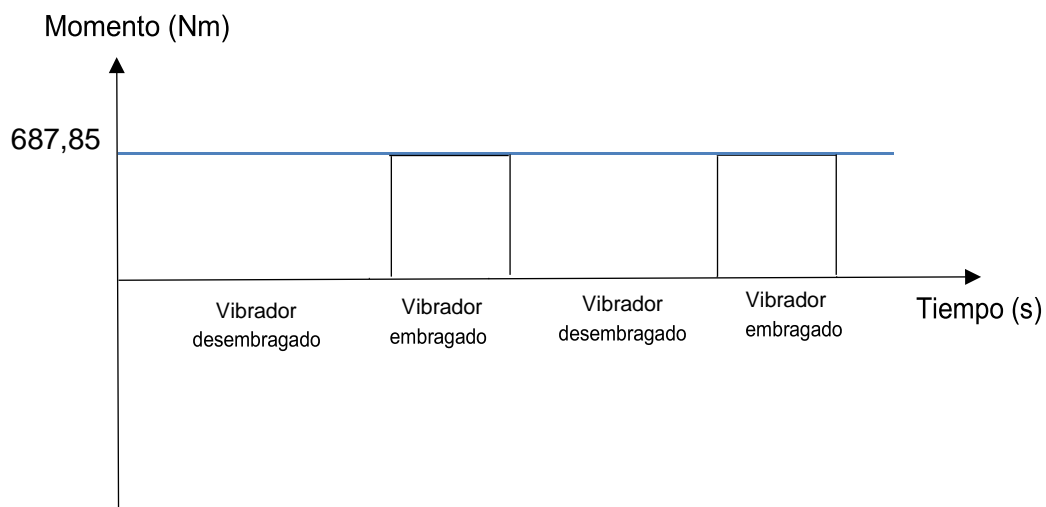


Figura 81. Ciclo de carga y descarga del eje en su parte central

El método que se emplea para el diseño a fatiga del eje, para una vida infinita, es el de Soderberg, con la teoría de la distorsión, el mismo que obedece a la siguiente ecuación:

$$d = \left[\frac{48n}{\pi} \left(\left(\frac{M}{S_e} \right)^2 + \left(\frac{T}{S_y} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \right]^{\frac{1}{3}} = \left[\frac{48 * 2}{\pi} \left(\left(\frac{687,85}{192,84 * 10^6} \right)^2 + \left(\frac{11,126}{313,6 * 10^6} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \right]^{\frac{1}{3}} = 0,0417 \text{ m}$$

Donde el:

$$S_e = K_a * K_b * K_c * K_d * K_e * K_f * S_e'$$

$$S_e' = 0,5 * S_u = 0,5 * 637 * 10^6 = 312,5 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

Tabla 5.12. Se recomiendan los valores de los siguientes parámetros:

Ka	Kb	Kc	Kd	Ke	Kf	Se (Pa)
0,85	1,65	1	1	0,44	1	192,843 E6

Fuente:

<file:///D:/Tesis%20Vibrador/TESIS/Tesis/Contenido%20de%20tesis/Proyecto%20Integrador%20IM%20Unidireccional-%20Maquina%20de%20Bloques%20de%20Hormigón.pdf>

Los resultados muestran que para que el eje soporte las cargas a fatiga se requiere en la sección **crítica un diámetro de 41,7 cm.**

5.2.8. Módulo 1: Mezcladora

5.2.8.1. Capacidad de la mezcladora

La capacidad que debe tener la mezcladora se determina considerando la cantidad de material requerida para fabricar una caja de registro. Para esto se calcula el volumen de la caja de registro tomando en cuenta las dimensiones normalizadas presentadas en la tabla. 5.13.

Tabla 5.13: Dimensiones de la caja porta medidor

Descripción	Medidores 1/4" – 3/4"	
Dimensiones exteriores	AxL (mm)	400x600
Espesor	e (mm)	50
Altura total	H (mm)	300
Abertura para tapa	lxa (mm)	250x205

Abertura para paso de tubería	txh (mm)	80x130
Volumen de material por ciclo	cm ³	31 418
Peso	kg	70

Fuente: NTP



Fuente: Propia

Sabiendo que se fabrica 01 caja por ciclo, el volumen de material por ciclo, sin considerar las pérdidas, es:

$$V_{\text{ciclo ideal}} = 31\,418 \text{ cm}^3.$$

Se estima que existe un 1% de pérdida de material por el desperdicio que se produce durante el proceso de distribución y llenado del molde, por lo tanto el volumen por ciclo real requerido es:

$$V_{\text{ciclo real}} = V_{\text{ciclo ideal}} + V_{\text{ciclo ideal}} \times 1\% \dots \dots \dots (5.1.8.1.1)$$

$$V_{\text{ciclo real}} = 31\,732 \text{ cm}^3$$

El tiempo que emplea la máquina para completar un ciclo, según las especificaciones, es de 50 segundos, y tomando en cuenta que se requiere alrededor de 4 minutos para efectuar la mezcla, según el apartado 7.6 se calcula la cantidad de material necesaria para que la máquina opere durante este tiempo.

$$\frac{\text{Volumen material}}{\text{min}} = \frac{4 \text{ min}}{50 \text{ s/ciclo}} \times \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} \times \frac{31\,732}{1 \text{ ciclo}} = \frac{152\,313,6 \text{ cm}^3}{\text{min}}$$

Este volumen es aumentado en un 1% por las pérdidas que existen en el transporte desde la mezcladora hasta la tolva, obteniéndose el volumen siguiente:

$$V_{\text{mezcladora}} = V_{\text{tolva}} \times 1,01 = 153\,836,74 \text{ cm}^3 = 153,84 \text{ litros}$$

5.2.8.2. Dimensiones de la mezcladora

Según lo establecido en la tabla 4.12 módulo 1 se diseña una mezcladora de eje vertical y recipiente cilíndrico. El volumen de la mezcladora se calcula mediante la expresión siguiente:

$$V_{\text{mezcladora}} = \frac{\pi \phi^2 \cdot h}{4} \dots\dots\dots (5.1.8.2.1)$$

$$\phi = \sqrt{\frac{V_{\text{mezcladora}} \cdot 4}{\pi \cdot h}}$$

Donde:

ϕ = Diámetro de la mezcladora.

h = altura ocupada por la mezcladora

Tabla 5.14. Variación de la altura en función del diámetro

Altura (cm)	25	30	35	40
Diámetro(cm)	88,51	80,80	74,81	69,98

Fuente: Propia

En el mercado nacional una de las empresas que fabrica y distribuye mezcladoras industriales tipo batea es la empresa AMN Maquinarias EIRL (*). Según sus diseños la mínima potencia de sus mezcladoras es de 10 hp, y según su capacidad, esta sería suficiente para los requerimientos de producción.



Figura 82: Mezcladoras Industriales Tipo Batea

Fuente: <https://sdshengya.en.made-in-china.com/product/NyTxHMzZCEcl/China-Jq350-Portable-Concrete-Mixer-for-Block-Machine.html>

Tablas 5.15. Datos Técnicos

Capacidad (L)	Pesos Inertes (Kg)	Peso Concreto (Kg)	Balanza Cemento (Kg)	Balanza Agua (L)	Potencia (hp)	Velocidad (rpm)	Potencia Skip (kW)	Velocidad Skip (rpm)
230	325	370	65	30	10	30	2	57
365	510	580	111	60	15	30	3	57
500	700	800	160	90	20	26	4	57
750	1050	200	250	150	30	26	5,5	46

Fuente: CARFEL, Plantas de hormigón

5.2.9. Módulo 2: Banda Transportadora

5.2.9.1. Dimensionamiento de banda transportadora



Figura 83: Banda Transportadora

Fuente: <http://www.ulmaconveyor.com/wp-content/uploads/sites/6/2014/10/RodillosULMA.pdf>

La banda transportadora debe ser seleccionada en función de las siguientes restricciones:

Material a transportar.

Diferencia de alturas entre puntos de carga y descarga.

El tiempo máximo de transporte.

El ángulo máximo para transportar concreto, según los fabricantes de bandas transportadoras, es de 24 grados; y conociendo que la diferencia de alturas entre puntos de carga y descarga es de 2,5 m, se tiene por geometría elemental que la distancia que debe recorrer el material es de 5,5 m.

Con el propósito de garantizar el funcionamiento continuo de la máquina vibro compactadora así como de la mezcladora, el tiempo máximo que debe emplear el material para desplazarse desde la mezcladora hasta la tolva es de 20 segundos.

El flujo volumétrico que debe garantizar la banda transportadora es:

$$Q = \frac{V}{t} = 0,00769 \text{ m}^3/\text{s} \dots\dots\dots (5.1.9.1.1)$$

Donde:

$V = 0,154 \text{ m}^3 = \text{volumen total.}$

$t = 20 \text{ s} = \text{tiempo crítico.}$

Asimismo se tiene que:

$$Q = v.A = 0,00769 \text{ m}^3/\text{s} \dots\dots\dots (5.1.9.1.2)$$

Donde:

$A = \text{área transversal de material transportado por la banda.}$

$v = \text{velocidad de la banda.}$

El área transversal de material se obtiene a partir de la suma de las áreas triangulares y área rectangular mostrada en la figura siguiente:

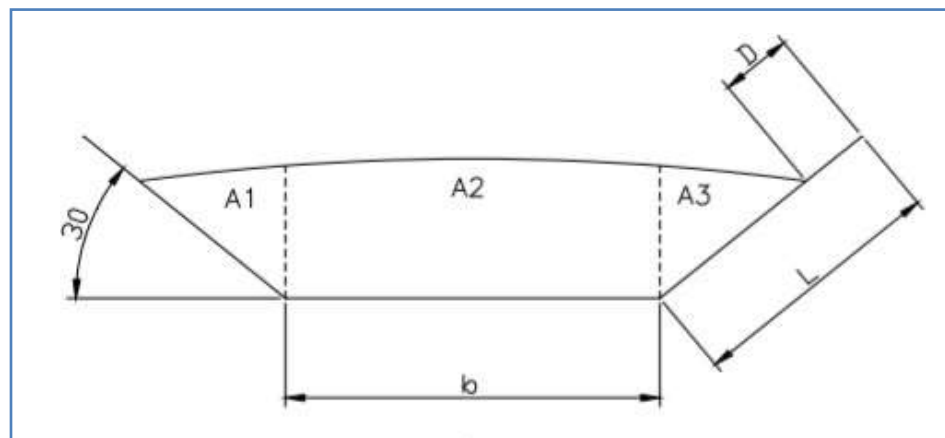


Figura 84. Área transversal de material transportado por la banda

Fuente: <http://www.ulmaconveyor.com/wp-content/uploads/sites/6/2014/10/RodillosULMA.pdf>

La longitud D mostrada en la Figura 84 tiene como función evitar desbordamiento de material, y se calcula con la siguiente ecuación:

$$D = 0,139(w + 0,9) \dots\dots\dots (5.1.9.1.3)$$

Donde,

W = ancho de la banda.

En la Figura 84 la longitud b corresponde a la porción de la banda que se mantiene horizontal, y se calcula con la siguiente relación:

$$b = 9,42 * w \dots\dots\dots (5.1.9.1.4)$$

El área total de la banda se calcula con las ecuaciones 5.1.9.1.3 y 5.1.9.1.4 para diferentes anchos de banda normalizados w , luego de lo cual es posible emplear la ecuación 5.1.9.1.2 para calcular la velocidad; los resultados se muestran en la tabla 5.16.



Figura 85: Ubicación de la faja transportadora sobre la maquina bloquetera.
Fuente: <http://www.esmma.com.mx/>

Tabla 5.16. Ancho de banda

Ancho de banda (m)	Area (m2)	velocidad (m/s)
0,508	0,0180	0,860
0,609	0,0259	0,595
0,711	0,0330	0,259

Fuente: fabrica@icobandas.com; Popayan – Cauca / Colombia

Según los resultados de la tabla 5.16 se selecciona la banda 0,609 m de ancho equivalente a 24 pulgadas de las siguientes características: Tipo: ANN-VY-15 (Icobandas s.a.) (*)

Las nervaduras de las **icobandas® ANN-VY-15** ayudan a sostener el producto transportado, permitiendo satisfacer las necesidades de transporte de materiales empacados o a granel cuando la inclinación supera el ángulo de deslizamiento del material.

