



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

**MONTAJE DE EQUIPO PARA LAS LÍNEAS DE PRODUCCIÓN  
DE CAUCHO EN IMPORTADORA LOS ALPES**

**Gustavo Adolfo Elias Díaz**

Asesorado por el Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez

Guatemala, septiembre de 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**MONTAJE DE EQUIPO PARA LAS LÍNEAS DE PRODUCCIÓN  
DE CAUCHO EN IMPORTADORA LOS ALPES**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**GUSTAVO ADOLFO ELIAS DÍAZ**

ASESORADO POR EL ING. CARLOS HUMBERTO PÉREZ RODRÍGUEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL**

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2015

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	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. José Francisco Gómez Rivera
EXAMINADORA	Inga. María Martha Wolford Estrada
EXAMINADOR	Ing. Julio Oswaldo Rojas Argueta
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:

### **MONTAJE DE EQUIPO PARA LAS LÍNEAS DE PRODUCCIÓN DE CAUCHO EN IMPORTADORA LOS ALPES**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, con fecha 20 de noviembre de 2013.

**Gustavo Adolfo Elias Díaz**

Guatemala, abril de 2015

Ingeniero  
Cesar Ernesto Urquizú Rodas  
Director de Escuela Mecánica Industrial  
Presente

Ingeniero Urquizú

Le saludo atentamente informándole que se procedió a la asesoría y revisión del trabajo de graduación titulado **MONTAJE DE EQUIPO PARA LAS LÍNEAS DE PRODUCCIÓN DE CAUCHO EN IMPORTADORA LOS ALPES** desarrollado por el estudiante universitario Gustavo Adolfo Elias Díaz.

Después de haber realizado todos los cambios necesarios, y siguiendo las recomendaciones de la asesoría, se ha cubierto el estudio planeado, habiendo proyectado soluciones de ingeniería; en virtud me admito recomendar su aprobación.

Atentamente,



*Carlos Humberto Pérez Rodríguez*  
INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL  
Colegiado 3071

---

Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez

Asesor



Como Catedrático Revisor del Trabajo de Graduación titulado **MONTAJE DE EQUIPO PARA LAS LÍNEAS DE PRODUCCIÓN DE CAUCHO EN IMPORTADORA LOS ALPES**, presentado por el estudiante universitario **Gustavo Adolfo Elias Díaz**, apruebo el presente trabajo y recomiendo la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

*Ing. Renaldo Gilón Alvarado*  
COLEGIADO 1177

Ing. Renaldo Gilón Alvarado  
Catedrático Revisor de Trabajos de Graduación  
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

Guatemala, junio de 2015.

/mgp




FACULTAD DE INGENIERIA

REF.DIR.FMI.162.015

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 **MONTAJE DE EQUIPO PARA LAS LÍNEAS DE PRODUCCIÓN DE CAUCHO EN IMPORTADORA LOS ALPES**, presentado por el estudiante universitario **Gustavo Adolfo Elias Díaz**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

  
Ing. César Ernesto Urquizú Rodas  
DIRECTOR  
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial



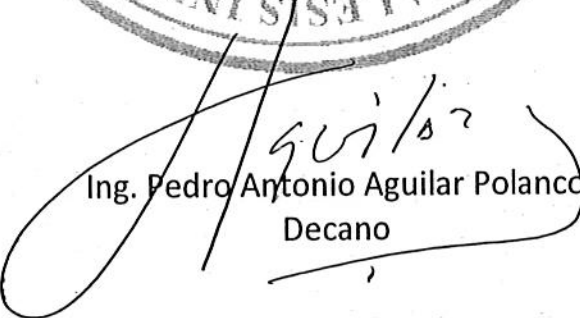
Guatemala, septiembre de 2015.

/mgp



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: **MONTAJE DE EQUIPO PARA LAS LÍNEAS DE PRODUCCIÓN DE CAUCHO EN IMPORTADORA LOS ALPES**, presentado por el estudiante universitario: **Gustavo Adolfo Elias Díaz**, 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, septiembre de 2015

/gdech





## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Por haberme regalado la vida, por llenarme de bendiciones en cada etapa tanto académica como personal.
<b>Mis padres</b>	Edgar Elías y Mireya Diaz de Elías, por su apoyo incondicional, por su paciencia, por cada palabra de aliento y motivación.
<b>Mis hermanos</b>	Eduardo, Mario, Erick y Kimberly Elías, por acompañarme y motivarme en momentos de lágrimas y risas.
<b>Mis abuelos paternos</b>	Mario Elías y Lucila Higueros, por su cariño y por su protección.
<b>Mis abuelos maternos</b>	Gilberto Diaz y Consuelo Guerrero (q. e. p. d), que aunque ya no estén conmigo me cuidan desde el cielo.
<b>Mis tíos</b>	Por ser una importante influencia en mi carrera, por sus consejos, por estar siempre al tanto en mi formación profesional.
<b>Mis primos</b>	Por crecer a mi lado y brindarme su amistad.

**Mis amigos**

Por su confianza, amistad y compañía.

**Mi novia**

Virginia Villeda, por su amistad, amor, comprensión y apoyo.

**Mi ángel**

Balto Artemis, por ser un fiel amigo que me acompañó en cada momento, porque me acompañará en cada paso que dé.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por prepararme y forjarme para desempeñar la tarea que con gran orgullo emprendo.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por brindarme los conocimientos para desenvolverme como profesional competente.
<b>Mi asesor</b>	Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez, por su guía durante el desarrollo de este proyecto.
<b>Importadora Los Alpes</b>	Por proporcionarme la oportunidad de llevar a cabo este proyecto y brindarme la confianza para aplicar mis conocimientos en su empresa.

# ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	IX
LISTA DE SÍMBOLOS.....	XV
GLOSARIO.....	XIX
RESUMEN.....	XXIII
OBJETIVOS.....	XXV
INTRODUCCIÓN.....	XXVII
1. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS Y FÍSICAS DE LOS EQUIPOS.....	1
1.1. Estación 1.....	1
1.1.1. Generalidades.....	1
1.1.2. Dimensiones.....	2
1.1.3. Área.....	2
1.1.4. Volumen.....	3
1.1.5. Identificación de componentes mecánicos.....	3
1.1.5.1. Elementos que necesitan lubricación ....	3
1.1.5.2. Elementos de transmisión de potencia y movimiento.....	4
1.1.6. Cargas de esfuerzo y tensión.....	6
1.1.6.1. Cálculo de tensión para correas en poleas de diámetro menor.....	6
1.1.6.2. Cálculo de tensión para correas en poleas de diámetro mayor.....	11
1.1.7. Plano de equipo.....	13
1.1.8. Componentes eléctricos.....	15
1.1.8.1. Especificaciones de componentes eléctricos.....	15

	1.1.8.2.	Consumo eléctrico.....	16
	1.1.8.3.	Plano eléctrico.....	16
1.2.		Estación 2 .....	17
	1.2.1.	Generalidades .....	17
	1.2.2.	Dimensiones.....	18
	1.2.3.	Área.....	18
	1.2.4.	Volumen .....	18
	1.2.5.	Identificación de elementos mecánicos.....	18
	1.2.5.1.	Elementos que necesitan lubricación ...	19
	1.2.5.2.	Elementos de transmisión de potencia y movimiento.....	20
	1.2.6.	Cargas y esfuerzos de tensión .....	22
	1.2.6.1.	Esfuerzo de tensión en banda motriz de ejes de selección área premolido y molido final eje menor.....	22
	1.2.6.2.	Esfuerzo de tensión en banda motriz de ejes de selección área premolido y molido final eje mayor.....	24
	1.2.6.3.	Esfuerzo de tensión en banda de rodillo de molienda en área de premolido y molido final.....	27
	1.2.7.	Plano de equipo .....	29
	1.2.8.	Componentes eléctricos.....	31
	1.2.8.1.	Especificaciones de componentes eléctricos .....	31
	1.2.8.2.	Consumo eléctrico.....	32
	1.2.8.3.	Plano eléctrico.....	32
1.3.		Estación 3 .....	33
	1.3.1.	Generalidades .....	33

1.3.2.	Dimensiones .....	34
1.3.3.	Área .....	34
1.3.4.	Volumen .....	34
1.3.5.	Identificación de componentes mecánicos .....	34
1.3.5.1.	Elementos que necesitan lubricación ..	35
1.3.5.2.	Elementos de transmisión de potencia y movimiento .....	36
1.3.6.	Cargas y esfuerzos de tensión .....	36
1.3.6.1.	Cálculo de tensión para correas en poleas de diámetro menor .....	37
1.3.6.2.	Cálculo de tensión para correas en poleas de diámetro mayor .....	39
1.3.7.	Plano de equipo.....	41
1.3.8.	Componentes eléctricos .....	42
1.3.8.1.	Especificaciones de componentes eléctricos.....	43
1.3.8.2.	Consumo eléctrico .....	43
1.3.8.3.	Plano eléctrico .....	43
2.	EVALUACIÓN DE INSTALACIONES DE LA PLANTA .....	45
2.1.	Ubicación de planta .....	45
2.2.	Servicios con los que cuenta la planta .....	46
2.2.1.	Agua .....	46
2.2.2.	Electricidad .....	47
2.3.	Características del edificio.....	48
2.3.1.	Tipo de edificio industrial .....	48
2.3.2.	Dimensiones de la planta .....	49
2.3.2.1.	Plano planta de producción .....	50
2.3.3.	Iluminación.....	51

2.3.4.	Ventilación.....	53
2.3.4.1.	Dirección del aire longitudinal.....	56
2.3.4.2.	Dirección del aire perpendicular .....	57
2.3.5.	Cimentación del suelo .....	58
2.3.5.1.	Cimentación para criba rotativa de clasificación inicial .....	62
2.3.5.2.	Cimentación para tolva de premolido y molido final .....	65
2.3.5.3.	Cimentación para criba rotativa de selección final.....	67
2.4.	Mejoras .....	69
3.	DISTRIBUCIÓN ÓPTIMA DE LA MAQUINARIA.....	77
3.1.	Análisis de los distintos métodos de distribución de planta.....	77
3.1.1.	Método de distribución por posición fija .....	77
3.1.2.	Método de distribución por proceso .....	78
3.1.3.	Método de distribución por producto .....	78
3.1.4.	Método SLP.....	78
3.2.	Selección de ubicación óptima de maquinaria .....	79
3.2.1.	Análisis de productos-cantidades.....	79
3.2.2.	Definición del proceso productivo.....	80
3.2.3.	Factor humano .....	81
3.2.4.	Cálculo de superficies y definición de necesidades de máquinas.....	81
3.2.5.	Selección de ubicación óptima de maquinaria .....	83
3.2.5.1.	Evaluación de distribución en posición L .....	83
3.2.5.2.	Evaluación de distribución en posición U.....	87

	3.2.5.3.	Evaluación de distribución en posición S .....	90
4.		DISEÑO DE MONTAJE Y PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA LOS EQUIPOS .....	93
	4.1.	Montaje de equipo .....	93
	4.1.1.	Esquema final de distribución de planta .....	93
	4.1.2.	Tiempo estimado para el montaje.....	93
	4.1.3.	Materiales y herramientas.....	94
	4.2.	Diseño de plan de mantenimiento preventivo .....	95
	4.2.1.	Puntos críticos de evaluación de equipo .....	95
	4.2.2.	Componentes que están bajo condiciones de carga y esfuerzos .....	96
	4.2.3.	Selección de lubricante para elementos .....	100
	4.2.3.1.	Selección del tipo de grasa SKF .....	100
	4.2.3.2.	Selección del tipo de grasa Fag Schaeffler Group.....	102
	4.2.4.	Tiempo de vida del rodamiento.....	103
	4.2.5.	Periodicidad de lubricación .....	105
	4.2.6.	Cálculo de vida útil de correas.....	107
	4.2.6.1.	Máximo de fuerza para poleas pequeñas.....	107
	4.2.6.2.	Máximo de fuerza para poleas grandes.....	109
	4.2.6.3.	Máximo de fuerza proporcional para ambas poleas .....	110
	4.2.6.4.	Vida probable de la correa.....	111
	4.3.	Esquema de rutas para llevar a cabo rutina de mantenimiento preventivo.....	111



4.4.	Costos de montaje de equipos .....	115
5.	SISTEMA DE REDUCCIÓN DE RIESGOS .....	117
5.1.	Identificación de factores de riesgo en las actividades de montaje .....	117
5.1.1.	Factores de riesgo de la maquinaria .....	117
5.1.1.1.	Peso .....	118
5.1.2.	Estructura del equipo .....	118
5.1.3.	Factores de riesgo en las instalaciones .....	122
5.2.	Procedimientos y herramientas .....	123
5.2.1.	Análisis de riesgo en los procedimientos .....	124
5.2.2.	Análisis de riesgo en las herramientas .....	126
5.2.2.1.	Posición correcta para el uso de sistema de poleas .....	127
5.2.2.2.	Riesgo en el uso de sistemas de poleas.....	128
5.3.	Equipo de protección a utilizar .....	128
5.4.	Aspectos a seguir para mitigación de riesgos .....	129
5.5.	Costos del sistema de reducción de riesgos .....	130
6.	AMBIENTE.....	131
6.1.	Impacto ambiental del caucho.....	131
6.2.	Desechos de caucho.....	132
6.3.	Reciclaje de caucho .....	132
6.3.1.	Tratamientos de reciclaje .....	132
6.3.1.1.	Raspado de llantas.....	132
6.3.1.2.	Triturado de llantas.....	134
6.3.1.3.	Método de Lehig Technologies .....	135
6.3.2.	Subproductos de caucho.....	135

