



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

**ANÁLISIS FINANCIERO DE PUESTA EN MARCHA DE MAQUINARIA VIBROCOMPRESORA  
POR MEDIO DE UN SISTEMA MECÁNICO DE EXTRACCIÓN DE AGLOMERADOS DE  
CONCRETO EN EMPRESA BUSTAMANTE, S.A.**

**Erasmó Josué Beltetón Urbina**

Asesorado por el Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez

Guatemala, junio de 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS FINANCIERO DE PUESTA EN MARCHA DE MAQUINARIA VIBROCOMPRESORA  
POR MEDIO DE UN SISTEMA MECÁNICO DE EXTRACCIÓN DE AGLOMERADOS DE  
CONCRETO EN EMPRESA BUSTAMANTE, S.A.**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**ERASMO JOSUÉ BELTETÓN URBINA**

ASESORADO POR EL ING. CARLOS HUMBERTO PÉREZ RODRÍGUEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL**

GUATEMALA, JUNIO DE 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Jurgen Andoni Ramírez Ramírez
VOCAL V	Br. Oscar Humberto Galicia Núñez
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADORA	Inga. Sigrid Alitza Calderón de León
EXAMINADOR	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez
EXAMINADOR	Ing. Saulo Moisés Méndez Garza
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

## HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**ANÁLISIS FINANCIERO DE PUESTA EN MARCHA DE MAQUINARIA VIBROCOMPRESORA  
POR MEDIO DE UN SISTEMA MECÁNICO DE EXTRACCIÓN DE AGLOMERADOS DE  
CONCRETO EN EMPRESA BUSTAMENTE, S.A.**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, con fecha 18 de abril de 2016.



**Erasmo Josué Beltetón Urbina**

Guatemala, 23 de Febrero de 2017

Ingeniero  
José Francisco Gómez Rivera  
Director Escuela Ingeniería Mecánica Industrial  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala  
Presente

Estimado Ingeniero Gómez:

Por este medio le informo que, como asesor de la estudiante universitaria de la carrera de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, Erasmo Josué Beltetón Urbina, con CUI 2316 99883 0115 y registro académico 201213144, he finalizado la revisión del trabajo de graduación con título **ANÁLISIS FINANCIERO DE PUESTA EN MARCHA DE MAQUINARIA VIBROCOMPRESORA POR MEDIO DE UN SISTEMA MECANICO DE EXTRACCION DE AGLOMERADOS DE CONCRETO EN EMPRESA BUSTAMANTE, S.A.**, el cual apruebo por cumplir con los requerimientos solicitados durante el proceso.

Solicitándole darle el trámite respectivo y sin otro particular me es grato suscribirme.

Atentamente,

  
Carlos Humberto Pérez Rodríguez  
INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL  
Colegiado 3071

Carlos Humberto Pérez Rodríguez  
Ingeniero Mecánico Industrial  
Colegiado No. 3071



Como Catedrático Revisor del Trabajo de Graduación titulado **ANÁLISIS FINANCIERO DE PUESTA EN MARCHA DE MAQUINARIA VIBROCOMPRESORA POR MEDIO DE UN SISTEMA MECÁNICO DE EXTRACCIÓN DE AGLOMERADOS DE CONCRETO EN EMPRESA BUSTAMANTE, S. A.**, presentado por el estudiante universitario **Erasmó Josué Beltetón Urbina**, apruebo el presente trabajo y recomiendo la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

*Edwin Ixpata Reyes*  
Ing. Mec-Industrial  
Colegiado No. 7128

Ing. Edwin Josué Ixpata Reyes  
Catedrático Revisor de Trabajos de Graduación  
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

Guatemala, abril de 2017.

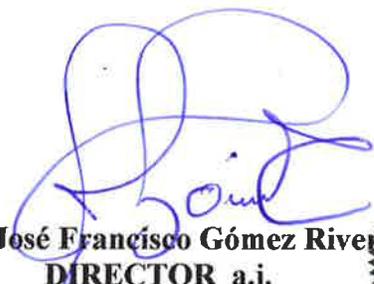
/mgp



REF.DIR.EMI.075.017

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el Visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística del trabajo de graduación titulado **ANÁLISIS FINANCIERO DE PUESTA EN MARCHA DE MAQUINARIA VIBROCOMPRESORA POR MEDIO DE UN SISTEMA MECÁNICO DE EXTRACCIÓN DE AGLOMERADOS DE CONCRETO EN EMPRESA BUSTAMANTE, S. A.**, presentado por el estudiante universitario **Erasmus Josué Beltetón Urbina**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

  
Ing. José Francisco Gómez Rivera  
DIRECTOR a.i.  
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial



Guatemala, mayo de 2017.

/mgp

Universidad de San Carlos  
de Guatemala

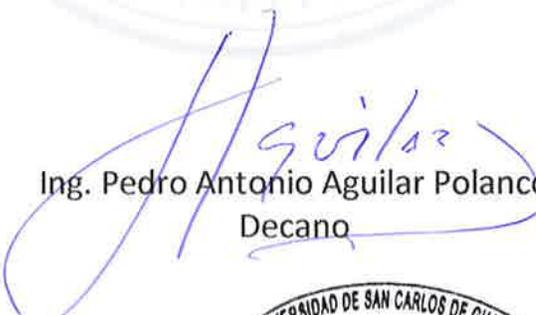


Facultad de Ingeniería  
Decanato

DTG. 258.2017

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, al Trabajo de Graduación titulado: **ANÁLISIS FINANCIERO DE PUESTA EN MARCHA DE MAQUINARIA VIBROCOMPRESORA POR MEDIO DE UN SISTEMA MECÁNICO DE EXTRACCIÓN DE AGLOMERADOS DE CONCRETO EN EMPRESA BUSTAMANTE, S. A.,** presentado por el estudiante universitario: **Erasmó Josué Beltetón Urbina,** y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

  
Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Decano

Guatemala, mayo de 2017

/gdech



## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Por regalarme la vida, la paciencia y la inteligencia necesaria para lograr alcanzar cada una de mis metas a lo largo de la carrera. Por darme la bendición de tener unos padres maravillosos que me apoyaron en todo momento.
- Mi padre** Ing. Erasmo Beltetón, por cada consejo y palabra de aliento que me brindó cuando más lo necesitaba y por haber creído en mí siempre.
- Mi madre** Mirna Urbina, por los sacrificios que hizo por mí a lo largo de toda la carrera y por su amor incondicional.
- Mis hermanos** Por la paciencia que me tuvieron y por desear que este momento fuese realidad. Gracias Joel Beltetón, David Beltetón, Gerson Beltetón y Ximena Beltetón.
- Mi familia** Por haber creído en mí y por su incondicional apoyo.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por haber sido mi segundo hogar y por permitirme crecer como persona y como profesional dentro de sus instalaciones.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por sembrar en mí los conocimientos técnicos y los valores para volverme un profesional capacitado y con ética.
<b>Mis amigos de la Facultad</b>	Por haber estado en los buenos y malos momentos a lo largo de la carrera. Gracias Julio Román, Miguel Ángel Colindres, Raúl Chang, Carlos Sánchez, Ángel Palacios, Ángel Ixcot, Walter Granados, Jorge Corado, Luis Aguirre, Edgar Chis, Samuel Chis, Jorge Gutiérrez, Lupita Castillo, Diane Castro, Milca Espinoza y Jennifer del Valle.
<b>Ingeniero Carlos Pérez</b>	Por su paciencia y asesoría brindada durante todo el proceso de elaboración de este trabajo de graduación.
<b>Don Elmer Bustamante</b>	Por permitirme realizar mi trabajo de graduación en su empresa y por su disposición para conmigo.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS.....	IX
GLOSARIO.....	XI
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS .....	XV
INTRODUCCIÓN.....	XVII
1. ASPECTOS GENERALES DE LA EMPRESA.....	1
1.1. Antecedentes de la empresa .....	1
1.1.1. Misión .....	1
1.1.2. Visión.....	2
1.1.3. Valores.....	2
1.1.4. Objetivos empresariales.....	3
1.1.5. Descripción de la empresa.....	3
1.1.6. Ubicación geográfica.....	4
1.1.7. Actividad productora y comercial .....	5
2. SITUACIÓN ACTUAL DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN CON MAQUINARIA SEMIAUTOMÁTICA.....	7
2.1. Análisis del proceso de producción.....	7
2.1.1. Materias primas .....	7
2.1.2. Descripción del proceso de producción de <i>blocks</i> y adoquines .....	9
2.1.3. Sistema de almacenamiento de materias primas ....	11
2.1.4. Proceso de fraguado de producto terminado .....	12

2.1.5.	Diagrama de operaciones de proceso .....	13
2.1.6.	Diagrama de flujo de operaciones de proceso .....	16
2.1.7.	Diagrama de recorrido .....	19
2.1.8.	Diagrama de la planta de producción .....	20
2.1.9.	Análisis FODA .....	21
2.1.10.	Diagrama bimanual .....	22
2.1.11.	Capacidad instalada .....	24
2.2.	Análisis de la maquinaria .....	25
2.2.1.	Descripción de la maquinaria .....	25
2.2.2.	Puntos críticos de control .....	26
2.2.3.	Sistemas de funcionamiento.....	27
2.3.	Mediciones.....	30
2.3.1.	Ritmo de producción.....	30
2.3.2.	Tiempo estándar.....	31
2.3.3.	Eficiencia.....	33
2.3.4.	Análisis de costos de operación .....	34
3.	PUESTA EN MARCHA DE MAQUINARIA VIBROCOMPRESORA .....	35
3.1.	Puesta en marcha .....	35
3.1.1.	Descripción de la maquinaria vibrocompresora .....	36
3.1.2.	Condición general de la maquinaria automática .....	37
3.1.3.	Sistemas de funcionamiento actuales.....	37
3.1.3.1.	Sistema de alimentación y dosificación de materias primas.....	37
3.1.3.2.	Sistema de mezclado .....	38
3.1.3.3.	Sistema de alimentación de mezcla.....	39
3.1.3.4.	Sistema volumétrico de llenado con limitante mecánico .....	39
3.1.3.5.	Sistema de vibro-compresión.....	40

	3.1.3.6.	Sistema de descenso de bandejas para fabricación.....	40
	3.1.3.7.	Sistema de transporte de bandejas para fabricación.....	40
3.2.		Mantenimiento .....	41
	3.2.1.	Mantenimiento preventivo .....	41
	3.2.2.	Mantenimiento correctivo .....	41
3.3.		Análisis financiero.....	42
	3.3.1.	Valor presente neto, VPN .....	45
	3.3.2.	Valor anual uniforme equivalente, VAUE .....	47
	3.3.3.	Tasa interna de retorno, TIR .....	48
	3.3.4.	Beneficio costo, B/C.....	49
4.		IMPLEMENTACIÓN DE MAQUINARIA VIBROCOMPRESORA .....	51
	4.1.	Descripción de mecanismos para la habilitación de la maquinaria.....	51
	4.1.1.	Sistema de transporte de producto terminado.....	51
		4.1.1.1. Funcionamiento.....	51
		4.1.1.2. Importancia .....	52
		4.1.1.3. Consideraciones para el diseño .....	52
		4.1.1.4. Diseño.....	53
	4.1.2.	Sistema de elevación de salida para producto terminado.....	59
		4.1.2.1. Funcionamiento.....	59
		4.1.2.2. Importancia .....	60
		4.1.2.3. Consideraciones para el diseño .....	60
		4.1.2.4. Diseño.....	61
	4.2.	Técnicas y métodos para la implementación .....	69
		4.2.1. Fichas técnicas de mantenimiento .....	69

4.2.2.	Orden de trabajo para mantenimiento .....	77
4.2.3.	Orden para solicitud de repuestos .....	78
4.2.4.	Diagrama de flujo para ejecución de mantenimiento preventivo.....	79
4.2.5.	Diagrama de flujo para ejecución de mantenimiento correctivo.....	80
4.3.	Controles para producción .....	81
4.3.1.	Gráficas para control de producción .....	81
4.3.2.	Gráficas para control de consumo de materias primas .....	85
5.	MEJORA CONTINUA .....	91
5.1.	Eficiencia.....	91
5.2.	Tiempo estándar .....	92
5.3.	Ritmo de producción .....	93
5.4.	Evaluación de rendimiento mecánico .....	93
5.5.	Ficha para control de producción .....	94
5.6.	Diagrama de operaciones de proceso.....	96
5.7.	Diagrama de flujo de operaciones de proceso.....	98
5.8.	Diagrama de recorrido.....	100
	CONCLUSIONES .....	101
	RECOMENDACIONES .....	103
	BIBLIOGRAFÍA .....	105

# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1.	Mapa de ubicación de la empresa.....	4
2.	Silo para almacenamiento de cemento .....	8
3.	Maquinaria semiautomática para fabricación de blocks y banda transportadora de alimentación .....	11
4.	Área de Fraguado .....	12
5.	Diagrama de operaciones de proceso de fabricación de <i>blocks</i> , parte 1 .....	14
6.	Diagrama de operaciones de proceso de fabricación de <i>blocks</i> , parte 2 .....	15
7.	Diagrama de flujo de operaciones de proceso de fabricación de blocks, parte 1.....	17
8.	Diagrama de flujo de operaciones de proceso de fabricación de blocks, parte 2.....	18
9.	Diagrama de recorrido.....	19
10.	Diagrama de la planta de producción .....	20
11.	Sistema de vibración y molde de maquinaria semiautomática.....	26
12.	Mezclador horizontal .....	28
13.	Banda transportadora.....	29
14.	Máquina vibrocompresora.....	36
15.	Sistema de mezclado .....	38
16.	Sistema de alimentación de mezcla .....	39
17.	Flujo neto de fondos.....	46
18.	Flujo del inversionista.....	46

19.	TIR versus VPN.....	49
20.	Banda transportadora de salida de producto terminado.....	53
21.	Sistema de transmisión .....	54
22.	Poleas de banda transportadora.....	54
23.	Tensor de faja.....	55
24.	Diseño banda transportadora.....	58
25.	Sistema de elevación .....	60
26.	Motor con freno y acople .....	61
27.	Caja reductora.....	62
28.	Brazos de sistema de elevación .....	62
29.	Estructura de sistema de elevación .....	63
30.	Carrete de cable de acero .....	63
31.	Rodillos de sistema de elevación.....	64
32.	Diseño sistema de elevación.....	67
33.	Sistema acoplado.....	68
34.	Diagrama de flujo para mantenimiento preventivo.....	79
35.	Diagrama de flujo para mantenimiento correctivo.....	80
36.	Control de anchos de <i>block</i> 15x20x40 cm .....	83
37.	Control de largos de <i>block</i> 15x20x40 cm .....	84
38.	Control de altos de <i>block</i> 15x20x40 cm .....	84
39.	Gráfica de consumo de arena en toneladas .....	86
40.	Gráfica de proyección de consumo de arena.....	88
41.	Gráfica y ecuación lineal para consumo de arena .....	89
42.	Gráfica y ecuación lineal para consumo de selecto.....	89
43.	Gráfica y ecuación lineal para consumo de cemento.....	90
44.	Diagrama de operaciones de proceso, parte 1 .....	96
45.	Diagrama de operaciones de proceso, parte 2 .....	97
46.	Diagrama de flujo de operaciones de proceso, parte 1 .....	98
47.	Diagrama de flujo de operaciones de proceso, parte 2.....	99

48.	Diagrama de recorrido con el nuevo proceso .....	100
-----	--	-----

## TABLAS

I.	Productos.....	5
II.	Análisis FODA.....	21
III.	Diagrama bimanual .....	23
IV.	Resumen del diagrama bimanual .....	24
V.	Toma de tiempos .....	31
VI.	Tabla de Westinghouse.....	32
VII.	Cálculo del tiempo normal .....	32
VIII.	Cálculo del tiempo estándar .....	33
IX.	Costo por unidad.....	34
X.	Flujo de fondos.....	43
XI.	Flujo neto de fondos, financiamiento y flujo del inversionista .....	45
XII.	VPN del proyecto y VPN del inversionista .....	47
XIII.	TIR versus VPN .....	48
XIV.	Ficha de descensor de bandejas de acero .....	70
XV.	Ficha de transportador de ingreso de bandeja .....	71
XVI.	Ficha de máquina vibrocompresora .....	72
XVII.	Ficha de mezclador vertical.....	73
XVIII.	Ficha de sistema de alimentación de materia prima.....	74
XIX.	Ficha de banda transportadora de salida .....	75
XX.	Ficha de sistema de elevación .....	76
XXI.	Orden de trabajo para mantenimiento .....	77
XXII.	Orden de requisición de repuestos.....	78
XXIII.	Muestras de block 15x20x40 cm .....	82
XXIV.	Consumo de arena en toneladas .....	85

XXV.	Proyección de consumo de arena en toneladas .....	87
XXVI.	Consumo de arena, selecto y cemento en toneladas.....	88
XXVII.	Ficha para control de producción.....	95

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>cm</b>	Centímetro
<b>Hp</b>	Caballo de potencia
<b>kg</b>	Kilogramo
<b>m</b>	Metro
<b>N</b>	Newton
<b>“</b>	Pulgada
<b>%</b>	Porcentaje
<b>Q</b>	Quetzales
<b>s</b>	Segundo
<b>v</b>	Velocidad
<b>W</b>	Peso



## GLOSARIO

<b>Batch</b>	Es un sistema de producción por lotes.
<b>B/C</b>	Beneficio costo. Es un análisis el cual representa el cociente entre los ingresos de la empresa y los egresos.
<b>Desmoldado</b>	Proceso por el cual se extraen los aglomerados de concreto del molde que los contiene.
<b>Fraguado</b>	Es el proceso de endurecimiento y de la pérdida de plasticidad del concreto.
<b>TIR</b>	Tasa interna de retorno. Iguala el valor presente neto a cero y sirve para comparar la rentabilidad en las inversiones.
<b>VAUE</b>	Valor anual uniforme equivalente. Transforma los flujos de caja en una cantidad anual uniforme equivalente.
<b>Vibrocompresora</b>	Proceso de vibración y compactación que se da de manera simultánea.
<b>VPN</b>	Valor presente neto. Representa el valor presente de la inversión.



## RESUMEN

La empresa Bustamante, S.A. se dedica a la fabricación y distribución de aglomerados de concreto. La fabricación de estos productos se realizaba con maquinaria semiautomática, la cual no lograba satisfacer la demanda de los consumidores. Por esta razón, se decidió implementar una maquinaria automática para aumentar su nivel de producción. Esta maquinaria automática contaba con todos sus equipos, a excepción de un sistema de traslado del producto terminado, el cual era necesario para transportar el producto hacia la bodega de fraguado.

En este trabajo de tesis se realizó un análisis del proceso, tomando en consideración las materias primas, el almacenamiento del producto, el proceso de fraguado, la descripción de la maquinaria y la capacidad instalada. Este estudio sirvió para entender el proceso de fabricación y los aspectos importantes que se deben tomar en cuenta, así como los puntos críticos de control del proceso. Posteriormente, se analizaron todos los sistemas de funcionamiento de la maquinaria automática, de forma que se lograra implementar un sistema eficiente de transporte que cumpliera con todos los requerimientos necesarios para realizar un traslado exitoso.

La indagación anterior determinó que el sistema más eficiente lo constituye una banda transportadora con doble faja. Esta se diseñó con un motor trifásico de 2 Hp y una caja reductora con relación 60:1. También se diseñó un sistema de elevación el cual se elaboró para retirar varias bandejas de producto al mismo tiempo. Este elevador se diseñó con un motor trifásico de 3 Hp con freno y con una caja reductora 60:1.

No obstante, junto con la implementación de la maquinaria, se realizó un análisis financiero en el cual se detallan los costos de materia prima, mano de obra, prestaciones laborales, costos de mantenimiento, etc. Para analizar la rentabilidad del proyecto se utilizaron como herramientas de evaluación el VPN, TIR, VAUE y B/C. También se elaboraron fichas técnicas de mantenimiento para el control de la maquinaria, graficas de control para el consumo de la materia prima y fichas para el control de la producción.

Por último, se evaluó la eficiencia y ritmo de producción de la maquinaria semiautomática vrs la maquinaria automática, y se determinó que con la segunda se logran mejoras importantes en cuanto a la calidad del producto, mejores tiempos de producción, estandarización de medidas y pesos, seguridad para el personal y menor costo por unidad.

# OBJETIVOS

## General

Evaluar los procedimientos para la implementación de una maquinaria automática para la fabricación de *blocks* y adoquines a través de un sistema de transporte y elevación de salida de producto terminado.

## Específicos

1. Determinar los factores necesarios para el reacondicionamiento de la maquinaria.
2. Identificar el sistema mecánico adecuado para el diseño de un método de transporte de *blocks* al área de fraguado para una nueva maquinaria.
3. Analizar la eficiencia de la maquinaria que fabrica *blocks* y adoquines, así como sus métodos de trabajo correspondientes.
4. Determinar los beneficios económicos que obtendrá la empresa a través de la implementación de una maquinaria automática para la fabricación de *blocks* y adoquines.
5. Definir qué beneficios secundarios obtendrá la empresa por medio de la implementación de la maquinaria automática.

6. Establecer en qué medida la maquinaria automática aprovecha mejor la materia prima versus las máquinas actuales, para evitar la generación de desecho.
7. Establecer fichas técnicas de mantenimiento que se adecúen a los requerimientos de la maquinaria a implementar.

## INTRODUCCIÓN

La empresa Bustamante, S.A. se dedica a la fabricación y comercialización de aglomerados de concreto. Se ubica en el kilómetro 43 de la carretera Palín, Escuintla. El proceso de producción se realiza a través de maquinaria semiautomática, la cual requiere de la intervención de personal operativo. Actualmente, la empresa contempla el proyecto de implementación de una máquina vibrocompresora automática, debido a que se han presentado complicaciones para satisfacer la demanda de los consumidores.

La maquinaria que se implementará es un equipo usado que carece de varios de los sistemas principales de operación, los cuales se encargan del traslado del producto terminado. Por esta razón, estos sistemas deben fabricarse para poner en funcionamiento esta nueva maquinaria. Este sistema mecánico es importante para la máquina porque se encarga de darle salida a los aglomerados para que los montacargas los trasladen posteriormente al área de producto terminado. Por lo anterior, en este trabajo de graduación se presentan cinco capítulos donde se describe cómo resolver la problemática de la empresa.

En las primeras fases se mencionan a todos los aspectos generales de la compañía, como: misión, visión, objetivos empresariales, descripción de la empresa, etc. Además, se describen las circunstancias actuales del proceso de producción donde se incluyen las materias primas, sistema de almacenamiento, diagramas del proceso, capacidad instalada, funcionamiento de la maquinaria semiautomática, entre otros.

En la fase de desarrollo se realizó la propuesta de habilitación de la maquinaria automática donde se analizaron los sistemas y generalidades que la conforman y los tipos de mantenimiento por aplicar. Asimismo, se hizo un análisis financiero que evalúa la viabilidad del proyecto.

En las últimas fases se diseñó un sistema de transporte de salida de producto terminado que ayuda a la habilitación de la maquinaria. En esta parte, se contempló el diseño, funcionamiento y aspectos técnicos para el montaje, así como el procedimiento correspondiente para la implementación. Por último, se observa los controles de mejora continua que apoya a la empresa para la fase de post implementación de la maquinaria.