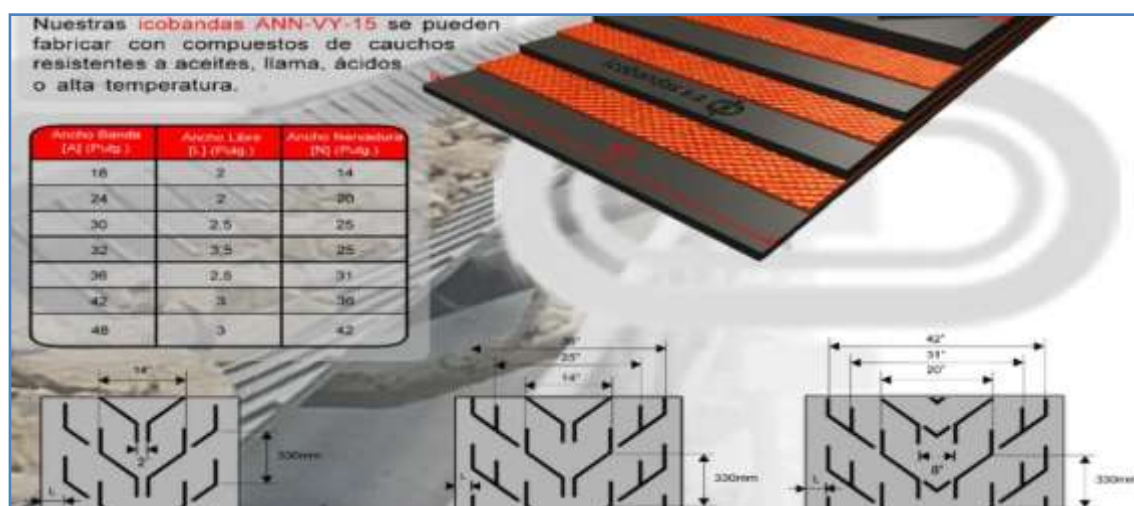


Figura 86: Las nervaduras de las bandas transportadoras

Fuente: **icobandas® ANN-VY-15**

5.2.9.2. Estructura del sistema de transporte

Las dimensiones de la estructura vienen determinadas por las alturas del punto de descarga (2,5m) y del punto de carga (0,2m), así como del ángulo de inclinación de la banda.

La estructura es construida con perfil estructural rectangular, y con perfiles en L; (según fabricante) bajo las siguientes condiciones:

El material de los perfiles es acero estructural A-36.

Perfiles rectangulares: 70x40x5

Perfiles ángulo principal: 75x75x6

Perfiles ángulo secundario: 35x35x5

La carga máxima que soporta la estructura es de 320 kg. Que corresponde a la banda completamente cargada.

Dimensiones del rodillo metálico:

Tabla 5.17. Dimensiones según DIN 15207

Ancho de Banda		3 Rollers L	G	D1Ø20 T	D1>Ø20 T
400		160	168	186	192
500		200	208	226	232
650		250	258	276	282
800		315	323	341	347
100		380	388	406	412
0		465	473	491	497
120		530	538	556	562
0		600	608	626	632
140		670	678	696	702
0		750	758	776	782
160		800	808	826	832

Fuente: <http://www.ulmaconveyor.com/wp-content/uploads/sites/6/2014/10/RodillosULMA.pdf>

Dimensiones del tambor motriz y de cola



Figura 87: Tambor motriz y Tambor de cola

Fuente: http://www.dismet.com/wp-content/uploads/2017/07/compressed_1208490007.pdf

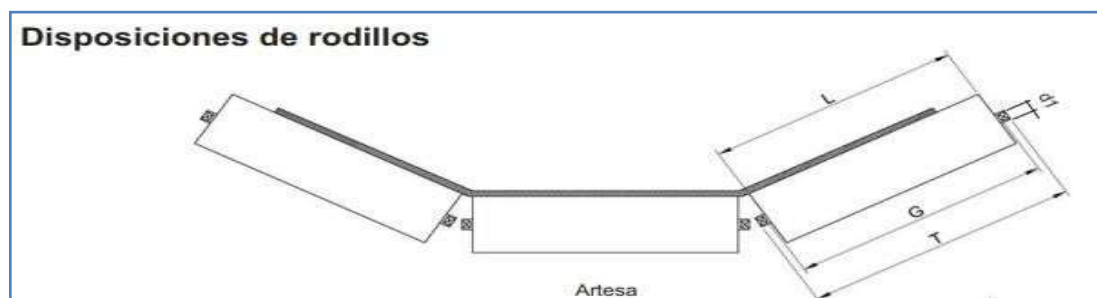


Figura 88: Disposiciones de rodillos

Fuente: <http://www.ulmaconveyor.com/wp-content/uploads/sites/6/2014/10/RodillosULMA.pdf>

Tabla 5.18. Dimensiones módulo de cabeza y cola

CINTA (Pulg)	(pulg)	(pulg)	(pulg)
18	2	12	0
24	4	14	6
30	6	14	2
36	6	14	2
42	8	16	4
48	8	6	1
54	0	18	7
60	4	18	3

Dimensión R según tamaño reductor

Dimensión P según ancho de celosía

Fuente: comercial@dismet.com



Figura 89: Distancia de ejes

Fuentes: http://www.dismet.com/wp-content/uploads/2017/07/compressed_1208490007.pdf

5.2.9.3. Cálculo de la potencia del motor

El cálculo de la potencia del motor se lleva a cabo mediante la siguiente relación:

$$P_{total} = P_1 + P_2 + P_3 + P_4(W) \dots\dots\dots (5.1.9.3.1)$$

Donde,

P₁ = potencia necesaria para mover la banda descargada

P_2 = potencia necesaria para mover la banda cargada

P_3 = potencia elevada para mover la carga.

P_4 = potencia necesaria para accionar descargas intermedias.

5.2.9.4. Potencia necesaria para mover la banda descargada

Para calcular la potencia necesaria para mover la banda descargada, se emplea la siguiente ecuación:

$$P_1 = C \cdot f \cdot L \cdot (2(1,15e + P_i \cdot z) \cos(\theta)) [W] \dots\dots\dots (5.1.9.4.1)$$

Donde,

C = coeficiente en función de la longitud de transporte.

F = coeficiente de rozamiento en los rodillos de soporte en la banda.

L = longitud de transporte = 5,5 m

V = velocidad de la banda = 0,6 m/s

Θ = ángulo de inclinación de transporte = 24°

W = ancho de la banda = 24"

P_i = peso por m² de cada textil

Z = número de capas textiles.

Reemplazando los valores proporcionados por el fabricante de la banda en la ecuación. Se tiene:

$$P_1 = 0,35 \times 0,7 \times 5,5 \times 0,6 (2 \times 0,609 \times (1,15 \times 0,0025 + 1,56 \times 2) \cos 24^\circ) = 1245 W$$

5.2.9.5. Potencia necesaria para mover la banda cargada

Para este cálculo se utiliza la siguiente relación.

$$P_2 = C. f. L. Q_t \cos(\theta) [W] \dots\dots\dots (5.1.9.5.1)$$

Donde:

Q_t = capacidad real de transporte (N/s)

Θ = ángulo de inclinación de la banda

$$P_2 = 1451,3 \text{ W}$$

5.2.9.6. Potencia necesaria para elevar la carga

Esta potencia se calcula con la siguiente ecuación:

$$P_3 = Q_t H + [W] \dots\dots\dots (5.1.9.6.1)$$

Donde:

H = altura de transporte (m)

$$P_3 = 139,9 \text{ W}$$

5.2.9.7. Potencia necesaria para accionar descargas intermedias

Potencia asignada de acuerdo a datos proporcionados por el fabricante,

$$P_4 = 600 \text{ W}$$

Finalmente, con las potencias parciales anteriores, se calcula la potencia total del motor:

$$P_{\text{total}} = 3\,436,5 \text{ W} = 4,6 \text{ Hp}$$

5.2.9.8. Selección del motor

Conociendo la potencia requerida por la banda transportadora, se selecciona un motor con las siguientes características:

Potencia: 5 hp

Velocidad nominal 1750 rpm

Voltaje: 380 V

Fases: trifásico

5.2.10. Módulo 3: Distribuidor de concreto y sistemas de tableros

Para el proceso de alimentación de la mezcla se necesitan los siguientes parámetros:

5.2.10.1. Volumen de mezcla por ciclo:

Volumen necesario de mezcla para el llenado del molde de la caja de registro $31\,418 \text{ cm}^3$.

A este valor se le aumenta un 50% para el dimensionamiento del alimentador, ya que una vez llenado el material en el molde debido a la vibración de este, la mezcla tiende a compactarse, debido a esto reduce la altura del producto, por lo cual esta pérdida debe ser compensada. Entonces el volumen del alimentador sería $1.5 \cdot 31\,418 \text{ cm}^3 = 47\,127 \text{ cm}^3 =$

71cm*41cm*16cm.

Cuya masa contenida seria $1400 \text{ Kg/m}^3 * 0,047127 \text{ m}^3 = 66 \text{ Kg}$

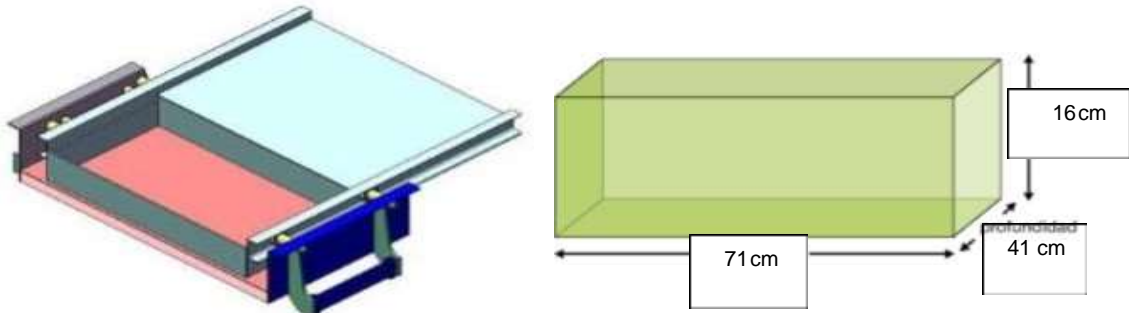


Figura 90: Alimentador de mezcla

Fuente:

<file:///D:/Tesis%20Vibrador/TESIS/Tesis/Contenido%20de%20tesis/diseño%20de%20una%20planta%20de%20bloques.pdf>

5.2.10.2. Fuerza requerida para el accionamiento del carro transportador

Supóngase que la mezcla total ocupa las 2/3 partes del volumen total de la tolva de alimentación, lo que da aproximadamente $0,6 \text{ m}^3$. La densidad de la mezcla para prefabricados es oscila entre 1365 a 1850 Kg/m^3 tomando un valor mínimo aceptable de 1400 Kg/m^3 , por lo tanto la masa total es: $m = 1400 \text{ kg/m}^3 * 0,6 \text{ m}^3 = 865,2 \text{ kg}$.