	6.3.2.1.	Asfalto goma.....	136
	6.3.2.2.	Obtención de energía térmica.....	136
	6.3.2.3.	Losas de caucho.....	136
	6.3.2.4.	Tejas de caucho .....	137
	6.3.2.5.	Elaboración de campos deportivos....	137
6.4.		Maquinaria.....	137
	6.4.1.	Ruido .....	138
		6.4.1.1. Ruido generado por el equipo.....	138
	6.4.2.	Emisiones de residuos a la atmósfera .....	139
		6.4.2.1. Emisión de gases .....	140
		6.4.2.2. Emisión de residuos de caucho .....	140
		6.4.2.3. Reducción de efectos durante el proceso de producción .....	141
		6.4.2.4. Propagación de partículas a la atmósfera.....	142
		CONCLUSIONES .....	145
		RECOMENDACIONES .....	147
		BIBLIOGRAFÍA.....	149



# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1.	Vista frontal de criba rotativa de clasificación inicial.....	2
2.	Vista de chumacera en estación 1 .....	3
3.	Vista frontal de correas de transmisión de potencia.....	4
4.	Sistema superior de poleas.....	5
5.	Sistema de poleas inferiores .....	5
6.	Direcciones de las tensiones T1 y T2 en la polea motriz .....	7
7.	Vista de perfil de criba rotativa de selección inicial .....	14
8.	Vista de elevación de criba rotativa de selección inicial.....	14
9.	Vista de planta de criba rotativa de selección inicial .....	15
10.	Plano eléctrico de estación 1 .....	16
11.	Vista de equipos de premolido y molido final .....	17
12.	Vista de chumacera tipo brida de eje selector, área de premolido.....	19
13.	Vista de chumacera tipo brida de eje selector, área de molido final ....	19
14.	Vista de chumaceras tipo brida de rodillo de molienda, área de premolido .....	20
15.	Vista de chumaceras tipo brida de rodillo de molienda, área de molido final.....	20
16.	Vista de motor de transmisión para ejes de selección en área de premolido y molido final.....	21
17.	Vista de correas de transmisión para molienda en área de premolido .....	21
18.	Vista de perfil de tolva de premolido y molido final .....	30
19.	Vista de planta de estación 2 .....	30

20.	Vista de elevación de estación 2.....	31
21.	Plano eléctrico de estación 2 .....	32
22.	Vista de criba rotativa de clasificación final.....	33
23.	Vista de eje de poleas para transmisión de movimiento .....	35
24.	Vista de chumacera para rotación de eje central .....	35
25.	Sistema de poleas para transmisión de movimiento.....	36
26.	Vista de perfil de criba rotativa de selección final .....	41
27.	Vista de elevación de criba rotativa de selección final .....	42
28.	Vista de planta de criba rotativa de selección final .....	42
29.	Plano eléctrico estación 3 .....	44
30.	Mapa de ubicación de planta de producción.....	45
31.	Vista de cimentación del suelo .....	48
32.	Vista de techo de la planta.....	49
33.	Vista de planta de área de producción.....	50
34.	Vista de elevación de planta de producción.....	50
35.	Vista de entrada de aire en área de producción .....	53
36.	Detalle de ventana para entrada de aire.....	53
37.	Amplitudes permisibles de vibración vertical para frecuencias de vibración determinadas.....	61
38.	Vista de elementos de material elástico.....	63
39.	Factores de utilización de Phillips .....	74
40.	Vista de distribución de luminarias.....	75
41.	Esquema de recorrido del producto .....	80
42.	Esquema de distribución de maquinaria en L .....	84
43.	Esquema de distribución de maquinaria en U .....	87
44.	Esquema de distribución de maquinaria en S.....	90
45.	Distancia entre estación 2 y estación 3.....	91
46.	Vista externa de chumacera tipo puente en estación 1 .....	95
47.	Vista externa de chumacera tipo brida en estación 2 .....	96

48.	Motor generador de movimiento en eje de estación 3.....	97
49.	Diagrama de elección de grasa según la relación de carga P/C y el factor de velocidad de rodamiento $k_a \cdot n \cdot d_m$ .....	102
50.	Periodos de engrase bajo condiciones favorables de ambiente. ....	105
51.	Esquema de lista de evaluación para criba rotativa de selección inicial... ..	112
52.	Esquema de lista de evaluación para tolva de premolido y molido final..... ..	113
53.	Esquema de lista de evaluación para criba rotativa de selección final..... ..	114
54.	Factores de riesgo de estructura de criba rotativa de selección inicial, vista lateral .....	119
55.	Factores de riesgo de estructura en criba rotativa de selección inicial, vista frontal.....	120
56.	Factores de riesgo para tolva de premolido y molido final .....	121
57.	Factores de riesgo en criba rotativa de selección final.....	122
58.	Factor de riesgo en instalaciones, apertura en suelo .....	123
59.	Forma incorrecta de realizar un levantamiento .....	124
60.	Forma correcta de realizar un levantamiento .....	125
61.	Forma correcta de levantar una carga mediante un sistema de poleas .....	127
62.	Maquinaria utilizada para raspado de llantas .....	133
63.	Polvo de hule obtenido de raspado de llantas.....	133
64.	Vista de triturador de llantas.....	134
65.	Neumáticos triturados .....	135
66.	Cantidad de ruido en decibeles generado por el equipo durante proceso de producción .....	139
67.	Mascarilla a utilizar por los operarios .....	141
68.	Señalización sobre uso de mascarillas .....	142

69.	Malla de seguridad a instalar en ventanas.....	143
-----	--	-----

## TABLAS

I.	Valores de coeficiente de rozamiento según condiciones de ambiente .....	8
II.	Valores de $e\mu^*\alpha - 1$ .....	9
III.	Valores de $1e\mu^*\alpha - 1$ .....	9
IV.	Rango de tarifa por el consumo de agua .....	46
V.	Descripción de tarifa según categoría.....	47
VI.	Intensidad de luz diurna bajo diversas condiciones.....	51
VII.	Niveles recomendados de iluminación en diferentes industrias.....	52
VIII.	Volumen necesario de aire por persona/hora/m <sup>3</sup> .....	54
IX.	Renovación de aire en número de veces/hora .....	54
X.	Valor de C para dirección del aire.....	55
XI.	Valores de diseño recomendables del coeficiente de compresión elástica uniforme y de cargas permisibles en suelos bajo acción de cargas estáticas.....	59
XII.	Valores del coeficiente de compresión elástico no uniforme “C <sub>φ</sub> ”, para diferentes suelos y tamaños de cimentaciones. ....	60
XIII.	Tipos de luminaria.....	70
XIV.	Altura de las luminarias sobre el plano de trabajo .....	70
XV.	Factores de depreciación.....	70
XVI.	Factores de reflexión de superficies .....	71
XVII.	Reflectancia de colores y materiales .....	72
XVIII.	Factores de utilización .....	72
XIX.	Valores máximos de carga .....	81
XX.	Cálculo de superficie requerida por maquinaria.....	82

XXI.	Tiempo final para procesar 1 kg es distribución en L .....	85
XXII.	Tiempo final para procesar 1 kg de distribución en U .....	88
XXIII.	Tiempo final para procesar 1 kg en distribución en S .....	91
XXIV.	Cálculo de tiempo para colocación de equipo.....	94
XXV.	Factores de rodamientos y límites recomendados para el factor de velocidad.....	98
XXVI.	Factores de cálculo para rodamientos rígidos de bolas .....	99
XXVII.	Selección básica de grasa según SKF.....	101
XXVIII.	Valores ordenados para interpolación.....	106
XXIX.	Constante de proyecto para correas trapezoidales .....	108
XXX.	Constantes de proyecto para correas trapezoidales .....	109
XXXI.	Rubros de costos para la tarea de montaje.....	115
XXXII.	Equipo de protección a utilizar .....	128
XXXIII.	Costos de equipo de protección industrial por persona.....	130
XXXIV.	Niveles permisibles de ruido en condiciones laborales .....	138





## LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
H	Altura
$A_{\phi}$	Amplitud de vibración
$\alpha$	Ángulo de contacto entre banda y polea motriz
A	Área
HP	Caballo de fuerza
CV	Caballo de vapor
U	Cantidad de desbalance
C	Capacidad de carga dinámica
P	Carga dinámica equivalente
Q	Caudal de aire necesario
cm <sup>2</sup>	Centímetro cuadrado
$C_{\phi}$	Coefficiente de compresión elástico no uniforme
K	Coefficiente de compresión para un choque perfectamente inelástico.
$C_v$	Coefficiente de entrada a la ventana
$C_s$	Coefficiente de seguridad
$\psi$	Coefficiente de tensión para un esfuerzo dinámico
dB	Decibel
d	Diámetro
$k_b, k_c$	Factor de cálculo para rodamiento
$K_a$	Factor dependiente del rozamiento por deslizamiento según el tipo de rodamiento.
$\phi$	Flujo requerido

<b><math>F_{n\phi}</math></b>	Frecuencia circular no amortiguada de cimientto
<b>F</b>	Fuerza de accionamiento polea motriz
<b><math>F_b</math></b>	Fuerza de balanceo
<b><math>F_{max}</math></b>	Fuerza máxima
<b>hr</b>	Hora
<b><math>K_L</math></b>	Índice del local
<b>Kg</b>	Kilogramo
<b>Kn</b>	Kilonewton
<b>kW</b>	Kilowatts
<b>lb</b>	Libra
<b>N</b>	Máximo de fuerza
<b>m</b>	Metro
<b><math>m^2</math></b>	Metro cuadrado
<b><math>m^3</math></b>	Metro cúbico
<b>m/s</b>	Metros sobre segundos
<b>mm</b>	Milímetro
<b>min</b>	Minuto
<b>E</b>	Módulo de elasticidad
<b>M</b>	Momento de inercia
<b>No/hr</b>	Número de renovaciones de aire por hora
<b>n</b>	Número de revoluciones
<b>W</b>	Peso
<b><math>N_a</math></b>	Potencia de accionamiento de polea motriz
<b>qq</b>	Quintales
<b>rad</b>	Radianes
<b>r</b>	Radio
<b>rpm</b>	Revoluciones por minuto
<b>seg</b>	Segundo
<b>T1</b>	Tensión a la entrada en la banda de polea motriz

<b>T<sub>2</sub></b>	Tensión a la salida en la banda de polea motriz
<b>T<sub>c</sub></b>	Tensión centrífuga
<b>ton</b>	Tonelada
<b>F<sub>s</sub></b>	Valor de carga de arena saturada
<b>c</b>	Valor de constante de proyecto para correas trapezoidales
<b>w</b>	Velocidad angular
<b>Δφ<sub>max</sub></b>	Vibraciones molestas
<b>L<sub>10</sub></b>	Vida nominal de rodamiento
<b>Vol</b>	Volumen



## GLOSARIO

<b>Carga</b>	Peso que genera un esfuerzo sobre algún objeto.
<b>Caucho</b>	Material sintético con propiedades elásticas que permiten la repelencia del agua y resistencia eléctrica.
<b>Caudal</b>	Volumen de flujo de aire en unidad de tiempo.
<b>Chumacera</b>	Elemento mecánico que permite la rotación de un eje.
<b>Cimentación</b>	Grupo de componentes estructurales cuyo fin es transmitir cargas de elementos distribuyéndolas de manera que estas no sean superiores su presión admisible.
<b>Correa</b>	Elemento mecánico que permite la transmisión de potencia basado en la unión de dos o más poleas.
<b>Criba</b>	Elemento que permite la separación de partículas no deseadas en el producto procesado.
<b>Esfuerzo</b>	Fuerza que actúa sobre un cuerpo llevándolo a deformarse, este se presenta como tensión o compresión.

<b>Factor de riesgo</b>	Situación que presenta probabilidad de riesgo a un individuo cuando realiza una tarea.
<b>Índice de local</b>	Número mínimo de puntos calculados para el plano de trabajo.
<b>Lubricante</b>	Sustancia que al ser colocada entre dos piezas en contacto no se degrada y forma una película que impide el deterioro de estas.
<b>Luminarias</b>	Elemento que permite la iluminación de una zona o área en específico.
<b>Lux</b>	Unidad de medida en el sistema internacional que indica el nivel de iluminación.
<b>Mantenimiento</b>	Conjunto de acciones que tienen como fin mantener un equipo en condiciones óptimas de utilización.
<b>Mesh</b>	Número de orificios por pulgada lineal a partir del centro de un hilo.
<b>Mitigar</b>	Acción de reducir o moderar una acción en específico.
<b>Montaje</b>	Actividad que permite la instalación en un área determinada de un equipo.

<b>Plano eléctrico</b>	Esquema que permite la visualización de los elementos eléctricos de un equipo.
<b>Potencia</b>	Cantidad de trabajo realizado por unidad de tiempo.
<b>Rodamiento</b>	Elemento mecánico rotativo que se utiliza para permitir la rotación de un eje.
<b>Tensión</b>	Fuerza que genera un cuerpo deformado y se aplica en los extremos de este.
<b>Torque</b>	Capacidad de una fuerza para producir una rotación alrededor de un punto.
<b>Velocidad angular</b>	Cambio de ángulo sometido a rotación en unidad de tiempo.
<b>Vista de elevación</b>	Vista donde las líneas de mira son horizontales y perpendiculares al plano de la imagen.
<b>Vista de perfil</b>	Vista donde las líneas de mira son las laterales de la imagen.
<b>Vista de planta</b>	Vista donde las líneas de mira son las partes laterales de la imagen.





## RESUMEN

El principal fin de este trabajo es plantear un modelo donde se establecen las bases para llevar a cabo el montaje exitoso de una línea de producción, considerando todos los factores involucrados tanto de los equipos como las personas que lleven a cabo esta tarea. Para esto se establecen las características físicas y mecánicas de la maquinaria identificando los elementos que presentan una mayor probabilidad de falla.

Conociendo el edificio en donde se instalará la línea de producción se evalúan las condiciones que este posee, para determinar si se ajustan a los requerimientos necesarios para llevar a cabo la producción de caucho.

Con base en la información de los equipos y las instalaciones, se plantea una distribución óptima de la línea de producción que satisface la demanda actual del producto, partiendo de posiciones supuestas de cada equipo; utilizando un método propuesto en donde se ven involucrados todos los factores de mano de obra y distancia a recorrer, para trasladar la materia prima de una estación de trabajo a otra.