## **1. ASPECTOS GENERALES DE LA EMPRESA**

La empresa Bustamante, S.A. es una empresa familiar fundada por su propietario el señor Elmer Bustamante. Se dedica a la producción y comercialización de aglomerados de concreto, como lo son *blocks* y adoquines, los cuales se fabrican en distintas medidas para satisfacer las necesidades de los clientes. La empresa cuenta con personal calificado que goza de estabilidad laboral, prestaciones legales y condiciones adecuadas para la ejecución de su trabajo.

### **1.1. Antecedentes de la empresa**

A través de los años la empresa ha crecido de manera considerable por lo cual se ha visto en la necesidad de implementar maquinaria cada vez más avanzada que le ayude a satisfacer una demanda creciente en un mercado en el cual, la materia prima para la construcción, es un producto ampliamente requerido.

#### **1.1.1. Misión**

El objetivo de una misión es definir principalmente cual es la actividad de la empresa en el mercado. También se define el público receptor de sus servicios o productos. La misión de la empresa Bustamante, S.A. es la siguiente:

"Servir a nuestros clientes brindándoles productos de alta calidad para la construcción, contribuyendo así con el desarrollo del país y con el desarrollo de

nuestros colaboradores, basados en principios éticos y con responsabilidad social."

### **1.1.2. Visión**

La visión debe definir las metas que la empresa quiere alcanzar en el futuro. Las metas que plantea la visión deben ser alcanzables, ya que debe poseer un carácter inspirador. La visión de la empresa Bustamante, S.A. es la siguiente:

"Ser una empresa líder en la producción, comercialización y distribución de materia prima para la construcción, que emprenda iniciativas que contribuyan al bienestar de sus colaboradores y al desarrollo del país."

### **1.1.3. Valores**

Los valores son los principios sobre los cuales las empresas rigen internamente todas sus actividades, para garantizar a los consumidores que los productos que adquieren son de buena calidad y que los procesos de fabricación se han llevado a cabo con ética y responsabilidad, para no afectar a terceros durante su elaboración. Además, los valores dan confiabilidad al cliente y hacen que se sienta satisfecho con la empresa y con la marca de consumo. En la empresa Bustamante, S.A. se trabaja bajo los siguientes valores:

- Responsabilidad social
- Perseverancia
- Integridad empresarial
- Confiabilidad
- Compromiso

- Excelencia

#### **1.1.4. Objetivos empresariales**

Los objetivos empresariales, son resultados o fines que las empresas desean alcanzar. Hacia los cuales encamina sus esfuerzos para lograrlos. Una característica clave de los objetivos empresariales es que deben ser claros, específicos y alcanzables. Además, deben ser medibles en términos cuantitativos para facilitar la función de evaluación y control. Los objetivos empresariales sirven a la compañía para orientar y coordinar la toma de decisiones y las acciones que se toman en todos los niveles de la organización. Los objetivos empresariales de la empresa Bustamante, S.A. son los siguientes:

- Crear productos de alta calidad a bajo costo y con responsabilidad social.
- Alcanzar la máxima rentabilidad anual.
- Optimizar los procesos de producción a través de tecnología y métodos de trabajo.
- Crear fuentes de empleo que beneficien a nuestros trabajadores y al desarrollo del país.
- Forjar vínculos perdurables con nuestros clientes.

#### **1.1.5. Descripción de la empresa**

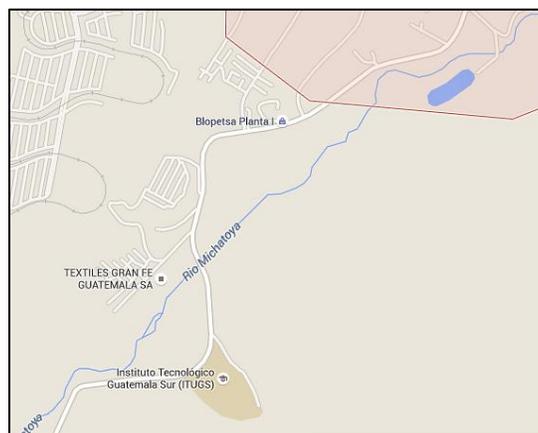
La empresa Bustamante, S.A. se dedica a la fabricación y comercialización de aglomerados de concreto para la industria de la construcción. Esta empresa cuenta con un área de oficinas en la cual se llevan a cabo las labores administrativas. como compra de materia prima, administración de recursos humanos, gerencia y ventas.

La planta de producción de dicha empresa se subdivide en 4 áreas principales las cuales son: área de fabricación, bodega, área de fraguado y área de almacenamiento de producto terminado. Cuenta con camiones para transporte de producto terminado. Comercializa sus productos, principalmente, en la costa sur, además cuenta con montacargas que facilitan la movilización del producto terminado. Actualmente, la empresa basa su producción en maquinaria semiautomática la cual fue instalada por el personal operativo de la planta, ya que la empresa no cuenta con un área de mantenimiento estructurada.

#### **1.1.6. Ubicación geográfica**

La empresa Bustamante, S.A. se encuentra situada en el kilómetro 43,5 de la carretera hacia Palín en el departamento de Escuintla, dos kilómetros antes de ITUGS, Instituto Tecnológico Universitario Guatemala Sur.

Figura 1. **Mapa de ubicación de la empresa**



Fuente: Google Maps.

### 1.1.7. Actividad productora y comercial

Bustamante, S.A. es una empresa familiar la cual se dedica a la fabricación, comercialización y distribución de materiales para la industria de la construcción tales como *blocks* y adoquines de distintos tamaños y tipos y con una excelente calidad. Entre los productos más comunes se encuentran los siguientes:

Tabla I. **Productos**

<b>PRODUCTO</b>
<i>block</i> 10x20x40
<i>block</i> 15x20x40
<i>block</i> u o solera u
adoquín estándar

Fuente: elaboración propia.



## **2. SITUACIÓN ACTUAL DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN CON MAQUINARIA SEMIAUTOMÁTICA**

El análisis del proceso de producción es un desarrollo sistemático que implica el estudio de las materias primas, los métodos de fabricación, los métodos de almacenaje, el sistema de distribución de la planta, el análisis de la maquinaria utilizada, los puntos críticos de control y el análisis de costos. Con esta información se identifican las fortalezas en el proceso y las carencias que deben solucionarse para la optimización del proceso de producción, el cual incluye la reducción de costos y aumento de utilidades.

### **2.1. Análisis del proceso de producción**

A continuación, se describen los elementos involucrados en el proceso de producción en la elaboración de aglomerados de concreto que fabrica la empresa Bustamante, S.A.

#### **2.1.1. Materias Primas**

Para obtener un producto con un buen acabado superficial y con excelentes propiedades mecánicas, es indispensable contar con materia prima adecuada, que ayude a cumplir con los requerimientos necesarios para brindar a los clientes productos con excelente calidad. La materia prima utilizada para la elaboración de bloques de concreto es la siguiente:

- **Cemento:** el cemento utilizado es tipo Portland clase 1 y es proporcionado por Cementos Progreso, el cual recurrentemente abastece

los silos de almacenamiento de la empresa. En estos silos se protege esta materia prima de contaminantes externos y de la humedad, la cual es sumamente perjudicial para las propiedades del cemento. El silo cuenta con celdas de carga, que facilitan el control de inventarios de este producto.

Figura 2. **Silo para almacenamiento de cemento**



Fuente: empresa Bustamante, S.A.

- Agregados: para la fabricación de *blocks* y adoquín se utilizan la arena, grava, arena blanca, selecto y otros. Los agregados son componentes esenciales para los aglomerados de concreto, ya que constituyen un 85 % a 90 % de la unidad.
- Agua: se utiliza agua limpia libre de impurezas y sustancias que afecten las propiedades de los bloques, esta es controlada cuidadosamente en el

proceso para obtener una cohesión adecuada de la mezcla. Para la correcta elaboración de un bloque de concreto lo recomendable es mantener una relación adecuada de los materiales.

### **2.1.2. Descripción del proceso de producción de *blocks* y adoquines**

El proceso de producción de *blocks* y adoquines se lleva a cabo por medio de máquinas semiautomáticas manejadas por un operador. El proceso de producción cuenta con varias etapas las cuales son:

- **Dosificación:** es el principal proceso debido a que determina la cantidad de agregados de la mezcla, lo cual contribuye a desarrollar las propiedades mecánicas del bloque, así como el acabado superficial y la impermeabilidad del mismo. Una dosificación adecuada debe realizarse por peso. En el proceso actual, la dosificación es volumétrica, por ello se propone que se realice por peso a través de celdas de carga.
- **Mezclado:** se realiza por medio de una mezcladora horizontal, la cual posee un eje atravesado transversalmente en la estructura de la misma. Este equipo se encarga de movilizar los agregados y el cemento, para que junto con el agua, se forme una mezcla consistente para la fabricación de los aglomerados.
- **Moldeado:** una vez transportada la mezcla se deposita en una tolva que alimenta la máquina. El operador coloca una tabla y procede a verter la mezcla sobre el molde, el cual está colocado sobre la misma.

Posteriormente, inicia el proceso de vibrocompresión a través de un motor de corriente alterna. Este proceso consiste en una serie de sacudidas con una frecuencia elevada, de manera que la mezcla se asiente uniformemente. Esto contribuye a obtener una mejor resistencia mecánica, sin mencionar características como la compacidad y el acabado.

- **Desmoldado:** consiste en retirar el molde de los bloques fabricados. Para un desmolde rápido y eficaz es importante el tiempo de vibración del proceso anterior, debido a que la mezcla debe estar bien consolidada para evitar que el producto se desmorone. Retirado el molde los bloques de concreto son trasladados en la tarima al área de fraguado en la cual deben permanecer para obtener las propiedades deseadas.
- **Fraguado:** una vez fabricados los bloques, deben permanecer en un lugar que les garantice protección del sol y de los vientos, para que fragüen sin secarse. El tiempo para el fraguado de los bloques está entre 4 y 8 horas, sin embargo, la empresa deja que permanezcan aislados durante 24 horas para garantizar un excelente producto.
- **Almacenamiento:** logrado el proceso de fraguado los bloques son colocados cuidadosamente en tarimas y trasladados con montacargas al área de almacenamiento la cual se encuentra al aire libre. En esta área los bloques se secan lentamente durante un tiempo estimado.

Figura 3. **Maquinaria semiautomática para fabricación de *blocks* y banda transportadora de alimentación**



Fuente: empresa Bustamante, S.A.

### **2.1.3. Sistema de almacenamiento de materias primas**

Tanto el cemento como los agregados son proporcionados por proveedores de confianza. La materia prima llega en camiones y se almacena en silos para protegerlos de factores ambientales perjudiciales que pudieran llegar a afectar la calidad del producto. Además, son inspeccionados y tamizados antes de su almacenamiento para asegurar la calidad de los mismos.

#### **2.1.4. Proceso de fraguado de producto terminado**

El proceso de fraguado es importante para obtener una resistencia mecánica adecuada; además, es necesario que el área de fraguado este techada, ya que factores como el sol y el viento pueden causar fisuras en el concreto, disminuyendo así, su resistencia final.

La empresa Bustamante, S.A. cuenta con una bodega con techo de dos aguas para resguardar el producto y protegerlo del sol y de la lluvia, de manera que pueda fraguar sin secarse. No obstante, el área de almacenamiento no protege el producto de los vientos, los cuales pueden afectar considerablemente el tiempo de fraguado, por lo que no es un lugar ideal para realizar este proceso. El producto en esta área se almacena en tablas de madera estibadas en 5 niveles donde permanece durante 24 horas para alcanzar la resistencia suficiente para ser manipulable. Luego de este proceso los bloques son puestos en tarimas y trasladados al área de secado donde termina el proceso de elaboración.

Figura 4. **Área de Fraguado**



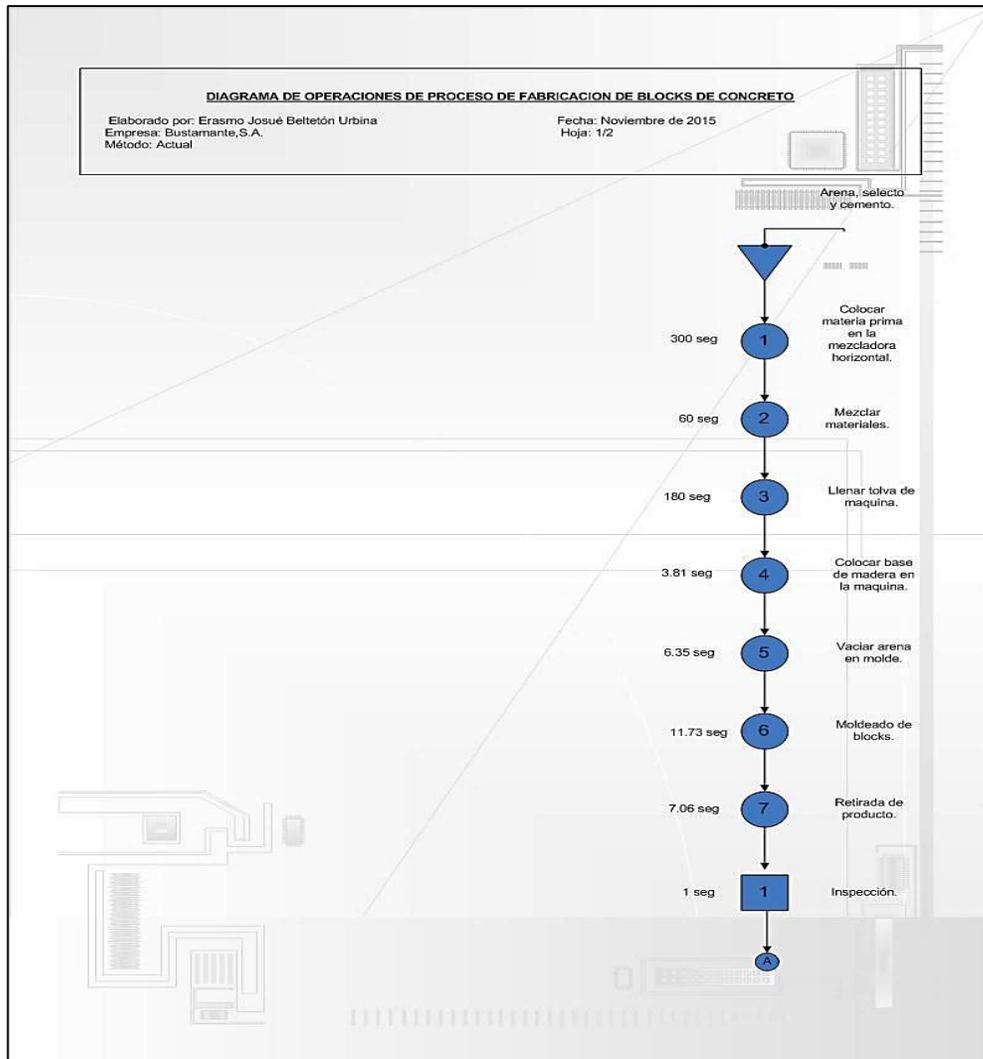
Fuente: empresa Bustamante, S.A.

### **2.1.5. Diagrama de operaciones de proceso**

Un diagrama de operaciones es una representación gráfica de un proceso. Este diagrama sirve para observar de manera ordenada todas las operaciones que se realizan, así como sus respectivos tiempos, también sirven para descubrir y eliminar ineficiencias. Para elaborar un diagrama de operaciones se deben utilizar distintos símbolos los cuales poseen un significado distinto.

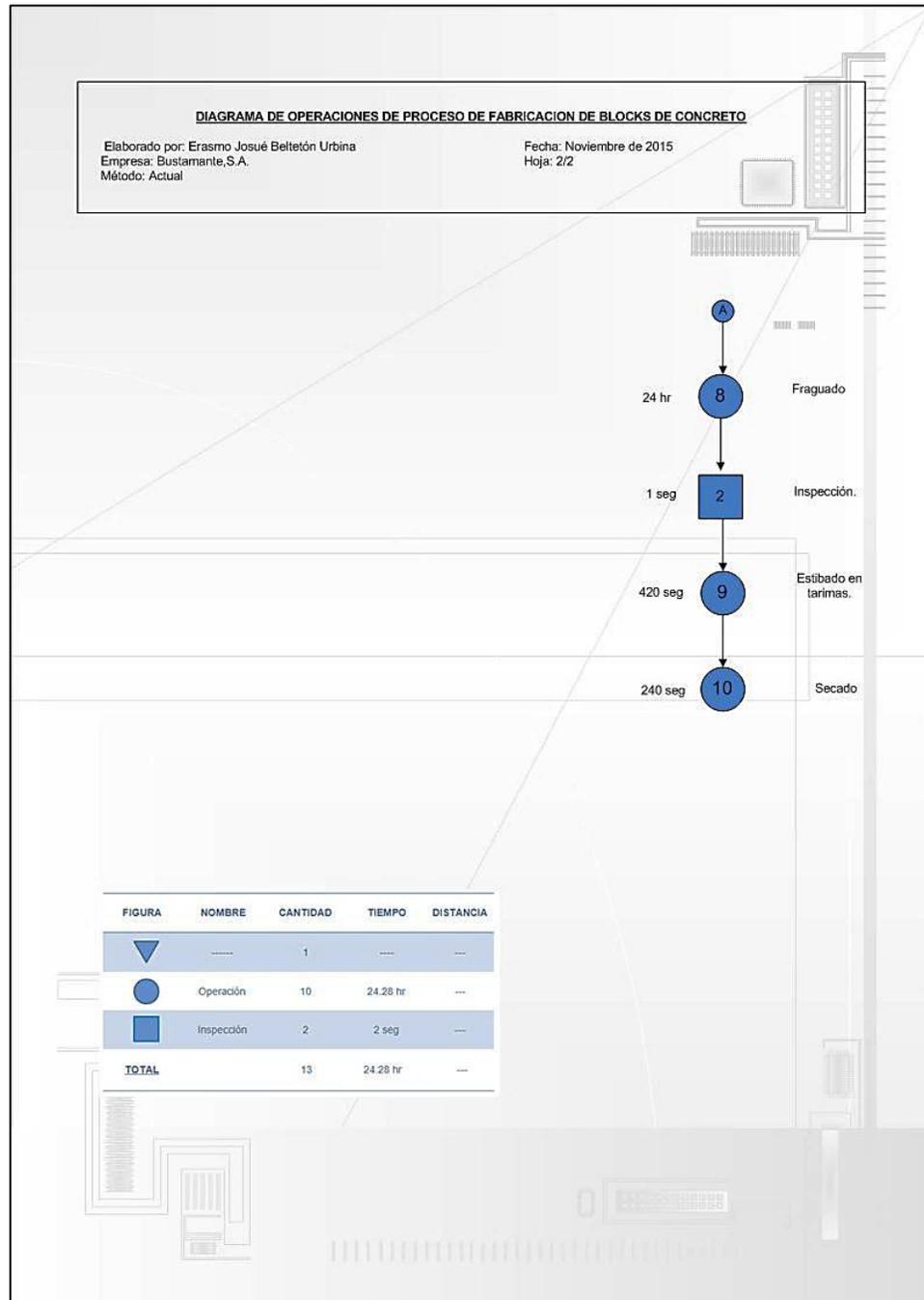
- Operación: se representan con un círculo y son todos aquellos procesos en los que se efectúan cambios o transformaciones en el producto. Ya sea por medios físicos, mecánicos o químicos.
- Inspección: se representa con un cuadrado y consiste en verificar que las operaciones del proceso se estén llevando a cabo correctamente, así como también asegurar que la calidad del producto sea la deseada.
- Almacenamiento: se representa con un triángulo invertido y es de donde se coloca parte la materia prima, para su transformación a lo largo de todo el proceso. Con esta figura se inicia el diagrama de operaciones de proceso.
- Demora: se representa con una D y consiste en todas aquellas operaciones que debido a cuellos de botella deben esperar para poder realizarse.
- Operación combinada: se representa con un círculo inscrito en un cuadrado y se utiliza cuando se realiza una operación y una inspección de manera simultánea.

Figura 5. **Diagrama de operaciones de proceso de fabricación de blocks, parte 1**



Fuente: elaboración propia.

Figura 6. **Diagrama de operaciones de proceso de fabricación de blocks, parte 2**



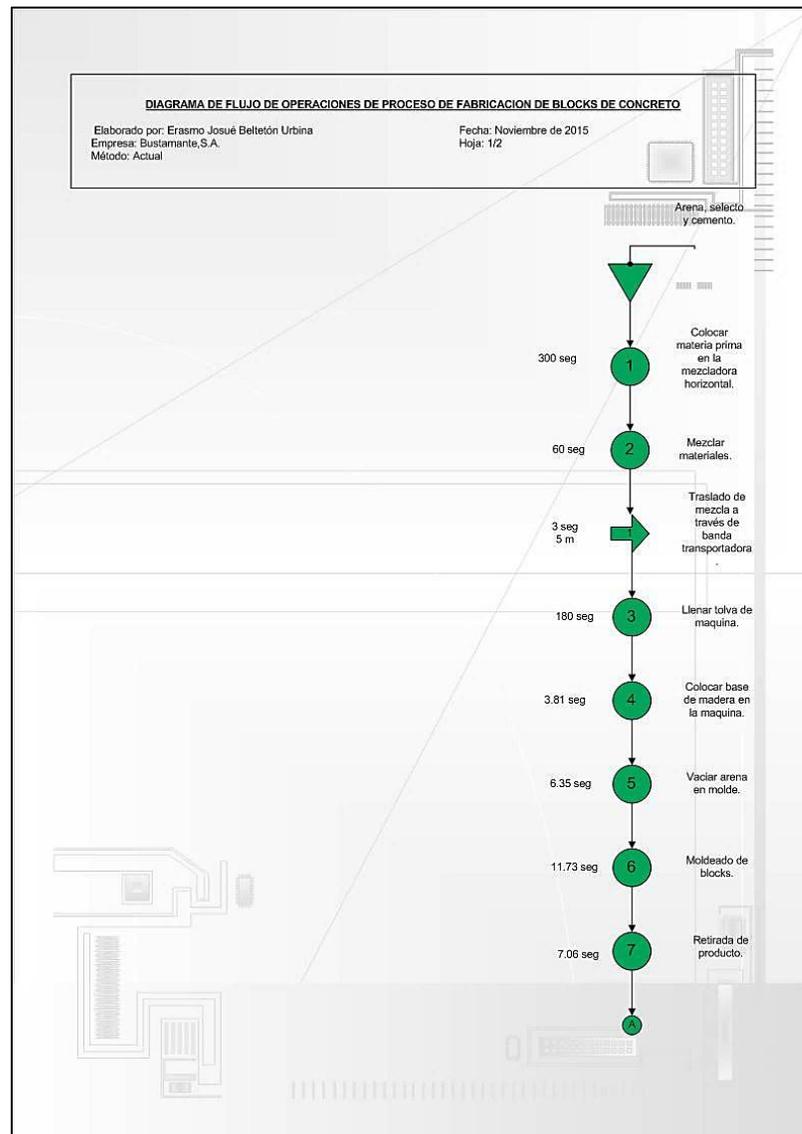
Fuente: elaboración propia.