La primera fuerza que debe vencer el mecanismo es la fuerza de rozamiento que existe entre el concreto total y acero de la base del carro. Sea $\mu = 0,4$, coeficiente de fricción acero-concreto.

$$F_{R1} = \mu * N \dots\dots\dots (5.1.10.2.1)$$

$$F_{R1} = \mu * N = 0,4 * 865,2 \text{ Kg} = 346,08 \text{ Kg}$$

Otra fuerza que debe vencer el mecanismo es la fricción entre el concreto de la tolva con el concreto del carro. Sea $\mu = 0,83$ coeficiente de fricción concreto-concreto.

$$F_{R2} = \mu * N$$

$$m_{\text{parcial}} = 865,2\text{Kg} - 66\text{Kg}$$

$$F_{R2} = 0,83 * 799,2\text{Kg} = 663,34\text{Kg}$$

Y la última fuerza que necesita vencer el mecanismo es la que existe entre la mezcla de la tolva y la tapa de la misma. Sea $\mu = 0,4$ acero-concreto.

$$F_{R3} = \mu * N = 0,4 * 799,2\text{ kg} = 319,68\text{ kg}$$

Por lo tanto la fuerza total que debe ejercer el mecanismo y que debe vencer el cilindro hidráulico es:

$$F_{RT} = 346,08 + 663,34 + 319,68\text{ kg}$$

$$F_{RT} = 1329,1\text{kg}$$

5.2.10.3. Diseño de los ejes para el carro transportador

El material a utilizar para la construcción del eje de la Figura 91 es un acero al carbono para maquinaria AISI 1045, cuyas propiedades son:

$$= 3200\text{ kg/cm}^2; \quad S_{ut} = 6500\text{ kg/cm}^2$$

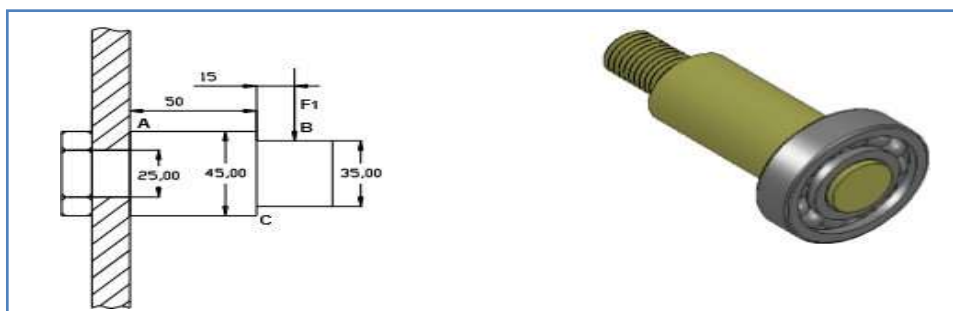


Figura 91: Eje de ruedas de carro transportador

Fuente:

<file:///D:/Tesis%20Vibrador/TESIS/Tesis/Contenido%20de%20tesis/diseño%20de%20una%20planta%20de%20bloques.pdf>

Como el eje esta empotrado y sometido a una carga constante, el esfuerzo no fluctúa por lo cual se realiza un diseño a carga estática.

La fuerza F_1 ejercida en el eje es de 350kg que corresponde a $\frac{1}{4}$ de la mezcla contenida en la tolva debido a que son cuatro las ruedas del carro transportador.

Como el momento flector es:

$$M = 350\text{kg} * 6,5\text{cm} = 2275\text{kg.cm}$$

El esfuerzo de flexión resulta:

$$\sigma_{fmax} = \frac{32 * 2275 \text{ kg.cm}}{\pi * 3,5^3 \text{ cm}^3} = 540,48 \text{ kg/cm}^2$$

El Esfuerzo a cizalladura producido en el punto A es:

$$\tau_{xy} = \frac{V}{AC} = \frac{350 \text{ kg}}{\frac{\pi}{4} * 2,5^2 \text{ cm}^2} = 71,28 \text{ kg/cm}^2 \dots\dots\dots (5.1.10.3.1)$$

Según la teoría de esfuerzo cortante máximo o criterio de Tresca se tiene:

$$\frac{S_y}{n} \geq \sqrt{(\sigma_x)^2 + 4(\tau_{xy})^2} \geq \sqrt{(540,48)^2 + 4(71,28)^2} = 558,97 \text{ kg/cm}^2$$

$$n = 5,72 \dots \dots \dots (5.1.10.3.2)$$

5.2.10.4. Dimensionamiento del sistema de tableros

El sistema de alimentación de tableros debe ejercer una fuerza para superar el peso de los tableros, la fuerza de rozamiento entre tablero-tablero, y un tablero con el producto ya terminado. El peso del producto es = 66kg El peso del tablero con producto = 71,3kg.

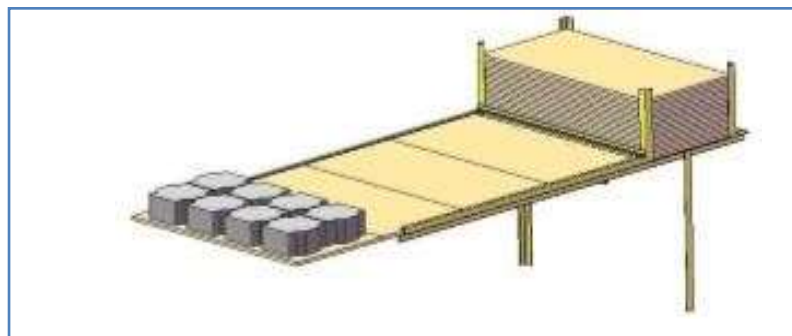


Figura 92: Sistema de alimentación de tableros

Fuente:

<file:///D:/Tesis%20Vibrador/TEIS/Tesis/Contenido%20de%20tesis/diseño%20de%20una%20planta%20de%20bloques.pdf>

Peso de cada tablero = 5,3 Kg Se acumularán 30 tableros para la alimentación a la máquina, luego: $PT = 30 \cdot 5,3 \text{ kg} = 159 \text{ kg}$

$$N = 159 \text{ kg}$$

$$FR = \mu \cdot N$$

Donde: $\mu = 0,7$ (acero-madera) $\mu = 0,5$ (madera-madera)

$$F_{R1} = 159 \cdot 0,7 + 29 \cdot 5,3 \cdot 0,5$$

$$F_{R1} = 188,15 \text{ kg}$$

Además de esto el cilindro debe ejercer una fuerza para empujar 4 tableros que están en fila, dos que se encuentran vacíos, y dos que están con

el producto (caja de registro).

Peso caja de registro= 66 kg

$$F_{R2} = 66 \text{ kg} \cdot 2 + (5,3 \text{ kg} \cdot 4) \cdot 0,7$$

$$F_{R2} = 146,84 \text{ kg}$$

Fuerza total: $F_{RT} = 188,15 + 146,84 \text{ kg}$

$$F_{RT} = 334,99 \text{ kg}$$

Esta es la fuerza que debe vencer el cilindro hidráulico en el sistema de alimentación de tableros.

5.2.11. Módulo 4. Cálculo y Dimensionamiento del sistema de compactación

Para el dimensionamiento de este sistema, es necesario conocer la fuerza necesaria de compresión.

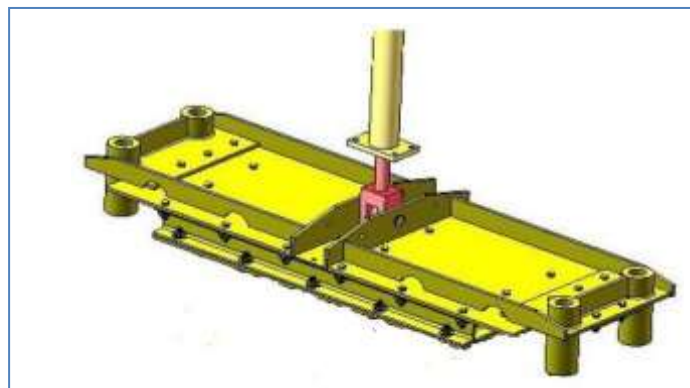


Figura 93: Placa de compactación

Fuente:

<file:///D:/Tesis%20Vibrador/TESIS/Tesis/Contenido%20de%20tesis/diseño%20de%20una%20planta%20de%20bloques.pdf>

En las normas DIN 18152 se recomienda una compresión satisfactoria de 2kg/cm². El área que se necesita para la compresión es tomada de la

forma de una caja de registro de medidas indicadas en la gráfica 89 $A = 1000 \text{ cm}^2$.

La fuerza requerida es: $F = p * A$ $F = 1000 \text{ cm}^2 * 2 \text{ kg/cm}^2$

$F = 2000 \text{ kg}$

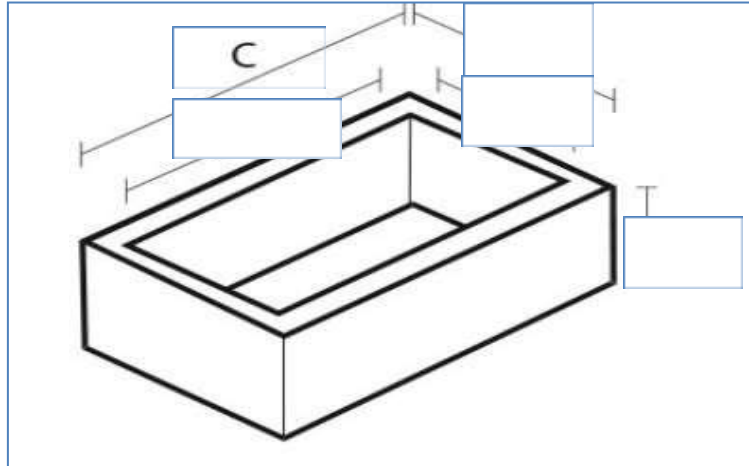


Figura 94: El área que se necesita para la compresión es tomada de la forma de una caja de registro de medidas indicadas.

Fuente: Propia

Esta fuerza es requerida para la compactación del producto y es la resistencia a vencer por parte del cilindro hidráulico.

5.2.12. Cálculo y dimensionamiento del sistema de desmolde

5.2.12.1. Mecanismo de desmolde

Para esta operación se optó por utilizar un mecanismo de biela-manivela, el cual permite subir el molde a fin de desmoldar los prefabricados de hormigón.

El movimiento de la biela está dado por un cilindro hidráulico en el punto D, este mecanismo permite obtener un desplazamiento lineal del punto C (molde), y se representa.

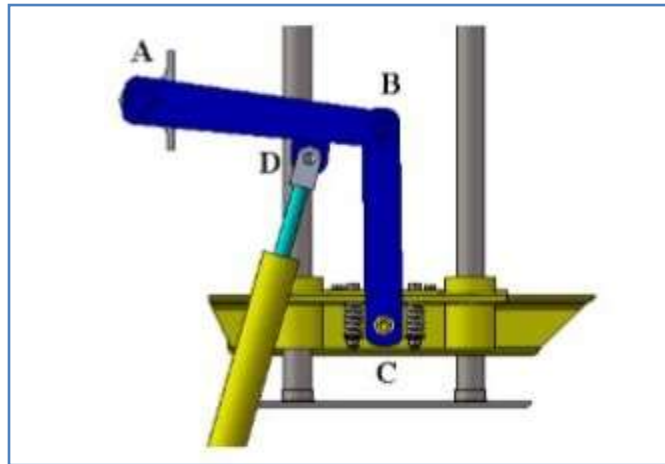


Figura 95: Mecanismo de desmolde

Fuente:

<file:///D:/Tesis%20Vibrador/TESIS/Tesis/Contenido%20de%20tesis/diseño%20de%20una%20planta%20de%20bloques.pdf>

Las ventajas de este mecanismo son:

- a. La distancia recorrida por el punto C es mayor que la distancia recorrida por el punto D, lo que nos permite tener una menor carrera del cilindro hidráulico.
- b. Debido a que el molde esta en continua vibración, la utilización de este mecanismo permite aislar la vibración al cilindro hidráulico para evitar daños de fajas, retenedores, etc.

El mecanismo funciona con dos brazos estabilizadores que están unidos mediante un eje, el cual es necesario para obtener una sincronización del movimiento en el momento de desmoldar el producto. Estos brazos funcionan a través de dos cilindros hidráulicos que permiten el movimiento más estable y equilibrado del molde, ayudado por un eje que enlaza estos dos brazos, como se indica en la Figura 95.

5.2.12.2. Dimensionamiento del mecanismo

El eslabón AB de la gráfica 94 tiene una dimensión de 42cm, el cual hace la función de la manivela, y tendrá un ángulo de giro de $\alpha = 0^\circ$, hasta $\alpha = 48^\circ$.

El eslabón BC tiene una dimensión de 42 cm, y tiene un movimiento rectilíneo en C el mismo que hace la función de manivela. La carrera del mecanismo será de 36 cm, la misma que se ha establecido en base a las siguientes dimensiones de los otros elementos como el producto y el tablero.

Altura de producto = 30cm

Espesor de tablero = 1,5cm

Altura libre entre el producto y el molde = 4,5cm

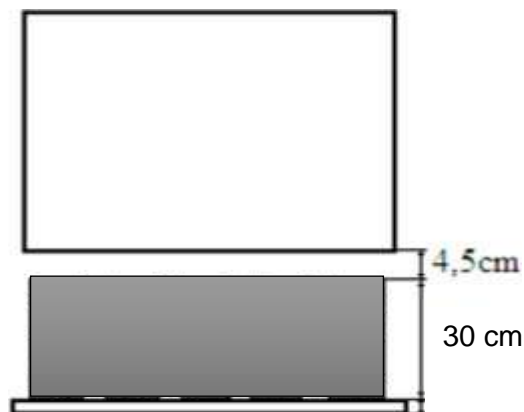


Figura 96: Separación entre el molde y el tablero

Fuente: Propia

El tiempo requerido para el desmolde es de 3 segundos, y el ángulo de desplazamiento del eslabón 2 es 48° . Con estos datos se pueden calcular las velocidades y aceleraciones en el mecanismo y luego con esto se pueden obtener las fuerzas necesarias para el proceso.