Para implementar un plan de mantenimiento preventivo y garantizar la calidad del servicio de los equipos, se proponen rutas de evaluación de estos con base en el período de lubricación adecuado para cada elemento, cambio de elementos de transmisión de potencia y al cambio de elementos sujetos a tensiones de carga.

Para llevar a cabo un montaje seguro se establece un sistema de reducción de riesgos, en donde se identifican todas las condiciones potenciales que proponen una contingencia a los operarios que lleven a cabo las tareas del montaje, partiendo de la evaluación de los equipos y de las instalaciones, así como los métodos y herramientas a utilizar.

Con base en la información del producto final, el proceso de producción y el equipo, se evalúan los efectos que estos producen al ambiente analizando las alternativas de obtención de materia prima y maneras ecológicas para el tratamiento de los desechos.

# OBJETIVOS

## General

Diseñar el montaje para las líneas de producción de caucho en Importadora Los Alpes.

## Específicos

1. Determinar las especificaciones técnicas y físicas de los equipos que adquirió Importadora Los Alpes.
2. Evaluar las instalaciones donde se montará la línea de producción.
3. Analizar los diferentes métodos de distribución de maquinaria para encontrar el mejor orden de las áreas de trabajo.
4. Diseñar un plan de mantenimiento preventivo que permita mantener el equipo adquirido en condiciones óptimas de trabajo.
5. Diseñar un sistema de control de riesgo al momento de llevar a cabo el montaje de la línea de producción.
6. Determinar los impactos al ambiente que producen, tanto la línea de producción ya montada como el producto final.



## INTRODUCCIÓN

El caucho es uno de los materiales que actualmente se utiliza como materia prima en una amplia variedad de productos, llevándolo a ser uno de los materiales con una alta demanda en el mercado. Los productos que se obtienen a partir de caucho presentan características específicas, las cuales se requieren para llevar a cabo determinados trabajos dentro de la industria.

Importadora Los Alpes es una empresa dedicada a la venta, proceso y reproceso de caucho que otras instituciones utilizan para fabricar sus productos, buscando métodos y procesos innovadores que permitan competir de manera efectiva en el ambiente industrial que se presenta en Guatemala.

La adquisición de nuevos equipos permite a Importadora Los Alpes aumentar la capacidad de producción, buscando abarcar el mercado nacional al ser capaz de lanzar productos con diferentes especificaciones, aparte de las que ya venía trabajando años atrás, necesitando aprovechar todos los recursos disponibles, para hacer funcionar sus líneas de producción en el menor tiempo posible.

En este trabajo se plantean las bases para realizar un montaje óptimo y seguro de los equipos que conforman las líneas de producción, una vez conocidas las delimitaciones que presentan las instalaciones donde estas se ubicarán, así como los lineamientos a seguir para llevar a cabo un plan de mantenimiento preventivo, con el fin de mantener dicho equipo trabajando en los niveles deseados una vez estos empiecen a trabajar.



# 1. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS Y FÍSICAS DE LOS EQUIPOS

El proceso de producción de caucho en la maquinaria adquirida se da a través de tres estaciones de trabajo, representando a cada una de estas un equipo que realiza un trabajo en específico, a excepción de la estación dos que consta de 2 maquinarias con características semejantes.

## 1.1. Estación 1

La estación 1 es el punto inicial del proceso, en esta estación se selecciona la materia prima limpiándola de impurezas dejándola lista para los procesos posteriores.

### 1.1.1. Generalidades

La estación 1 cuenta con atributos específicos en los cuales muestran medidas necesarias a utilizar durante las tareas de montaje.

Nombre equipo:	Criba rotativa
	Clasificación inicial
Medida malla sección 1:	<i>Mesh 20</i>
Medida malla sección 2:	<i>Mesh 60</i>
Peso:	500 kg
Capacidad de producción:	170 kg/hora



Figura 1. **Vista frontal de criba rotativa de clasificación inicial**



Fuente: área de Producción.

### **1.1.2. Dimensiones**

Las dimensiones de la estación 1 se utilizarán para el cálculo de áreas y volumen.

Longitud:	3,0 m
Ancho:	1,10 m
Altura:	2,10 m

### **1.1.3. Área**

El conocer el área del equipo de la estación 1 permite conocer la superficie necesaria para la ubicación de esta dentro de las instalaciones de la planta.

$$A = (3,0 \text{ m} * 1,10 \text{ m}) = 3,3 \text{ m}^2$$

#### **1.1.4. Volumen**

Conocer el volumen que ocupa la estación 1 permite conocer el espacio necesario a utilizar dentro del área de Producción.

$$V = (3,0 \text{ m} * 1,10 \text{ m} * 2,10 \text{ m}) = 6,93 \text{ m}^3$$

#### **1.1.5. Identificación de componentes mecánicos**

Los componentes mecánicos son los puntos críticos a evaluar para realizar un plan de mantenimiento preventivo, ya que estos realizan trabajos sujetos a esfuerzos.

##### **1.1.5.1. Elementos que necesitan lubricación**

La estación 1 está compuesta de un total de 4 chumaceras. Dos conforman el área de selección las cuales sujetan un eje, este permite la rotación de esta zona en un punto fijo.

Figura 2. **Vista de chumacera en estación 1**



Fuente: área de Producción.

Dos chumaceras más se encuentran en la zona de transmisión de movimiento, la cual se lleva a cabo por medio de correas o fajas sujetas desde un motor el cual es el encargado de generar dicho movimiento.

Figura 3. **Vista frontal de correas de transmisión de potencia**



Fuente: área de Producción.

El diámetro de la chumacera de menor dimensión es el mismo diámetro que el eje que es de 0,4 m y el diámetro mayor es de 0,5 m.

#### **1.1.5.2. Elementos de transmisión de potencia y movimiento**

La potencia que genera el movimiento es transferida al sistema por un motor eléctrico, que proporciona un valor de 10 HP a través de correas creando la rotación para la selección del producto.

Figura 4. **Sistema superior de poleas**



Fuente: área de Producción.

Los valores de los diámetros de poleas superiores es de 0,23 m teniendo una longitud de 1,38 m. Tipo de correas trapezoidal.

Figura 5. **Sistema de poleas inferiores**



Fuente: área de Producción.

El sistema inferior está compuesto por poleas de diferentes medidas siendo el valor de las poleas mayores 0,23 m y el valor de las poleas menores 0,1 m.

### 1.1.6. Cargas de esfuerzo y tensión

Las cargas de esfuerzos y tensión son los valores que determinan rendimiento y la vida útil de los elementos a los que estos están sujetos.

#### 1.1.6.1. Cálculo de tensión para correas en poleas de diámetro menor

El motor desarrolla 10 HP (10,1427 CV) que giran a 1 750 rpm. La polea motriz es de 10 centímetros de diámetro. Con estos valores se calcula la velocidad de la banda y los requerimientos para ser impulsados.

Según la ecuación el torque viene dado por

$$F = (75 \cdot N_a) / V$$

La velocidad angular que está dada en revoluciones por minuto se convierte a radianes por segundo.

$$w = 1\,750 \text{ rpm} * \frac{2 \pi \text{ rad}}{1 \text{ revolución}} * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ segundos}} = 183,26 \text{ rad / seg}$$

Para el cálculo de la velocidad de la banda:

$$V = w \cdot r$$

Conociendo el valor del radio y la velocidad angular la velocidad de la faja está definida como:

$$V = (183,26 \text{ rad / seg}) \cdot (0,05 \text{ m})$$

$$V = 9,163 \text{ m/s}$$

La fuerza de accionamiento de la polea motriz se calcula por medio de la fórmula establecida:

$$F = (75 * 10,1427 \text{ CV}) / 9,163 \text{ m/s}$$

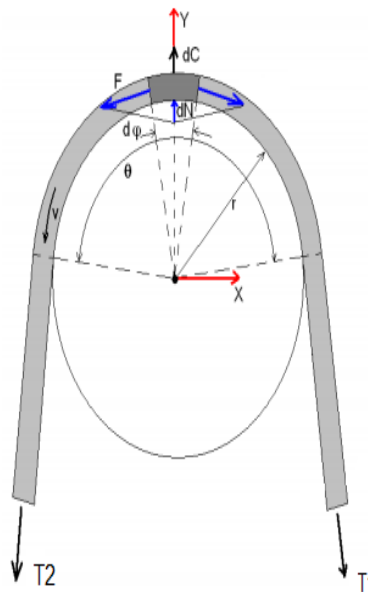
$$F = 83,02 \text{ kg de fuerza}$$

A su vez las tensiones de entrada y salida de la polea motriz se determinan por medio de las fórmulas:

$$T1 = F * \left(1 + \frac{1}{e^{\mu * \alpha - 1}}\right)$$

$$T2 = F * \frac{1}{e^{\mu * \alpha - 1}}$$

Figura 6. **Direcciones de las tensiones T1 y T2 en la polea motriz**



Fuente: Kauman Rubber Technologies. *Manual de montaje de bandas*. p. 103.

En la tabla I se muestran los valores de rozamiento según las condiciones de ambiente a la que estos se encuentran sujetos. Estos valores son utilizados para el cálculo de tensiones de entrada y de salida de las bandas.

Tabla I. **Valores de coeficiente de rozamiento según condiciones de ambiente**

COEFICIENTES DE ROZAMIENTO ENTRE BANDA Y POLEA MOTRIZ ( $\mu$ )		
Condiciones de la polea	Condiciones de ambiente	Valor de $\mu$
Sin recubrir	Mojado	0,10
	Húmedo	0,20
	Seco	0,30
Recubierto	Mojado	0,25
	Húmedo	0,30
	Seco	0,35

Fuente: Kauman Rubber Technologies. *Manual de montaje de bandas*. p. 104.

En las tablas II y III se encuentran los valores requeridos para los cálculos de tensiones de entrada y salida para las bandas de transmisión.

Tabla II. Valores de  $e^{\mu^*\alpha} - 1$

Valor de $\alpha$	Valor de $\mu$					
	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35
180	1,3	1,6	1,8	2,10	2,57	3,00
190	1,3	1,6	1,9	2,29	2,70	3,19
200	1,4	1,69	2,0	2,39	2,85	3,39
210	1,4	1,73	2,08	2,50	3,00	3,61
220	1,4	1,78	2,1	2,69	3,16	3,83
230	1,4	1,83	2,2	2,73	3,33	4,08
240	1,5	1,87	2,31	2,85	3,50	4,33
250	1,5	1,9	2,39	2,98	3,70	4,61
360	1,8	2,57	3,5	4,81	6,59	9,02
370	1,9	2,63	3,64	5,03	6,94	9,59
380	1,9	2,70	3,3	5,25	7,31	10,19
390	1,9	2,78	3,90	5,48	7,71	10,83
400	2,0	2,85	4,04	5,73	8,12	11,51
410	2,05	2,93	4,1	5,98	8,56	12,24

Fuente: Kauman Rubber Technologies. *Manual de montaje de bandas*. p. 110.

Tabla III. Valores de  $\frac{1}{e^{\mu^*\alpha} - 1}$

Valor de $\alpha$ (grados)	Valor de $\mu$					
	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35
180	2,71	1,66	1,14	0,83	0,63	0,49
190	2,54	1,55	1,06	0,77	0,58	0,45
200	2,39	1,45	0,99	0,71	0,54	0,41
210	2,26	1,36	0,92	0,66	0,49	0,38
220	2,14	1,28	0,86	0,62	0,46	0,35
230	2,02	1,21	0,81	0,57	0,42	0,32
240	1,92	1,14	0,76	0,54	0,39	0,30
250	1,83	1,08	0,71	0,50	0,30	0,27
360	1,14	0,64	0,40	0,26	0,18	0,13
370	1,10	0,61	0,38	0,25	0,17	0,12
380	1,06	0,59	0,36	0,24	0,16	0,11



Continuación de la tabla III.

<b>390</b>	1,03	0,56	0,35	0,22	0,15	0,10
<b>400</b>	0,99	0,54	0,33	0,21	0,14	0,09
<b>410</b>	0,96	0,52	0,31	0,20	0,13	0,09
<b>420</b>	0,93	0,50	0,30	0,19	0,13	0,08

Fuente: Kauman Rubber Technologies. *Manual de montaje de bandas*. p. 110.

Para el cálculo de tensión T1 se utiliza la fórmula:

$$T1 = F * \left( 1 + \frac{1}{e^{\mu * \alpha} - 1} \right)$$

Conociendo el ambiente en donde trabajan las correas:

Condiciones de la polea: sin recubrir

Condiciones del ambiente: seco

Con estos datos se obtiene según tabla I el valor del coeficiente de rozamiento es de 0,30.

Conociendo el valor de  $\mu$  y sabiendo que el ángulo de contacto entre la polea y la banda es  $180^\circ$  (semicírculo):

Por tabla II el valor de  $e^{\mu * \alpha} - 1 = 2,57$

Por tabla III el valor de  $\frac{1}{e^{\mu * \alpha} - 1} = 0,63$

Sustituyendo estos valores en la fórmula de T1 se obtiene:

$$T1 = 83,02 \text{ kg} * (1 + 0,63) = 135,322 \text{ kg}$$

La tensión de la banda de entrada en la polea motriz es de 135,322 kg.

Para el cálculo de la tensión T2 se utiliza la fórmula:

$$T_2 = F * \frac{1}{e^{\mu \alpha} - 1}$$

$$T_2 = 83,02 * 0,63 = 52,30 \text{ kg}$$

La tensión de la banda a la salida en la polea motriz es de 52,30 kg.