### **2.1.6. Diagrama de flujo de operaciones de proceso**

Es una representación gráfica de todas las operaciones, inspecciones, demoras y transportes que se realizan a lo largo de todo un proceso. Se diferencia del diagrama de operaciones de proceso en que, en este último, no se incluyen los transportes. Los transportes son movimientos que sufre el producto entre las operaciones necesarias para completar su fabricación. Para que un transporte sea considerado como tal, la distancia mínima que debe recorrer de un punto a otro es de 1.5 metros, de lo contrario, se considera una operación y deberá representarse con un círculo. Los transportes se representan con una flecha con dirección hacia el lado derecho, del lado izquierdo de estas debe colocarse el tiempo y la distancia de transporte y del lado derecho debe colocarse hacia qué área se está transportando el producto.

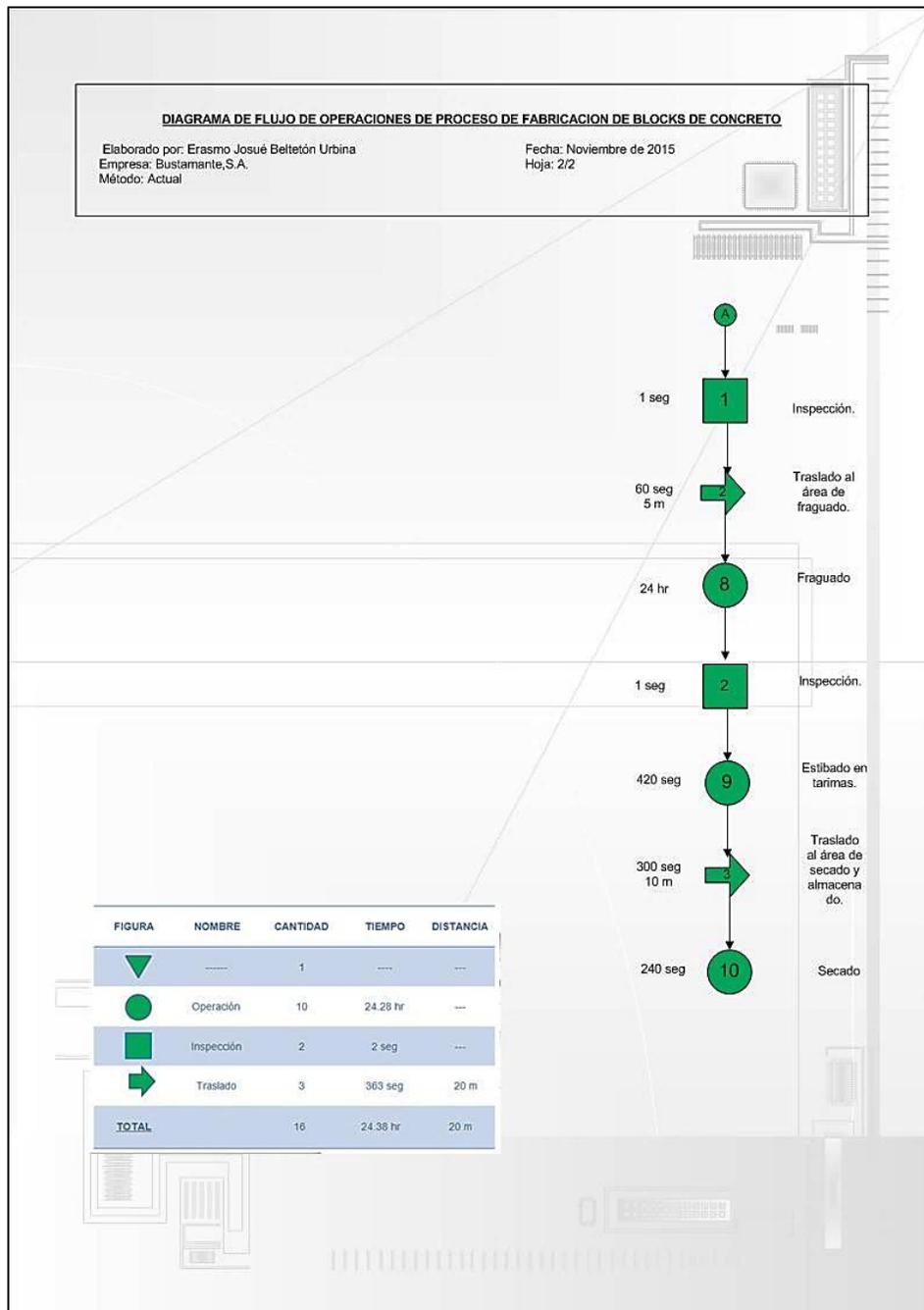
Al finalizar cada diagrama se debe redactar un resumen que consiste en una tabla que posee las figuras que se utilizaron con su nombre al lado de las mismas, la cantidad utilizada de cada una, los tiempos totales por figura y la distancia recorrida total.

Figura 7. Diagrama de flujo de operaciones de proceso de fabricación de blocks, parte 1



Fuente: elaboración propia.

Figura 8. Diagrama de flujo de operaciones de proceso de fabricación de blocks, parte 2

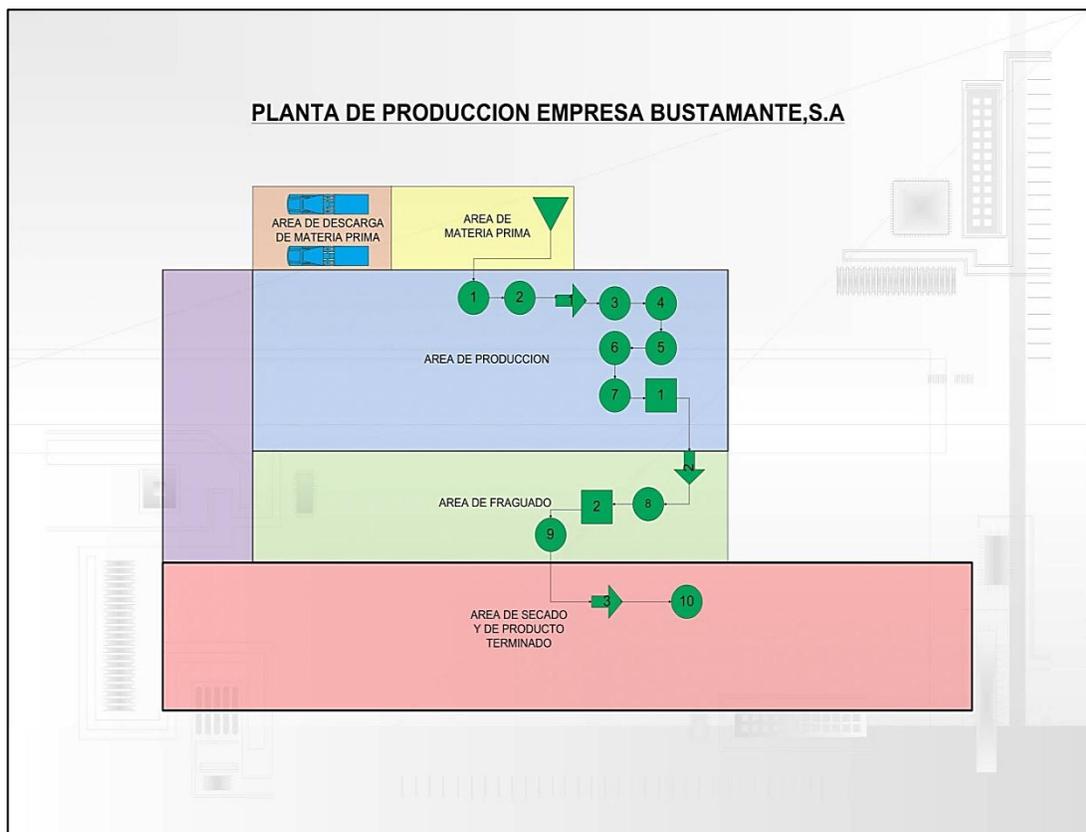


Fuente: elaboración propia.

### 2.1.7. Diagrama de recorrido

Es una representación gráfica de la planta, en la cual se indican las actividades registradas en el diagrama de flujo de operaciones de proceso. Es útil para seguir todas las operaciones a lo largo de la planta y observar cómo se desenvuelve el proceso dentro de las instalaciones. El objetivo principal de este diagrama es determinar los desplazamientos y los puntos más congestionados, para, posteriormente, eliminarlos o disminuirlos y de esa manera mejorar la distribución de la planta.

Figura 9. Diagrama de recorrido

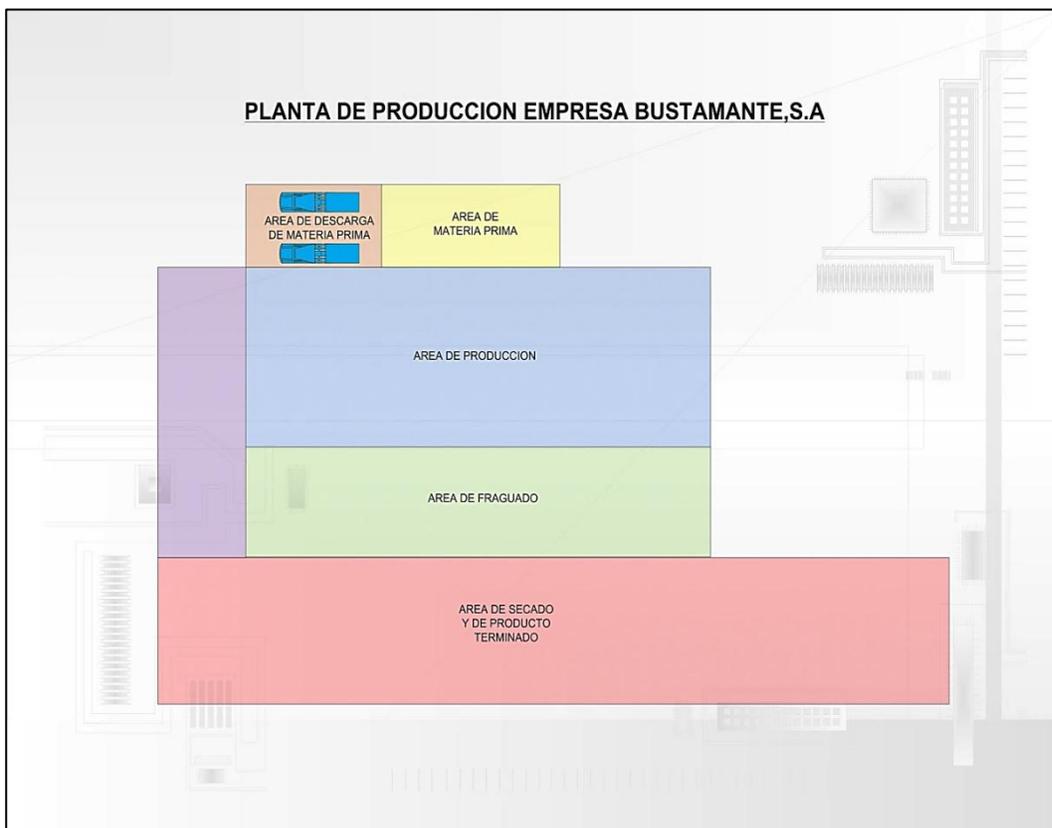


Fuente: elaboración propia.

### 2.1.8. Diagrama de la planta de producción

Se observa en la siguiente imagen el diagrama de la planta del área de producción.

Figura 10. Diagrama de la planta de producción



Fuente: elaboración propia.

### 2.1.9. Análisis FODA

El análisis FODA realizado en la empresa Bustamante, S.A sirve para identificar los puntos fuertes dentro de la organización y los que necesitan atención para fortalecer el negocio y ampliar sus operaciones.

Tabla II. Análisis FODA

<b>FORTALEZAS</b>	<b>OPORTUNIDADES</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Excelente calidad de materia prima.</li><li>• Personal capacitado</li><li>• Buena organización</li><li>• Precios competitivos</li><li>• Demanda de mercado</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Automatización de proceso</li><li>• Estandarización de métodos de trabajo</li><li>• Implementación de pruebas de control de calidad</li></ul>
<b>DEBILIDADES</b>	<b>AMENAZAS</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Inexistencia de un plan de mantenimiento</li><li>• Deficiencias en seguridad industrial</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Competencia</li><li>• Inflación</li></ul>

Fuente: elaboración propia.

### **2.1.10. Diagrama bimanual**

Es un diagrama utilizado para el estudio de movimientos. Se realiza para tareas repetitivas, con el fin de mejorarlas. Este diagrama muestra todos los movimientos ejecutados por la mano derecha e izquierda. De esta manera, se identifican los movimientos ineficientes que retrasan el proceso y se eliminan o cambian. Con este diagrama se pretende realizar una operación balanceada en cuanto a movimientos en la que ambas manos tenga la misma participación.

Para elaborar un diagrama bimanual se utilizan las mismas figuras que en el diagrama de operaciones de proceso, salvo que en este diagrama poseen un significado un poco distinto.

- Operación: se representa con un círculo y se emplea para los actos de hacer, sujetar, soltar, colocar, levantar.
- Transporte: se emplea para representar el movimiento de cualquiera de las manos hacia el trabajo a efectuar, ya sea para tomar una herramienta o trasladar alguna pieza a su lugar.
- Demora: se utiliza para representar el momento en que cualquiera de las manos está sin trabajar.
- Sostenimiento: se utiliza para indicar la acción de sostener alguna pieza, herramienta o mater

Tabla III. Diagrama bimanual

DIAGRAMA BIMANUAL											
Proceso	Fabricación de <i>block</i>				Empresa	Bustamante, S.A.					
Fecha	Noviembre de 2015				Método	Actual					
Elaborado por	Erasmus Josué Beltetón				Hoja	01-ene					
Descripción mano izquierda	○	➔	D	▽	○	➔	D	▽	Descripción mano derecha		
Tomar tabla	█							█			Espera
Colocar tabla	█				█						Levantar mesa
Espera			█		█						Abrir tolva
Deslizar pisones	█				█						Deslizar pisones
Accionar motor	█				█						Mover palanca para comprimir
Levantar mesa	█							█			Espera
Extraer bloques	█				█						Extraer bloques
Trasladar		█				█					Trasladar
Colocar en tarimas				█					█		Colocar en tarimas

Fuente: elaboración propia.

Tabla IV. **Resumen del diagrama bimanual**

<b>RESUMEN</b>				
<b>MÉTODO</b>	<b>PROPUESTO</b>		<b>ACTUAL</b>	
	<b>Mano izquierda</b>	<b>Mano derecha</b>	<b>Mano izquierda</b>	<b>Mano derecha</b>
	6	5		
	1	1		
	1	2		
	1	1		
<b>Total de movimientos</b>	18			

Fuente: elaboración propia.

### **2.1.11. Capacidad instalada**

La planta de producción con las máquinas semiautomáticas, actualmente, está capacitada para producir una cantidad aproximada de 3 000 unidades al día, tomando en cuenta que se labora en una jornada diurna de 8 horas y con ambas máquinas, lo que quiere decir que cada máquina tiene una capacidad de producción de 1 500 unidades/día.

## **2.2. Análisis de la maquinaria**

La maquinaria es un factor importante en el proceso de producción. Por tal motivo, es pertinente realizar un análisis para comprender su funcionamiento e identificar los puntos críticos de control. Todo esto permite que el equipo se desempeñe correctamente y se prolongue su vida útil por medio de requerimientos de mantenimiento.

### **2.2.1. Descripción de la maquinaria**

Para la realización del proceso se utiliza maquinaria semiautomática, que cuenta con una tolva para el almacenaje de la mezcla, que llega a través de una banda transportadora. Esta fue acoplada para evitar pérdidas de tiempo en el llenado de la tolva y cuenta con la peculiaridad de ser móvil, por lo cual es utilizada para la alimentación de más de una máquina.

Esta maquinaria consta de una mesa con dos moldes, lo que implica que el operador puede fabricar dos bloques al mismo tiempo. La máquina, a su vez, viene equipada con un motor de corriente alterna el cual ejecuta una acción vibratoria con alta frecuencia, mientras el operador realiza la compactación de la mezcla y el ajuste de altura del producto a través de una palanca. Ver Figura 3.

Figura 11. **Sistema de vibración y molde de maquinaria semiautomática**



Fuente: empresa Bustamante, S.A.

### **2.2.2. Puntos críticos de control**

Los puntos críticos de control son factores importantes en el proceso porque están ligados con la calidad del producto. Por tal razón, es necesario establecer las condiciones, tanto en el proceso como en la maquinaria que requieran de un control estricto para asegurar la correcta elaboración del producto.

- **Dosificación de materia prima:** es necesario controlar rigurosamente la dosificación de la mezcla ya que si no está elaborada con las proporciones adecuadas puede afectar las propiedades mecánicas del producto y su tiempo de fraguado, además de generar problemas en el proceso de desmoldado.

- Moldes: antes de iniciar el proceso se debe verificar que los moldes estén en perfectas condiciones. Un molde dañado afectaría el acabado final del bloque. Los moldes deben ser lavados inmediatamente, luego de terminar el proceso de producción para prevenir el secado del concreto.
- Vibración: es un factor determinante en la fabricación de los aglomerados porque aglutina la mezcla en el molde para lograr una masa compacta con mejores propiedades. Es importante conocer la frecuencia de vibración de la máquina para determinar el tiempo en que esta debe llevarse a cabo. Este tiempo también dependerá de la calidad de los agregados. La vibración brinda los siguientes beneficios en el producto: compacidad, impermeabilidad, mejor resistencia mecánica, resistencia a la abrasión, congelamiento y fácil desmoldado.

### **2.2.3. Sistemas de funcionamiento**

Se describen a continuación los sistemas de funcionamiento en el proceso de producción:

- Sistema de mezclado: está conformado por un *housing* que, en su interior, contiene dos aspas de forma helicoidal, las cuales mueven la materia prima para formar la mezcla deseada. En la parte exterior de esta máquina se encuentra la transmisión mecánica, con acople directo a una caja reductora recta y la caja unida a un motor de corriente alterna por medio de poleas y fajas.

Para realizar la mezcla, los materiales ingresan por la parte superior y son extraídos una vez realizado el proceso por una pequeña escotilla

ubicada en la parte inferior del *housing*, la cual es abierta por el operador de máquina.

Figura 12. **Mezclador horizontal**



Fuente: empresa Bustamante, S.A.

- Sistema de transporte: se realiza por medio de una banda transportadora que consta de rodillos acoplados de tal forma que, en la faja, se forma un acanalamiento con el propósito de mantener la carga centrada y evitar que la mezcla caiga al suelo. Esta banda transportadora posee la peculiaridad de que puede moverse por medio de una cadena para alimentar más de una máquina. Consta de un motor de corriente alterna y una caja reductora para lograr la tracción.

Figura 13. **Banda transportadora**



Fuente: empresa Bustamante, S.A.

- Sistema de almacenamiento: una tolva de forma piramidal ubicada en la parte superior de la máquina almacena la materia prima procedente del mezclador. Una vez que la tolva se encuentra casi vacía, el operador del mezclador la alimenta para realizar un proceso continuo.
- Sistema de vibración: se realiza por medio de un motor de corriente alterna monofásico de 3 Hp, el cual lleva acoplada una excéntrica que, al girar el motor, transmite a la masa un movimiento oscilante que genera la vibración que amortiguan los resortes.
- Sistema de compactación: básicamente es una serie de pisones movilizadas de forma descendente, por medio una palanca en el exterior, este sistema junto con el sistema de vibración ayudan a aglutinar la mezcla en el molde de elaboración.

## 2.3. Mediciones

Las mediciones en todo proceso son importantes porque determinan el grado de eficiencia en el que se está desarrollando, además, coadyuva en la toma de decisiones a partir de la interpretación de los resultados. En la empresa Bustamante, S.A. se realizó una toma de tiempos del proceso de fabricación de *blocks* para determinar valores, como, el ritmo de producción, los tiempos estándar de los principales procesos y la eficiencia de producción.

### 2.3.1. Ritmo de producción

Es un cálculo realizado para conocer el número de unidades que se elaboran en determinada cantidad de tiempo. Este ritmo puede ser medido en unidades/segundo, unidades/minuto o unidades/hora; dependiendo del tipo de proceso que se realice. Para realizar este cálculo se tomaron las siguientes consideraciones:

- Tiempo de ciclo
- Numero de máquinas
- Producción por máquina

$$\text{Tiempo de ciclo} = 43,72 \text{ s} * (1\text{min} / 60 \text{ s}) = 0,73 \text{ min (ver inciso 2.3.2)}$$

$$\text{Ritmo de producción} = (2 \text{ máquinas}) * (2 \text{ blocks} / 0,73 \text{ min}) = 5,47 = \\ 5 \text{ blocks/minuto}$$

### 2.3.2. Tiempo estándar

Este análisis permite conocer la duración de una tarea o actividad para establecer métodos que ayuden a la eficiente de cada una de las operaciones del proceso y se supriman los tiempos improductivos. Se deben tomar en cuenta factores como demoras por necesidades básicas, por contingencias y por fatigas, ya que estos pueden causar variaciones en el tiempo del proceso.

Tabla V. **Toma de tiempos**

<b>Elemento de la tarea</b>	<b>t1 (s)</b>	<b>t2 (s)</b>	<b>t3 (s)</b>	<b>t4 (s)</b>	<b>t5 (s)</b>	<b>Promedio</b>
<b>Tomar base de madera</b>	2,10	2,23	2,56	2,72	2,41	2,40
<b>Colocar base en la máquina</b>	3,95	3,25	3,02	3,45	3,65	3,46
<b>Llenar molde</b>	5,87	5,55	6,02	5,31	6,08	5,77
<b>Moldear <i>blocks</i></b>	10,20	11,20	10,28	10,55	11,05	10,66
<b>Desmoldado</b>	5,23	6,20	6,21	5,35	5,29	5,65
<b>Retirar producto</b>	6,81	6,23	6,86	6,20	5,99	6,42

Fuente: elaboración propia.

$$\text{Tiempo normal} = \text{tiempo observado} * \text{valoración \%}$$

Para calificar al operador se utilizó el sistema de valoración de Westinghouse.

Tabla VI. **Tabla de Westinghouse**

<b>Factor</b>	<b>Clasificación</b>	<b>Valor</b>
Habilidad	B2	+ 0,08
Esfuerzo	C1	+ 0,05
Condiciones	C	+ 0,02
Consistencia	C	+ 0,01
Suma aritmética	-----	0.16
Factor de calificación	$1+(B2+C1+C+C)$	<b>1,16</b>

Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. **Cálculo del tiempo normal**

<b>Elemento de la tarea</b>	<b>Promedio</b>	<b>Valoración</b>	<b>Tiempo Normal</b>
<b>Tomar base de madera</b>	2,40	1,16	2,78
<b>Colocar base en la máquina</b>	3,46	1,16	4,01
<b>Llenar molde</b>	5,77	1,16	6,69
<b>Moldear <i>blocks</i></b>	10,66	1,16	12,36
<b>Desmoldado</b>	5,65	1,16	6,55
<b>Retirar producto</b>	6,42	1,16	7,44

Fuente: elaboración propia.