5.2.12.3. Cálculo de fuerzas de desmolde

Las cargas que actúan sobre el mecanismo son: el peso del molde, y el rozamiento del material en las paredes del molde.

5.2.12.4. Fuerza de rozamiento

Para calcular la fuerza de rozamiento, se encuentra la fuerza normal sobre las paredes y el coeficiente de fricción.

Para la obtención de esta fuerza y dadas las similitudes entre el cálculo para el material encajonado en el molde y el material encajonado por un muro (**), se ha optado por utilizar las fórmulas desarrolladas para estos casos.

Según la gráfica 95 el suelo del tablero ejerce una presión lateral, pero la cantidad de esta presión depende del tipo de suelo, compactación o consistencia y grado de saturación del mismo, así como la resistencia de la estructura del molde a la presión. Además, la magnitud de la presión pasiva es diferente de la activa.

La presión activa tiende a mover la estructura en la dirección en la cual actúa la presión. La presión pasiva se opone al movimiento de la estructura.

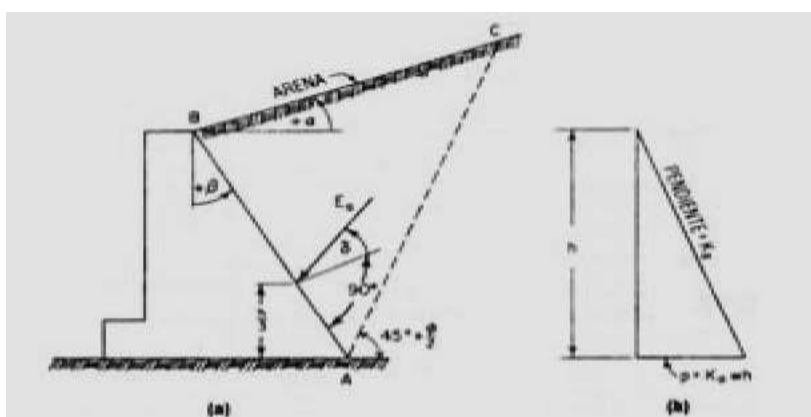


Figura 97: El muro de retención con respaldo de arena (a) está sujeto a una distribución triangular de presión (b)

Fuente: <https://conred.gob.gt/site/normas/Doc-8-NSE-5.pdf>

Los muros de retención para taludes en arena, libremente apoyados, tienden a girar ligeramente alrededor de la base. Atrás de dicha pared, una cuña de arena ABC tiende a cortarse a lo largo de un plano AC. Coulomb determinó que la relación entre la resistencia y la fuerza del deslizamiento es mínima cuando AC forma un ángulo de $45^\circ + \phi/2$ con la horizontal, donde ϕ es el ángulo de fricción interna del suelo, en grados.

Para una distribución triangular de presión (Fig. 96 b), la presión activa lateral de un suelo sin cohesión a una profundidad h, en cm es: (**)

$$p = K_a w h \dots \dots \dots (5.1.12.4.1)$$

Donde:

K_a = Coeficiente de la presión activa del hormigón

w = Peso específico del hormigón en 98 ukg/cm^3

La presión activa total en Kg/cm se obtiene de la ecuación 3-4:

Debido a la resistencia de fricción al deslizamiento en la cara del muro, E está inclinado en un ángulo δ con la normal a la pared, donde δ es el ángulo de fricción de la pared, en grados. Si la cara de la pared es vertical, la presión activa horizontal es igual a $E_a \cos \delta$.

Para el nivel del terreno con la parte superior de la pared ($\alpha = 0$), y, además, la parte posterior de la pared es vertical ($\beta = 0$), se obtiene la ecuación de Rankine:

$$K_a = \frac{1 - \frac{\sin \phi}{\sin \theta}}{1 + \frac{\sin \phi}{\sin \theta}} \dots \dots \dots (5.1.12.4.2)$$

Cuando no hay información sobre el valor del ángulo de fricción de la pared, δ puede hacerse igual $\theta/2$, para determinar el componente horizontal de E_a .

Para determinar la presión activa total se debe encontrar:

Presión lateral del material debido a su propio peso.

Presión lateral debido a la sobrecarga.

5.2.12.5. Presión del material debido a su propio peso

Se tiene:

K_a = Coeficiente de la presión activa lateral = 0.22

w = Peso específico del hormigón = $1.4 \cdot 10^{-3} \text{ Kg/cm}^3$

h = Altura del molde = 30 cm

E_a = La presión activa total del concreto en Kg/cm

$$E_a = 0.22 \cdot (1.4 \cdot 10^{-3} \text{ Kg/cm}^3 \cdot 30^2 \text{ cm}^2) / 2 = 0.0616 \text{ Kg/cm}$$

$$E_{a \text{ horizontal}} = 0.0616 \text{ Kg/cm} * \cos(40^\circ / 2)$$

$$E_{a \text{ horizontal}} = 0.0579 \text{ Kg/cm lineal}$$

5.2.12.6. Presión debido a la sobrecarga

Las sobrecargas son las cargas que se colocan sobre un relleno, aumentan la presión lateral activa en un muro y elevan la línea de acción del empuje total o restante. Una sobrecarga W_s , en kg/cm^2 , distribuida uniformemente sobre la totalidad de la superficie del relleno puede tomarse como equivalente a la de una capa de suelo del mismo peso específico W que el relleno y con un espesor de W_s / W . La presión lateral activa, en Kg/cm , debida a la sobrecarga, desde la superficie del relleno hacia abajo, será $K_a W_s h$, Ésta se debe añadir a las presiones laterales que existirían sin la sobrecarga.

$$E_a = K_a W_s h \dots \dots \dots (5.1.12.6.1)$$

$$W_s = \text{Sobrecarga debido a la compresión} = 1 \text{ Kg/cm}^2$$

$$E_a = 0.22 * 1 \text{ Kg/cm}^2 * 30 \text{ cm}$$

$$E_a = 6.60 \text{ Kg/cm}$$

$$E_{a \text{ horizontal}} = 6.60 \text{ Kg/cm} * \cos(40^\circ / 2) \rightarrow E_{a \text{ horizontal}} = 6.2025 \text{ Kg/cm lineal}$$

Para encontrar la fuerza normal ejercida por la presión lateral activa del hormigón sobre las paredes del molde se tiene que multiplicar por el perímetro del bloque en las cuales ejerce dicha presión. Perímetro de la caja=1280cm.

$$F_{Normal} = (0.0579 + 6.2025) \text{ Kg/cm} * 1280 \text{ cm} \rightarrow F_{Normal} = 8013,31 \text{ Kg}$$

$$F_r = F_{Normal} * \mu$$

μ = Coeficiente de rozamiento entre las paredes del molde y los bloques cuyo valor esta entre 0.3 – 0,5 = 0.35

$$F_r = 8013,31 \text{ Kg} * 0.35 = 2804,66 \text{ Kg}$$

5.2.12.7. Fuerza de desmolde

La fuerza necesaria para el desmolde tiene que sobrepasar a la suma de la fuerza de rozamiento y el peso del molde.

$$F = 2804,6 \text{ kg} + 85 \text{ kg} \quad F = 2889,66 \text{ kg}$$

La fuerza de desmolde se divide para dos, porque son dos brazos similares del mecanismo los cuales están conectados a través de un eje, de esta manera se puede obtener una sincronización en los mismos, de modo que para cada uno se tendrá:

$$P = F / 2 \dots\dots\dots (5.1.12.7.1)$$

$$P = 2889,66 / 2 \text{ kg} = 1445 \text{ kg}$$

5.2.13. Diseño del sistema hidráulico

5.2.13.1. Esquema y descripción del sistema hidráulico

En la gráfica 97 se muestra el esquema del circuito hidráulico, el mismo que ha sido seleccionado por su sencillez y cumple con la secuencia de operación necesaria, el circuito se compone de los siguientes elementos:

1. Reservorio.
2. Filtro.
3. Bomba hidráulica.

- 4. Motor eléctrico.
- 5. Válvula de máxima presión o alivio (relief).
- 6. Manómetro.
- 7. Válvula reguladora de caudal.
- 8. Electroválvula direccional 4x3
- 9. Electroválvula direccional 4x3
- 10. Electroválvula direccional 4x2
- 11. Electroválvula direccional 4x2
- 12. Electroválvula direccional 2x2
- C. Cilindro de compresión.
- D. Cilindros de desmolde.
- M. Cilindro de alimentación de mezcla.
- T. Cilindro de alimentación de tableros.

El fluido hidráulico es almacenado en el reservorio (1), y limpiado en el filtro (2) cuando es succionado por la bomba. El caudal necesario para accionar los actuadores (cilindros) lo suministra el grupo motor-bomba (3-4). La protección del grupo se tiene con la válvula de máxima presión (5), la misma que descarga al reservorio el fluido cuando la presión sobrepasa el valor límite fijado de antemano, el mismo que puede leerse en el manómetro (6).

El accionamiento de los vástagos de los cilindros (C, D, M y T), en uno u otro sentido lo controla las electroválvulas direccionales (8, 9, 10 y 11) respectivamente. El accionamiento de la electroválvula de descarga (12) permite el paso directo del fluido desde la bomba al reservorio cuando no esté en funcionamiento los cilindros, de esta forma se evita el consumo inútil de

energía y el calor generado en los tiempos muertos pues el fluido (bomba), al alcanzar la presión de taratura (calibrada) del relief, se descarga a través de este hacia el reservorio. La válvula reguladora de caudal (7) permite regular la velocidad al retorno del vástago del cilindro (T).

El cilindro (C) acciona el apisonador que comprime la mezcla en el molde, los cilindros (D) accionan el sistema de desmolde a través de brazos o eslabones conectados al molde, el cilindro (M) activa el cajón de alimentación de la mezcla y el cilindro (T) alimenta los tableros, a la vez que se encarga de expulsar los tableros con los prefabricados fuera de la máquina. Las electroválvulas (8 y 9) son de cuatro vías y tres posiciones, estas se utilizan en los cilindros que accionan el apisonador y el molde, su desplazamiento es vertical y para el bloqueo de las líneas cuando sea necesaria su posición central es bloqueada. Las electroválvulas (10 y 11) son de cuatro vías y dos posiciones y son monoestables. La última electroválvula es de dos posiciones y dos vías y también es monoestable. Por último la central hidráulica se compone además de un filtro de descarga y un manifold de 5 estaciones.