#### **1.1.6.2. Cálculo de tensión para correas en poleas de diámetro mayor**

El diámetro de las poleas mayores es de 0,23 por lo que por medio de la relación de diámetros se puede obtener la velocidad angular de estas.

$$W_1 * d_1 = W_2 * d_2$$

Siendo los valores de  $W_1$  y  $d_1$  pertenecientes a la velocidad angular y diámetro de la polea motriz.

$$(1\ 750 \text{ rpm}) * (0,10 \text{ m}) = W_2 * (0,23 \text{ m})$$

Despejando para  $W_2$  se obtiene:

$$W_2 = (1\ 750 \text{ rpm}) * (0,1 \text{ m}) / (0,23 \text{ m})$$

$$W_2 = 760,87 \text{ rpm}$$

El valor de la velocidad angular dos en radianes sobre segundos queda definido por:

$$W_2 = 760,87 \text{ rpm} * \frac{2 \pi \text{ rad}}{1 \text{ revolución}} * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ segundos}} = 79,60 \text{ rad / seg}$$

Para el cálculo de la velocidad de la banda:

$$V_2 = w_2 * r_2$$

Conociendo el valor del radio y la velocidad angular la velocidad de la faja está definida como:

$$V = (79,60 \text{ rad / seg}) * (0,23 \text{ m})$$

$$V = 18,308 \text{ m/s}$$

Se utiliza la fórmula para calcular la fuerza de accionamiento de la polea motriz descrita anteriormente.

$$F = (75 * 10 * 1,01427 \text{ CV}) / 18,308 \text{ m/s} = 41,55 \text{ kg de fuerza}$$

Se utiliza la fórmula para el cálculo de tensión T1. Las condiciones del ambiente son las mismas que las trabajadas para las poleas de menor diámetro, por lo que el valor del coeficiente de rozamiento es de 0,30.

Conociendo el valor de  $\mu$  y sabiendo que el ángulo de contacto entre la polea y la banda es  $180^\circ$  (semicírculo):

Según los datos de la tabla II el valor de  $e^{\mu * \alpha} - 1 = 2,57$

Según los datos de la tabla III el valor de  $\frac{1}{e^{\mu * \alpha} - 1} = 0,63$

Sustituyendo estos valores en la fórmula de T1 se obtiene:

$$T1 = 41,55 \text{ kg} * (1 + 0,63) = 67,73 \text{ kg}$$

La tensión de la banda de entrada en la polea motriz es de 67,73 kg.

Se utiliza la fórmula para la tensión T2:

$$T2 = 41,55 * 0,63 = 26,18 \text{ kg}$$

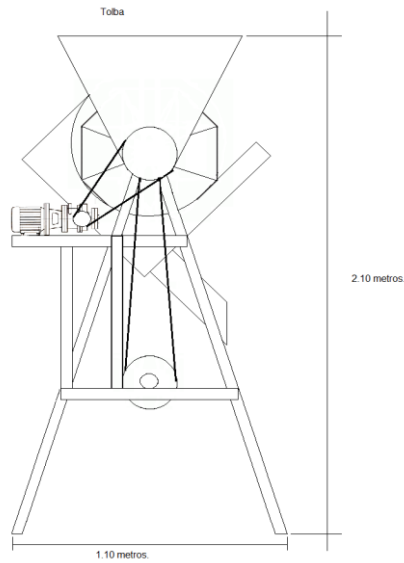
La tensión de la banda a la salida en la polea motriz es de 26,18 kg.

Los valores de las tensiones, tanto a la entrada como a la salida de la banda, permiten conocer los valores permisibles que estos elementos soportan durante su vida útil de trabajo.

### **1.1.7. Plano de equipo**

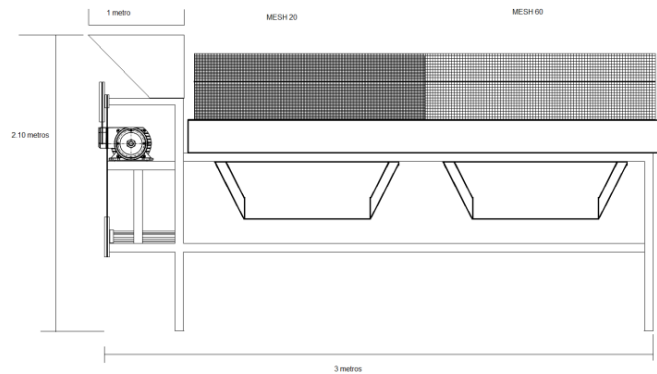
Los planos del equipo muestran las vistas de las distintas posiciones del equipo de la estación 1.

Figura 7. **Vista de perfil de criba rotativa de selección inicial**



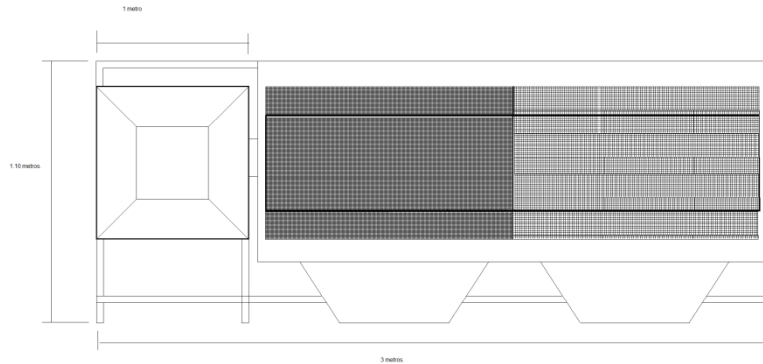
Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2D versión 19.0.

Figura 8. **Vista de elevación de criba rotativa de selección inicial**



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2D versión 19.0.

Figura 9. **Vista de planta de criba rotativa de selección inicial**



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD versión 19.0.

### **1.1.8. Componentes eléctricos**

La identificación de los elementos eléctricos se utiliza para el cálculo del costo de la utilización de estos durante el proceso.

#### **1.1.8.1. Especificaciones de componentes eléctricos**

En la criba rotatoria de selección inicial solamente se denota un equipo eléctrico el cual es un motor, que es el encargado de suministrar la potencia para generar el movimiento rotacional que permite el giro de las mallas para la elección del producto.

Potencia:	10 HP (7,46 Kw)
Voltaje:	220 monofásico
Velocidad:	1 750 rpm
Frecuencia:	60 hz

### 1.1.8.2. Consumo eléctrico

Con los datos obtenidos del motor se puede calcular el consumo de energía que este necesita para realizar el trabajo.

El costo de kilowatt hora (Kw-h) otorgado por la Empresa Eléctrica de Guatemala (EEGSA) es de Q 1,713949.

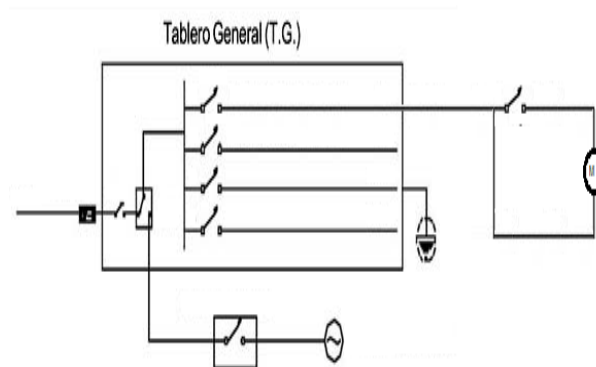
Por lo que el costo por hora de mantener el equipo trabajando se calcula:

$$(7,46 \text{ Kw}) * (1\text{h}) * (1,713949) = \text{Q } 12,7860$$

### 1.1.8.3. Plano eléctrico

En el plano eléctrico se presentan la posición de los elementos eléctricos así como los instrumentos que los accionan.

Figura 10. Plano eléctrico de estación 1



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2D versión 19.0.

## 1.2. Estación 2

La estación 2 es el proceso mediante el cual muele la materia prima llevándole a la medida requerida.

### 1.2.1. Generalidades

Esta estación consta de dos equipos, tomando las medidas de la estación como la combinación de ambas.

Nombre equipo:	tolva de premolido y molido final
Sección premolido:	2 molinos
Molido final:	2 molinos
Peso:	500 kg
Capacidad de producción:	175 kg/hora (cada equipo)

Figura 11. **Vista de equipos de premolido y molido final**



Fuente: área de Producción.



### **1.2.2. Dimensiones**

Estas dimensiones se toman para cada equipo individual.

Longitud: 1,70 metros

Ancho: 0,70 metros

Altura: 2,25 metros

### **1.2.3. Área**

Esta se calcula como el área total que ocupan los dos elementos que componen la estación, ambos equipos están a una distancia de dos metros la una de la otra.

$$A = (0,70\text{metros} * (2 \text{ metros} + (2 * 1,70 \text{ metros}))) = 3,78 \text{ m}^2$$

### **1.2.4. Volumen**

De igual manera el volumen total de la estación está definido como:

$$\text{Volumen} = (3,78 \text{ metros cuadrados}) * (2,25 \text{ metros}) = 8,505 \text{ m}^3$$

### **1.2.5. Identificación de elementos mecánicos**

De igual manera que en la estación 1 los componentes mecánicos son los puntos críticos a evaluar para realizar un plan de mantenimiento preventivo, ya que estos realizan trabajos sujetos a esfuerzos.

### 1.2.5.1. Elementos que necesitan lubricación

En cada una se denotan un total de ocho chumaceras tipo brida, de las cuales dos de ellas permiten el movimiento de los ejes de selección en las áreas de premolido y molido final respectivamente.

Figura 12. **Vista de chumacera tipo brida de eje selector, área de premolido**



Fuente: área de Producción.

Figura 13. **Vista de chumacera tipo brida de eje selector, área de molido final**



Fuente: área de Producción.

Figura 14. **Vista de chumaceras tipo brida de rodillo de molienda, área de premolido**



Fuente: área de Producción.

Figura 15. **Vista de chumaceras tipo brida de rodillo de molienda, área de molido final**



Fuente: área de Producción.

#### **1.2.5.2. Elementos de transmisión de potencia y movimiento**

Para llevar a cabo un molido con las especificaciones requeridas se utilizan dos motores, uno de ellos trasmite el movimiento hacia dos ejes selectores de las áreas de premolido y molido final, el segundo genera el movimiento en los rodillos de molienda.

Figura 16. **Vista de motor de transmisión para ejes de selección en área de premolido y molido final**



Fuente: área de Producción.

El diámetro de polea conducida es de 0,14 metros. La cantidad de correas es de 2 con una longitud de 1,23 m.

Figura 17. **Vista de correas de transmisión para molienda en área de premolido**



Fuente: área de Producción.

Diámetro de las poleas es de 0,14 m. La cantidad de correas es de 2 con una longitud de 1,50 m.

### **1.2.6. Cargas y esfuerzos de tensión**

Las cargas de esfuerzos y tensión son los valores que determinan rendimiento y la vida útil de los elementos a los que estos están sujetos.

#### **1.2.6.1. Esfuerzo de tensión en banda motriz de ejes de selección área premolida y molido final eje menor**

Debido a que las correas de los ejes están sujetas al mismo motor, estas presentan condiciones de esfuerzos semejantes por lo el cálculo se realiza de manera individual.

El motor desarrolla 10 HP (10,1427 CV) que giran a 1 710 rpm. La polea motriz es de 10 centímetros de diámetro.

Con estos valores se calcula la velocidad de la banda y los requerimientos para ser impulsados.

Según la ecuación el torque viene dado por:

$$F = (75 * Na) / V$$

La velocidad angular que está dada en revoluciones por minuto se convierte a radianes por segundo.

$$\omega = 1\ 710\ \text{rpm} * \frac{2\ \pi\ \text{rad}}{1\ \text{revolución}} * \frac{1\ \text{min}}{60\ \text{segundos}} = 179,07\ \text{rad / seg}$$

Para el cálculo de la velocidad de la banda:

$$V = w * r$$

Conociendo el valor del radio y la velocidad angular la velocidad de la faja está definida como:

$$V = (179,07 \text{ rad / seg}) * (0,05 \text{ m})$$

$$V = 8,95 \text{ m/s}$$

La fuerza de accionamiento de la polea motriz se calcula por medio de la fórmula establecida:

$$F = (75 * 10,1427 \text{ CV}) / 8,95 \text{ m/s}$$

$$F = 85 \text{ kg de fuerza}$$

El cálculo de tensión T1 está dada por la fórmula:

$$T1 = F * \left( 1 + \frac{1}{e^{\mu * \alpha_1}} \right)$$

Conociendo el ambiente en donde trabajan las correas:

Condiciones de la polea: sin recubrir

Condiciones del ambiente: seco

Con estos datos se obtiene según la tabla. I el valor del coeficiente de rozamiento es de 0,30.

Conociendo el valor de  $\mu$  y sabiendo que el ángulo de contacto entre la polea y la banda es  $180^\circ$  (semicírculo):

Según la tabla II el valor de  $e^{\mu\alpha}-1 = 2,57$

Según la tabla III el valor de  $\frac{1}{e^{\mu\alpha}-1} = 0,63$

Sustituyendo estos valores en la fórmula de T1 se obtiene:

$$T1 = 85 \text{ kg} * (1 + 0,63) = 138,55 \text{ kg}$$

La tensión de la banda de entrada en la polea motriz es de 138,55 kg.