- Suplementos
  - Por fatiga básica= 4 %
  - Por necesidades personales= 3 %
  - Por contingencias= 3 %
  - Total= 10 %
  - Tiempo estándar= tiempo normal + (1+ % suplementos)

Tabla VIII. **Cálculo del tiempo estándar**

Elemento de la tarea	Tiempo Normal	Suplemento (10%)	Tiempo estándar
Tomar base de madera	2,78	0,1	3,06
Colocar base en la maquina	4,01	0,1	4,41
Llenar molde	6,60	0,1	7,26
Moldear <i>blocks</i>	12,36	0,1	13,60
Desmoldado	6,55	0,1	7,21
Retirar producto	7,44	0,1	8,18

Fuente: elaboración propia.

$$\text{Tiempo de ciclo} = 3,06 + 4,41 + 7,26 + 13,60 + 7,21 + 8,18 = 43,72 \text{ s}$$

### 2.3.3. Eficiencia

La eficiencia es una medida porcentual que expresa la correcta utilización de los recursos para lograr un objetivo determinado. Con las dos máquinas semiautomáticas, la planta está capacitada para producir aproximadamente 3 000 *blocks*; sin embargo, la empresa en un periodo de 8 horas logra producir en promedio una cantidad de 2 600 unidades.

$$\text{Eficiencia de producción} = (2\ 600 / 3\ 000) * 100 = 87,00 \%$$

#### 2.3.4. Análisis de costos de operación

Para el análisis de costos de producción los factores a tomar en cuenta son los siguientes:

- Costo de materia prima: son los elementos físicos requeridos para la elaboración de un producto, un envase o un empaque. La cantidad de materia prima guarda una relación proporcional con las unidades producidas.
- Costo de mano de obra: son los costos en los que incurre la empresa por medio de los salarios que debe pagar en virtud de un contrato de trabajo.
- Gastos de fabricación: son gastos adicionales que se requieren para la realización del proceso, como energía eléctrica y agua.

Tabla IX. Costo por unidad

<b>COSTO POR UNIDAD</b>		
<b>Costo de mano de obra</b>	4 trabajadores	Q 0,12
<b>Costo de materia prima</b>	Cemento	Q 0,81
	Arena blanca	Q 0,30
	Selecto	Q 0,26
	Agua	Q 0,13
<b>Costos fijos</b>	Luz	Q 0,03
	Servicios	Q 0,07
<b>Costo total por unidad</b>		<b>Q 1,72</b>

Fuente: elaboración propia.

### **3. PUESTA EN MARCHA DE MAQUINARIA VIBROCOMPRESORA**

La puesta en marcha de un equipo debe ser un proceso con una anticipada planificación en la cual se contemplen aspectos tanto de funcionalidad como aspectos técnicos y económicos.

#### **3.1. Puesta en marcha**

Es importante mencionar que para poner en funcionamiento un equipo nuevo se deben tomar en cuenta diferentes aspectos económicos. Para poner en marcha una maquinaria se debe realizar un análisis financiero que permita evaluar la inversión. La implementación de equipos conlleva costos de: mano de obra, materia prima, instalación, administrativos, mantenimiento, etc. Estos deben considerarse antes de su implementación para conocer el valor real de la inversión.

Por otro lado, implementar maquinaria con mayor tecnología implica la contratación de mano de obra más calificada. Por esta razón, debe capacitarse al personal para realizar los mantenimientos y las reparaciones. Es importante mencionar que antes de la implementación se debe crear un plan de mantenimiento preventivo que ayude a prevenir fallas y a crear un inventario con los repuestos más importantes, cuando una máquina necesite reparación.

### 3.1.1. Descripción de la maquinaria vibrocompresora

Esta maquinaria es totalmente automática y es controlada electrónicamente por medio de varios PLC. Además, cuenta con un sistema hidráulico el cual controla la apertura de la tolva en la parte inferior para el llenado del molde por medio de un cilindro de doble efecto.

La máquina tiene la capacidad de fabricar 8 unidades al mismo tiempo y son producidos sobre bandejas de acero para asegurar su durabilidad. Posee una tolva en la parte superior la cual es alimentada a través de una banda transportadora que traslada la mezcla proveniente del mezclador horizontal. La vibración de la máquina es manejada electrónicamente por medio de un variador de frecuencia para controlar la velocidad del motor, lo que es conveniente porque puede calibrarse de manera que la vibración provocada por la máquina sea suficiente para acomodar la mezcla adecuadamente, pero no para romper los bloques. Se estima que la máquina está capacitada para producir 10,000 unidades en un turno de 8 horas.

Figura 14. **Máquina vibrocompresora**



Fuente: empresa Bustamante, S.A.

### **3.1.2. Condición general de la maquinaria automática**

La maquinaria obtenida cuenta con un sistema de vibrocompresion, una mezcladora vertical, bandas transportadoras de alimentación de materia prima y un sistema de entrada de bandejas de acero. No obstante, es necesario implementar un sistema de ascenso y descenso de producto terminado así como un sistema de extracción y alimentación del mismo.

### **3.1.3. Sistemas de funcionamiento actuales**

La maquinaria en su estado actual posee los siguientes sistemas: de alimentación y dosificación de materias primas; de mezclado, sistema de alimentación de mezcla, volumétrico de llenado con limitante mecánico, de vibro-compresión, de descenso de bandejas para fabricación y el de transporte de bandejas para fabricación.

#### **3.1.3.1. Sistema de alimentación y dosificación de materias primas**

Para la alimentación de materias primas se cuenta con dos bandas transportadoras trapezoidales. Una de ellas transporta la arena y la otra, el selecto. El cemento es transportado por medio de un tornillo sin fin que se encuentra en la parte inferior del silo de cemento. Tanto las bandas transportadoras como el tornillo sin fin trasladan las materias primas hacia el mezclador vertical donde se lleva a cabo el proceso de mezclado.

Una vez que las materias primas se encuentran en el mezclador se añade agua automáticamente a través de una tubería situada en la parte superior del

mezclador. La cantidad de agua está controlada de acuerdo con la cantidad de materiales en el mezclador.

### **3.1.3.2. Sistema de mezclado**

El mezclador vertical posee celdas de carga que limitan la cantidad de materia prima en su interior. Este sensor manda la señal a los motores de las bandas transportadoras y del tornillo sin fin del silo para que se detengan, una vez que el mezclador está lleno. En ese momento el mezclador entra en funcionamiento. La mezcla es realizada por varias paletas unidas a un eje vertical que atraviesa el mezclador hacia la parte exterior donde se encuentra un motor con un sistema de cadenas para reducir la velocidad de mezclado. Cuando la mezcla está finalizada un cilindro neumático abre una escotilla en la parte lateral para que la mezcla evacúe hacia la banda de alimentación de la máquina.

Figura 15. **Sistema de mezclado**



Fuente: empresa Bustamante, S.A.

### **3.1.3.3. Sistema de alimentación de mezcla**

En el momento que el cilindro neumático abre la escotilla y se libera la mezcla, la banda transportadora arranca, alimentando así, la tolva de la máquina. Una vez el mezclador se ha vaciado el cilindro neumático cierra la escotilla y el motor de la banda transportadora se apaga dejando sin movimiento a la misma hasta que se dé el nuevo ciclo de mezclado.

Figura 16. **Sistema de alimentación de mezcla**



Fuente: empresa Bustamante, S.A.

### **3.1.3.4. Sistema volumétrico de llenado con limitante mecánico**

Es el encargado de dosificar la cantidad exacta en el molde de manera que la mezcla no sobrepase la cantidad necesaria para elaborar un aglomerado de concreto. Este sistema limita la mezcla por medio de un cilindro hidráulico de doble efecto que se acciona automáticamente empujando una lámina de acero. Esta sella la parte baja de la tolva de alimentación para que la mezcla no caiga en el molde una vez este se encuentre lleno.

### **3.1.3.5. Sistema de vibro-compresión**

Cuando la mezcla se encuentra en el molde, dos motores eléctricos trifásicos de corriente alterna transmiten su potencia por medio de fajas a dos poleas situadas en la mesa vibradora. Esto provoca un movimiento rotacional a dos excéntricas situadas internamente dentro de la misma, dando origen al movimiento vibratorio. Mientras el sistema está vibrando, dos cilindros hidráulicos se accionan para empujar hacia abajo una serie de pisones que comprimen la mezcla uniformemente de manera simultánea con la vibración.

### **3.1.3.6. Sistema de descenso de bandejas para fabricación**

Este sistema es la etapa inicial de la máquina y consiste en una serie de brazos sobre los cuales se alojan las bandejas de acero. Estos brazos descienden para que las bandejas queden colocadas en el sistema de transporte de entrada; luego, ingresan a la máquina. Previo a esto han sido descargados los aglomerados fraguados y puestos en pallet. Este sistema de descenso tiene capacidad para 8 bandejas. Una vez que todas las bandejas han sido descargadas el sistema asciende para que sea cargada con 8 bandejas nuevas. El proceso de carga de las bandejas es realizado por medio de un montacargas.

### **3.1.3.7. Sistema de transporte de bandejas para fabricación**

Da ingreso a las bandejas de acero para que pueda producirse sobre ellas. Cuenta con un mecanismo de uñas metálicas en sus extremos que

desplazan las bandejas una a una a sobre el transportador hasta la mesa de vibrocompresión, espaciándolas de manera exacta.

Las uñas metálicas se mueven gracias a un cilindro hidráulico de doble efecto que se encuentra situado en la parte inferior del transportador. Este cilindro se acciona una vez que se ha realizado el proceso de vibrocompresión y compactación de los aglomerados. Para que las uñas puedan evacuar la bandeja sobre la cual ya se produjo y darle ingreso a una nueva para que se repita el ciclo.

## **3.2. Mantenimiento**

El mantenimiento es la acción de conservar en buen estado los equipos y máquinas de cualquier industria. El mantenimiento consiste en realizar inspecciones, mediciones, limpiezas, lubricaciones y reparaciones.

### **3.2.1. Mantenimiento preventivo**

Para la elaboración de un plan de mantenimiento preventivo adecuado debe realizarse una ficha técnica para cada equipo. En ella se debe especificar quién realizó el mantenimiento, la fecha de realización y las posibles observaciones que se consideren importantes. El objetivo del mantenimiento preventivo debe ser realizar inspecciones, lubricaciones, calibraciones y limpiezas, de tal manera que la vida de los equipos se prologue.

### **3.2.2. Mantenimiento correctivo**

Es la forma más básica de mantenimiento y consiste en corregir o reparar los defectos en la maquinaria ocasionados por el uso. Es necesario llevar control del mantenimiento correctivo por medio de órdenes de trabajo.

Estas órdenes permitirán llevar un registro de las fallas, los repuestos utilizados, el tiempo de duración de la reparación y el tiempo que la maquinaria se conservó en buen estado. Con esta información se planifica un mantenimiento preventivo para anticiparse, en cierto grado, a las fallas y de esa manera evitar medidas correctivas en los equipos, que no solo son más costosas, sino que también acortan la vida de los mismos.

### **3.3. Análisis financiero**

Es importante realizar un análisis financiero que ayude a determinar la rentabilidad que tendrá el negocio a partir de la puesta en marcha de la maquinaria. Para este análisis se realizó un flujo de caja donde se registra el valor de la inversión inicial, así como todos los costos de operación o mantenimiento, los ingresos por ventas y las depreciaciones de los activos fijos que se tendrán dentro de los 5 años de evaluación del proyecto. Posteriormente, se evaluó la inversión tanto del punto de vista del proyecto como del punto de vista del inversionista por medio de herramientas de análisis VPN, VAUE, TIR Y B/C.

Para el análisis de la puesta en marcha de la maquinaria se tomó en consideración que la inversión inicial fue realizada en un 60% por medio de financiamiento con un 15% de interés anual, mientras que el otro 40% fue capital de trabajo del inversionista con una tasa de oportunidad del 20%. Entre los costos de operación se tomaron en cuenta un total de 5 trabajadores para el funcionamiento de la maquinaria y el almacenamiento del producto y de 2 personas para el área administrativa. Se tomaron en cuenta las prestaciones laborales para cada trabajador. Además, se consideraron costos de

mantenimiento anuales para la maquinaria, costos de energía eléctrica y costos varios como teléfono, agua y seguridad.

Tabla X. **Flujo de fondos**

<b>Rubro</b>	<b>0 (Q)</b>	<b>1 (Q)</b>	<b>2 (Q)</b>	<b>3 (Q)</b>	<b>4 (Q)</b>	<b>5 (Q)</b>
<b>Inversión inicial</b>	<b>1 390 000</b>	-	-	-	-	-
Maquinaria vibrocompresora y sistemas de mezcla	800 000	-	-	-	-	-
Equipo de transporte y elevación	150 000	-	-	-	-	-
Obra civil para cimentaciones e instalación del equipo	100 000	-	-	-	-	-
Instalación eléctrica y electrónica de sistemas de potencia	50 000	-	-	-	-	-
Equipo para fraguado	50 000	-	-	-	-	-
Edificaciones	150 000	-	-	-	-	-
Gastos de organización	90 000	-	-	-	-	-
<b>Ingresos</b>	<b>-</b>	<b>5 760 000</b>	<b>5 920 000</b>	<b>6 460 000</b>	<b>6 825 000</b>	<b>7 200 000</b>
Precio de venta	-	3,2	3,2	3,4	3,5	3,6
Ventas	-	1 800 000	1 850 000	1 900 000	1 950 000	2 000 000
<b>Costos de operación</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>
Combustible para montacargas	-	75 000	75 000	75 000	75 000	75 000
Energía eléctrica	-	48 000	48 000	48 000	48 000	48 000
Costos de mantenimiento de maquinaria	-	120 000	120 000	120 000	120 000	120 000
Servicios varios	-	30 000	30 000	30 000	30 000	30 000
Sueldos administrativos	-	96 000	96 000	96 000	96 000	96 000
Prestaciones de sueldos	0	40 156,8	40 156,8	40 156,8	40 156,8	40 156,8

administrativos						
Sueldos/salarios de personal operativo	-	180 000	186 000	192 000	198 000	204 000

Continuación de la Tabla X.

<b>Rubro</b>	<b>0 (Q)</b>	<b>1 (Q)</b>	<b>2 (Q)</b>	<b>3 (Q)</b>	<b>4 (Q)</b>	<b>5 (Q)</b>
Prestaciones de personal operativo	0	75 294	77 803,8	80 313,6	82 823,4	85 333,2
Papelería y útiles de oficina	-	7 000	7 000	7 000	7 000	7 000
Costo de materia prima	-	2 700 000	2 775 000	2 850 000	2 925 000	3 000 000
<b>Flujo antes de impuestos</b>	<b>(-) 1 390 000</b>	<b>2 388 549</b>	<b>2 465 039</b>	<b>2 921 530</b>	<b>3 203 020</b>	<b>3 494 510</b>
<b>Depreciaciones</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>
Maquinaria vibrocompresora y sistemas de mezcla	-	160 000	160 000	160 000	160 000	160 000
Equipo de transporte y elevación	-	30 000	30 000	30 000	30 000	30 000
Obra civil para cimentaciones e instalación del equipo	-	500	500	500	500	500
Edificaciones	-	7 500	7 500	7 500	7 500	7 500
Equipo para fraguado	-	10 000	10 000	10 000	10 000	10 000
<b>Depreciación total</b>	<b>0</b>	<b>208 000</b>				
<b>Flujo gravable</b>	<b>(-) 1 390 000</b>	<b>2 180 549</b>	<b>2 257 039</b>	<b>2 713 530</b>	<b>2 995 020</b>	<b>3 286 510</b>
<b>ISR (31%)</b>		<b>675 970</b>	<b>699 682</b>	<b>841 194</b>	<b>928 456</b>	<b>1 018 818</b>
<b>Flujo después de ISR</b>	<b>(-) 1 390 000</b>	<b>1 504 579</b>	<b>1 557 357</b>	<b>1 872 335</b>	<b>2 066 564</b>	<b>2 267 692</b>
<b>Depreciación</b>	<b>0</b>	<b>208 000</b>				
<b>Flujo neto de fondos</b>	<b>(-) 1 390 000</b>	<b>1 712 579</b>	<b>1 765 357</b>	<b>2 080 335</b>	<b>2 274 564</b>	<b>2 475 692</b>

Fuente: elaboración propia.

Tabla XI. **Flujo neto de fondos, financiamiento y flujo del inversionista**

Rubro	0 (Q)	1 (Q)	2 (Q)	3 (Q)	4 (Q)	5 (Q)
<b>Flujo neto de fondos</b>	(-) 1 390 000	1 712 579	1 765 357	2 080 335	2 274 564	2 475 692
<b>Financiamiento</b>	834 000	(-) 220 007	(-) 220 007	(-) 220 007	(-) 220 007	(-) 220 007
<b>Flujo inversionista</b>	(-) 556 000	1 492 572	1 545 350	1 860 328	2 054 557	2 255 685

Fuente: elaboración propia.

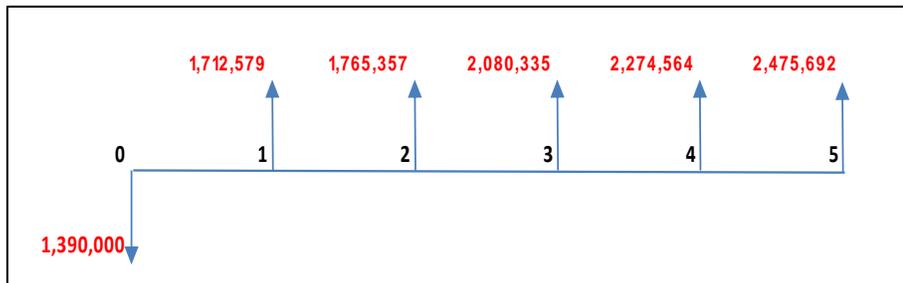
### 3.3.1. Valor presente neto, VPN

El valor presente neto considera el valor del dinero en el tiempo, descontando los flujos de efectivo a una tasa específica. En otras palabras, se puede decir que el VPN representa el valor presente de una inversión donde hay salidas y entradas en un horizonte de tiempo determinado. Para evaluar el VPN se tienen que tomar en cuenta los siguientes criterios de decisión:

- $VPN > \text{cero}$ : el proyecto recupera la inversión inicial, se obtiene la rentabilidad que se desea y además un excedente igual al valor del VPN.
- $VPN = \text{cero}$ : el proyecto recupera la inversión inicial, se obtiene la rentabilidad que se desea, pero no se obtiene un excedente.
- $VPN < \text{cero}$ : el proyecto debe rechazarse, ya que no se obtiene la rentabilidad deseada.

El VPN para el proyecto se realiza con el flujo neto de fondos, mientras que el VPN del inversionista se realiza con el flujo del inversionista.

Figura 17. Flujo neto de fondos



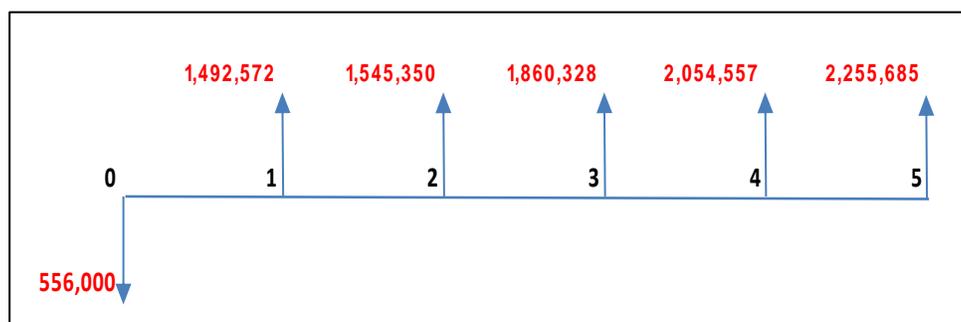
Fuente: elaboración propia.

$$VPN = \frac{C1}{(1+i)^1} + \frac{C2}{(1+i)^2} + \frac{C3}{(1+i)^3} + \frac{C4}{(1+i)^4} + \frac{C5}{(1+i)^5} - \text{valor en 0}$$

$$VPN = \frac{1\,712\,579}{(1+0,15)^1} + \frac{1\,765\,357}{(1+0,15)^2} + \frac{2\,080\,335}{(1+0,15)^3} + \frac{2\,274\,564}{(1+0,15)^4} + \frac{2\,475\,692}{(1+0,15)^5} - 1\,390\,000 = 5\,333\,262,49$$

$$VPN = Q\,5\,333\,262,49$$

Figura 18. Flujo del inversionista



Fuente: elaboración propia.

$$\text{VPN} = \frac{1\,492\,572}{(1 + 0,25)^1} + \frac{1\,545\,350}{(1 + 0,25)^2} + \frac{1\,860\,328}{(1 + 0,25)^3} + \frac{2\,054\,557}{(1 + 0,25)^4} + \frac{2\,255\,685}{(1 + 0,25)^5} - 556,000 = 4\,160\,258,94$$

$$\text{VPN} = \text{Q } 4,160,258,94$$

Tabla XII. **VPN del proyecto y VPN del inversionista**

<b>VPN del proyecto</b>	Q 5 333 262,62
<b>VPN del inversionista</b>	Q 4 160 258,80

Fuente: elaboración propia.

### 3.3.2. Valor anual uniforme equivalente, VAUE

Es un método de evaluación financiero que transforma todos los flujos de caja en una cantidad anual uniforme equivalente, que es la misma para cada periodo. En otras palabras, el VAUE se transforma en flujos iguales para cada periodo del horizonte de tiempo del proyecto, de manera que se pueda conocer cuánto vale la inversión en cada año. Se calcula a partir de la siguiente fórmula:

$$\text{VAUE} = \text{VPN} * \frac{(1 + i)^n * i}{(1 + i)^n - 1}$$

- Desde el punto de vista del proyecto: indica que, anualmente, se recibirán Q 1 590 995,19 de ingresos.

$$\text{VAUE} = 5\,333\,262,62 * \left( \frac{(1 + 0,15)^5 * 0,15}{(1 + 0,15)^5 - 1} \right) = \text{Q } 1\,590\,995,19$$

- Desde el punto de vista del inversionista: indica que anualmente se recibirán Q 1 391 106,10 de ingresos.

$$VAUE = 5\,333\,262,62 * \left( \frac{(1 + 0,2)^5 * 0,2}{(1 + 0,2)^5 - 1} \right) = \mathbf{Q\ 1\ 391\ 106,10}$$

### 3.3.3. Tasa interna de retorno, TIR

Es la tasa que iguala el valor presente neto a cero y sirve para medir y comparar la rentabilidad en las inversiones de capital. El cálculo se hace con una evaluación del VPN a distintas tasas de interés. Una vez este pase de ser positivo a negativo, en ese punto se encontrará la tasa interna de retorno mínima a la cual el proyecto puede ser viable.