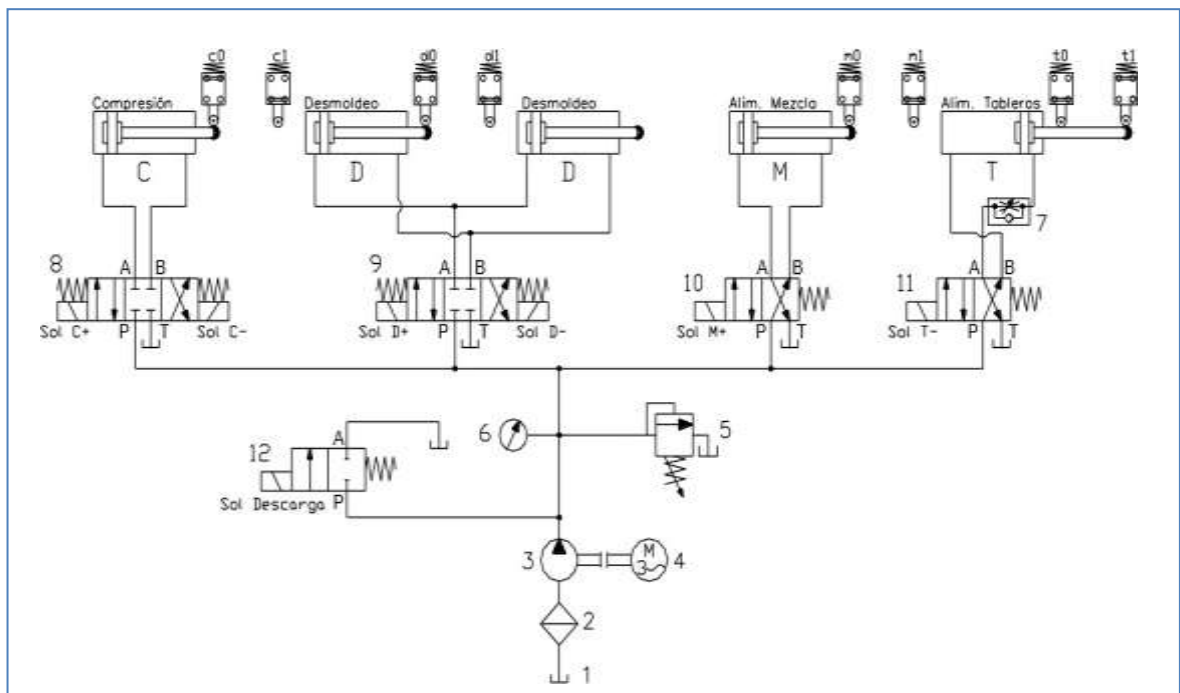


Figura 98: El funcionamiento del sistema se describe en el numeral

Fuente:

<file:///D:/Tesis%20Vibrador/TESIS/Tesis/Contenido%20de%20tesis/diseño%20de%20una%20planta%20de%20bloques.pdf>

5.2.13.2. Selección de cilindros

Las fuerzas a vencer por los cilindros fueron calculadas anteriormente se las presenta en la tabla 5.19:

TABLA 5.19. Fuerzas requeridas para cada proceso

Cilindros Hidráulicos (Actuadores)	Carga (kg)
De Compresión	2000
De Desmolde	1445
	1445
De alimentación de mezcla	1329
De alimentación de tableros	335

Fuente: Propia

Para la selección de los actuadores hidráulicos se impone una presión de trabajo en el sistema de 2500 psi, la presión del sistema es calibrada en el relief y se la podrá apreciar en el manómetro colocado junto a él.

5.2.13.3. Cálculo del diámetro requerido en los cilindros

Se sabe que la fuerza de compresión es de 2000 kg. Si se asume una pérdida de presión del 10%, la presión final que actúa en el cilindro de compresión es de 1800 psi. Con estos valores se procede a encontrar el valor del diámetro:

$$FC = pS * A = 3700 \text{ kg}$$

$$\text{Como: } pS = 1800 \text{ psi} = 126,55 \text{ Kg cm}^2$$

$$A = FC / pS = 3700 \text{ Kg} / 126,55 \text{ Kg cm}^2 = 29,24 \text{ cm}^2$$

$$\text{Puesto que } A = (\pi/4) D^2$$

$$D = (4 * 29,24 \text{ cm}^2 / \pi)^{1/2} = 6,1 \text{ cm}$$

El proceso de cálculo para el resto de diámetros de los cilindros es el mismo, y los resultados se resumen en la tabla 5.20:

Tabla 5.20. Diámetros requeridos

Cilindros Hidráulicos (Actuadores)	Carga (kg)	Área (cm ²)	Diámetro (cm)
De Compresión	2000	29,94	6,10
De Desmolde	1445	12,65	4,01
	1445	12,65	4,01
De alimentación de mezcla	1329	9,96	3,56
De alimentación de tableros	335	2,37	1,74

Fuente:

<file:///D:/Tesis%20Vibrador/TESIS/Tesis/Contenido%20de%20tesis/diseño%20de%20una%20planta%20de%20bloques.pdf>

5.2.13.4. Selección de cilindro de compresión

Del catálogo de Kompass de cilindros hidráulicos (Anexo B6) para una presión de trabajo de 126,5 kg cm² y según los diámetros requeridos de los cilindros que se observan en la tabla 5.20, se escoge los cilindros de doble efecto cuyas características se puede observar en la Figura 99:

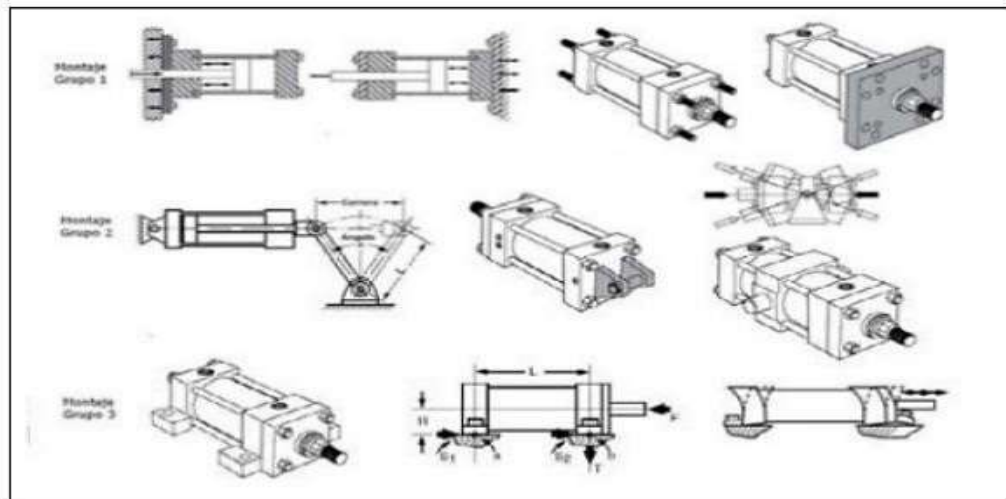


Fig. Tipos de montajes de cilindros. Fuente: Parker Hannifin Corporation

Figura 99. Características de cilindros hidráulicos seleccionados - configuración de montaje.

Fuente: Parker Hannifin Corporation

5.2.13.5. Cálculo de caudales para un ciclo de movimientos

Con las medidas de los cilindros hidráulicos detallados, el caudal requerido para la salida del vástago del cilindro de compresión es:

$$Q_s = (x/t_s) * A_s \dots\dots\dots (5.1.13.4.1)$$

Dónde:

Q_s = caudal requerido

x = carrera = 45 cm

t_s = tiempo de salida = 5,5 segundos

A_s = área de trabajo a la salida del vástago

Entonces:

$$Q_s = (45\text{cm} / 5,5\text{s}) * (\pi/4) 6,3 \text{ cm}^2 = 255,05 \text{ cm}^3/\text{s}$$

El caudal requerido para el retorno del vástago del cilindro de compresión es:

$$Q_r = (45/5) / \text{s} * \pi/4 (6,32 - 3,52) \text{ cm}^2 = 193,96 \text{ cm}^3/\text{s}$$

Esta forma de cálculo se repite para el resto de cilindros y los resultados se lo puede observar en la tabla 5.20.

5.2.13.6. Selección del relief principal

Con la presión del sistema es de 2000 psi ó 142,76 kg cm², y un caudal máximo erogado por la bomba de 4,2 gal min = 15,9 lit min.

En el catálogo de Kompass (Anexo B7) se tiene una válvula de máxima BHT-04H y cuyas características son:

$$Q_{\text{Funcionamiento}} = 400 \text{ lit min}$$

$$p_{\text{máx operación}} = 250 \text{ Kg cm}^2$$

T: Conexión por rosca

04: Tamaño

H: Rango de ajuste de presión 70–250Kg cm²

$$\Delta p = 2 \text{ bares.}$$

5.2.13.7. Selección de electroválvulas

El caudal para la selección de las electroválvulas es el erogado por la bomba $Q = 4,2 \text{ gal/min.}$

Para la selección de las electroválvulas en los procesos de compresión y desmolde se requiere la carrera regulable al inicio y al final que depende del alto del producto, además trabajan verticalmente por lo que se necesita eliminar la libertad de movimiento por gravedad. Por las razones antes señaladas lo aconsejable son distribuidores 4X3 con la posición central en no enlace (bloqueado).

Del catálogo de Kompass (Anexo B2) se tienen válvulas D5-02-3C2-A16-B, cuyas características son:

$Q_{\text{Funcionamiento}} = 10,6 \text{ gal/min}$

$p_{\text{max}} (\text{Puertos: P}) = 315 \text{ Kg/cm}^2$

D5: Tipo de conexión de enchufe

02: Tamaño

3: 3 posiciones centrado a muelle

C2: 4 vías posición central bloqueada

A1: AC 110V

6: 60 HZ

Caída de presión:

Vías P-A $\Delta p = 1,2 \text{ bar}$

Vías B-T $\Delta p = 1,2 \text{ bar}$

$\Delta p = 2,4 \text{ bar}$

Para la selección de las electroválvulas en los procesos de alimentación de tableros y alimentación de mezcla se requiere la carrera regulable solo al final, los cilindros controlados no necesitan carreras intermedias.

Por las razones antes señaladas lo aconsejable son distribuidores 4X2. Del catálogo de Kompass (Anexo B2) se tienen válvulas D5-02-2B2-A16-B, cuyas características son:

$$Q_{\text{Funcionamiento}} = 10,6 \text{ gal} / \text{min}$$

$$p_{\text{max}} (\text{Puertos: P}) = 315 \text{ Kg cm}^2$$

2: 2 Posiciones con retorno a muelle

B2: 4 vías

Caída de presión:

$$\text{Vías P-A } \Delta p = 0,7 \text{ bar}$$

$$\text{Vías B-T } \Delta p = 0,7 \text{ bar}$$

$$\Delta p = 1,4 \text{ bar}$$

Para la selección de la electroválvula que descarga el aceite directo al reservorio cuando ningún cilindro actúa lo aconsejable es un distribuidor 4X2. Del catálogo de Kompass (Anexo B2) se tienen válvulas D5-02-2B8-A16-L, cuyas características son:

$$Q_{\text{Funcionamiento}} = 10,6 \text{ gal} / \text{min}$$

$$p_{\text{max}} (\text{Puertos: P,,}) = 315 \text{ Kg /cm}^2$$

B8: 2 vías

Caída de presión: Vía P-A $\Delta p = 0,8 \text{ bar}$

5.2.13.8. Selección de regulador de caudal

Del catálogo de Kompass (Anexo B8) se tienen válvulas TVC-03, cuyas características son:

$$Q_{\text{máx}} = 5,3 \text{ gal/min}$$

$$p_{\text{max}} = 350 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\Delta p = 0,8 \text{ bar}$$

5.2.13.9. Selección de la tubería

Para las conexiones entre la central hidráulica y los cilindros se utiliza una tubería flexible de presión con un diámetro interior de 0,5 in. Según la ecuación de continuidad.

$$Q = A * v$$

$$v = (4 * Q) / (\pi * dt^2)$$

Donde:

$$Q = 4,2 \text{ gal/min} = 16,17 \text{ in}^3/\text{s}$$

dt = diámetro interior de la tubería (in) = 0,5 in; v = velocidad del fluido = 82,35 in/s. Las pérdidas de presión en la tubería dependen de si el régimen de las partículas líquidas es laminar o turbulento, el tipo de régimen se caracteriza por el número de Reynolds que viene dado por la siguiente ecuación [17]: $Re = v * dt * \rho / \mu$ Ec. 4-5 Donde: Re = Número de Reynolds dt = Diámetro interior de la tubería (in) = 0,5 in v = Velocidad del fluido = 82,35 in/s ρ = Densidad del fluido a 15°C = 0,88 Kg/l = 0,032 lb/in³ (Anexos) μ = Viscosidad dinámica del fluido =

0,011 lb in* s (Anexos) Reemplazando en la ecuación 4-5 se tiene: $Re = 119,78$

Como el número de Reynolds es menor a 2000, la selección de la tubería para el sistema hidráulico es la correcta y se tiene un flujo laminar. Para este tipo de régimen se recomienda tomar una pérdida igual a 0,06 Bar m de tubería, por lo tanto se tiene: Pérdidas en la tubería = 0,06 bar m * 20 m = 1,2 bares.

5.2.13.10. Selección de la bomba

Para la selección de la bomba se encuentra el caudal máximo requerido por los actuadores hidráulicos en un ciclo de trabajo, para esto se grafica la secuencia de movimientos como en la figura 100.