El valor de la tensión T2 está definido por:

$$T2 = 85 * 0.63 = 53,55 \text{ kg.}$$

#### **1.2.6.2. Esfuerzo de tensión en banda motriz de ejes de selección área premolida y molido final eje mayor**

El diámetro de las poleas es de 0,14 m por lo que por medio de la relación de diámetros se puede obtener la velocidad angular de estas.

$$W_1 * d_1 = W_2 * d_2$$

Siendo los valores de  $W_1$  y  $d_1$  pertenecientes a la velocidad angular y diámetro de la polea motriz.

$$(1\ 710 \text{ rpm}) * (0,10 \text{ m}) = W_2 * (0,14 \text{ m})$$

Despejando para  $W_2$  se obtiene:

$$W_2 = (1\,710 \text{ rpm}) \cdot (10 \text{ centímetros}) / (14 \text{ centímetros})$$

$$W_2 = 1\,221,43 \text{ rpm}$$

El valor de la velocidad angular dos en radianes sobre segundos queda definido por:

$$W_2 = 1\,221,43 \text{ rpm} \cdot \frac{2\pi \text{ rad}}{1 \text{ revolución}} \cdot \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ segundos}} = 127,90 \text{ rad / seg}$$

Para el cálculo de la velocidad de la banda:

$$V_2 = w_2 \cdot r_2$$

Conociendo el valor del radio y la velocidad angular la velocidad de la faja está definida como:

$$V = (127,90 \text{ rad / seg}) \cdot (0,14 \text{ m})$$

$$V = 17,906 \text{ m/s}$$

Se utiliza la fórmula para calcular la fuerza de accionamiento de la polea motriz descrita anteriormente.

$$F = (75 \cdot 10,1427 \text{ CV}) / 17,906 \text{ m/s}$$

$$F = 42,48 \text{ kg de fuerza}$$



Para el cálculo de tensión T1 se utiliza la fórmula:

$$T1 = F * \left(1 + \frac{1}{e^{\mu * \alpha} - 1}\right)$$

Las condiciones del ambiente son las mismas que las trabajadas para las poleas de menor diámetro, por lo que el valor del coeficiente de rozamiento es de 0,30.

Conociendo el valor de  $\mu$  y sabiendo que el ángulo de contacto entre la polea y la banda es 180° (semicírculo):

Según la tabla II el valor de  $e^{\mu * \alpha} - 1 = 2,57$

Según la tabla III el valor de  $\frac{1}{e^{\mu * \alpha} - 1} = 0,63$

Sustituyendo estos valores en la fórmula de T1 se obtiene:

$$T1 = 42,48 \text{ kg} * (1 + 0,63) = 69,24 \text{ kg}$$

El valor de la tensión T2 está definido por:

$$T2 = 2,12 * 0,63 = 26,76 \text{ kg}$$

La tensión de la banda a la salida en la polea motriz es de 26,76 kg

### 1.2.6.3. Esfuerzo de tensión en banda de rodillo de molienda en área de premolido y molienda final

Los diámetros de las poleas son de las mismas dimensiones por lo que las tensiones T1 y T2 en ambos extremos son de valores iguales.

La velocidad del motor es de 1 750 rpm con una potencia de 10 Hp, el diámetro de la polea motriz es de 0,10 m. Con la relación de diámetros es posible determinar la velocidad de la polea conducida.

$$(1\ 750\ \text{rpm}) \cdot (0,10) = W_2 \cdot (0,14\ \text{m})$$

Despejando para  $W_2$  se obtiene:

$$W_2 = (1\ 750\ \text{rpm}) \cdot (0,10\ \text{m}) / (0,14\ \text{m})$$

$$W_2 = 1\ 250,00\ \text{rpm}.$$

Debido a que la velocidad angular está dada en rpm se convierte a radianes por segundo.

$$w = 1\ 750\ \text{rpm} \cdot \frac{2\ \pi\ \text{rad}}{1\ \text{revolución}} \cdot \frac{1\ \text{min}}{60\ \text{segundos}} = 183,26\ \text{rad} / \text{seg}.$$

Para el cálculo de la velocidad de la banda:

$$V = w \cdot r$$

Conociendo el valor del radio y la velocidad angular la velocidad de la faja esta definida como:

$$V = (183,26 \text{ rad / seg}) * (0,14 \text{ metros})$$

$$V = 25,65 \text{ m/s}$$

La fuerza de accionamiento de la polea motriz se calcula por medio de la fórmula establecida:

$$F = (75 * 10,1428 \text{ CV}) / 25,65 \text{ m/s}$$

$$F = 29,66 \text{ kg de fuerza}$$

El cálculo de la tensión T1 está definido por la fórmula:

$$T1 = F * \left( 1 + \frac{1}{e^{\mu * \alpha - 1}} \right)$$

Conociendo el ambiente en donde trabajan las correas:

Condiciones de la polea: sin recubrir

Condiciones del ambiente: seco

Con estos datos se obtiene según la tabla I el valor del coeficiente de rozamiento es de 0,30.

Conociendo el valor de  $\mu$  y sabiendo que el ángulo de contacto entre la polea y la banda es  $180^\circ$  (semicírculo):

Según la tabla II el valor de  $e^{\mu * \alpha} - 1 = 2,57$

Según la tabla III el valor de  $\frac{1}{e^{\mu\alpha}-1} = 0,63$

Sustituyendo estos valores en la fórmula de T1 se obtiene:

$$T1 = 29,66 \text{ kg} * (1 + 0,63) = 48,35 \text{ kg}$$

La tensión de la banda de entrada en la polea motriz es de 48,35 kg

El valor de la tensión T2 está definido:

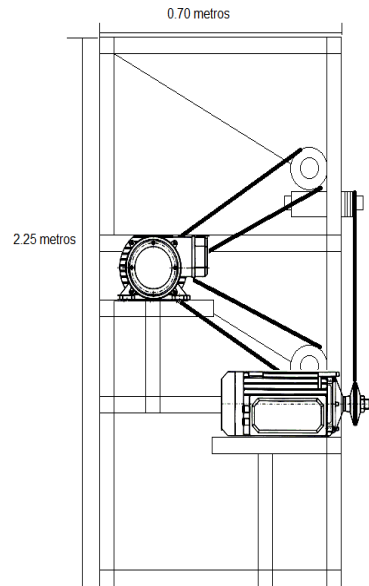
$$T2 = 29,66 * 0,63 = 18,65 \text{ kg}$$

La tensión de la banda de salida en la polea motriz es de 18,65 kg.

### **1.2.7. Plano de equipo**

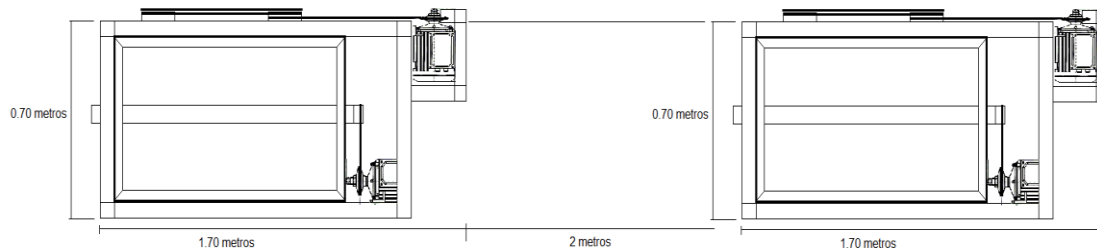
En el plano de la estación 2 se plantean las diferentes vistas desde las distintas posiciones del equipo. En este plano se plantean los dos equipos que conforman la estación de trabajo 2, mostrando los espacios mínimos permisibles entre estos.

Figura 18. **Vista de perfil de tolva de premolido y molido final**



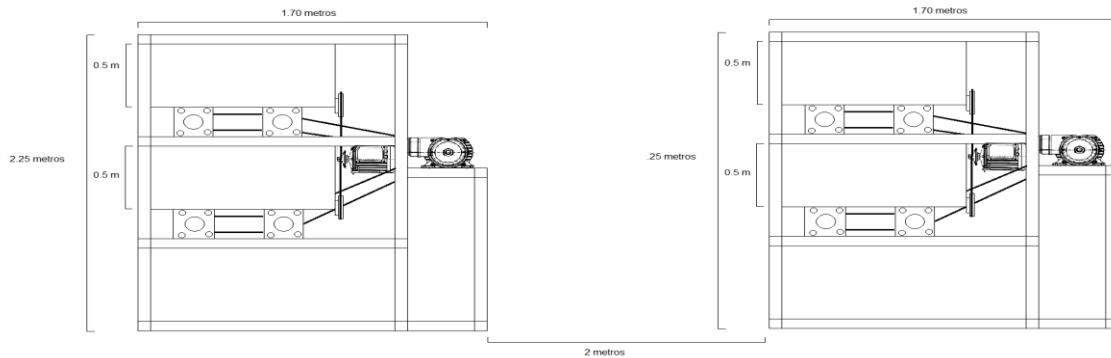
Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2D versión 19.0.

Figura 19. **Vista de planta de estación 2**



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2D versión 19.0.

Figura 20. **Vista de elevación de estación 2**



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2D versión 19.0.

### **1.2.8. Componentes eléctricos**

La identificación de los elementos eléctricos que conforman la estación 2 se utiliza para el cálculo del costo de la utilización de estos durante el proceso.

#### **1.2.8.1. Especificaciones de componentes eléctricos**

En ambos equipos que componen la estación constan de dos motores con la misma capacidad que generan el movimiento en las partes correspondientes de la maquinaria.

Potencia:	10 HP (7,46 Kw)
Voltaje:	220 monofásico
Velocidad:	1 750 rpm
Frecuencia:	60 hz

### 1.2.8.2. Consumo eléctrico

Conociendo los valores utilizados el consumo eléctrico está establecido por:

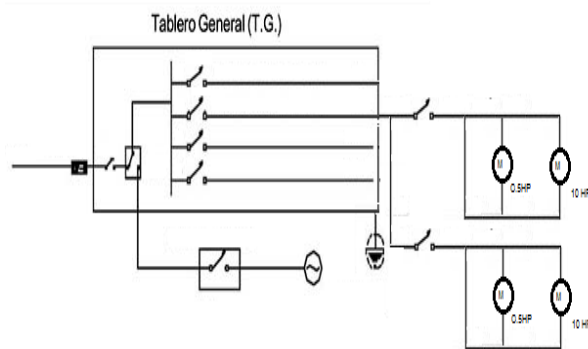
$$(7,46 \text{ Kw}) \cdot (1\text{h}) \cdot (1,713949) = \text{Q } 12,79$$

$$\text{Costo total} = \text{Q } 12,79 \cdot 2 = \text{Q. } 25,60$$

### 1.2.8.3. Plano eléctrico

En el plano eléctrico se identifican los componentes eléctricos de la estación 2, así como la posición en la que estos se encuentran.

Figura 21. Plano eléctrico de estación 2



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2D versión 19.0.

### 1.3. Estación 3

La estación 3 es el área final del proceso de producción, aquí es donde se clasifica el producto en las medidas solicitadas.

#### 1.3.1. Generalidades

El equipo de la estación 3 está dividido en diferentes secciones en donde el producto final se clasifica de acuerdo a la medida de malla específica.

Nombre de equipo:	criba rotativa clasificación final
Medida malla sección 1:	<i>mesh</i> 30
Medida malla sección 2:	<i>mesh</i> 20
Medida malla sección 3:	<i>mesh</i> 16
Capacidad de producción:	170 kg/hora
Peso:	500 kg

Figura 22. **Vista de criba rotativa de clasificación final**



Fuente: área de Producción.



### **1.3.2. Dimensiones**

Estas dimensiones son utilizadas para llevar a cabo el cálculo de área y volumen según se requiera.

Longitud:	4,70 m
Ancho:	1,05 m
Altura:	2,10 m

### **1.3.3. Área**

El área calculada es utilizada para conocer la superficie requerida para instalar el equipo.

$$\text{Área} = (4,70 \text{ metros} * 1,05 \text{ metros}) = 4,935 \text{ m}^2$$

### **1.3.4. Volumen**

El volumen indica el espacio requerido en la planta de producción para instalar el equipo.

$$\text{Volumen} = (4,70 \text{ metros} * 1,05 \text{ metros} * 2,10 \text{ metros}) = 10,36 \text{ m}^3$$

### **1.3.5. Identificación de componentes mecánicos**

Los elementos mecánicos son los puntos críticos a evaluar del equipo ya que estos, por estar sujetos a esfuerzos, tienden a presentar fallas que repercuten en el proceso y el producto final.

### 1.3.5.1. Elementos que necesitan lubricación

La estación 3 se compone en su totalidad de cuatro chumaceras tipo puente. Dos de estas sujetas a un eje de poleas que transmite el movimiento, las otras dos están sujetas a un eje que realiza el movimiento de las mallas en eje fijo para la selección del producto final.

Figura 23. **Vista de eje de poleas para transmisión de movimiento**



Fuente: área de Producción.

Figura 24. **Vista de chumacera para rotación de eje central**



Fuente: área de Producción.

### **1.3.5.2. Elementos de transmisión de potencia y movimiento**

El movimiento rotacional es otorgado al sistema por un motor que suministra a este 10 HP de potencia por medio de correas sujetas entre sí.

Figura 25. **Sistema de poleas para transmisión de movimiento**



Fuente: área de Producción.

Los diámetros de la poleas grandes tiene una valor de 0,40 m, el valor del diámetro de las poleas pequeñas es de 0,10 m. La longitud de la correa motriz 2,15 m y la de la correa conducida de 2,93 m.

### **1.3.6. Cargas y esfuerzos de tensión**

Las cargas de esfuerzos y tensión son los valores que determinan rendimiento y la vida útil de los elementos a los que estos están sujetos. El conocimiento de estos son claves para un eficiente plan de mantenimiento preventivo.

### 1.3.6.1. Cálculo de tensión para correas en poleas de diámetro menor

El motor desarrolla 1 HP (10,1428CV) que giran a 1 725 rpm. La polea motriz es de 0,10 m de diámetro.

La velocidad angular que está dada en revoluciones por minuto se convierte a radianes por segundo.

$$\omega = 1\,725 \text{ rpm} * \frac{2\pi \text{ rad}}{1 \text{ revolución}} * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ segundos}} = 180,64 \text{ rad / seg}$$

Para el cálculo de la velocidad de la banda:

$$V = \omega * r$$

Conociendo el valor del radio y la velocidad angular la velocidad de la faja está definida como:

$$V = (180,64 \text{ rad / seg}) * (0,05 \text{ metros})$$

$$V = 9,032 \text{ m/s}$$

La fuerza de accionamiento de la polea motriz se calcula por medio de la fórmula establecida:

$$F = (75 * 10,1427 \text{ CV}) / 9,032 \text{ m/s}$$

$$F = 84,22 \text{ kg de fuerza}$$

El cálculo de tensión T1 está dado por la fórmula:

$$T1 = F * \left( 1 + \frac{1}{e^{\mu * \alpha} - 1} \right)$$

Conociendo el ambiente en donde trabajan las correas:

Condiciones de la polea: sin recubrir

Condiciones del ambiente: seco

Con estos datos se obtiene según la tabla I el valor del coeficiente de rozamiento es de 0,30.