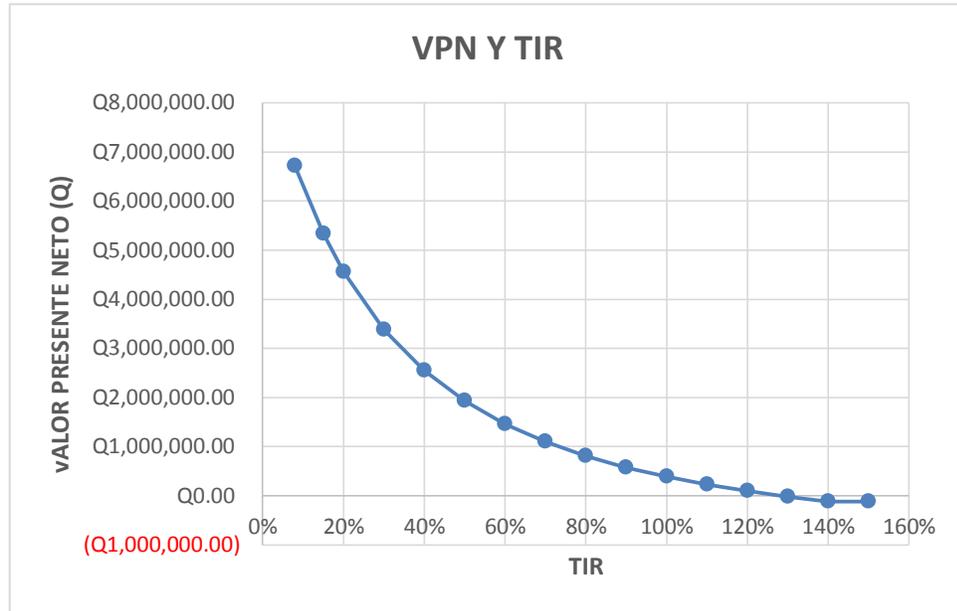
Tabla XIII. TIR versus VPN

TIR (%)	VPN (Q)	TIR (%)	VPN (Q)
8	6 717 454,33	80	810 700,11
15	5 333 262,62	90	578 195,08
20	4 558 829,82	100	387 196,30
30	3 382 020,48	110	228 028,90
40	2 544 506,80	120	93 696,70
50	1 928 031,74	130	(-) 20 957,92
60	1 461 020,13	140	(-) 119 803,97
70	1 098 380,87	150	(-) 119 803,97

Fuente: elaboración propia.

Para este caso la TIR se encuentra entre 120 % y 130 %, debido a que en ese punto la inversión pasa de tener ganancias a pérdidas.

Figura 19. TIR versus VPN



Fuente: elaboración propia.

Se aprecia en la gráfica que, conforme la tasa de interés aumenta, el valor del VPN disminuye de forma exponencial hasta cortar el eje x. El punto donde se corta el eje x corresponde al valor de la TIR que, para este caso posee un valor igual a 128 % para el flujo del proyecto.

### 3.3.4. Beneficio costo, B/C

El método de evaluación beneficio costo muestra una relación entre los ingresos y los egresos de un flujo de efectivo para determinar de cuánto es el beneficio por cada quetzal que se invierte en el proyecto. En otras palabras, el beneficio costo no es más que el cociente entre el VPN de los ingresos y el VPN de los egresos.

- Desde el punto de vista del proyecto: el beneficio costo indica que se tendrá una ganancia de Q 3,84 por cada quetzal invertido.

$$B/C = (Q\ 6\ 723\ 262,62 / Q\ 1\ 390\ 000,00) - 1 = \mathbf{Q\ 3,84}$$

- Desde el punto de vista del inversionista: el beneficio costo indica que se tendrá una ganancia de Q 8,48 por cada quetzal invertido.

$$B/C = (Q\ 4\ 716\ 258,80 / Q\ 556\ 000,00) - 1 = \mathbf{Q\ 7,48}$$

## **4. IMPLEMENTACIÓN DE MAQUINARIA VIBROCOMPRESORA**

Así como la máquina vibrocompresora cuenta con un sistema para el ingreso de las bandejas de acero, también debe contar con un sistema para la extracción de las bandejas junto con los aglomerados de concreto para la obtención del producto terminado.

### **4.1. Descripción de mecanismos para la habilitación de la maquinaria**

Para la habilitación de la máquina vibrocompresora se necesita un sistema de transporte y uno de elevación para que el producto pueda ser retirado en *racks* metálicos para su almacenamiento en el área de fraguado.

#### **4.1.1. Sistema de transporte de producto terminado**

El sistema de transporte para la salida de los aglomerados de concreto se diseñó de tal manera que fuera funcional y que requiriera un mantenimiento mínimo. Para el diseño de este sistema se realizaron distintas mediciones y cálculos para tomar en cuenta consideraciones sumamente importantes para la funcionalidad del sistema.

##### **4.1.1.1. Funcionamiento**

Este sistema consiste en una banda transportadora y su función es trasladar las bandejas de acero junto con los aglomerados hacia el sistema posterior de elevación para así darle salida al producto terminado.

#### **4.1.1.2. Importancia**

Sin el sistema de transporte de producto terminado no existiría forma de trasladar el producto fabricado por la máquina vibrocompresora hacia el sistema posterior para su traslado al área de fraguado.

#### **4.1.1.3. Consideraciones para el diseño**

Para la fabricación de este sistema se tomaron en cuenta los siguientes aspectos:

- Altura de la banda transportadora: debe poseer la misma altura que la salida de la máquina vibrocompresora, para evitar que las bandejas se golpeen cuando pasen de una etapa a otra.
- Mesa de rodillos: se diseñó en la etapa final de la banda transportadora, para que, cuando lleguen las bandejas de acero se detengan y el sistema de elevación realice el acenso del producto terminado.
- Velocidad de la banda transportadora: la banda debe ir sincronizada al ciclo de producción de la máquina vibrocompresora, de lo contrario, se corre el riesgo que el producto terminado no se detenga en la mesa de rodillos y caiga al suelo.
- Sistema de transmisión: se consideró la relación de la caja reductora y las revoluciones del motor para obtener una excelente tracción y un buen rendimiento.

#### 4.1.1.4. Diseño

Para el diseño de la banda transportadora se utilizaron dos fajas V-135 y dos fajas V-49 para la mesa de rodillos. Además, se empleó un motor trifásico de 2 Hp, una caja reductora con relación 1:40 y 4 chumaceras de bancada para fijar un eje de *cold roll* con dos poleas en los extremos, y así transmitir el movimiento proporcionado por el motor y la caja reductora hacia la banda.

Figura 20. **Banda transportadora de salida de producto terminado**



Fuente: empresa Bustamante, S.A.

Tanto la caja reductora como el motor se fijaron sobre una base metálica situada en la parte inferior de la banda transportadora y, para unirlos, se utilizó un acople *lovejoy*. Para la transmisión de potencia de la caja hacia el eje *cold roll*, situado en la parte superior de la banda, se utilizó un *sprocket* de 18 dientes junto con una cadena paso 40.

Figura 21. **Sistema de transmisión**



Fuente: empresa Bustamante, S.A.

Todas las poleas utilizadas en la banda transportadora fueron diseñadas en un torno y cuentan con cojinetes incorporados en el centro.

Figura 22. **Poleas de banda transportadora**



Fuente: empresa Bustamante, S.A.

Para darle la tensión adecuada a las fajas se crearon cuatro tensores ubicados en las partes laterales de la banda transportadora. Estos tensores se ajustan por medio de una barra roscada con dos tuercas. Es preciso que la banda esté bien ajustada para evitar que resbale y se pierda potencia.

Figura 23. **Tensor de faja**



Fuente: empresa Bustamante, S.A.

#### Cálculo de motor

La banda transportadora debe ser capaz de soportar 2 láminas llenas de producto terminado (*blocks* o adoquines). En cada lámina se fabrican 8 unidades, por lo que el motor debe tener la fuerza suficiente para desplazar el peso de 16 unidades más el peso de las 2 láminas de acero.

#### Datos

Peso promedio por unidad = 9,09 kg

Peso por lámina = 58 kg

Caja reductora 1:40

1750 RPM (se asume para cálculo de potencia del motor)

Coefficiente de fricción= 0,5

Coefficiente de seguridad= 1,5

Diámetro de polea= 6"

Cálculos

Cálculo de revoluciones en la salida de la caja reductora.

$$\frac{1\ 750\ RPM}{40} = 43,75\ RPM.$$

De RPM a radianes/seg

$$43,75 \frac{rev}{min} * \frac{2\pi\ rad}{1\ Rev} * \frac{1\ min}{60\ seg} = 4,58 \frac{rad}{s}$$

Calculo de velocidad tangencial de la banda

$$v = \omega * r$$

Dónde:  $\omega$  = Velocidad angular

r = Radio

$$v = 4,58 \frac{rad}{s} * 0,0762\ m = 0,35 \frac{m}{s}$$

Calculo de peso

$W$  = Peso del producto + peso de láminas de acero

$$W = (16\ unidades * 9,09\ kg) + (2\ láminas * 58\ kg) = 261,44\ Kg$$

Calculo de fuerza

$$F = 261,44\ Kg * 9,8 \frac{m}{s^2} * 0,5 = 1\ 281,05\ N$$

Calculo de potencia

$$P = F * V$$

$$P = 1\ 281,05\ N * 0,35 \frac{m}{s} = 448,37\ watts$$

De Watts a Hp

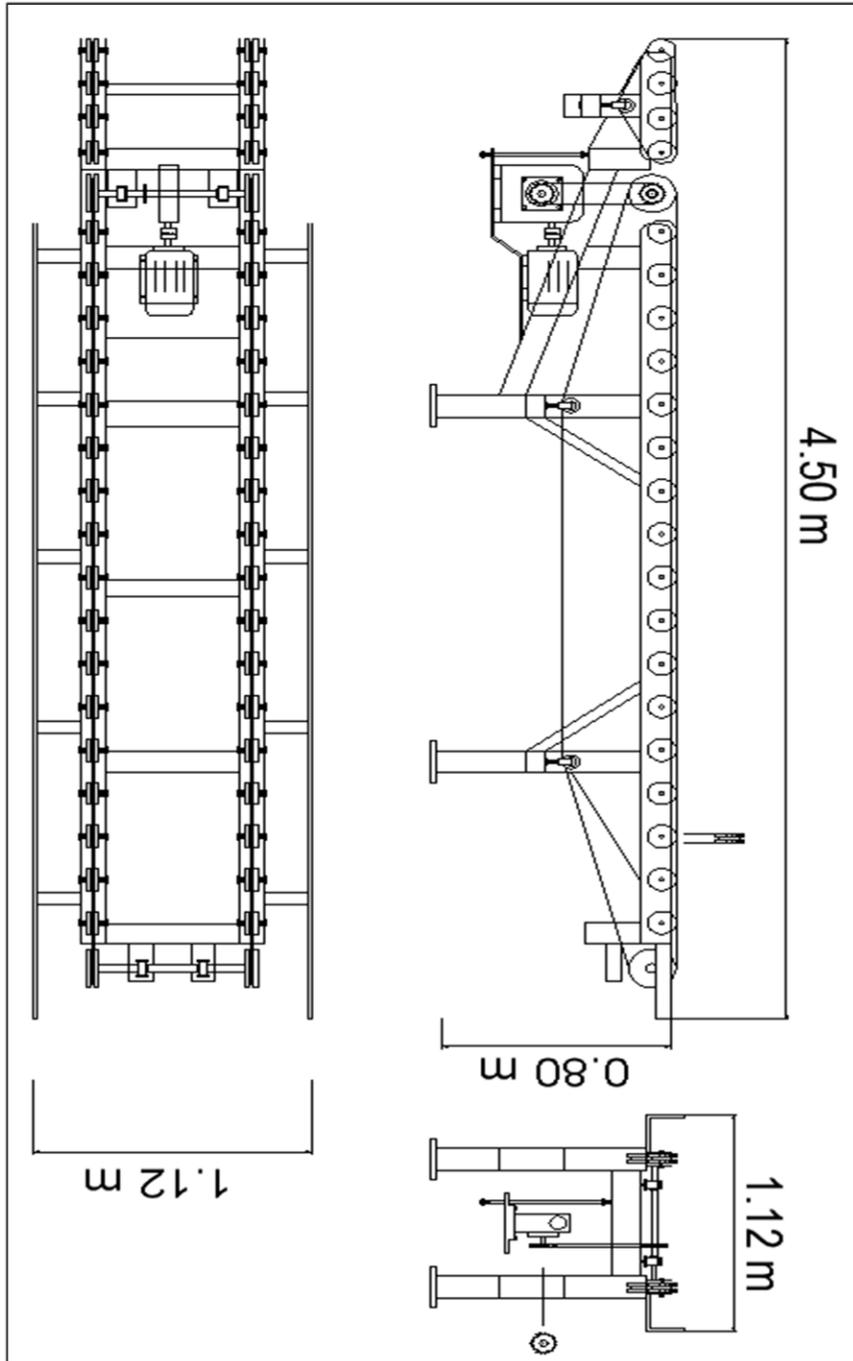
$$448,36 \text{ watts} * \frac{1 \text{ HP}}{745,7 \text{ watts}} = 0,60 \text{ Hp}$$

Uso de factor de seguridad

$$0,60 \text{ Hp} * 1,5 = 0,90 \text{ Hp}$$

Por medio de los cálculos se determinó que la potencia necesaria es de 0,90 Hp, considerando un factor de seguridad de 1,5. Por lo que un motor de 1 Hp sería suficiente para realizar este trabajo; no obstante, se decidió utilizar un motor de 2 Hp para que el motor trabaje de manera holgada.

Figura 24. **Diseño banda transportadora**



Fuente: elaboración propia

#### **4.1.2. Sistema de elevación de salida para producto terminado**

Este sistema es de gran importancia para extraer el producto terminado en las bandejas de acero. Funciona de igual manera que el sistema de descenso que se encuentra en la etapa inicial de la máquina. La diferencia es que este eleva el producto para que luego el montacarguista pueda retirarlo sobre *racks*, diseñados para almacenar los aglomerados en el área de fraguado.

##### **4.1.2.1. Funcionamiento**

El sistema cuenta con 4 pares de brazos encargados de elevar el producto conforme se va acumulando. Tiene una capacidad para 8 bandejas donde se almacena alrededor de 64 unidades.

Este mecanismo eleva las bandejas de dos en dos, gracias a que la máquina cuenta, en un extremo, con un sensor magnético activado cuando la primera bandeja es empujada por la segunda, ya que la primera bandeja por sí sola no llega a la posición requerida para activar el sensor. Por tal motivo, la máquina está diseñada de manera que solo cuando las dos bandejas estén colocadas en la posición correcta se active el sensor magnético. El sensor magnético activado manda una señal a un motor colocado en la parte superior de la máquina, este se activa y enrolla un cable de acero que eleva los brazos hasta el siguiente nivel. El proceso se repite hasta completar 4 ciclos y así el rack pueda ser retirado.

Figura 25. **Sistema de elevación**



Fuente: elaboración propia

#### **4.1.2.2. Importancia**

Este sistema hace eficaz la extracción del producto terminado debido a que se pueden acumular 64 unidades para ser retiradas en conjunto. Esto representa un ahorro en el combustible, ya que si este sistema de elevación no existiera el montarcarguista tendría que retirar las bandejas de dos en dos.

#### **4.1.2.3. Consideraciones para el diseño**

Para la fabricación de este sistema se tomó en cuenta los siguientes aspectos:

- Largo de los brazos: debe ser mayor al ancho de dos bandejas de acero para que se acomoden perfectamente.
- Motor ubicado en la parte superior del sistema de elevación: debe ser un motor con freno para que los brazos de la máquina se detengan en la posición adecuada.

- Grosor del cable de acero: debe soportar el peso del producto junto con las bandejas.

#### 4.1.2.4. Diseño

En la elaboración de este sistema se utilizó un motor de 5 Hp con freno, acoplado a una caja reductora con relación 60:1, esto para reducir la velocidad de ascenso de los brazos.

En la parte superior, acoplado a la caja reductora, se encuentra un carrete con cable de acero, el cual está diseñado para soportar todo el peso del producto terminado. El diseño cuenta, además, con un *microswitch* de seguridad, el cual es accionado por el cable para evitar que el sistema suba o baje más de lo debido.

Figura 26. **Motor con freno y acople**



Fuente: empresa Bustamante, S.A.

**Figura 27. Caja reductora**



Fuente: empresa Bustamante, S.A.

La estructura está formada por dos tijeras triangulares unidas con dos vigas en la parte superior. Esta estructura está diseñada para soportar el peso de los brazos, las bandejas de acero y el producto terminado.

Toda la estructura, junto con los brazos, fueron cubiertos con pintura anticorrosiva para darles protección. Además, se le atornilló una cuña de acero rolado en frío que sirve como guía para que deslicen los brazos.

**Figura 28. Brazos de sistema de elevación**



Fuente: empresa Bustamante, S.A.

Figura 29. **Estructura de sistema de elevación**



Fuente: empresa Bustamante, S.A.

El carrete donde se enrolla el cable de acero posee 10" de diámetro y en los extremos tiene dos agujeros para atravesar un eje que se acopla a la caja reductora.

Figura 30. **Carrete de cable de acero**



Fuente: empresa Bustamante, S.A.

Se fabricó una serie de rodillos con cojinete interno que se acoplan en los rieles de la estructura para que deslice fácilmente sobre la misma guía que soporta los brazos.

Figura 31. **Rodillos de sistema de elevación**



Fuente: empresa Bustamante, S.A.

### Cálculo de motor

El sistema de elevación debe ser capaz de soportar 8 láminas llenas de producto terminado (*blocks* o adoquines). En cada lámina se fabrican 8 unidades, por lo que el motor debe tener la suficiente fuerza para desplazar el peso de 64 unidades más el peso de las 8 láminas de acero y el peso de los brazos del sistema.

### Datos

Peso promedio por unidad = 9,09 kg

Peso por lámina = 58 kg

Peso por brazo= 24 kg

Caja reductora 1:33

Revoluciones: 1 750 RPM

Coefficiente de seguridad= 1,5

Diámetro del carrete= 10"

### Cálculos

Cálculo de revoluciones en la salida de la caja reductora,

$$\frac{1\ 750\ RPM}{33} = 53,03\ RPM,$$

De RPM a radianes/seg

$$53,03 \frac{rev}{min} * \frac{2\pi\ rad}{1\ Rev} * \frac{1\ min}{60\ seg} = 5,55 \frac{rad}{s}$$

Cálculo de velocidad de elevación

$$v = \omega * r$$

Donde:  $\omega$ = Velocidad angular

$r$ = Radio (se utilizó el radio del carrete)

$$v = 5,55 \frac{rad}{s} * 0,127\ m = 0,705 \frac{m}{s}$$

### Cálculo de peso

$W =$  Peso del producto + peso de láminas de acero+ peso de brazos del sistema

$$W = [(64 \text{ unidades} * 9,09 \text{ kg}) + (8 \text{ láminas} * 58 \text{ kg}) + (8 \text{ brazos} * 24 \text{ kg})] \\ * 9,8 \frac{m}{s^2} = 12 \ 130,05 \ N$$

### Cálculo de fuerza

El sistema cuenta con un juego de poleas el cual ayuda a reducir la velocidad de ascenso 4 veces, por lo cual la fuerza aumenta.

$$4T = W \\ T = \frac{W}{4} = \frac{12 \ 130,05 \ N}{4} = 3,032,51 \ N$$

### Calculo de potencia

$$P = F * V \\ P = 3,032,51 \ N * 0,705 \frac{m}{s} = 2,137,91 \ \text{watts}$$

### De Watts a Hp

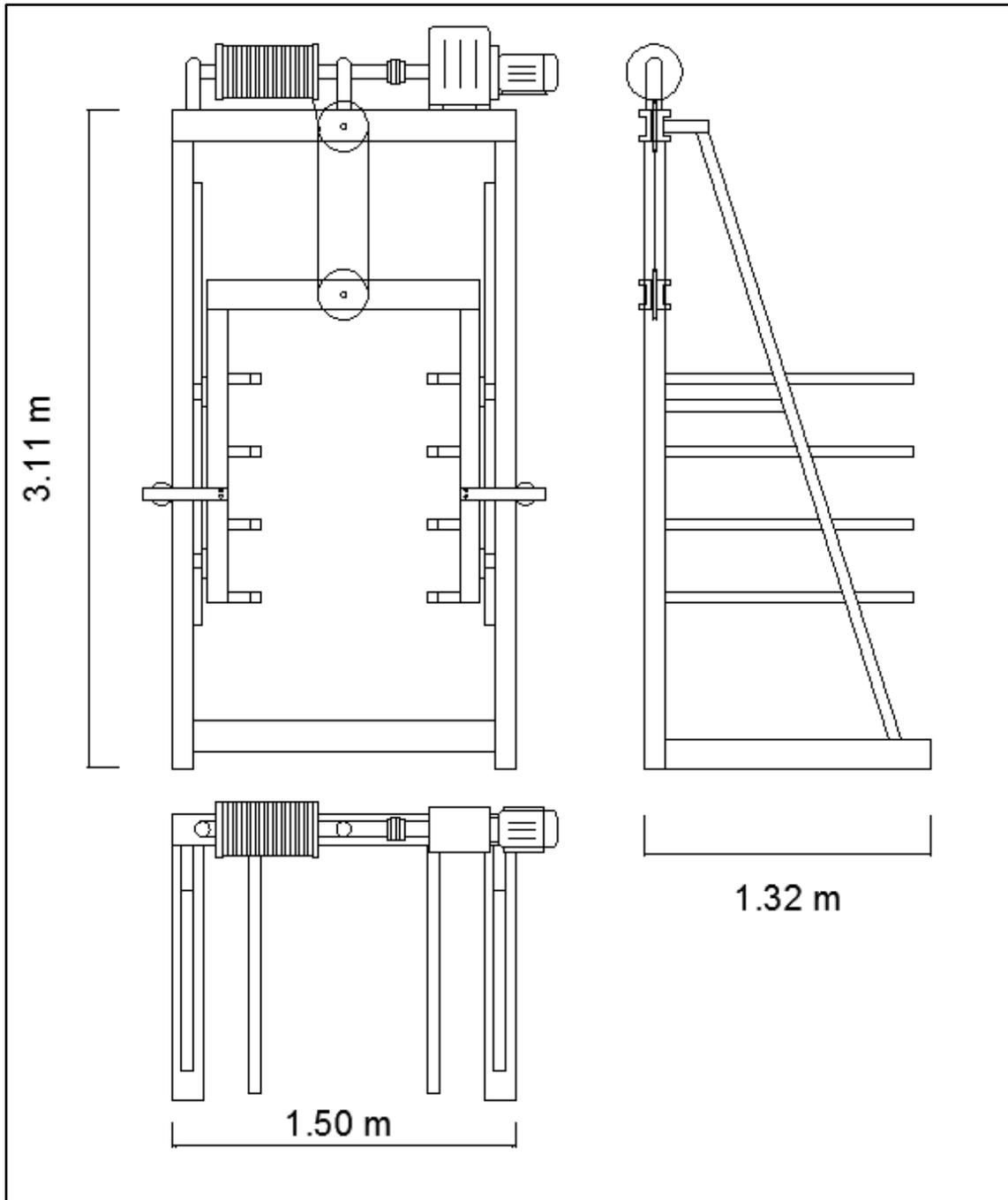
$$2,137,91 \ \text{watts} * \frac{1 \ \text{HP}}{745,7 \ \text{watts}} = 2,87 \ \text{Hp}$$

### Uso de factor de seguridad

$$2,87 \ \text{Hp} * 1,5 = 4,305 \ \text{Hp}$$

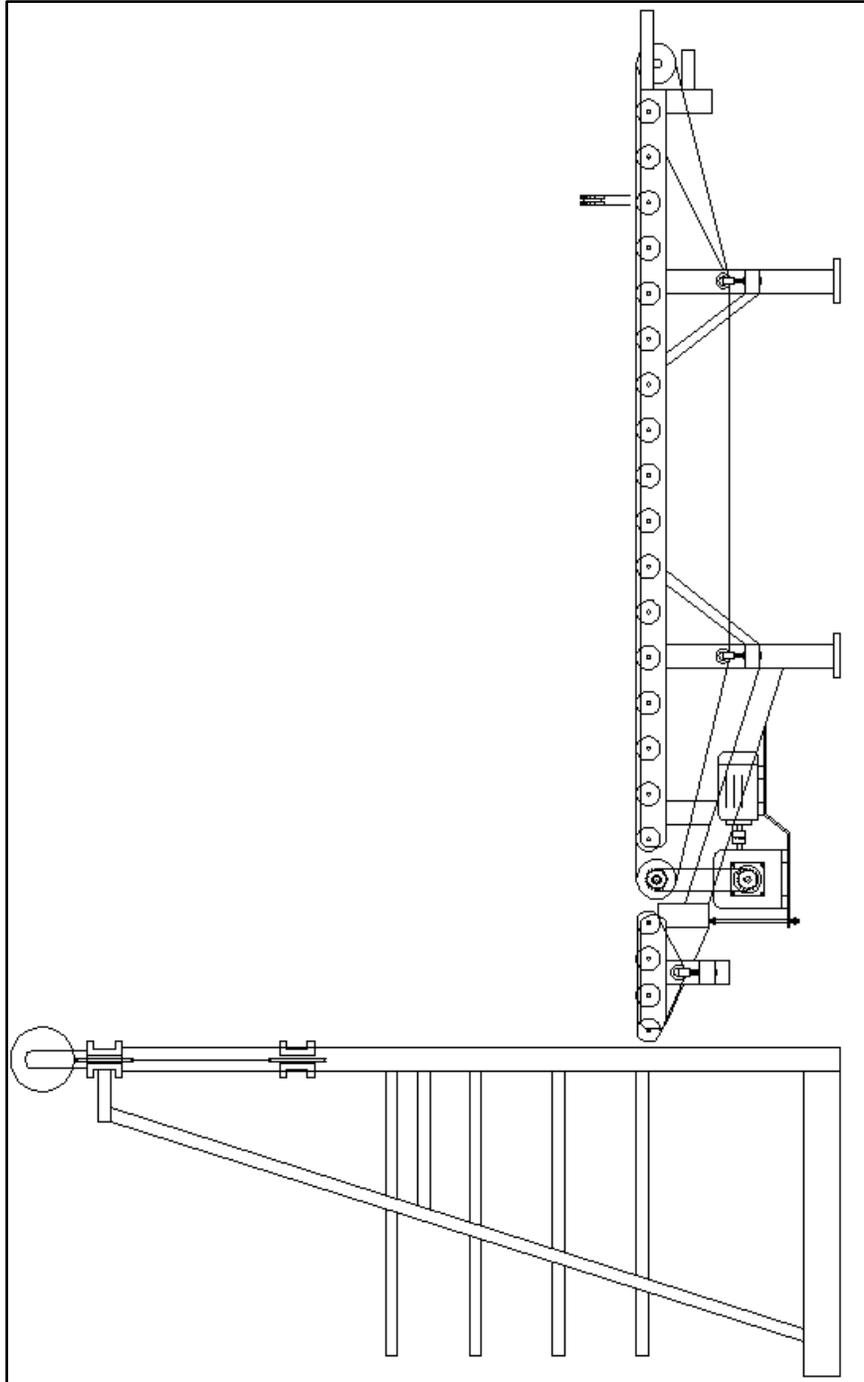
Por medio de los cálculos se determinó que la potencia necesaria es de 04,305 Hp, considerando un factor de seguridad de 1,5. Por lo que se decidió utilizar un motor de 5 Hp para que el motor trabaje de manera holgada.