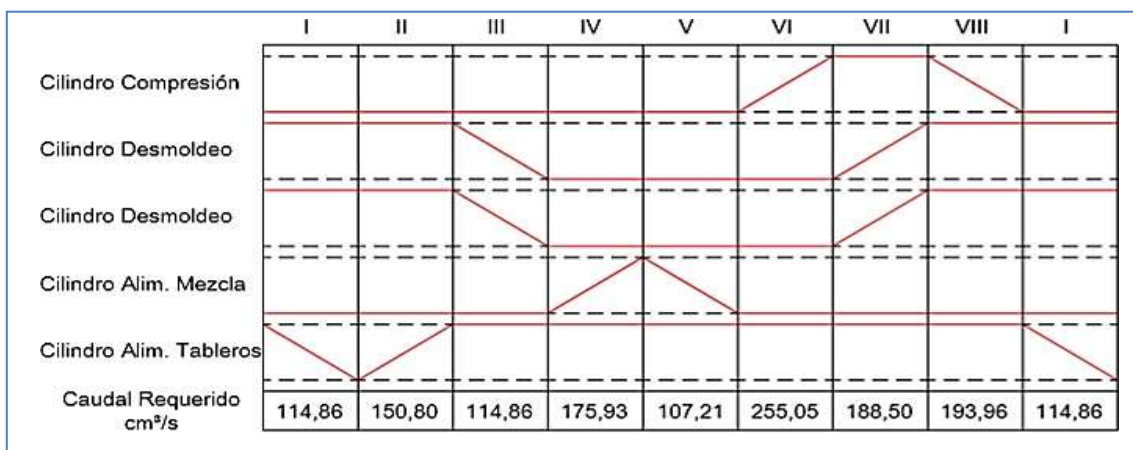


Figura 100: Secuencia de Movimientos

Fuente:

<file:///D:/Tesis%20Vibrador/TESIS/Tesis/Contenido%20de%20tesis/diseño%20de%20una%20planta%20de%20bloques.pdf>

En la figura 95 se observa que los cilindros de desmolde trabajan simultáneamente pero la suma de los caudales para estos es mucho menor que el caudal de salida del cilindro de compresión, por lo que el caudal máximo efectivo es:

$$Q_{Ef} = 255,05 \text{ cm}^3/\text{s} = 15302,8 \text{ cm}^3/\text{min}$$

$$\text{Como: } Q_t = Q_{Ef} \eta_v$$

Donde:

$$Q_t = \text{Caudal teórico } \eta_v = \text{Eficiencia volumétrica} = 0,95$$

Luego:

$$Q_t = 16108,21 \text{ cm}^3/\text{min}$$

La bomba se acopla a un motor cuyo velocidad angular es $N = 1740 \text{ rpm}$.

$$C = Q N = 16108,21 \text{ cm}^3 \text{ min}^{-1} 1740 \text{ rpm}$$

5.3. Costos

En el siguiente análisis económico se pretende dar una descripción general de todos los gastos realizados para obtener el valor de la inversión realizada en el diseño y construcción de la máquina.

5.3.1. Costos directos.

En el análisis de costos directos se toman en cuenta los gastos por materiales, mano de obra, equipos o maquinarias utilizados y transporte, los mismos que se detallan en los literales siguientes:

Tabla 5.21. Costos de materiales y accesorios mecánicos

						70	181.5	
Material	Descripción	Unidad	Dimensiones (m)	Cantidad	Kg/m	Kg/unidad	Costo/unidad	Costo
Plancha	3 mm SAE 1012	plancha	1,2 x 2,40	2.5		70	181.5	453.75
Plancha	4 mm SAE 1012	plancha	1,2 x 2,41	2.5		93.33	242	605
Plancha	6 mm SAE 1012	plancha	1,2 x 2,42	2		140	363	726
Plancha	10 mm SAE 1012	plancha	1,2 x 2,43	1.5		233.33	605	907.5

Perfil	UPN 80	Varilla	6	3	8.64	51.84	134.41	403.24
Perfil	UPN 100	Varilla	6	10	10.6	63.6	164.91	1649.06
Perfil	L 25x25x3	Varilla	6	3	1.12	6.72	17.42	52.27
Perfil	L 50x50x6	Varilla	6	3	4.47	26.82	69.54	208.62
Perfil	L80x80x8	Varilla	6	5	9.63	57.78	149.82	749.08
Platina	12x3 mm ASTM A36	Varilla	6	0.6	0.283	1.698	4.4	2.64
Platina	50x10 mm ASTM A36	Varilla	6	1.2	3.93	23.58	61.14	73.37
Barra redonda	16 mm ASTM 36	Barra	6	2	1.58	9.48	24.58	49.16
Eje	Ø=1	varilla	6	0.5	3.98	23.88	61.92	30.96
Eje	Ø=1 ¼	varilla	6	0.5	6.22	37.32	96.77	48.38
Eje	Ø=1 3/8	varilla	6	0.1	7.71	46.26	119.95	11.99
Eje	Ø=1 ½	varilla	6	0.2	8.95	53.7	139.24	27.85
Eje	Ø=1 ¾	varilla	6	0.75	11.435	68.61	177.9	133.42
Eje	Ø=2	varilla	6	0.2	13.92	83.52	216.56	43.31
Eje Hueco	Ø=2 1/2 x 5,16 SCH 40	varilla	6	0.2	8.63	51.78	134.26	26.85
Eje Hueco	Bronce Ø=2 1/2x5	varilla	6	0.2	7.09	42.54	690.85	138.17
Perno/Tuerca	Acero G8 SAE UNC 3/8 x 1	unidad		40			0.8	32
Perno/Tuerca	Acero G8 SAE UNC 3/8 x 1 1/2	unidad		30			0.8	24
Perno/Tuerca	Acero G8 SAE UNC 1/2 x 1	unidad		24			1.8	43.2
Perno/Tuerca	Acero G8 SAE UNC 1/2 x 1 1/2	unidad		100			2	200
Perno/Tuerca	Acero G8 SAE UNC 1/2 x 2	unidad		24			2.2	52.8
Perno/Tuerca	Acero G8 SAE UNC 1/2 x 2 1/2	unidad		32			2.4	76.8
Perno/Tuerca	Acero G8 SAE UNC 1/2 x 5 1/2	unidad		12			4.8	57.6
Perno/Tuerca	Acero G8 SAE UNC 5/8 x 2	unidad		12			2.5	30

Perno/Tuerca	Acero G8 SAE UNF 5/8 x 2 1/2	unidad	12	2.8	33.6
Perno/Tuerca	Acero G8 SAE UNC 3/4 x 1 1/2	unidad	24	3	72
Perno/Tuerca	Acero G8 SAE UNC 3/4 x 2	unidad	18	3.5	63
Perno/Tuerca	Acero G8 SAE UNC 3/4 x 3	unidad	12	4	48
Rodamiento	SKF Explorer 20/37	unidad	12	15	180
Rodamiento	SKF Explorer 40/62 rodillos a rotula	unidad	4	220	880
Chum. Piso (2")	NBR UPC 211 2	unidad	6	45	270
Resortes	cilíndrico de compresión	unidad	24	5	120
Polea	3" Aluminio	unidad	2	20	40
Polea	4,5" Aluminio	unidad	2	30	60
Polea	3,5" Hierro Fundido	unidad	2	40	80
Polea	4,5" Hierro Fundido	unidad	1	50	50
				Total	753.63

Fuente propia

El costo total en materiales mecánicos para la máquina es de S/. 8 753,63 soles.

Tabla 5.22. Costos de materiales Hidráulicos

Cantidad	Descripción	costo
1	Grupo P/Central Hidráulica AC Bomba D/Engranaje	2150
3	Kompass Electroválvula 4/2 Simple Solenoide cetop 3	165.37
3	Kompass Bobina 110V Hidráulica cetop 3	0.01
3	Ficha de conexión 32 DIN 43650-A/ISO-4400	0.01
2	Kompass Electroválvula 4/3 centro cerrado cetop 3	229.69
4	Kompass Bobina 110V hidráulica cetop 3	0.01
4	Ficha de conexión 32 DIN 43650-A/ISO-4400	0.01
1	Kompass Cilindro Hidráulico 2E Diam 63 x 400 carrera	724.26
2	Kompass Cilindro Hidráulico 2E Diam 40 x 300 carrera	453.9
1	Kompass Cilindro Hidráulico 2E Diam 40 x 600 carrera	570.66
2	Kompass Cilindro Hidráulico 2E Diam 40 x 700 carrera	604.02
1	Aerotech Horquilla con pasador P/Cil Diam 80-100	28.5
1	Kompass Horquilla P/Cil Diam 63 Hidráulica	66.09
2	Placa Delantera de sujeción P Cil Diam 80 AA	38.5
2	Basculante Post Hembra P/Cil Diam 50 AA	31.2
	Basculante Post Macho P/Cil Diam 50 AA	42.5
4	Pie externos P/Cil Diam 63	108.78
2	Kompass Manifold 2 estaciones cetop 3	108.78
1	Kompass Sub Placa de montaje hidráulica P/cetop 3	54.39
27	Manguera 100R-2 1/2 ALFILES mts.	5.816
28	Capsula R-2 1/2 un.	0.8036
14	Prensada Manguera	1.0804

55	Accesorios (neplos, tees, uniones)	6.5
TOTAL	\$ (USD)	5384.38
	S/. (PEN)	17768.454

Fuente: Propia

Tabla 5.23. Costos e materiales y accesorios eléctricos y electrónicos

Cantidad	Descripción	costo
1	Breaker 3P 32A	29.8
1	Breaker 3P 25A	29.8
1	Breaker 3P 16A	29.8
2	Breaker 2P 16A	18.62
1	Breaker 1P 6A	8.11
1	Contactor 32 A	58.58
1	Contactor 18 A	20.33
2	Contactor 12 A	9.49
2	Contactor 9 A	5.8
5	Bobina Tesys 220V	21.8
1	Relé térmico 23-32A	67.66
Total	\$ (USD)	299.79
	S/. (PEN)	989.307

Tabla 5.24. Costos e materiales y accesorios eléctricos y electrónicos

Cantidad	Descripción	costo
2	Relé térmico 12-18A	41.72
1	Relé térmico 7-10A	41.72
1	Bornera 1P 44A	1.52
1	Interbloqueo mecánico eléctrico	11.63
7	Relé 8 pines 24 VDC	12.42
7	Base 8 pines Telemecanique	4.54
2	Base fusible 10X38 Camsco	1.8

1	Pulsador hongo con retención	19.63
1	Selector 3 posiciones	4.92
5	Pulsador verde 1 NA	2.95
5	Pulsador rojo 1 NC	2.95
3	Selector 3 posiciones retorno centro	17.59
2	Selector 2 posiciones con retorno	16.76
1	Repartidor 4P 125A Legrand	32.9
2	Fusible 10X38 4A Legrand	0.94
3	Riel DIN 35MM Acero perforado	3.27
2	Canaleta plástica 33X33mm	6.59
1	Libretin marcador Dexón	8.94
5	Luz piloto roja 22mm	3.52
5	Luz piloto verde 22mm	3.82
10	Foco Bayon 240V 2,4W Incandescente	1.59
3	Micro T. rodillo de nivel	16
6	Micro HY-LS804N	16
3	Micro limit switch Hand Young	16
1	Micro rodillo Telemecanique	35
1	PLC Twido TWDLCAA24DRT	313.6
1	Módulo expansión TWDDRA8RT	106.33
1	Módulo expansión TWDDDI8DT	107.95
1	Cable programación + software	225.73
1	Caja eléctrica 30X30 cm	
1	Caja eléctrica 100X80 cm	
1	Motor trifásico 10 HP	582.4
1	Moto reductor trifásico 3 HP	728
2	Motor monofásico 2HP	134.4
15	Mts. Cable concéntrico de 3 AWG 18	0.96
15	Mts. Cable concéntrico de 4 AWG 18	1.15
20	Mts. Cable concéntrico de 4 AWG 12	

20	Mts. Cable concéntrico de 4 AWG 8	
400	Cable flexible TFF AWG 18	0.16
5	Funda BX 3/4"	1.79
TOTAL	\$ (USD)	2527.19
	S/. (PEN)	8339.727

El costo total por materiales para la máquina para prefabricados de hormigón es:

Tabla 5.25. Costos totales por materiales

Materiales	Valor (PEN)
Mecánicos	8753.63
Eléctricos y electrónicos	9329.72
Hidráulicos	17768.45
Total (S/.)	35,851.80

Fuente: Propia

Costos por maquinaria y equipos utilizados.