Conociendo el valor de  $\mu$  y sabiendo que el ángulo de contacto entre la polea y la banda es  $180^\circ$  (semicírculo):

Según la tabla II el valor de  $e^{\mu * \alpha} - 1 = 2,57$

Según la tabla III el valor de  $\frac{1}{e^{\mu * \alpha} - 1} = 0,63$

Sustituyendo estos valores en la fórmula de T1 se obtiene:

$$T1 = 84,22 \text{ kg} * (1 + 0,63) = 137,28 \text{ kg}$$

La tensión de la banda de entrada en la polea motriz es de 137,28 kg.

El valor de la tensión T2 está definido por:

$$T2 = 84,22 * 0,63 = 53,06 \text{ kg}$$

La tensión de la banda a la salida en la polea motriz es de 53,06 kg.

### 1.3.6.2. Cálculo de tensión para correas en poleas de diámetro mayor

Conociendo que el diámetro de las poleas mayores es de 40 se determina la velocidad angular de estos por medio de relación de diámetros.

$$W_1 * d_1 = W_2 * d_2$$

Siendo los valores de  $W_1$  y  $d_1$  pertenecientes a la velocidad angular y diámetro de la polea motriz.

$$(1\ 725\ \text{rpm}) * (10\ \text{centímetros}) = W_2 * (0,40\ \text{m})$$

Despejando para  $W_2$  se obtiene:

$$W_2 = (1\ 725\ \text{rpm}) * (0,10\ \text{m}) / (0,40\ \text{m})$$

$$W_2 = 431,25\ \text{rpm}$$

El valor de la velocidad angular dos en radianes sobre segundos queda definido por:

$$W_2 = 431,25\ \text{rpm} * \frac{2\ \pi\ \text{rad}}{1\ \text{revolución}} * \frac{1\ \text{min}}{60\ \text{segundos}} = 45,16\ \text{rad / seg}$$

Conociendo el valor del radio y la velocidad angular la velocidad de la faja está definida como:

$$V = (45,16\ \text{rad / seg}) * (0,40\ \text{m})$$

$$V = 18,064\ \text{m/s}$$

Se utiliza la fórmula para calcular la fuerza de accionamiento de la polea motriz descrita anteriormente.

$$F = (75 * 10,1427 \text{ CV}) / 18,064 \text{ m/s}$$
$$F = 42,11 \text{ kg de fuerza}$$

El cálculo de la tensión T1 está dado por la fórmula:

$$T1 = F * \left(1 + \frac{1}{e^{\mu * \alpha} - 1}\right)$$

Las condiciones del ambiente son las mismas que las trabajadas para las poleas de menor diámetro, por lo que el valor del coeficiente de rozamiento es de 0,30.

Conociendo el valor de  $\mu$  y sabiendo que el ángulo de contacto entre la polea y la banda es  $180^\circ$  (semicírculo):

Según la tabla II el valor de  $e^{\mu * \alpha} - 1 = 2,57$

Según la tabla III el valor de  $\frac{1}{e^{\mu * \alpha} - 1} = 0,63$

Sustituyendo estos valores en la fórmula de T1 se obtiene:

$$T1 = 42,11 \text{ kg} * (1 + 0,63) = 68,63 \text{ kg}$$

La tensión de la banda de entrada en la polea motriz es de 68,63 kg.

El valor de la tensión T2 es:

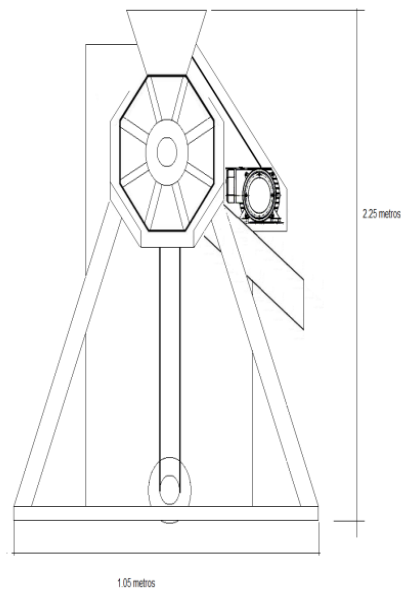
$$T2 = 42,11 * 0,63 = 26,52 \text{ kg}$$

La tensión de la banda a la salida en la polea motriz es de 26,52 kg

### 1.3.7. Plano de equipo

En el plano de los equipos se presentan las diferentes vistas de la estación 3 desde diferentes posiciones.

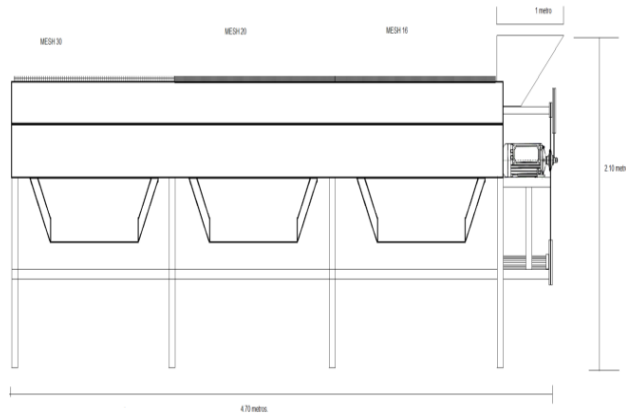
Figura 26. **Vista de perfil de criba rotativa de selección final**



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2D versión 19.0.

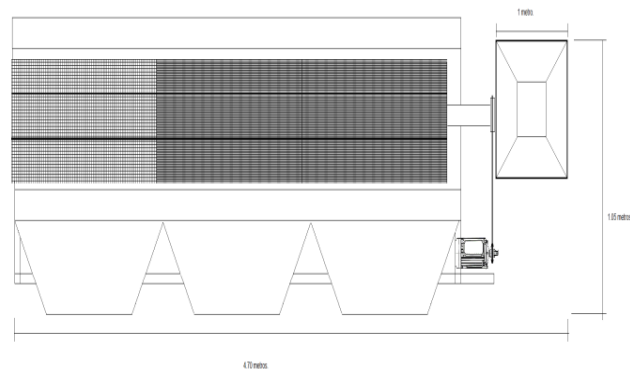


Figura 27. **Vista de elevación de criba rotativa de selección final**



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2D versión 19.0.

Figura 28. **Vista de planta de criba rotativa de selección final**



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2D versión 19.0.

### 1.3.8. **Componentes eléctricos**

En el plano eléctrico se identifican los componentes eléctricos de la estación 3, así como la posición en la que estos se encuentran y las conexiones que estos tienen entre sí.

### **1.3.8.1. Especificaciones de componentes eléctricos**

En la criba rotatoria de selección final el único elemento eléctrico que se describe es el motor que suministra la potencia para generar el movimiento rotacional, que permite el giro de las mallas para la elección del producto final.

Potencia:	10 HP (7,46 Kw)
Voltaje:	220 monofásico
Velocidad:	1 725 rpm
Frecuencia:	60 hz

### **1.3.8.2. Consumo eléctrico**

Con las especificaciones se calcula el consumo de energía que se requiere para llevar a cabo el trabajo.

El costo de kilowatt hora (Kw-h) otorgado por la Empresa Eléctrica Guatemala (EEGSA) es de Q 1,713949.

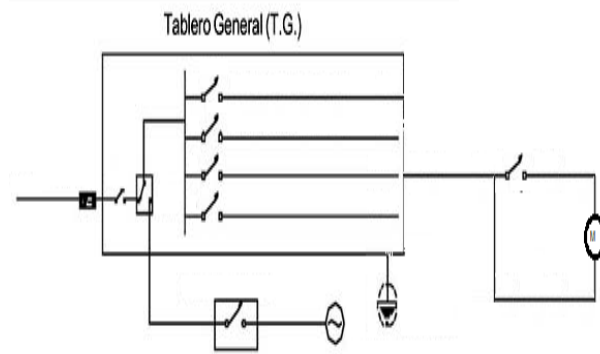
Por lo que el costo por hora de mantener el equipo trabajando se calcula:

$$(7,46 \text{ Kw}) * (1\text{h}) * (1,713949) = \text{Q } 12,79$$

### **1.3.8.3. Plano eléctrico**

En el plano eléctrico se visualizan los diferentes componentes de la estación 3 así como la posición de estos.

Figura 29. **Plano eléctrico estación 3**



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2D versión 19.0.

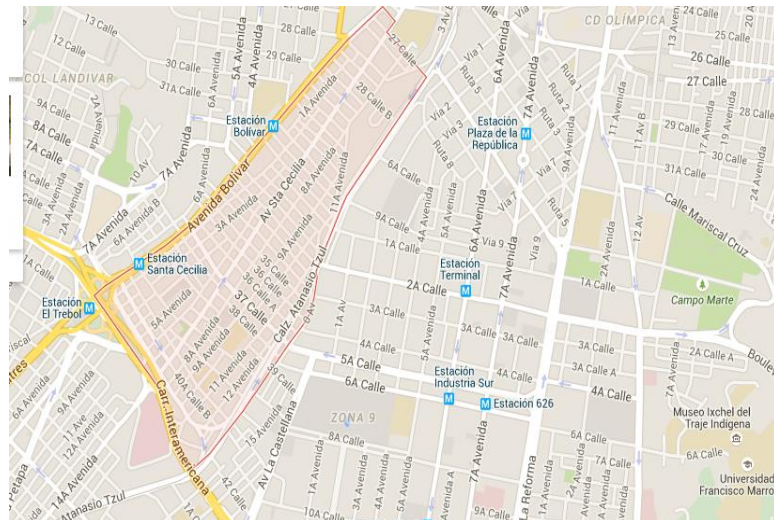
## 2. EVALUACIÓN DE INSTALACIONES DE LA PLANTA

Al evaluar los recursos con los que cuenta la planta industrial permite optimizar la capacidad instalada, ya que se conoce el estado en que se encuentra la instalación antes de llevar a cabo el montaje de las líneas de producción de caucho.

### 2.1. Ubicación de planta

La planta de Importadora Los Alpes se encuentra instalada en el terreno ubicado en la 10<sup>a</sup>. avenida, 35 – 62, zona 8 del municipio de Guatemala, departamento de Guatemala.

Figura 30. Mapa de ubicación de planta de producción



Fuente: Google Maps.

Según la figura 30 la zona ocho, en la que se encuentra la planta, colinda con las zonas: cuatro, nueve, once y doce, mostrando conexión directa a infraestructura vial, permitiendo el acceso fácil en diferentes vías desde diferentes puntos de la ciudad de Guatemala.

## 2.2. Servicios con los que cuenta la planta

La evaluación de los diferentes servicios que posee la planta de producción permite determinar si estos satisfacen los requerimientos del proceso, así como las necesidades de los operarios.

### 2.2.1. Agua

El servicio de agua, en lo que a la zona 8 capitalina respecta, es otorgado por la Empresa Municipal de Agua (Empagua), quien también es el encargado de suministrar dicho servicio a los habitantes del área metropolitana de la ciudad de Guatemala. Empagua cuenta con una tarifa por metro cúbico, la que depende del consumo total de agua.

Tabla IV. Rango de tarifa por el consumo de agua

RANGO DE CONSUMO (m <sup>3</sup> )	COSTO (m <sup>3</sup> )
1 a 20	Q. 1,12 (más IVA)
21 a 40	Q. 1,76 (más IVA)
41 a 60	Q. 2,24 (más IVA)
61 a 120	Q. 4,48 (más IVA)
120 a más	Q. 5,60 (más IVA)

Fuente: Municipalidad de Guatemala.

La planta de Importadora Los Alpes se encuentra en rango de 61 a 120 llevando a un costo de Q 4,48 (más IVA) por cada metro cúbico de agua que se consume.

### 2.2.2. Electricidad

El servicio de luz es brindado por la Empresa Eléctrica de Guatemala S. A. (EEGSA), el cual es el ente delegado a proporcionar el servicio de energía eléctrica en la región.

El pago por el uso de la red de distribución está regulado únicamente por el nivel de tensión en que está conectada la instalación eléctrica.

Tabla V. Descripción de tarifa según categoría

CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN	DEMANDA DE POTENCIA	TIPO DE TARIFA APLICADA
A	Usuarios con servicio en Baja Tensión	Menor o igual a once kilovatios (kW)	Baja Tensión Simple ( <b>BTS</b> ); Baja Tensión Simple Social ( <b>BTSS</b> ).
B	Usuarios con servicio en Baja o Media Tensión *	Mayor de 11 kilovatios (kW)	Baja Tensión con Demanda en Punta ( <b>BTDP</b> ), Baja Tensión con Demanda fuera de Punta ( <b>BTDFP</b> ), Baja Tensión Horaria ( <b>BTH</b> ), Media Tensión con Demanda en Punta ( <b>MTDP</b> ), Media Tensión con Demanda fuera de Punta ( <b>MTDFP</b> ), Media Tensión Horaria ( <b>MTH</b> ).
C	Usuarios con servicio en baja o media tensión que cumplan con los requisitos establecidos en la legislación vigente para obtener la calidad de <b>Gran Usuario</b>		En este caso las condiciones de suministro (potencia y energía) son pactadas con el distribuidor o cualquier otro suministrador (comercializador). No tiene tarifa máxima. Solamente se le define un pago máximo por el uso de la red, denominado Peaje en Función de Transportista

Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica, República de Guatemala.

Según la tabla V la instalación de Importadora Los Alpes se encuentra en categoría B, por lo que el costo por cada Kilowatt-hora es de Q 1,713949 Q/kw-h.

### **2.3. Características del edificio**

Para determinar si la planta de producción satisface los requerimientos del proceso y del equipo es necesario evaluar las condiciones a las que esta se encuentra actualmente.