Figura 32. **Diseño sistema de elevación**



Fuente: elaboración propia

Figura 33. **Sistema acoplado**



Fuente: elaboración propia

## **4.2. Técnicas y métodos para la implementación**

Junto con la ejecución de los sistemas antes mencionados, se deben considerar los controles que deben implementarse para llevar a cabo una adecuada administración del mantenimiento de toda la maquinaria. También se debe establecer un proceso de acción para la solicitud de un repuesto o cuando se detecte una posible falla en cualquiera de los equipos.

### **4.2.1. Fichas técnicas de mantenimiento**

Las siguientes tablas corresponden a los formatos de fichas técnicas para el control, supervisión y mantenimiento de la maquinaria.

Tabla XIV. **Ficha de descensor de bandejas de acero**

<b>FICHA TÉCNICA Y DE INSPECCIÓN</b>			
<b>Nombre del equipo</b>	Descensor de bandejas de acero	<b>Fecha de impresión</b>	
<b>Número de serie del equipo</b>		<b>Fecha de ejecución</b>	
<b>Fecha de última inspección</b>		<b>Mecánico</b>	
<b>Parte</b>	<b>Mantenimiento preventivo</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Fecha de ejecución</b>
Motor con freno y caja reductora	Cambio de cojinetes y revisión de ajustes Cambio de freno Revisión de acople Engrase de chumaceras de carrete de alambre Nivel de aceite de caja reductora	Cada 6 meses Cada 6 meses semanal Semanal Semanal	
Descensor mecánico	Revisar que los brazos no estén doblados Engrase y limpieza de guías de rodillos Revisión del estado del alambre de acero	Mensual Diario Diario	
Observaciones: _____			
_____			
_____			
_____			

Fuente: elaboración propia.

Tabla XV. **Ficha de transportador de ingreso de bandeja**

<b>FICHA TÉCNICA Y DE INSPECCIÓN</b>			
<b>Nombre del equipo</b>	Transportador de ingreso de bandejas de acero	<b>Fecha de impresión</b>	
<b>Número de serie del equipo</b>		<b>Fecha de ejecución</b>	
<b>Fecha de última inspección</b>		<b>Mecánico</b>	
<b>Parte</b>	<b>Mantenimiento preventivo</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Fecha de ejecución</b>
Cilindro hidráulico	Revisar que el vástago no esté doblado Revisar fugas de aceite	Diario Diario	
Central hidráulica	Cambio de filtro de aceite y aceite Inspección del estado de las mangueras Comprobación de funcionamiento de electroválvulas	Cada 6 meses Semanal Mensual	
Observaciones: _____			
_____			
_____			
_____			

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVI. **Ficha de máquina vibrocompresora**

<b>FICHA TÉCNICA Y DE INSPECCIÓN</b>			
<b>Nombre del equipo</b>	Máquina vibrocompresora	<b>Fecha de impresión</b>	
<b>Número de serie del equipo</b>		<b>Fecha de ejecución</b>	
<b>Fecha de última inspección</b>		<b>Mecánico</b>	
<b>Parte</b>	<b>Mantenimiento preventivo</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Fecha de ejecución</b>
Mesa vibradora y sistema de compresión	Limpieza y revisión de condición de la mesa Revisión y engrase de cojinetes Revisión de excéntricas Revisión de hules (cambiar los dañados) Revisión y limpieza de pisones de compresión	Semanal Cada 6 meses Cada 6 meses Mensual Semanal	
Motores	Cambio de cojinetes Revisión de fajas de transmisión (cambiar de ser necesario)	Anual Semanal	
Estructura	Verificar las soldaduras de la estructura Verificar cilindros hidráulicos Engrase de chumaceras de eje de cilindros hidráulicos	Semanal Mensual Diario	
Observaciones: _____			
_____			
_____			
_____			

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVII. **Ficha de mezclador vertical**

<b>FICHA TÉCNICA Y DE INSPECCIÓN</b>			
<b>Nombre del equipo</b>	Mezclador vertical	<b>Fecha de impresión</b>	
<b>Número de serie del equipo</b>		<b>Fecha de ejecución</b>	
<b>Fecha de última inspección</b>		<b>Semana</b>	
<b>Parte</b>	<b>Mantenimiento preventivo</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Nombre del trabajador</b>
Mezclador	Verificación y limpieza de mezclador Verificar cilindro neumático de escotilla de descarga Engrase de cadenas Revisión de fajas de motor (cambiar de ser necesario) Cambio de cojinetes de motor Engrase de escotilla de descarga Revisión de unidad de mantenimiento	Mensual Cada 6 meses Diario Diario Una vez al año Semanal Semanal	
Observaciones: _____			
_____			
_____			
_____			

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVIII. **Ficha de sistema de alimentación de materia prima**

<b>FICHA TÉCNICA Y DE INSPECCIÓN</b>			
<b>Nombre del equipo</b>	Sistema de alimentación de materia prima	<b>Fecha de impresión</b>	
<b>Número de serie del equipo</b>		<b>Fecha de ejecución</b>	
<b>Fecha de última inspección</b>		<b>Semana</b>	
<b>Parte</b>	<b>Mantenimiento preventivo</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Nombre del trabajador</b>
Banda transportadora de arena	Revisión de condición general de la banda Revisión de rodillos de banda transportadora Engrase de chumaceras Cambio de cojinetes de motor y revisión de ajustes	Una vez al año Una vez al año Semanal Una vez al año	
Banda transportadora de selecto	Revisión de condición general de la banda Revisión de rodillos de banda transportadora Engrase de chumaceras Cambio de cojinetes de motor y revisión de ajustes	Una vez al año Una vez al año Semanal Una vez al año	
Observaciones: _____			
_____			
_____			
_____			

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIX. **Ficha de banda transportadora de salida**

<b>FICHA TÉCNICA Y DE INSPECCIÓN</b>			
<b>Nombre del equipo</b>	Banda transportadora de salida	<b>Fecha de impresión</b>	
<b>Número de serie del equipo</b>		<b>Fecha de ejecución</b>	
<b>Fecha de última inspección</b>		<b>Semana</b>	
<b>Parte</b>	<b>Mantenimiento preventivo</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Nombre del trabajador</b>
Banda transportadora	Revisión y ajuste de fajas (cambiar de ser necesario) Revisión del estado de las poleas de la mesa Engrase de chumaceras de bancada	Cada dos meses Mensual Semanal	
Sistema de transmisión de potencia	Cambio de cojinetes de motor y revisión de ajustes Lubricación de cadena Revisión de ajuste de acople <i>Lovejoy</i> Cambio de aceite de caja reductora	Una vez al año Semanal Mensual Cada 6 meses	
Observaciones: _____			
_____			
_____			
_____			

Fuente: elaboración propia.

Tabla XX. Ficha de sistema de elevación

<b>FICHA TÉCNICA Y DE INSPECCIÓN</b>			
<b>Nombre del equipo</b>	Sistema de elevación	<b>Fecha de impresión</b>	
<b>Número de serie del equipo</b>		<b>Fecha de ejecución</b>	
<b>Fecha de última inspección</b>		<b>Semana</b>	
<b>Parte</b>	<b>Mantenimiento preventivo</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Nombre del trabajador</b>
Estructura y sistema de cepillado	Revisión de funcionamiento de sensor magnético Limpieza y engrase de guías laterales Revisión de estado de rodillo de cepillado Engrase de chumaceras de rodillo de cepillado Cambio de cojinetes de motor de cepilladora	Diario Semanal Cada dos meses Semanal Cada 6 meses	
Sistema de transmisión de potencia	Cambio de cojinetes de motor con freno Revisión de freno de motor Revisión del estado del alambre de acero Engrase de chumaceras de carrete de alambre Revisión de acople de motor y caja reductora Revisión de nivel de aceite de caja reductora	Una vez al año Mensual Diario Semanal Semanal Cada 2 meses	
Observaciones: _____			
_____			
_____			
_____			

Fuente: elaboración propia.

#### 4.2.2. Orden de trabajo para mantenimiento

Una vez detectada una falla en un equipo, el jefe de mantenimiento extenderá una orden de trabajo para que esta sea reparada. El mecánico en turno llenará la orden de trabajo y el jefe de mantenimiento la revisará y archivará para llevar un control adecuado de las fallas de cada equipo. En esta ficha se anotará el nombre del mecánico, el área donde surgió la falla, la maquina por reparar, el código de la máquina, la fecha y hora de emisión de la orden de trabajo, el tiempo de reparación y, de ser necesario, algunas observaciones.

Una vez se solucione el problema, el jefe de mantenimiento verificará que el mecánico haya reparado adecuadamente la falla y que el equipo funcione correctamente. Luego, sellará la orden de trabajo y la archivará para llevar control de las fallas.

Tabla XXI. Orden de trabajo para mantenimiento

ORDEN DE TRABAJO PARA MANTENIMIENTO			
<b>BUSTAMANTE, S.A.</b>			
Nombre de mecánico	Área	Máquina	Código de máquina
Fecha de emisión	Tiempo de reparación		
Hora de emisión			
Trabajo a efectuar			
Observaciones			
_____ F. Mecánico		_____ F. Jefe de mantenimiento	

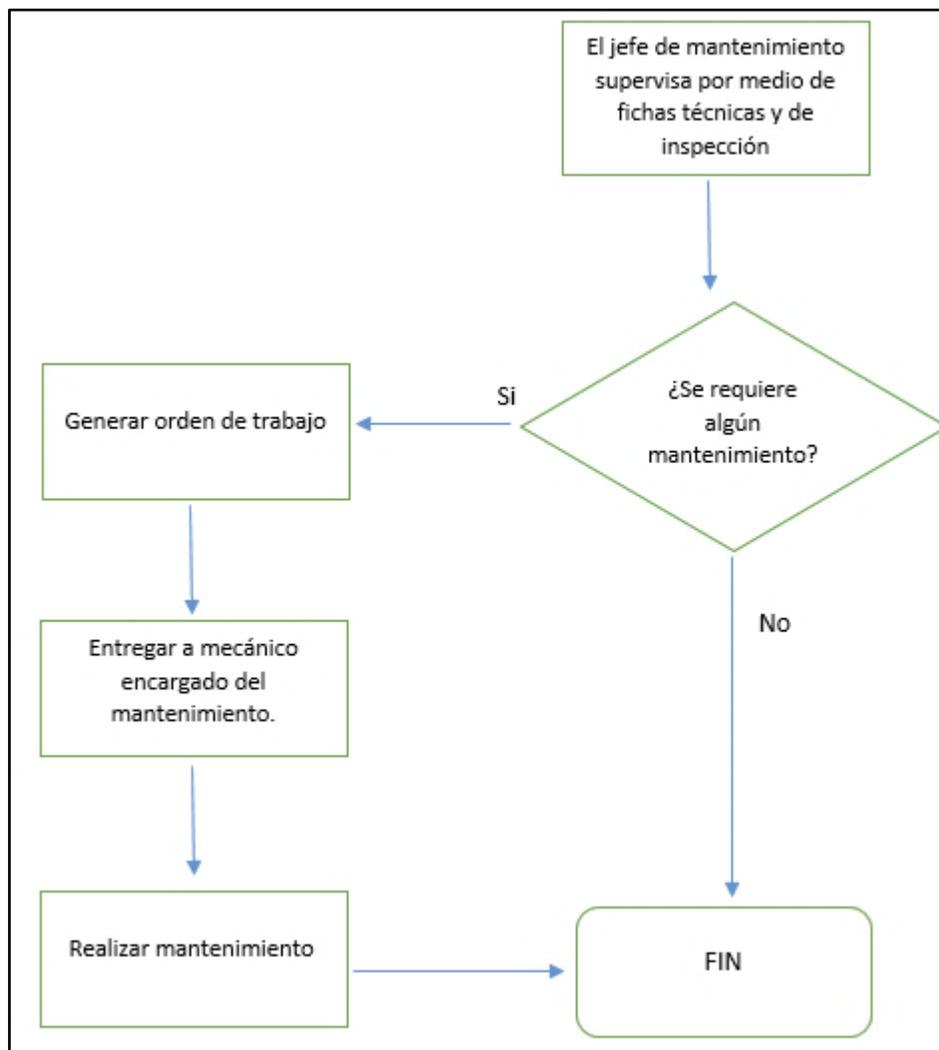
Fuente: elaboración propia.



#### 4.2.4. Diagrama de flujo para ejecución de mantenimiento preventivo

La siguiente imagen corresponde al diagrama de ejecución para mantenimiento preventivo.

Figura 34. Diagrama de flujo para mantenimiento preventivo

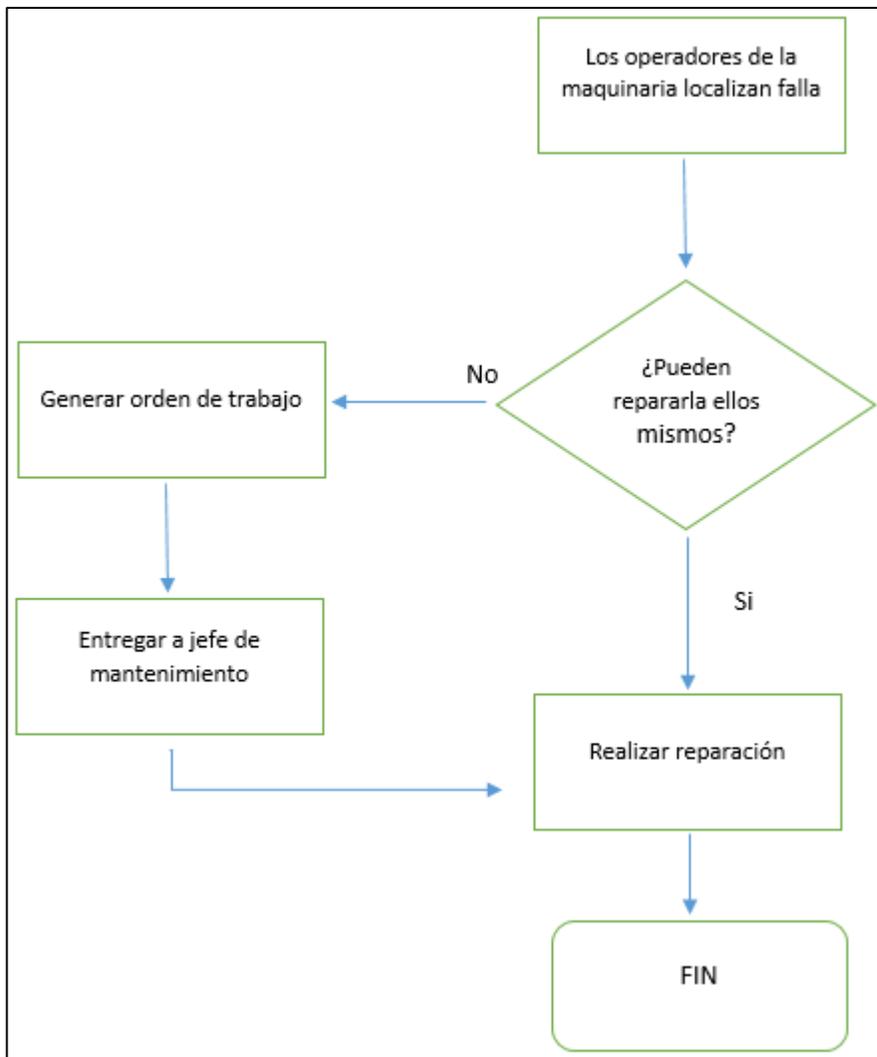


Fuente: elaboración propia.

#### 4.2.5. Diagrama de flujo para ejecución de mantenimiento correctivo

La siguiente imagen corresponde al diagrama de ejecución para mantenimiento correctivo.

Figura 35. Diagrama de flujo para mantenimiento correctivo



Fuente: elaboración propia.

### **4.3. Controles para producción**

Para llevar a cabo un excelente proceso de producción y obtener productos de alta calidad es necesario establecer controles al inicio, durante y al final del proceso de elaboración. De esta manera, se verificará que la materia prima y el producto terminado cumplen con los estándares que ayuden a mantener la calidad para garantizar la satisfacción del cliente. La maquinaria juega un papel muy importante para garantizar la calidad y es recomendable verificar que todos los sistemas estén en óptimas condiciones antes de iniciar la producción diaria. Esta tarea deberá realizarla diariamente el jefe de mantenimiento quien avalará que la maquinaria sea puesta en marcha.

En el Capítulo 2 en el apartado 2.2.2 se hizo referencia a algunos puntos críticos de control para el proceso. Antes de iniciar la producción, es necesario verificar que estos puntos críticos sean cumplidos en su totalidad.

#### **4.3.1. Gráficas para control de producción**

Para cada lote de producción deben tomarse 25 muestras y medir las dimensiones correspondientes al producto seleccionado; ya sea *block*, adoquín o solera U, productos que fábrica la empresa Bustamante, S.A. Estas muestras deberán ser tomadas por el jefe de producción y, con un metro, tomar medidas del largo, alto y ancho del producto. Cada medición deberá realizarse 3 veces para evitar, con precisión la incerteza humana.

Tabla XXIII. Muestras de *block* 15x20x40 cm

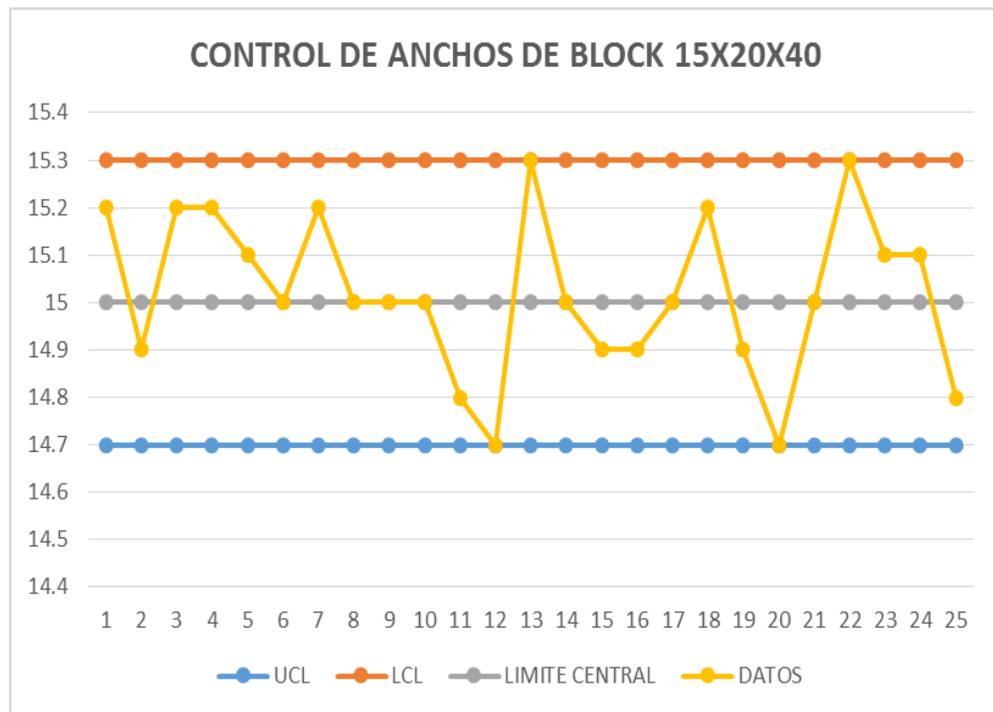
<b>BLOCK 15X20X40 cm</b>			
<b>MUESTRA</b>	<b>ANCHO</b>	<b>ALTO</b>	<b>LARGO</b>
1	15,2	20	40
2	14,9	20,1	40,4
3	15,2	20,3	40,3
4	15,2	19,9	39,7
5	15,1	19,8	39,8
6	15	19,8	40
7	15,2	19,5	40
8	15	20	40
9	15	20	40
10	15	19,6	39,9
11	14,8	20,1	39,9
12	14,7	19,9	39,8
13	15,3	19,7	39,9
14	15	19,6	40
15	14,9	20	39,9
16	14,9	20	40,1
17	15	19,8	40
18	15,2	20,3	39,9
19	14,9	20	39,8
20	14,7	20,1	40,1
21	15	19,8	40,3
22	15,3	19,9	40,1
23	15,1	19,8	40
24	15,1	19,8	40
25	14,8	19,8	40

Fuente: elaboración propia.