Tabla 5.26. Costos por maquinaria y equipos utilizados

Máquina/Herramienta	Costo/Hora	Horas Equipo	Costo
Torno	15	38	570
Soldadora de Arco	4	120	480
Oxi-corte	5	8	40
Tronzadora	5	22	110
Dobladora mecánica	5	5	25
Plegadora	5	6	30
Amoladora	1	10	10
Compresor	3	32	96
Otros equipos			100

Herramienta manual	5% Mano de Obra	178.9
TOTAL (\$)		1639.9
TOTAL (S/.)		5411.67

Fuente: Propia

Costos por mano de obra.

Tabla 5.27. Costos por mano de obra

Trabajador	Salario/Hora	Horas Hombre	Costo
Maestro mecánico	3	704	2112
Ayudante mecánico	1	704	704
Maestro eléctrico	3	254	762
TOTAL (\$)			3578
TOTAL(S/.)			11807.4

Fuente: Propia

Costos por transporte.

Tabla 5.28. Costos por transporte

Transporte	Costo/Flete	Cantidad	Costo
Material a taller	10	4	40
Máquina a planta	60	1	60
Otros			10
TOTAL TRANSPORTE (\$)			110
TOTAL TRANSPORTE (S/.)			363

Fuente: Propia

El valor total por costos directos es:

Tabla 5.29. *Valor Total costos directos*

Costo por	Valor (PEN)
Materiales y accesorios	35,851.80
Maquinaria y equipo utilizado	5,412
Mano de obra	11,807
Transporte	363
Total costos directos	53,433.87

Fuente: Propia

Costos indirectos.

Tabla 5.30. *Costos indirectos*

Detalle	Cantidad (% CD)	Valor (PEN)
Ingenieriles (Diseño y supervisión)	10%	5,343.39
Imprevistos	5%	2671.6935
Utilidad	0	
Total costos indirectos		8,015.08

Fuente: Propia

5.4. Costos totales

Los costos totales equivalen a la suma de los costos directos más los costos indirectos, sumados estos dos valores se tiene el valor de 61 448,95 (PEN). (Sesenta y Un mil cuatrocientos cuarenta y ocho con noventa y cinco centavos).

5.4.1. Análisis de costos por operación y mantenimiento.

De acuerdo al diseño realizado para la máquina de construcción de prefabricados de hormigón (cajas de registro) podemos hallar un valor aproximado en cuanto se refiere a costos por operación y mantenimiento.

Considérese un período de trabajo de la máquina de 8 horas al día. También considérese como días laborables en un mes solo 22 días. Los datos de consumos eléctricos se toman de los respectivos catálogos y se obtiene:

Tabla 5.31. Consumo eléctrico

Consumo Eléctrico					
Detalle	T	Horas de trabajo	□ motor	kW.h al mes	
	ts				
Motor trifásico mezcladora	4	176	0.81		1620.94
	60				
Motor trifásico Sist. Hidráulico	7	176	0.79		830.99
	30				
Motores de vibración	2	20	0.8		74.60
	984				
Elementos electrónicos	1	176	0.75		234.67
	000				
			Total		2761.19

Fuente: Propia

En nuestro país se tiene un costo promedio de energía eléctrica de S/. 0.5543 por kW-h; por tanto, el valor mensual a pagar por operación de la máquina será de S/.1530.527. Otros datos a considerar serán el pago por operario, consumo de cemento, arena y por materiales propios de mantenimiento como grasa y elementos de limpieza así como los EPP. Los valores se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 5.32. Costos de Operación y mantenimiento en un mes

Detalle	Valor (pen)
Consumo eléctrico	1530.53
Operarios	11440
Consumo de cemento	9919
Consumo de macadam triturado	4908
Consumo de agua	60
Grasa	50
Materiales para limpieza	312
TOTAL	28219.53

Fuente: Propia

5.4.2. Costos diferenciables

a) Salvamento de la máquina

Para efectos de cálculos de rentabilidad, se hace necesaria la estimación de un valor de salvamento de la máquina para prefabricados de hormigón al momento en el que haya terminado su vida legal contable. Se estima un valor de salvamento del 10 % del costo de inversión en función de que los elementos constitutivos de la máquina, en especial los electrónicos, seguirán funcionando al término de su vida útil contable.

Se tiene: Inversión:

$$P = S/.61\,448,95$$

$$\text{Salvamento de la máquina: } S = 10\% * P$$

$$S = 0,10 * 61448,95$$

$$S = 6144,895$$

b) Depreciación de la máquina

La depreciación es la pérdida de valor contable que sufren los activos

fijos por el uso a que se les somete y su función productora de renta. En la medida en que avance el tiempo de servicio, decrece el valor contable de dichos activos. La vida contable de un activo fijo depreciable comienza desde la fecha en que la empresa lo compra y lo empieza a explotar económicamente hasta la fecha en que se cumple su depreciación total. Las leyes tributarias de nuestro país determinan una vida legal para maquinaria y equipos de 10 años. El método de depreciación en línea recta es el método más utilizado y con este se supone que los activos se usan más o menos con la misma intensidad año por año, a lo largo de su vida útil; por tanto, la depreciación periódica debe ser del mismo monto. Aplicando este método a la máquina para la construcción de los prefabricados se tiene una depreciación anual de Inversión:

$$P = S/. 61\,448,95$$

$$\text{Salvamento: } S = S/. 6144,895$$

$$\text{Vida útil contable: } n = 10 \text{ años}$$

Depreciación anual:

$$Da = (P - S) / n$$

$$Da = 5530,41$$

La depreciación anual, acumulada y el valor en libros de la máquina para prefabricados al final de cada uno de los años de vida útil, se pueden apreciar en la siguiente tabla:

Tabla 5.33. Depreciación anual de la máquina

Año	Depr. Anual (pen)	Depr. Acumulada (pen)	Valor en libros(pen)
0	0	0	61448.95
1	5,530.41	5,530.41	55,918.54
2	5,530.41	11,060.81	50,388.14
3	5,530.41	16,591.22	44,857.73

4	5,530.41	22,121.62	39,327.33
5	5,530.41	27,652.03	33,796.92
6	5,530.41	33,182.43	28,266.52
7	5,530.41	38,712.84	22,736.11
8	5,530.41	44,243.24	17,205.71
9	5,530.41	49,773.65	11,675.30
10	5,530.41	55,304.06	6,144.90

Fuente: Propia

c) Análisis del punto de equilibrio

El punto de equilibrio se presenta cuando el ingreso cubre los costos fijos y variables generados en la producción de los prefabricados de hormigón. Para la instalación de la planta mencionada en los antecedentes se tendrá un análisis real del punto de equilibrio contemplando todo el proceso de la producción de los prefabricados. Los datos de costos que se estiman para el primer año de funcionamiento se detallan en la tabla siguiente:

Tabla 5.34. Costos fijos y costos variables de funcionamiento

Concepto	Costo fijos	Costos variables
Consumo eléctrico	-	15305.29
Arriendo de la planta	10800	
Operario	137280	-
Consumo de macadán	-	49080
Consumo de cemento		99190
Consumo de agua	-	600
Grasa	-	500
Materiales para limpieza	3120	-
Depreciación	5530.41	-
TOTAL	156730.41	164675.29

Fuente: Propio

Inversión: $P = S/.61\,448,95$

Producción mínima mensual de la máquina:

Período de trabajo: $P_t = 8 \text{ h/día}$

Producción: $P_h = 30 \text{ u/h}$

Días al mes: $D_t = 22 \text{ días}$

Producción mensual: $P_m = P_t \cdot P_h \cdot D_t = 5280 \text{ u/mes}$

Ingreso anual:

Costo por producto: $C_p = 11 \text{ pen}$

Ingreso mensual: $I_m = P_m \cdot C_p = 58\,080,00$

Ingreso anual: $I_a = I_m \cdot 10 = 580\,800,00$

Aplicando la fórmula para el punto de equilibrio y reemplazando valores se tiene:

$$P_e = \frac{\text{Costo fijo}}{1 - \frac{\text{Costo Variable}}{\text{Ventas totales}}} \dots\dots\dots (5.3.2.1)$$

$$P_e = 218\,744,466$$

Como el ingreso se calcula a razón de S/.11.00 por caja de registro. El número de cajas que se requieren vender para llegar al punto de equilibrio es:

$$N \text{ cajas} = P_e / 11$$

$$N \text{ cajas} = 19\,885,86$$

Con una producción de 30 unidades por hora de la máquina, se requieren 662,862 horas de trabajo; a un ritmo de 8 horas de trabajo por día y 22 días por mes se necesitará un tiempo de 3,76 meses para llegar al punto de equilibrio.

CAPITULO VI: RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES

6.1. Conclusiones

- a) Se diseñó y fabricó el vibrador unidireccional, logrando la mejora significativa en la calidad y homogeneidad del concreto vibrado.

Comparación técnica (Vibración Rotacional Vs Vibración Unidireccional).

	V. Rotacional	V. Unidireccional
Tiempo de compactación	15 s	6 s
Relación agua/cemento	0,65	0,5
Relación agre./cemento	4/1	9/2
Acabado superficial	Bueno	Muy bueno
Compactación (R)	Aceptable (R)	Mejora observable (>R)

- b) Se diseñó y fabricó el sistema hidráulico de compactación, a la vez que se incorporó en el sistema de desmolde, permitiendo la estandarización dimensional de la pieza prefabricada de concreto.
- c) Se formalizó el proceso de control de calidad y homogeneidad de los elementos prefabricados de concreto mediante el uso de protocolos: pre y post fabricación. (Anexos N° 1; 2 y 5).
- d) La mejora en la economía de concreto, como consecuencia de una mejor vibro compactación, se verifica en el cambio de la proporción: agregado/cemento, de 4/1 a 9/2.

- e) La mejora significativa en mano de obra (de 3 técnicos desmoldadores a 1 técnico desmoldador), también como consecuencia del uso del sistema hidráulico en la compactación y desmolde de las piezas prefabricadas.
- f) La mejora productiva de 90 a 120 unidades, permite una mejora en el costo unitario.
- g) Con los componentes antes descritos, el proceso de fabricación se realiza sin paradas no planificadas, lo que permite el suministro oportuno ante el requerimiento diario por las obras de saneamiento.

6.2. Recomendaciones

- a) Si bien, se diseñó y fabricó un vibrador unidireccional vertical ($\Sigma f_x=0$) de masas desbalanceadas, y se obtuvo los resultados esperados, es necesario también una mejora constructiva del vibrador.

Es necesario una cubierta o caja de lubricación para el sistema de engranaje, puesto que mejoraría los niveles de ruido y disminuiría la fatiga entre piñones, además se propone una verificación de las rpm versus la masa de concreto a vibrar para cada tipo de prefabricado.

- b) El sistema de mando y fuerza hidráulica consta de 4 actuadores hidráulicos, actualmente manipulados directamente por un operador, lo que ha evidenciado una falta de seguridad en el manejo de los mismos, recomendándose para ello un sistema de sensores de aproximación.

- c)** Es necesaria también la capacitación del personal sobre el control de la calidad y homogeneidad de los elementos prefabricados de concreto mediante el uso de protocolos: pre y post fabricación. Así como el correcto tratamiento de las probetas de concreto.
Implementar un área para destinarlo al control del curado de las probetas.
- d)** Es necesaria la convalidación de la resistencia de la nueva proporción con ensayos de ruptura de las probetas. (Laboratorio USS).
- e)** Se recomienda diseñar un faja transportadora para una oportuna y fluida salida de los elementos prefabricados de la maquina vibro compactadora.
- f)** Los componentes que conforman la maquina (vibrador e hidráulicos) son elementos indispensables en el proceso de producción pero se requiere del análisis de desperdicios para la mejora en volumen de producción.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bibliografía:

1. UNI Facultad de Ing. Civil (2013) Mesa vibradora unidireccional.
Disponible en:
<http://www.acreditacionfic.uni.edu.pe/files/MesaVibradora.pdf>
2. LAFITA, F.; MATA, H. (1968). Introducción a la Teoría de las vibraciones mecánicas. Ed. Labor.
3. Joaquín Porrero S. / Carlos Ramos R. / José Grases G. / Gilberto J. Velazco (2009) Manual del concreto estructural (3ra ed.). Caracas, Impresos Minipres C.A.
4. Escuela Politécnica Nacional (2011) Diseño de una máquina semiautomática para la fabricación de adoquines y bloques de concreto.
Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/4299/1/CD-3503.pdf>
5. SHIGLEY EDWARD; Diseño en Ingeniería Mecánica; Ed. Mc Graw Hill; Tercera edición; México, 1985.
6. VIERCK, ROBERT; Vibration Analysis; International Texbook Company Scranton, Pennsylvania, 1967.
7. JUAN CARLOS BOTERO PALACIO; Dinámica de estructuras: Sistemas de un grado de libertad; Primera Ed. Abril 2011.