#### **2.3.1. Tipo de edificio industrial**

Con base a la evaluación física de las instalaciones se puede determinar a la categoría de edificio a la que la planta de Importadora Los Alpes pertenece.

**Figura 31. Vista de cimentación del suelo**



Fuente: área de Producción.

La cimentación del suelo es de concreto, permitiendo la estabilidad al equipo a instalar.

Figura 32. **Vista de techo de la planta**



Fuente: área de Producción.

El techo de la planta está conformado por láminas galvanizadas, que permiten la impermeabilidad ante las condiciones del ambiente. Las láminas están sujetas a una estructura metálica de modo que forman un entramado estable.

Con la evaluación se determina que el tipo de planta está asignada de segunda categoría, siendo este apto para las actividades de producción a la que los equipos estarán sujetas. En este tipo de construcciones predomina el acero estructural con una combinación de concreto armado.

### **2.3.2. Dimensiones de la planta**

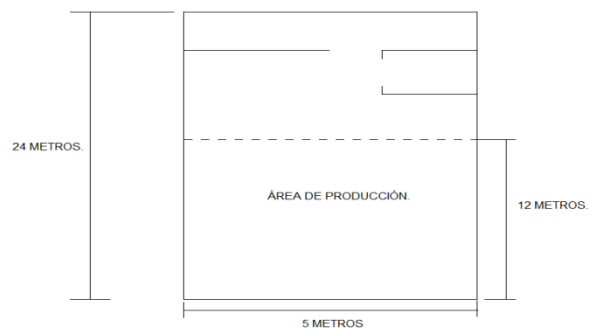
El conocer las dimensiones de la planta permite determinar si el espacio disponible es el óptimo para la instalación de distintas posiciones de los equipos.



### 2.3.2.1. Plano planta de Producción

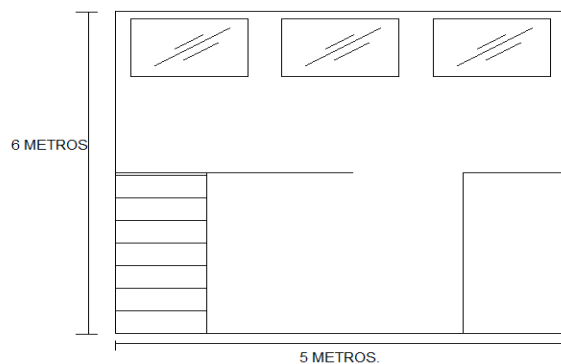
Con el plano de la planta de producción es posible visualizar desde diferentes posiciones el área de producción.

Figura 33. **Vista de planta de área de Producción**



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2D versión 19.0.

Figura 34. **Vista de elevación de planta de producción**



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2D versión 19.0.

### 2.3.3. Iluminación

La iluminación natural es la encargada de suministrar luz en al área de Producción, debido a esto no se tiene instalada ninguna fuente de iluminación artificial en dicha área. En la tabla VI se establece la intensidad de luz bajo diversas situaciones.

Tabla VI. **Intensidad de luz diurna bajo diversas condiciones**

ILUMINACIÓN	CONDICIÓN
120 000 LUX	Luz diurna más brillante
110 000 LUX	Luz diurna brillante
20 000 LUX	Sombra iluminada por un cielo completamente azul, al mediodía.
10 000 – 25 000 LUX	Típico día nublado al medio día
< 200 LUX	Extremo de las más oscuras nubes tempestuosas y al mediodía.
400 LUX	Ocaso en un día claro
40 LUX	Completamente nublado en el ocaso
< 1 LUX	Extremo de las más oscuras nubes tempestuosas en el ocaso.

Fuente: BUNNING, Erwin. *Interferencia del claro de luna con la medición fotoperiódica del tiempo.* p. 135.

Para saber si la iluminación en el área de Producción es la requerida se necesitan conocer los parámetros para evaluar las condiciones en la planta.

Tabla VII. **Niveles recomendados de iluminación en diferentes industrias**

TIPO DE INDUSTRIA	ILUMINACIÓN NECESARIA
Industrias de alta precisión, área de producción	1 000 a 5 000 LUX
Industrias de precisión, área de producción	600 a 2000 LUX
Industrias ordinarias, área de producción	300 a 800 LUX
Industrias bastas, área de producción	200 a 600 LUX
Talleres de montaje de piezas pequeñas	500 a 1 200 LUX
Talleres de montaje de piezas medianas	350 a 1 000 LUX
Trabajos muy finos en banco o máquina	1 000 a 3 000 LUX
Depósitos y almacenes	50 a 400 LUX
Embalaje	100 a 400 LUX
Cámaras frigoríficas	100 a 250 LUX

Fuente: LEDBOX. *Nature power light: Manual*. p. 12.

Por la magnitud del trabajo realizado en Importadora Los Alpes la industria se puede categorizar como Industria de precisión, que según con la tabla VII, se concluye que la luz natural cumple con los requerimientos necesarios para llevar a cabo la tarea necesaria.

#### **2.3.4. Ventilación**

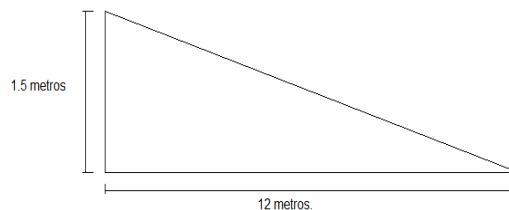
La ventilación que se presenta en las instalaciones es de origen natural, está entra al edificio a través del área presentada, entre el techo y las paredes, en ambos lado de las instalaciones.

Figura 35. **Vista de entrada de aire en área de Producción**



Fuente: área de Producción.

Figura 36. **Detalle de ventana para entrada de aire**



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2D versión 19.0.

La ventilación natural se mide por el número de veces que cambia el volumen del aire por hora del edificio. Este número de renovaciones de aire por hora está en función de la cantidad de personas que se encuentran en el edificio, del tipo de maquinaria y de las operaciones de proceso.

Tabla VIII. **Volumen necesario de aire por persona/hora/m<sup>3</sup>**

Hospitales, salas generales	60
Hospitales, salas heridos	100
Hospitales, salas enfermedades	150
Talleres	60
Industrias insalubres	100
Teatros y salas de reunión	50
Escuela de niños	15
Escuela de adultos	30
Estancias ordinarias	10

Fuente: TORRES, Sergio. *Ingeniería de plantas*. p. 54.

Tabla IX. **Renovación de aire en número de veces/hora**

Habitaciones ordinarias	1
Dormitorios	2
Hospitales, enfermedades comunes	3 a 4
Hospitales, enfermedades epidémicas	5 a 6
Talleres	3 a 4
Teatros	3 a 4

Fuente: TORRES, Sergio. *Ingeniería de plantas*. p. 54.

La cantidad de aire que entra en un edificio se determina a través de la fórmula:

$$Q = C \cdot A \cdot V$$

En la tabla X se presentan los valores de C para diferentes características de la entrada del aire.

Tabla X. **Valor de C para dirección del aire**

C	CARACTERÍSTICAS
0,25 – 0,35	Cuando el aire actúa longitudinalmente.
0,30 – 0,50	Cuando el aire actúa perpendicularmente.

Fuente: TORRES, Sergio. *Ingeniería de plantas*. p. 55.

Conocido el volumen de aire a renovar, se calcula el valor caudal del aire para una buena ventilación.

$$Ca = Vol \cdot No/hora$$

Según el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (Insivumeh), la velocidad promedio que alcanza el aire en la ciudad de Guatemala comprende entre 40 a 60 km/hora.

Para determinar si la ventilación del edificio cumple con los requerimientos necesarios se calcula el valor del número de aire necesario por persona, a este valor se compara si está en el rango permisible de la tabla VIII.

Debido a que no se conoce con exactitud si la dirección del aire en longitudinal o perpendicular al edificio se evaluará en ambas situaciones.

#### **2.3.4.1. Dirección del aire longitudinal**

Para saber si en la planta se cumplen con los requerimientos se calcula el valor del área ideal de las ventanas, para compararlas con los valores reales del espacio de ventilación instalado, para esto se asume el valor de la velocidad del viento de 40 km/hora (40 000 m/hora).

Para encontrar el valor del volumen total de aire que se desea evacuar del edificio se necesita encontrar el volumen del edificio.

$$\text{Volumen edificio} = (24 \text{ m} * 5 \text{ m} * 6 \text{ m})$$

$$\text{Volumen edificio} = 720,00 \text{ m}^3$$

Según la tabla IX, la cantidad de veces que debe evacuar el aire en un ambiente, que en este caso se considera un taller, se debe evacuar de 3 a 4 veces el contenido total de aire por hora.

$$\text{Volumen de aire a renovar} = 720,00 \text{ m}^3 * 4 = 2 880 \text{ m}^3$$

Igualando con la fórmula de caudal.

$$2 880 \text{ m}^3 = C * A * V$$

Despejando para A

$$A = 2 880 \text{ m}^3 / C * V$$

$$A = 2\,880 \text{ m}^3 / (0,35 * 40\,000 \text{ m/hora})$$

$$A = 0,206 \text{ m}^2$$

El valor real del área de ventilación está definido por

$$A_{\text{real}} = (1/2 * 1,5 \text{ metros} * 12 \text{ metros}) * 2$$

$$A_{\text{real}} = 18 \text{ m}^2$$

Se multiplicó por dos el valor del área debido a ambos lados del edificio tienen la a abertura de ventilación.

#### **2.3.4.2. Dirección del aire perpendicular**

Utilizando el volumen encontrado que es de:

$$\text{Volumen edificio} = 720,00 \text{ metros cúbicos}$$

$$\text{Volumen de aire a renovar} = 720,00 \text{ m}^3 * 4 = 2\,880 \text{ m}^3.$$

Igualando con la fórmula de caudal.

$$2\,880 \text{ m}^3 = C * A * V$$

Despejando para A

$$A = 2\,880 \text{ m}^3 / C * V$$

$$A = 2\,880 \text{ m}^3 / (0,50 * 40\,000 \text{ m/hora})$$

$$A = 0,144 \text{ m}^2$$



El valor real del área de ventilación está definido por

$$A_{\text{real}} = (1/2 * 1,5 \text{ m} * 12) * 2$$
$$A_{\text{real}} = 18 \text{ metros cuadrados.}$$

Se multiplicó por dos el valor del área debido a ambos lados del edificio tienen la a abertura de ventilación.

En ambos casos cuando la dirección del aire, ya sea longitudinal o perpendicular, la renovación del volumen del aire se cumple de una manera satisfactoria dejando las áreas ya establecidas óptimas para realizar el trabajo manteniendo un ambiente con la calidad necesaria.

### **2.3.5. Cimentación del suelo**

El diseño de la cimentación para los equipos de Importadora Los Alpes, consiste en el análisis detallado del suelo considerando las cargas estáticas y dinámicas a las que este está sometido, evaluando los resultados con los parámetros que garantizan la eficiencia y seguridad que poseen cualquier conjunto estructural.

Conociendo las especificaciones de los equipos se puede determinar el área óptima que necesita la cimentación de cada equipo, con el fin de comprobar si las dimensiones de la planta son las adecuadas para el montaje de estas.

En la tabla XI se presentan diferentes valores de diseño que se recomiendan del coeficiente de compresión elástica en distintos tipos de suelo, esto con el fin de determinar si la cimentación es la óptima para llevar a cabo el

montaje. Según la tabla XII se presentan los valores del coeficiente de compresión elástico no uniforme para diferentes tipos de suelo.

**Tabla XI. Valores de diseño recomendables del coeficiente de compresión elástica uniforme y de cargas permisibles en suelos bajo acción de cargas estáticas**

CATEGORÍA DE SUELO	GRUPO DE SUELOS	CARGA PERMISIBLE (kg/m <sup>2</sup> )	COEFICIENTE DE COMPRESIÓN ELÁSTICA UNIFORME CU (kg/m <sup>3</sup> )
I	Suelos poco resistentes (arcillas fangosas), barro y arena fangosa.	0 – 1,5	0 - 3,0
II	Suelos de resistencia media (arcillas fangosas con arena, cerca del límite plástico, arenas.	1,5 – 3,5	3,0 – 5,0
III	Suelos fuertes (arcillas fangosas con arena, de consistencia dura y arena gravosa.	3,5 – 5,0	5,0 – 10,0

Continuación de la tabla XI.