Además de tomar estas dimensiones debe realizarse un control visual de las unidades para descartar las que carecen de un acabado liso, tengan grietas, esquinas rotas o cualquier tipo de irregularidad.

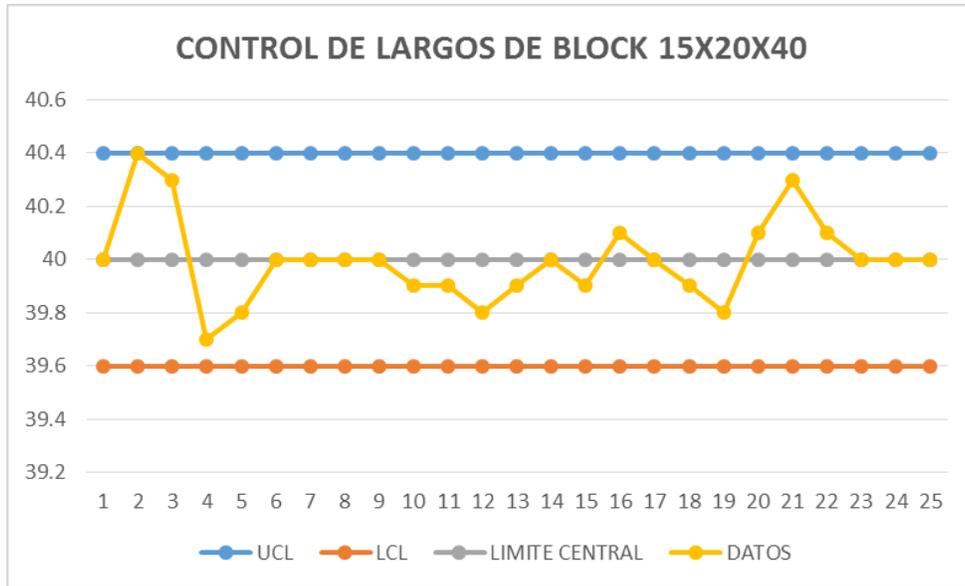
La tolerancia para que las dimensiones de ancho y alto de los aglomerados de concreto sean aceptables son de +/- 2% de la medida nominal. Con este dato se calcula el límite superior y el límite inferior. Mientras que la tolerancia para que la dimensión de largo de los aglomerados de concreto sea aceptable es de +/- 1% de la medida nominal. Con este dato se calcula el límite superior y el límite inferior.

Figura 36. **Control de anchos de *block* 15x20x40 cm**



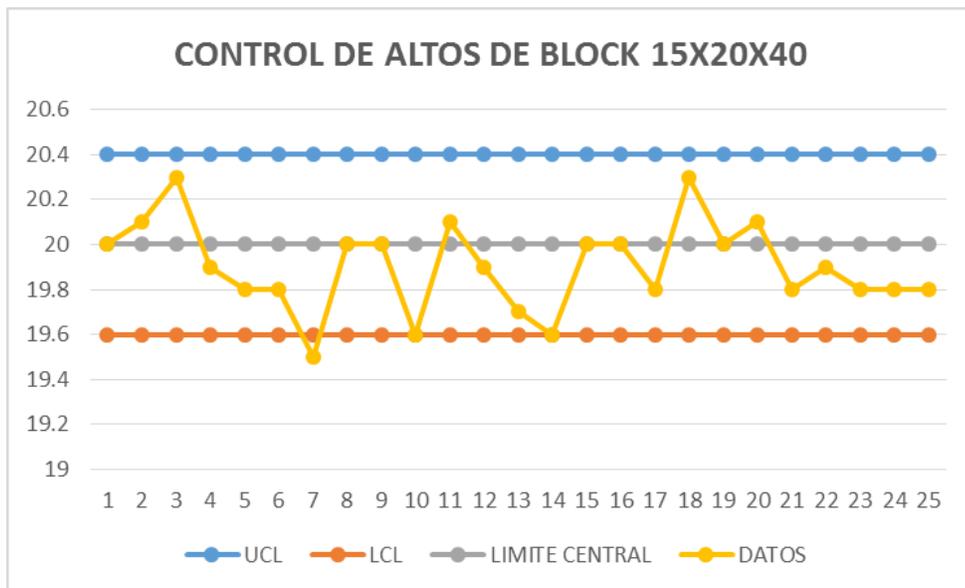
Fuente: elaboración propia.

Figura 37. Control de largos de *block* 15x20x40 cm



Fuente: elaboración propia.

Figura 38. Control de altos de *block* 15x20x40 cm



Fuente: elaboración propia.

#### 4.3.2. Gráficas para control de consumo de materias primas

Mantener una cantidad demasiado abundante de materia prima eleva los costos en el inventario y gran cantidad de material puede dañarse o perder sus propiedades. Esto afecta la calidad del producto. No obstante, una cantidad muy baja en el inventario puede provocar que la empresa se quede sin materia prima en el momento menos oportuno dejando desabastecido el mercado. Por tal motivo, es necesario realizar gráficas que muestren el consumo mensual de cada materia prima utilizada en el proceso de producción, para encontrar un comportamiento o un patrón que permita establecer pronósticos para los meses posteriores y, de esa manera, contar con una cantidad adecuada de materia prima disponible.

El supervisor de la producción debe tomar datos diariamente de la cantidad de materia prima utilizada. De esta manera realizará una contabilidad mensual para realizar las proyecciones respectivas. La empresa Bustamante, S.A. el control lo debe aplicar al consumo de arena, selecto y cemento. En esta sección se muestra cómo deben realizarse las proyecciones, ya sea que el consumo presente un comportamiento estable o un comportamiento ascendente.

- Comportamiento estable: la siguiente tabla muestra el comportamiento estable en el consumo de arena.

Tabla XXIV. Consumo de arena en toneladas

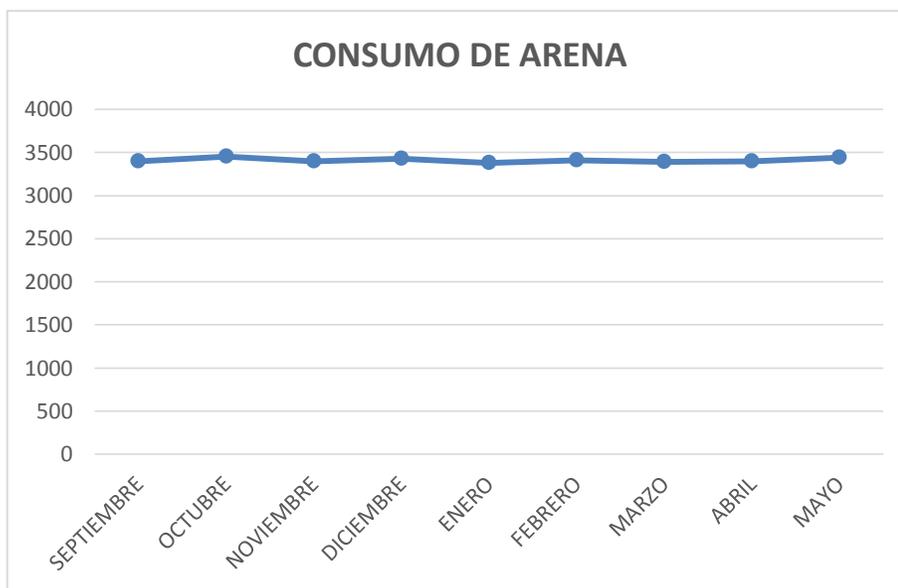
CONSUMO EN TONELADAS		
AÑO	MES	ARENA
2015	septiembre	3 400
2015	octubre	3 450

Continuación de la Tabla XXIV.

2015	noviembre	3400
2015	diciembre	3425
2016	enero	3380
2016	febrero	3410
2016	marzo	3390
2016	abril	3400
2016	mayo	3440

Fuente: elaboración propia.

Figura 39. **Gráfica de consumo de arena en toneladas**



Fuente: elaboración propia.

Como puede apreciarse en la gráfica, el consumo de arena es constante durante los meses, lo que corresponde a una familia estable. Para realizar una proyección para los meses posteriores es necesario utilizar un método que se acople al comportamiento de la gráfica. En este caso, se utilizará el método de promedio aritmético.

Tabla XXV. **Proyección de consumo de arena en toneladas**

CONSUMO EN TONELADAS				
AÑO	MES	ARENA	SUMATORIA	PROYECCIÓN
2015	septiembre	3 400		
2015	octubre	3 500		
2015	noviembre	3 400		
2015	diciembre	3 425		
2016	enero	3 380		
2016	febrero	3 410	20 465	<b>3 411</b>
2016	marzo	3 390	23 855	<b>3 408</b>
2016	abril	3 400	27 255	<b>3 407</b>
2016	mayo	3 440	30 695	<b>3 411</b>
<b>2016</b>	<b>junio</b>	<b>3 411</b>		
<b>2016</b>	<b>julio</b>	<b>3 408</b>		
<b>2016</b>	<b>agosto</b>	<b>3 407</b>		
<b>2016</b>	<b>septiembre</b>	<b>3 411</b>		

Fuente: elaboración propia.

- Proyección mes de junio

$$3\ 400 + 3\ 450 + 3\ 400 + 3\ 425 + 3\ 380 + 3\ 410 = 20\ 465$$

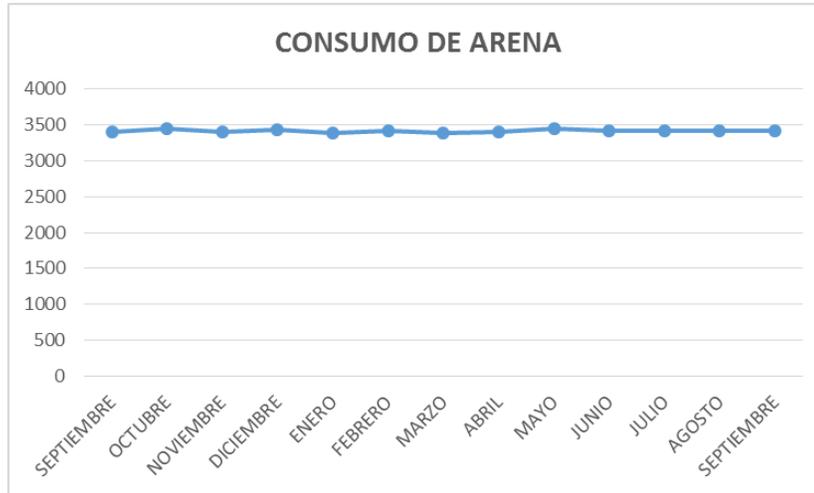
$$20\ 465 / 6 = \mathbf{3\ 411\ toneladas\ de\ arena}$$

- Proyección mes de julio:

$$3\ 400 + 3\ 450 + 3\ 400 + 3\ 425 + 3\ 380 + 3\ 410 + 3\ 390 = 23\ 855$$

$$23\ 855 / 7 = \mathbf{3\ 408\ toneladas\ de\ arena}$$

Figura 40. **Gráfica de proyección de consumo de arena**



Fuente: elaboración propia.

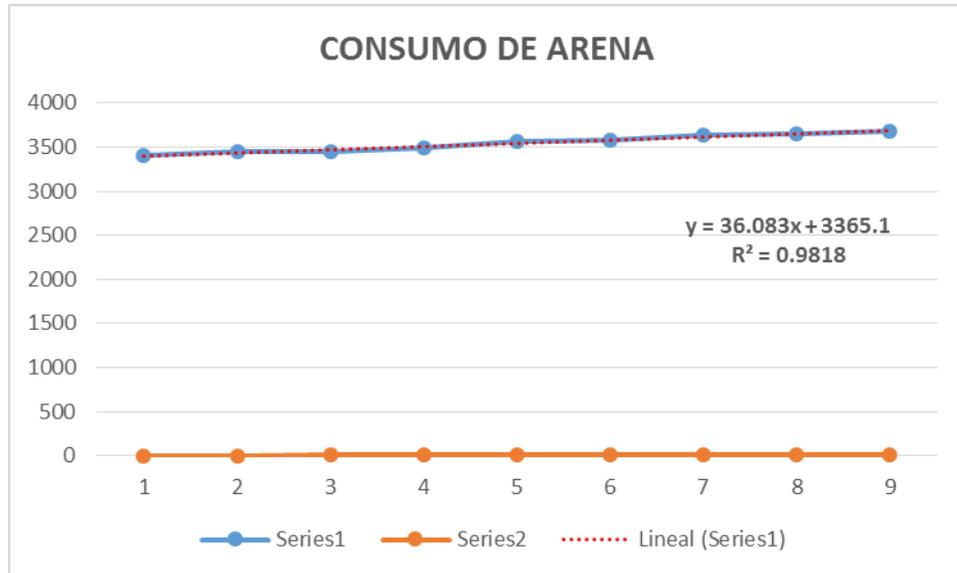
- Comportamiento ascendente: se realiza una regresión lineal y obtener la ecuación de la recta proyectada. Luego, basta sustituir los valores para obtener los datos de los meses posteriores.

Tabla XXVI. **Consumo de arena, selecto y cemento en toneladas**

CONSUMO EN TONELADAS				
AÑO	MES	ARENA	SELECTO	CEMENTO
2015	septiembre	3 400	1 000	500
2015	octubre	3 450	1 050	550
2015	noviembre	3 455	1 075	570
2015	diciembre	3 500	1 100	585
2016	enero	3 560	1 140	600
2016	febrero	3 575	1 150	620
2016	marzo	3 640	1 170	630
2016	abril	3 650	1 200	640
2016	mayo	3 680	1 240	655

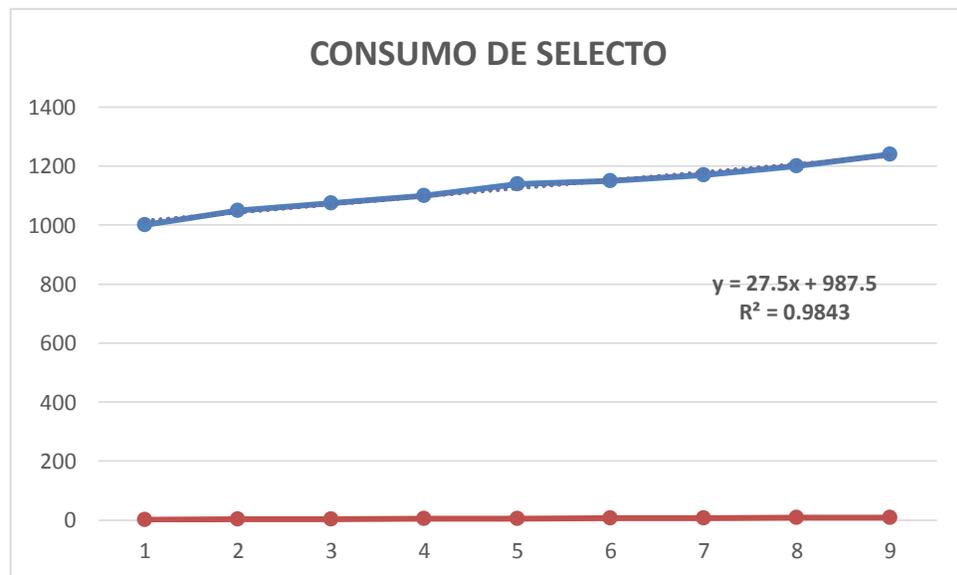
Fuente: elaboración propia.

Figura 41. Gráfica y ecuación lineal para consumo de arena



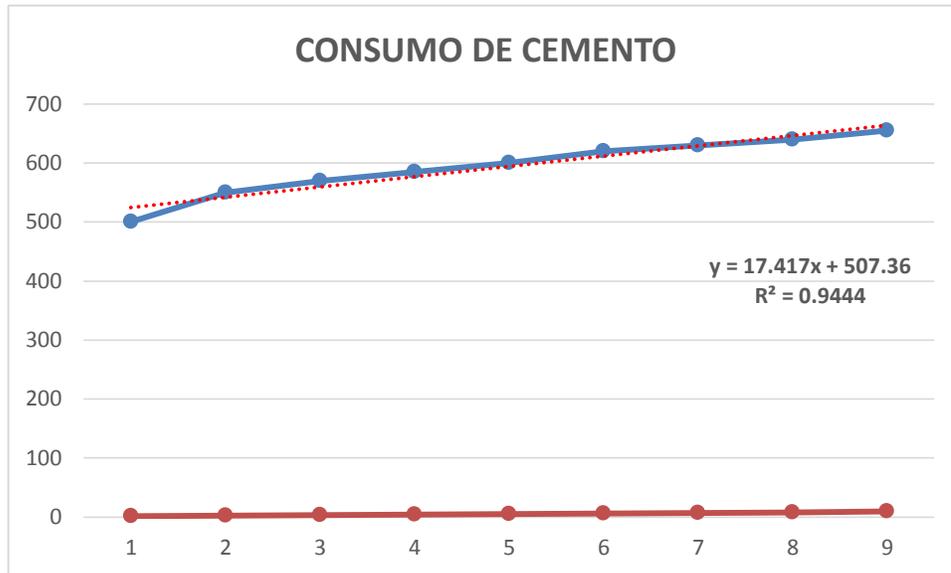
Fuente: elaboración propia.

Figura 42. Gráfica y ecuación lineal para consumo de selecto



Fuente: elaboración propia.

Figura 43. Gráfica y ecuación lineal para consumo de cemento



Fuente: elaboración propia.

## 5. MEJORA CONTINUA

La máquina automática implementada en la empresa Bustamante, S.A. tiene una capacidad de producción de 10 000 aglomerados de concreto para un turno de 8 horas. Sin embargo, la empresa logra producir en promedio un total de 9 700 unidades debido a paros programados cada dos horas, cuando se verifica el correcto funcionamiento de todos los sistemas, por los tiempos perdidos debido a contingencias y paros por necesidades personales de los operadores.

### 5.1. Eficiencia

Al realizar el cálculo de la eficiencia da un resultado del 97 %, comparado este valor con la eficiencia de 87 % obtenida con las máquinas semiautomáticas se observa que hubo un aumento del 10 %, lo cual significa un resultado que resalta la efectividad del proceso.

$$\text{Eficiencia de producción} = (9\,700 / 10\,000) * 100 = 97,00 \%$$

Cabe mencionar que la máquina automática además de tener mayor capacidad de producción también es más eficiente. No siempre la capacidad de producción de una máquina o equipo es lo más importante, por ejemplo, si la máquina automática produjera tan solo 6 000 unidades con capacidad para producir 10 000 tendría una eficiencia del 60%, lo cual la haría más ineficiente en comparación con el 87% de eficiencia que poseen las máquinas semiautomáticas, a pesar de que la máquina automática produzca más unidades.

Es por esa razón, se debe analizar la eficiencia del proceso y no solo la capacidad de producción, ya que si el caso planteado anteriormente fuera real sería mejor opción implementar una mayor cantidad de máquinas semiautomáticas y no una máquina automática que seguramente tendrá un mayor gasto de energía eléctrica y un costo de mantenimiento más elevado.

## **5.2. Tiempo estándar**

Como parte de la mejora continua es necesario que la empresa realice estudios de tiempos, de manera periódica, para determinar el tiempo estándar de cada operación y asegurarse de que este no varíe conforme a las mediciones de tomas anteriores. En caso el tiempo estándar presente serias variaciones se debe analizar la operación por completo para determinar las causas que provocan la variación en los tiempos del proceso. Una de esas causas son las deficiencias en las máquinas porque pueden derivar en la ineficiencia del proceso y por ello un aumento en el tiempo de producción.

Otro problema puede ser que la materia prima no sea de buena calidad porque es más difícil de procesar. Esto retarda el proceso. Otra razón que puede afectar al proceso es el cambio en las condiciones laborales, es decir, si al hacer modificaciones en la planta afectamos la ventilación y se aumenta el calor, provocaría que el operador se fatigue con facilidad y baje su rendimiento. Por esas y otras razones se sugiere realizar un estudio de tiempos por lo menos cada 6 meses para verificar que los tiempos se mantengan regulados.

### 5.3. Ritmo de producción

La máquina implementada tiene una capacidad teórica de producción de 10 000 unidades para un turno de 8 horas, pero por distintas circunstancias existen pérdidas de tiempo que limitan la producción de la maquina a 9 700 unidades. Para el cálculo del ritmo de producción se debe tomar en cuenta que la máquina puede producir 8 unidades a la vez.

$$\text{Ritmo de producción} = \frac{1 \text{ Máquina} * 9\,700 \text{ unidades}}{8 \text{ horas}} * \frac{1 \text{ hora}}{60 \text{ min}} = 20 \text{ Unidades/minuto}$$

Si se compara el ritmo de producción de las máquinas semiautomáticas con respecto al de la máquina automática se observa que esta última logra producir tres veces más, además lo hace con mayor eficiencia.

### 5.4. Evaluación de rendimiento mecánico

La evaluación del rendimiento mecánico se refiere a una evaluación minuciosa del funcionamiento de los equipos que conforman la maquinaria para conocer las condiciones en las que se encuentran y poder realizar, con mayor facilidad, una adecuada planificación y programación del mantenimiento. Para esta evaluación el jefe o encargado de mantenimiento debe llenar un formato como herramienta de control donde se anote, por equipo, todas las anomalías que se deban revisar posteriormente, así como aquellas piezas que deban ser ajustadas, reemplazadas o reparadas. La evaluación debe hacerse de preferencia tres veces al día. La primera vez debe realizarse al arrancar la maquinaria como medida de prevención para evitar paros posteriores.

La segunda evaluación se debe hacer durante la marcha, como medida de control para asegurar el correcto funcionamiento de todos los elementos. La

tercera, al finalizar las operaciones productivas de la planta, de manera que se puedan localizar fallas o desgastes de algunos elementos. Esto brindará un mejor monitoreo del funcionamiento de la maquinaria y se logrará mayor precisión sobre los requerimientos de mantenimiento que cada equipo necesite, sin mencionar que se reducirán los paros no programados que afecten la productividad del proceso.

### **5.5. Ficha para control de producción**

Deberá implementarse en la empresa Bustamante, S.A. una ficha de control de producción con el objetivo de llevar un registro de todos los *batches* de producto que se elaboran en la planta. Esta ficha será un medio útil para registrar cada *batch* de producto con un número de lote el cual será registrado en las facturas emitidas al realizar una venta, de manera que la empresa sepa a qué cliente vendió cierta cantidad de cada *batch*. Esto ayudará a identificar el *batch* defectuoso cuando se presente una queja por mala calidad y, a partir de ello, investigar cuales fueron las causas de la mala calidad.

En la ficha de control de producción también se registrará la fecha de elaboración del *batch*, la cantidad elaborada, la cantidad de unidades defectuosas, la máquina en que fue elaborado el producto y las dimensiones de una muestra del producto de cada *batch*. Tanto la cantidad elaborada como la cantidad de unidades defectuosas servirán para crear, posteriormente, gráficas de control que muestren si la proporción de producto defectuoso está dentro de los límites permitidos según la cantidad elaborada.

Otro punto importante que se registrará en esta ficha es la máquina en la cual fue elaborado el producto. Esto indicará si hay diferencia alguna entre los

*batches* fabricados con la maquinaria automática implementada o con los fabricados con la maquinaria semiautomática.