Linkografía:

- a. <http://www.acreditacionfic.uni.edu.pe/files/MesaVibradora.pdf>
- b. <http://ocw.upm.es/ingenieria-agroforestal/fisica-aplicada-a-la-ingenieria/contenidos/tema-4/VIBRACIONESMECANICAS.pdf>

- c. <https://pe56d.s3.amazonaws.com/p193k6ak6nqf8199a17uh1ukueue9.pdf>
- d. <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/4299/1/CD-3503.pdf>
- e. <http://www.motiva.com.pe/articulos/lean%20construction%20en%20el%20peru.pdf>
- f. <http://www.monografias.com/trabajos60/desperdicio-produccion/desperdicio-produccion2.shtml#ixzz4plcp7G3m>

ANEXOS

Anexo 1: Conformidad de diseño de mezclas

"OPTIMIZACIÓN EN LA PRODUCCIÓN DE LA PLANTA DE ELEMENTOS PREFABRICADOS DE CONCRETO IMPLEMENTADA PARA EL PROYECTO DE SANEAMIENTO PACHACUTEC EN VENTANILLA - CALLAO EN EL AÑO 2013"

	REGISTRO	QUA-PRO-00102-F4
	CONTROL DE CALIDAD	Revisión: 02
	CONFORMIDAD DE DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO	Testista: LMAL Fuente: Propia

NOMBRE DEL PROYECTO:	N° CORRELATIVO:
SUPERVISIÓN:	FECHA:
ELEMENTO:	SECTOR:

1.- DATOS DE DISEÑO

Código de Diseño:	
f'c (diseño):	Cemento Tipo:
Relación (a/c):	Cantera de arena:
Asentamiento:	Cantera de piedra:

- El concreto se ha diseñado por: Durabilidad ☐ Resistencia ☐

2.- DOSIFICACIÓN EN VOLUMEN (m³)

MATERIALES	CANTIDAD	UNIDADES
Cemento		Kg
Agua		Lit.
Agregado fino		Kg
Agregado grueso		Kg
Aditivo 1		Kg
Peso del Concreto		kg/m ³

3.- DOSIFICACIÓN EN VOLUMEN (m³)

Cemento	Agua	Ag. Fino	Ag. Grueso	Aditivo 1

4.- MUESTRAS TOMADAS (Código):

	3 días	7 días	14 días	21 días	28 días
Probeta 1					

5.- OBSERVACIONES

LABORATORIO	CONTROL DE CALIDAD	SUPERVISIÓN
Firma:	Firma:	Firma:
Nombre:	Nombre:	Nombre:
Fecha:	Fecha:	Fecha:

Fuente:

<file:///D:/Tesis%20Vibrador/TESIS/Tesis/Contenido%20de%20tesis/OPTIMIZACION%20DE%20UNA%20PLANTA%20DE%20PREFABRICADOS.pdf>

[illegible]

<file:///D:/Tesis%20Vibrador/TESIS/Tesis/Contenido%20de%20tesis/OPTIMIZACION%20DE%20UNA%20PLANTA%20DE%20PREFABRICADOS.pdf>

Anexo 3: Control de calidad visual del prefabricado





Anexo N° 4: Método para el cálculo del módulo de finura

5. GRANULOMETRIA.

A) DEFINICIÓN

La granulometría se refiere a la distribución de las partículas del agregado. El análisis granulométrico divide la muestra en fracciones, de elementos del mismo tamaño, según la abertura de los tamices utilizados. Para nuestro caso analizaremos por separado el agregado grueso del fino, después de este análisis y gracias a estos datos podremos obtener además el tamaño máximo nominal y el módulo de finura de ambos agregados, los cuales serán muy importantes para el diseño de mezclas a realizar luego.

✓ MODULO DE FINURA (MF):

Viene a ser la relación entre la sumatoria de los porcentajes retenidos acumulados en cada uno de los tamices (N° 4, N° 8, N° 16, N° 30, N° 50, N° 100) sobre 100.

✓ SUPERFICIE ESPECÍFICA (SE):

Se define como la relación del área entre el volumen de una determinada partícula.

B) FUNDAMENTO TEÓRICO:

✓ MODULO DE FINURA DEL AGREGADO FINO (MF):

La suma de los porcentajes retenidos acumulados de las mallas estándar para el agregado fino (N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100) todo entre 100

$$M.F = \frac{\% \text{ ret. Acum malla } (N^{\circ}4, N^{\circ}8, N^{\circ}16, N^{\circ}30, N^{\circ}50, N^{\circ}100)}{100}$$

✓ MODULO DE FINURA DEL AGREGADO GRUESO(MF):

La suma de los porcentajes retenidos acumulados de las mallas estándar para el agregado total todo entre 100

$$MF = \frac{\% \text{ Ret. Acum. } (3", 1\frac{1}{2}", 3/4", 3/8", N^{\circ}4, N^{\circ}8, N^{\circ}16, N^{\circ}30, N^{\circ}50, N^{\circ}100)}{100}$$

C) ESPECIFICACIONES TECNICAS:

- ✓ Para el modulo de finura las especificaciones técnicas q a continuación se dan están referidas exclusivamente al agregado fino
 - a. El modulo de finura no debe ser menor que 2.3 ni mayor que 3.1
 - b. La variación del módulo de finura, no debe exceder de 0.2 de la base del módulo para una determinada obra
 - c. Los agregados finos cuyos módulos de finura varían entre 2.2 y 2.8 se obtienen concretos de buena trabajabilidad y reducida segregación.
 - d. Los agregados finos cuyos módulos de finura varían entre 2.8y 3.2 son los más indicados para producir concretos de alta resistencia
 - e. En Cajamarca las diferentes canteras presentan una variación con respecto al modulo de finura entre 0.79 a 3.81
- ✓ La gradación debe estar dentro de las tablas N°1 y N°2 para el Agregado fino y Agregado grueso respectivamente.

D) MATERIAL Y EQUIPO:

- Una Balanza con sensibilidad 1 gr.
- Juego de Tamices conformados por N° 4, N° 8, N° 16, N° 30, N° 50, N° 100.(Agreg. Fino)
- Juego de Tamices conformados por 3", 1 ½", ¾", 3/8", N°4. (Agreg. Grueso)
- Una Estufa a temperatura constante de 110 °C.

E) PROCEDIMIENTO:

- ✓ **Para el agregado fino.**
 - Se tomó cierta cantidad de material y se coloco dentro de una estufa durante 24 horas con lo que se logró el secado del material.
 - Se peso 2515g de grava.



- Con una serie de tamices se confecciono una escala descendente en aberturas, dichos tamices fueron: N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100.



Foto N° 49

- Se vierte el material sobre esta serie de tamices, se procede a pesar y registrar los pesos retenidos en cada uno de los tamices.



Foto N° 50

✓ **Para el agregado grueso.**

- Se tomó cierta cantidad de material y se colocó dentro de una estufa durante 24 horas con lo que se logró el secado del material.
- Se pesó 2515g de grava.



Foto N° 51

- Con una serie de tamices se confecciono una escala descendente en aberturas, dichos tamices fueron: 2", 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8" y N° 4.



Foto N° 52

- Se vierte el material sobre esta serie de tamices, se procede a pesar y registrar los pesos retenidos en cada uno de los tamices.



Foto N° 53

CUADRO RESUMEN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

PROPIEDAD FÍSICA		AGREGADO GRUESO		AGREGADO FINO	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS
1. Contenido de Humedad (w%)		1.34		8.3	
A) Peso Unitario Volumétrico (g/cm ³)	P.U.V. Suelto	1391.9	1378.82	1340.15	agregado fino varía entre 1400 a 1700 agregado grueso varía entre 1350 a 1680
	P.U.V. Compactado	1548.5	1533.96	1460.36	disminuye cerca de un 20% para el peso unitario suelto
3. Peso Específico (g/cm ³)	P _{am}	2.62		2.43	varía entre 1.2 a 2.2 para concretos ligeros
	P _{ensas}	2.64		2.5	varía entre 2.3 a 2.9 para concretos normales
	P _{esp}	2.69		2.62	
B) Grado de Absorción (%)		1.05		3.09	normalmente en el intervalo de 0.20 a 3.5
4. Granulometría	Modulo de Finura	7.55		2.863	solo para AF: Si varía entre 2.2 y 2.8 se obtienen concretos de buena trabajabilidad y reducida segregación Si varía entre 2.8 y 3.2 se obtienen concretos de alta resistencia
	% que pasa por el tamiz n°200	—		1.193	Sdfgsdfb
	T.M.	1"			
	T.M.N.	1"			

Fuente: <https://es.slideshare.net/dens15tas/estudio-tecnologico-de-los-agregados-fino-y-grueso>

Anexo N° 5: Control del pre vaciado

"OPTIMIZACIÓN EN LA PRODUCCIÓN DE LA PLANTA DE ELEMENTOS PREFABRICADOS DE CONCRETO IMPLEMENTADA PARA EL PROYECTO DE SANEAMIENTO PACHACUTEC EN VENTANILLA - CALLAO EN EL AÑO 2017"

	REGISTRO		PROQUA 02	
	CONTROL DE CALIDAD		Rev: 02	
	LIBERACIÓN DE ESTRUCTURAS (PRE-VACIADO)		Testista: LMAL	
			Fuente: Prople	

NOMBRE DEL PROYECTO:		N° CORRELATIVO:	
SUPERVISIÓN:		FECHA:	
UBICACIÓN:	ELEMENTO:		
RESISTENCIA (f'c)	MODULO:		

CHECK LIST DE VERIFICACIÓN DE COLOCACIÓN DE ARMADURA				
ITEM	DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES	SI	NO	OBSERVACIÓN
1	Limpieza, colocación y fabricación de armadura principal (Verificar corrosión)			
2	Verificación de Estribos (cantidad y espaciamiento)			
3	Verificación de Longitudes de Traslape			
5	Verificación de doblado según especificación			
6	Soldadura de armadura (Norma AWS D1.4-92)			
7	Verificar insertos y embutidos			
8	Otros			

NOTA: La barra no deberá enderezarse ni volverse a doblar. No se usarán las barras con ondulaciones o dobleces no mostrado en los planos, o las que tengan fisuras o roturas. No se permitirán empalmes en zonas críticas.

CHECK LIST DE VERIFICACIÓN DE ENCOFRADOS					
TIPO DE ENCOFRADO:	Madera	Metálico	Otros	Especifique:	
ITEM	DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES	SI	NO	N/A	OBSERVACIÓN
1	Verificación de trazo, niveles, verticalidad y horizontalidad				
2	Aplicación de desmoldante / sellador (madera) / limpieza				
3	Conformidad de dimensiones (modulación) y acortamientos (alineadores, cuñas, etc.)				
5	Verificación de octavos				
6	Verificación de hermeticidad de encofrado				
7	Conformidad de recubrimiento (platos de concreto y/o separadores de plástico)				
8	Otros				

CHECK LIST DE LIBERACIÓN DE ESTRUCTURAS				
ITEM	DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES	SI	NO	OBSERVACIÓN
1	Limpieza de la estructura			
2	Inspección topográfica			
3	Verificación de la armadura según check list			
4	Verificación del encofrado según check list			
6	HSS: tuberías, puertos de salida y pases			
8	Equipos operativos			
9	Otros			

OBSERVACIONES

Note: Adjuntar Plano o Croquis

ELABORADO POR:	REVISADO POR:	SUPERVISIÓN
Firma:	Firma:	Firma:
Nombre:	Nombre:	Nombre:
Fecha:	Fecha:	Fecha:

Fuente:

<file:///D:/Tesis%20Vibrador/TESIS/Tesis/Contenido%20de%20tesis/OPTIMIZACION%20DE%20UNA%20PLANTA%20DE%20PREFABRICADOS.pdf>

Anexo N° 6: Fabricación del sistema de Vibración Unidireccional para la vibro compresión del concreto



Anexo N° 7: Cajas de registro para saneamiento