Tabla XXVII. **Ficha para control de producción**

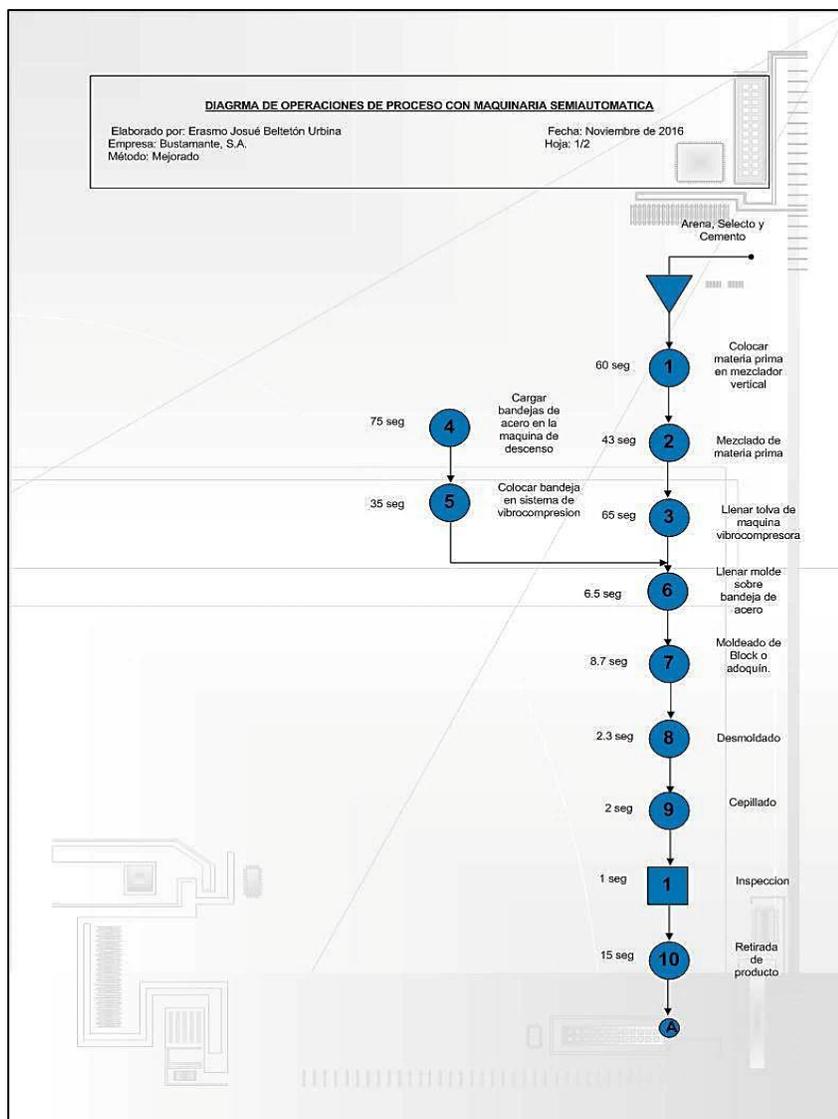
<b>FICHA PARA CONTROL DE PRODUCCIÓN</b>					
<b>BUSTAMANTE, S.A.</b>					
Fecha					
No. Lote	Producto	Cantidad Elaborada	Número de unidades defectuosas	Máquina utilizada	Dimensiones de muestra de producto
Observaciones	<hr/> <hr/> <hr/>				
Firma jefe de producción	<hr/>				

Fuente: elaboración propia.

## 5.6. Diagrama de operaciones de proceso

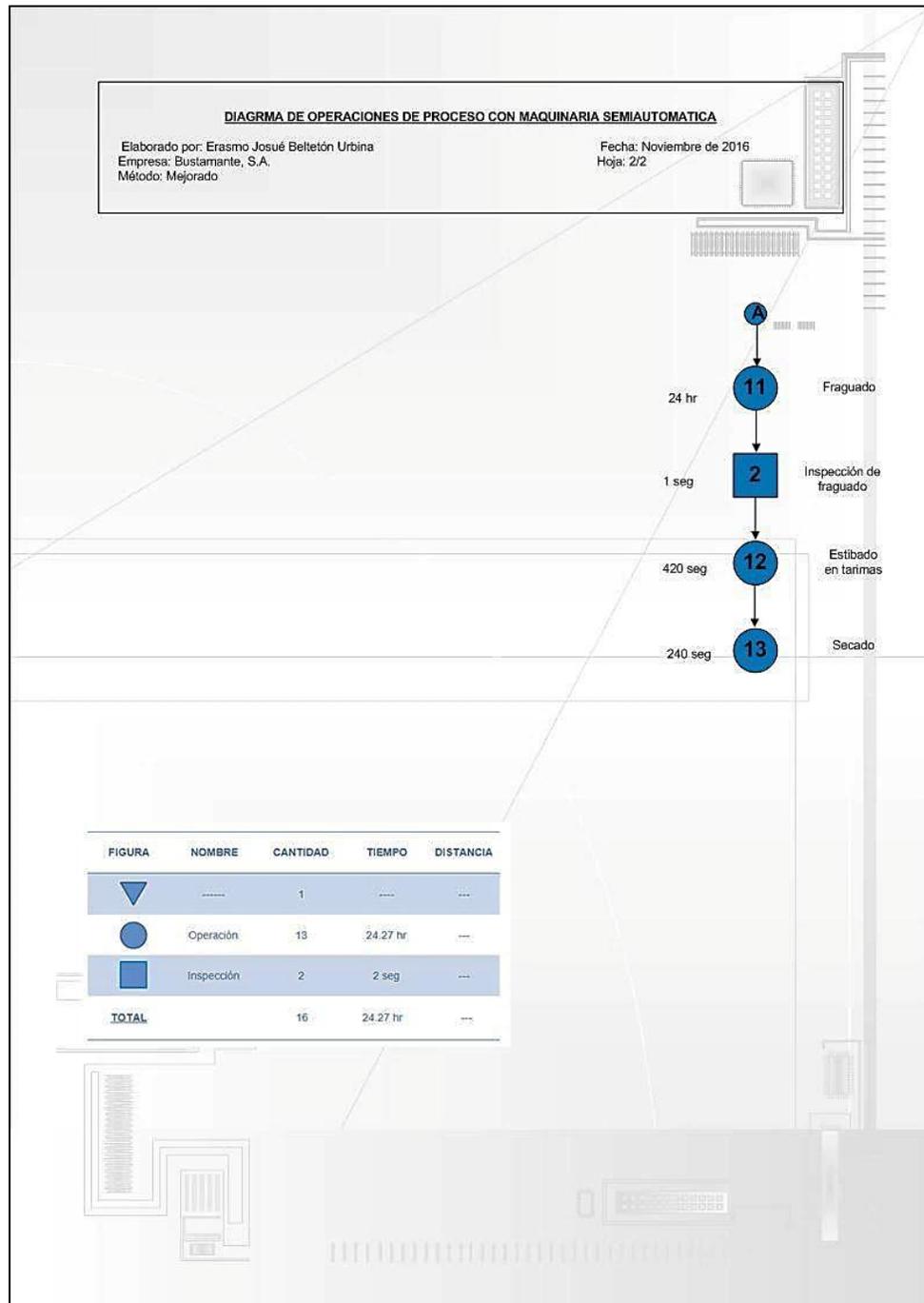
Se observa en las siguientes imágenes el diagrama de operaciones de proceso para la elaboración de *blocks* con la implementación de la maquinaria vibrocompresora.

Figura 44. Diagrama de operaciones de proceso, parte 1



Fuente: elaboración propia.

Figura 45. Diagrama de operaciones de proceso, parte 2

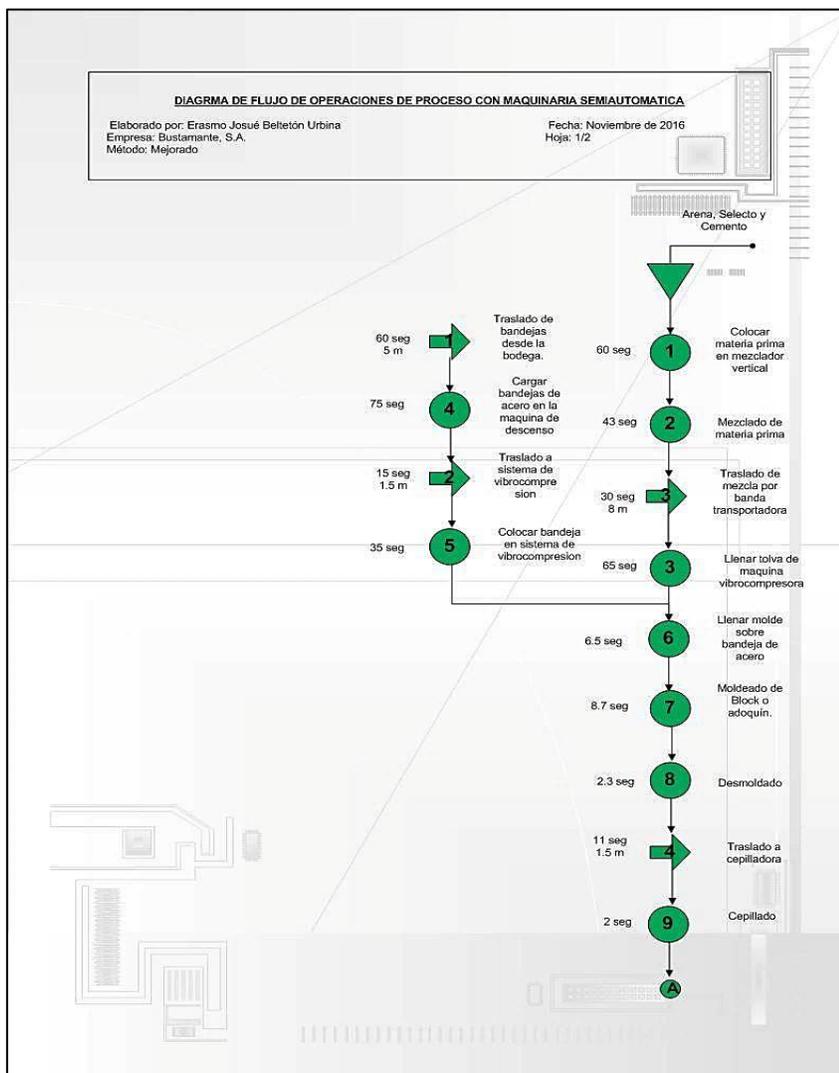


Fuente: elaboración propia.

## 5.7. Diagrama de flujo de operaciones de proceso

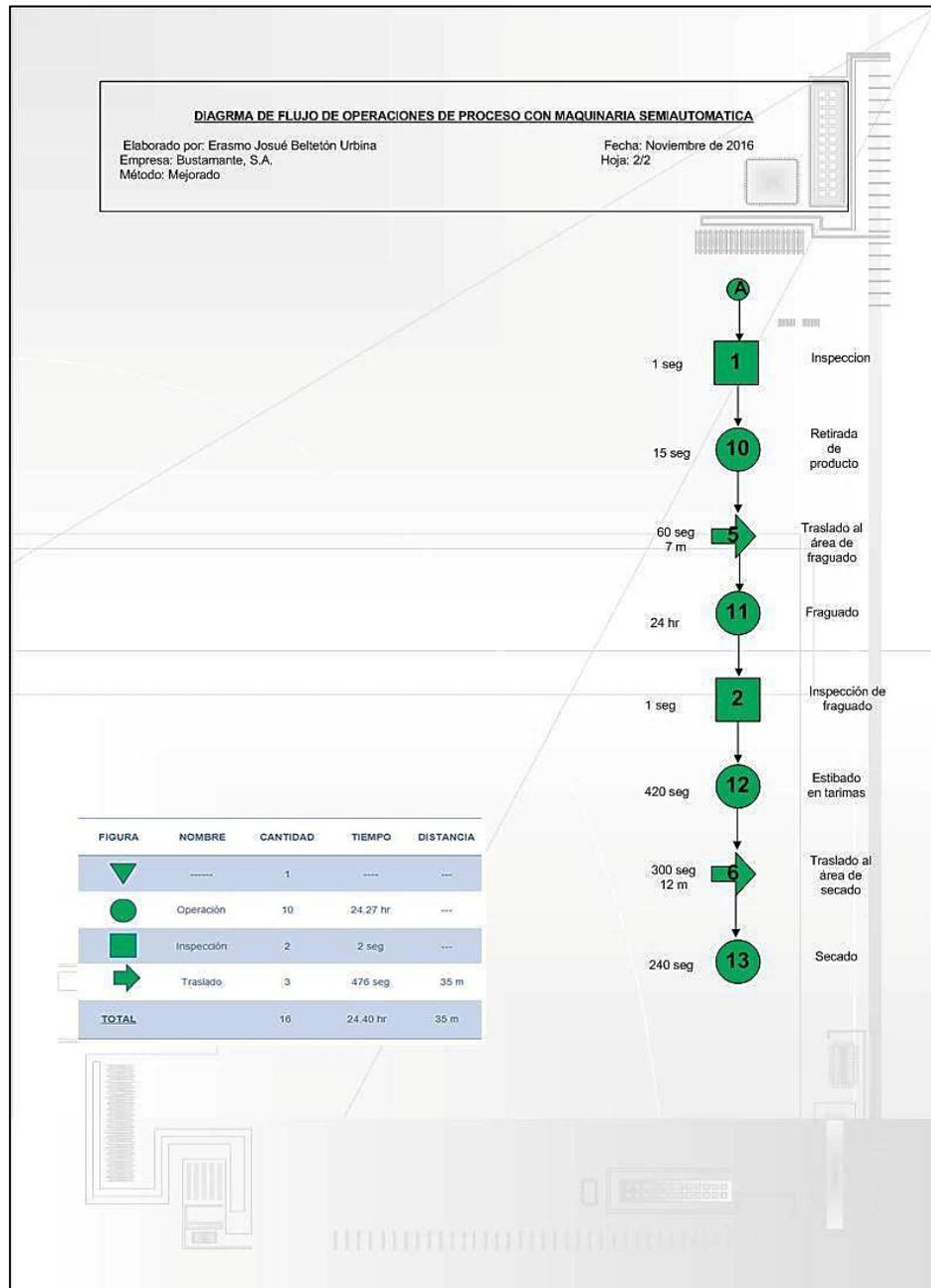
Se observa en las siguientes imágenes el diagrama de flujo de operaciones de proceso para la elaboración de *blocks* con la implementación de la maquinaria vibrocompresora.

Figura 46. Diagrama de flujo de operaciones de proceso, parte 1



Fuente: elaboración propia.

Figura 47. Diagrama de flujo de operaciones de proceso, parte 2

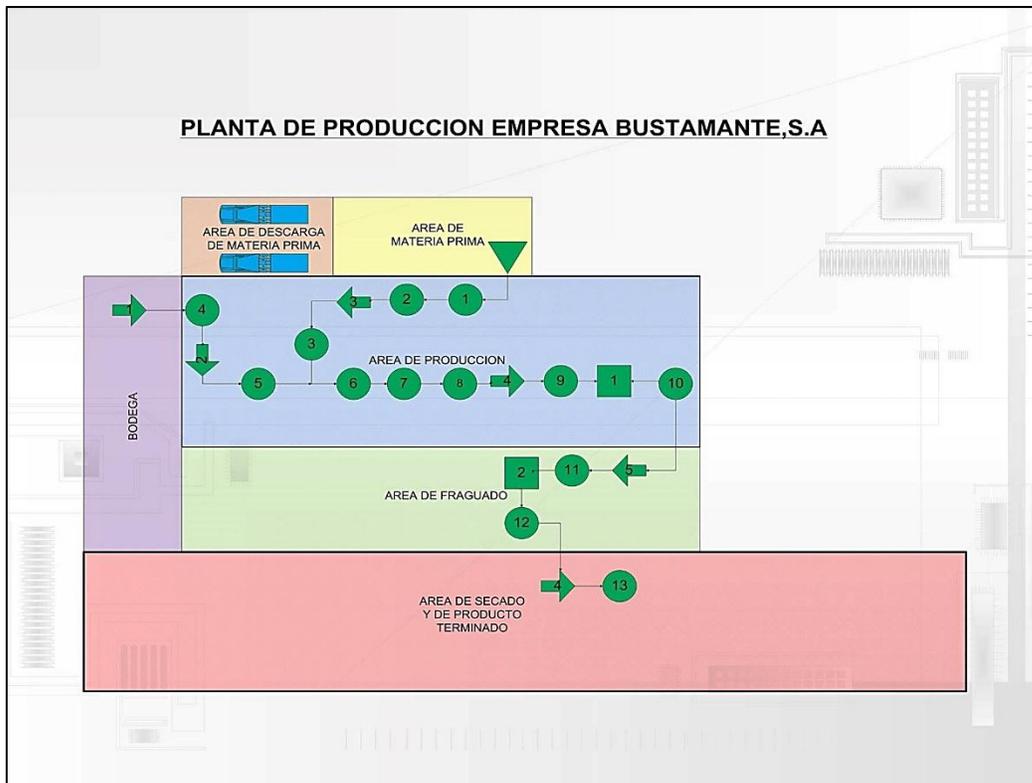


Fuente: elaboración propia.

## 5.8. Diagrama de recorrido

Se observa en la siguiente imagen el diagrama de recorrido con el nuevo proceso gracias a la maquinaria vibrocompresora.

Figura 48. Diagrama de recorrido con el nuevo proceso



Fuente: elaboración propia.

## CONCLUSIONES

1. Antes de implementar la maquinaria automática se analizó el proceso de producción con las maquinas antiguas, debido a que fue preciso entender el principio de funcionamiento de los equipos que intervienen en la fabricación, así como las materias primas, el almacenamiento del producto y los puntos críticos de control claves para una adecuada manufactura.
2. Para el reacondicionamiento de la maquinaria, se tomaron en cuenta factores determinantes para el proceso de producción del producto. Entre estos factores se pueden mencionar el peso del producto, la dimensión de las bandejas de acero de la máquina, la velocidad de traslado en la salida y la altura de la mesa vibrocompresora.
3. Se determinó que el sistema de traslado más adecuado para el producto terminado es por medio de una banda transportadora de rodillos y un elevador de 4 niveles con capacidad para 8 bandejas de acero accionado por un sensor magnético.
4. La maquinaria automática posee un 97% de eficiencia, mientras que las máquinas semiautomáticas tienen 10% menos, con un 87 %. Además, los métodos de producción de la nueva maquinaria son más prácticos en relación a los métodos utilizados en las máquinas semiautomáticas.
5. Según el análisis costo beneficio que se hizo, por cada quetzal invertido, se estarán recuperando Q 3,84. El ahorro que representa esta máquina

para la empresa radica en su capacidad de producción, ya que se pueden fabricar una mayor cantidad de unidades en un menor tiempo y con una mejor calidad.

6. Entre los beneficios secundarios obtenidos con la implementación de esta máquina se puede mencionar mejora la manipulación del producto terminado, el acabado y la consistencia. También es importante mencionar que el nuevo método de producción reduce la fatiga del trabajo de los operadores y vuelve al proceso mucho más seguro, reduciendo así el número de accidentes.
7. Se pudo observar que en ambos métodos de producción existe un desperdicio mínimo de material el cual es desaprovechado. Sin embargo, se determinó que esta cantidad de material no es significativo en el proceso y que ambas máquinas aprovechan la materia prima en igual medida
8. Las fichas técnicas y de inspección para cada equipo pueden dar un control más adecuado a todos los sistemas que contemplan la maquinaria. También se elaboraron órdenes de trabajo y fichas de requisición de repuestos para llevar un control más estricto en el área de mantenimiento.

## RECOMENDACIONES

1. Evaluar constantemente el proceso de producción para evitar inconformidades con la calidad del producto. Se debe evaluar todos los puntos críticos de control mencionados en este trabajo, además de llevar un adecuado mantenimiento de la maquinaria y un adecuado control de las condiciones de almacenamiento del producto.
2. Mantenerse a la vanguardia de nueva tecnología que pueda acoplarse a la maquinaria, de manera que esta tenga un mejor rendimiento y una vida útil más prolongada.
3. Dar seguimiento a las fichas técnicas y de inspección de la banda transportadora y del sistema de elevación para evitar fallos inesperados en estos equipos.
4. Evaluar constantemente los métodos de trabajo para verificar con qué eficiencia se está trabajando, ya que existen factores adversos que no permiten que la eficiencia sea siempre la misma. Uno de estos factores pudiera ser la contratación de personal nuevo el cual carece de experiencia sobre el proceso, sin mencionar aquellos fallos no aparentes en la maquinaria que reducen su eficiencia.
5. Según el análisis financiero realizado, el negocio es rentable, no obstante, la empresa debe estar pendiente de los costos de materia prima y el precio de venta del producto porque pueden variar

constantemente y puede afectar de manera significativa la rentabilidad del negocio.

6. Se deben implementar medidas de seguridad dentro de la planta a fin de reducir los riesgos a los cuales está expuesto el personal. También se le debe capacitar sobre actos y condiciones inseguras, ya que los accidentes no solo los afectan físicamente sino que, en ocasiones, afectan las instalaciones y la calidad del producto, sin mencionar que es un indicio de una baja productividad por las pérdidas de tiempo.
7. Implementar un sistema de reciclaje de hormigón, de manera que la materia prima que se desperdicia actualmente pueda reciclarse y reutilizarse, incorporándose nuevamente en el proceso de fabricación.
8. Implementar un *stock* de repuestos con las piezas que tienden a dañarse con mayor frecuencia, para evitar grandes pérdidas de tiempo. Estas piezas deben determinarse por medio de las evaluaciones realizadas a la maquinaria.

## BIBLIOGRAFÍA

1. ALONZO LÓPEZ, Luis Alberto. *Estudio de productividad y mejora en el proceso de fabricación de blocks, en la empresa procomaz*. Trabajo de graduación del Ing. Industrial. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2009. 97 p.
2. AVALLONE, Eugene A. y BAUMEISTER III, Theodore. *Manual del ingeniero mecánico tomo 2*. 9a ed. McGraw Hill, 1999. 42 p.
3. GARCÍA CRIOLLO, Roberto. *Estudio del trabajo de ingeniería de métodos y medición del trabajo*. 2a ed. McGraw Hill, 2005. 451 p.
4. ILLESCAS RUANO, Ricardo Bladimir. *Control de producción y diseño de una banda transportadora para la fabricación de bases de madera para la industria de camas*. Trabajo de graduación del Ing. Mecánico Industrial. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2011. 150 p.
5. NIEBEL, Benjamín W. y FREIVALDS, Andris. *Ingeniería industrial: métodos estándares y diseño del trabajo*. 12a ed. McGraw Hill, México: 2009. 614 p.
6. MEYERS, Fred E. y STEPHENS, Matthew P. *Diseño de instalaciones de manufactura y manejo de materiales*. 3a ed. Person Education, México: 2006. 527 p.

7. ROBERT MOTT, P. E. *Diseño de elementos de máquinas*. Person Education, México: 2006. 944 p.
8. SAGASTUME, Rolando Morgan. *Estudio de factibilidad para el incremento de la producción de bloques de concreto en una fábrica situada en el municipio de san miguel petapa, departamento de Guatemala*. Trabajo de maestría en formulación y evaluación de proyectos. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2006. 145 p.
9. VAUGHN, R. C. *Introducción a la ingeniería industrial*. 2a ed. Barcelona: Reverté S.A., 1988. 477 p.
10. VELÁSQUEZ MASTRETTA, Gustavo. *Administración de los sistemas de producción*. 12a ed. Limusa, México: 1985. 842 p.