IV	Roca	Mayor de 5,0	Mayor de 10,0
----	------	--------------	---------------

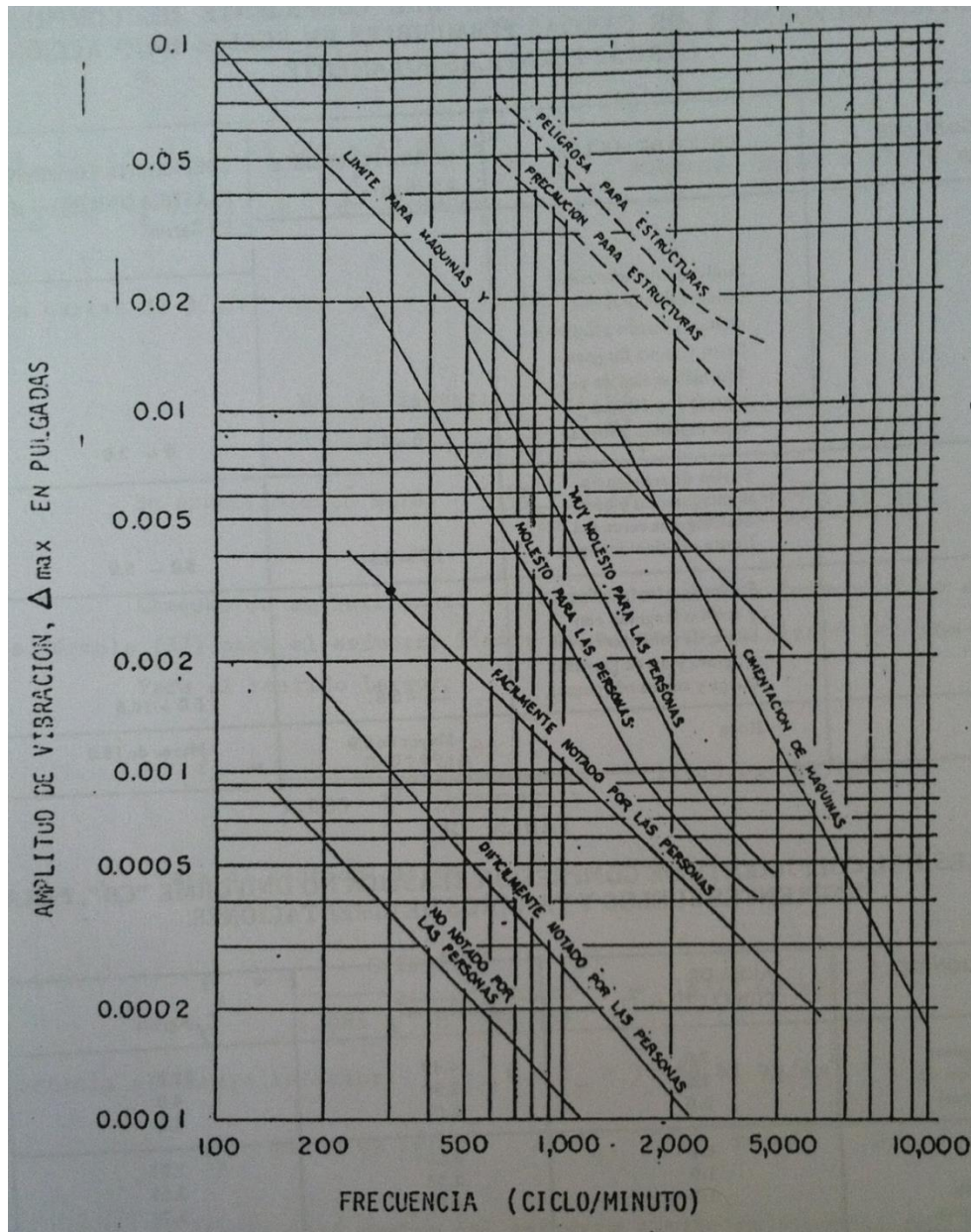
Fuente: PERALTA, Fredy. *Material de apoyo del curso montaje y mantenimiento de equipo.* p. 165.

Tabla XII. **Valores del coeficiente de compresión elástico no uniforme “ $C_{\phi}$ ”, para diferentes suelos y tamaños de cimentaciones**

Descripción del suelo	Área de contacto(m <sup>2</sup> )	CU (kg/m <sup>3</sup> )	C $\phi$ (kg/m <sup>3</sup> )
Arcillas fangosas con contenido de arena (oscuras).	2,0	4,40	12,0
	4,0	2,50	4,0
	8,0	2,05	3,0
Arcillas fangosas con contenido de arena (grises).	0,5	3,50	3,55
	1,0	2,52	3,61
	1,5	2,11	3,79
Marga natural con contenido de humedad.	0,81	14,20	25,0
	1,40	10,80	17,6
	2,0	10,20	15,5
	4,0	8,0	12,9
Arenas fangosas	4,0	7,5	14,5
	8,0	5,6	9,5
	13,0	4,0	9,2

Fuente: PERALTA, Fredy. *Material de apoyo del curso montaje y mantenimiento de equipo.* p. 166.

Figura 37. Amplitudes permisibles de vibración vertical para frecuencias de vibración determinadas



Fuente: PERALTA, Fredy. *Material de apoyo del curso montaje y mantenimiento de equipo.* p. 180.

La fuerza generada por el movimiento del motor provoca inestabilidad en el equipo. Ya que el rotor gira alrededor del eje con una velocidad angular constante sobre cada masa elemental, estará aplicada una fuerza de inercia y esta fuerza producirá un momento en el centro de masa.

Estas fuerzas se denominan fuerzas de inercia centrífugas o fuerzas de balanceo. La magnitud para una masa, alejada del eje de giro una distancia, se calcula mediante la fórmula:

La cantidad de desbalance está definida por:

$$U = wr$$

El valor de la fuerza de balanceo se estima:

$$F_b = 1,77 * U * (\text{rpm}/1\ 000)^2$$

### **2.3.5.1. Cimentación para criba rotativa de clasificación inicial**

Para conocer si la cimentación del suelo es la indicada para soportar a los equipos mientras estos se encuentran realizando el proceso de producción, es necesario comparar sus condiciones con valores establecidos.

El equipo se encuentra sobre una superficie elástica, este material aislantes elástico cuenta con un espesor de 2 centímetros (0,02 metros) y está fabricado de material de caucho con un módulo de elasticidad  $E = 4\ 000\ \text{ton/m}^2$ .

Figura 38. **Vista de elementos de material elástico**



Fuente: área de Producción.

El coeficiente de compresión para un choque perfectamente inelástico es  $K=0,5$ .

El coeficiente de tensión para un esfuerzo dinámico sin interrupción está definido por  $\psi = 3$ .

Conociendo que el suelo está fabricado con concreto se pueden encontrar los valores de carga que se necesitan.

Peso específico del concreto:	2,65 ton/m <sup>3</sup>
Espesor de cimentación:	0,17 metros
Fs de la arena saturada:	15 ton/ m <sup>2</sup>
F's concreto:	281 kg/cm <sup>2</sup>
Fy concreto:	2812kg/c m <sup>2</sup>

Del capítulo 1 se conocen las especificaciones del equipo por lo que la fuerza de balanceo está definido por:

$$F_b = 1,77 * (0,5 \text{ ton} * 0,5 \text{ m}) * (760,87 \text{ rpm} / 1000)^2$$

$$F_b = 0,2562 \text{ ton}$$

Para la velocidad operacional anterior y vibraciones molestas para las personas de la figura 37 se determina.

$$\Delta\phi \text{ max} = 0,01 \text{ pulgadas} = 0,000254 \text{ m}$$

Para estimar el peso del cimiento se multiplica el peso de la maquinaria por un factor de seguridad.

$$\text{Peso de cimiento} = 1,5 * 0,5 \text{ ton} = 0,75 \text{ ton}$$

Con el área conocida del equipo que es 3,3 metros cuadrados, este valor de área se adopta como 4 m<sup>2</sup>, se evalúa con los datos de la tabla XII sabiendo que la estructura del suelo se considera como marga natural.

$$C_\phi = 12,9 \text{ kg/cm}^2$$

Se calcula frecuencia natural circular no amortiguada del cimiento:

$$F_{n\phi}^2 = \frac{12,9 * 10^6 * \left(\frac{3 * 1,10^3}{12}\right)}{\frac{0,5 * 1000 * (3^2 + 1,10^2)}{9,81 * 12}} = 98\,983,38 \text{ seg}^{-2}$$

La altura a la que está aplicada la fuerza de balance es:

$$H = (\text{espesor de la cimentación} + \text{altura de equipo})$$

$$H = 0,17 + 2,10 \text{ m} = 2,27 \text{ m}$$

El momento provocado sobre el cimientto es:

$$M = 0,2562 \text{ ton} * 1\ 000 * 2,27 \text{ metros} = 581,574 \text{ kg-m}$$

Calculando la amplitud de vibración:

$$A_{\phi} = \frac{\frac{3}{2} * (581,574)}{4,2474 (3^2 + 1,10^2) * (98983,38 - 79,68)} = 0,00020 \text{ m}$$

Evaluando el valor de la amplitud de vibración con  $\Delta\phi$  max se denota.

$$\text{Amplitud de la vibración} < \Delta\phi \text{ max}$$

$$0,00020 \text{ metros} < 0,000254 \text{ metros}$$

Con este resultado se observa que las vibraciones transmitidas del equipo hacia la cimentación están entre los rangos permitidos de la amplitud de vibración.

### **2.3.5.2. Cimentación para tolva de premolido y molido final**

Para el análisis de la cimentación las dimensiones contemplan los dos equipos que conforman la estación de 2, ya que sus componentes y especificaciones son semejantes.



Del capítulo 1 se conocen las especificaciones del equipo por lo que la fuerza de balanceo está definida por:

$$F_b = 1,77 * (1 \text{ ton} * 0,14 \text{ m}) * (1 \ 221,43 \text{ rpm} / 1 \ 000)^2 = 0,3697 \text{ ton}$$

Para la velocidad operacional anterior y vibraciones molestas para las personas de la figura 37 se determina:

$$\Delta\phi \text{ max} = 0,01 \text{ pulgadas} = 0,000254 \text{ m}$$

Para estimar el peso del cimiento se multiplica el peso de la maquinaria por un factor de seguridad.

$$\text{Peso de cimiento} = 1,5 * 1 \text{ ton} = 1,5 \text{ ton}$$

Con el área conocida del equipo que es 3,78 m<sup>2</sup>, este valor de área se adopta como 4 metros cuadrados, se evalúa con los datos de la tabla XII sabiendo que la estructura del suelo se considera como marga natural.

$$C_\phi = 12,9 \text{ kg/cm}^2$$

Se calcula frecuencia natural circular no amortiguada del cimiento:

$$F_{n\phi}^2 = \frac{12,9 * 10^6 * \left(\frac{5,4 * 0,7^3}{12}\right)}{\frac{1 * 1 \ 000 * (5,4^2 + 0,70^2)}{9,81 * 12}} = 94 \ 864,37 \text{ seg}^{-2}$$

La altura la que esta aplicada la fuerza de balance es:

$$H = (\text{espesor de la cimentación} + \text{altura de equipo})$$

$$H = 0,17 + 2,25 \text{ metros} = 2,42 \text{ metros}$$

El momento provocado sobre el cimiento es:

$$M = 0,3697 \text{ ton} * 1\ 000 * 2,42 \text{ metros} = 894,67 \text{ kg-m}$$

Calculando la amplitud de vibración:

$$A_{\phi} = \frac{\frac{5,4}{2} * (894,67)}{4,2474 (5,4^2 + 0,7^2) * (94\ 864,37 - 127,90)} = 0,0002024 \text{ metros}$$

Evaluando el valor de la amplitud de vibración con  $\Delta\phi$  max se denota:

$$\begin{aligned} \text{Amplitud de la vibración} &< \Delta\phi \text{ max} \\ 0,0002024 \text{ metros} &< 0,000254 \text{ metros} \end{aligned}$$

Con este resultado se observa que las vibraciones transmitidas del equipo hacia la cimentación están entre los rangos permitidos de la amplitud de vibración.

### **2.3.5.3. Cimentación para criba rotativa de selección final**

Del capítulo 1 se conocen las especificaciones del equipo por lo que la fuerza de balanceo está definido por:

$$F = 1,77 * (0,5 \text{ ton} * 0,5 \text{ m}) * (431,25 \text{ rpm} / 1\ 000)^2$$

$$F = 0,08230 \text{ ton}$$

Para la velocidad operacional anterior y vibraciones muy molestas para las personas de la figura 35 se determina:

$$\Delta\phi \text{ max} = 0,015 \text{ pulg} = 0,000381 \text{ m}$$

Para estimar el peso del cimientto se multiplica el peso de la maquinaria por un factor de seguridad.

$$\text{Peso de cimientto} = 1,5 * 0,5 \text{ ton} = 0,75 \text{ ton}$$

Con el área conocida del equipo que es 4,935 m<sup>2</sup>, este valor de área se adopta como 4 metros cuadrados, se evalúa con los datos de la tabla XII sabiendo que la estructura del suelo se considera como marga natural.

$$C_{\phi} = 12,9 \text{ kg/cm}^2$$

Se calcula frecuencia natural circular no amortiguada del cimientto:

$$F_{n\phi}^2 = \frac{12,9 * 10^6 * \left(\frac{4,70 * 1,05^3}{12}\right)}{\frac{0,5 * 1\ 000 * (4,7^2 + 1,05^2)}{9,81 * 12}} = 59\ 375,45 \text{ seg}^{-2}$$

La altura a la que está aplicada la fuerza de balance es:

$$H = (\text{espesor de la cimentación} + \text{altura de equipo})$$

$$H = 0,17 + 2,10 \text{ metros} = 2,27 \text{ metros}$$

El momento provocado sobre el cimientto es:

$$M = 0,08230 \text{ ton} * 1\ 000 * 2,27 \text{ metros} = 186,821 \text{ kg-m}$$

Calculando la amplitud de vibración:

$$A_{\phi} = \frac{\frac{4,70}{2} * (186,821)}{4,2474 (4,70^2 + 1,05^2) * (59\ 375,45 - 45,16)} = 0,000075 \text{ metros}$$

Evaluando el valor de la amplitud de vibración con  $\Delta\phi$  max:

$$\begin{aligned} &\text{Amplitud de la vibración} < \Delta\phi \text{ max} \\ &0,000075 \text{ metros} < 0,00038 \text{ metros} \end{aligned}$$

Con este resultado se observa que las vibraciones transmitidas del equipo hacia la cimentación están entre los rangos permitidos de la amplitud de vibración.

#### **2.4. Mejoras**

Las condiciones de iluminación dentro de las instalaciones de Importadora Los Alpes son las adecuadas para llevar a cabo la producción cuando esta se lleva a cabo de día, por lo que ante una situación que se tenga que producir durante la noche no cuenta con fuentes artificiales que proporcionen claridad a los puestos de trabajo.

Debido a esto se proyecta un sistema de alumbrado por medio del método de lúmenes, proponiendo la distribución adecuada de la fuente de iluminación conociendo los tipos de luminarias que se recomiendan en la industria. El tipo de luminarias que se proponen son del código TBS 912 – C1 (2 TLDRS 32 W) con código comercial TLDRS 32 W - CO - 25, debido a que son las más utilizadas en la industria.

Para la selección de luminaria depende de la altura mínima a la que esta se instalará. Esto se visualiza en la tabla XIII.

Tabla XIII. **Tipos de luminaria**

ALTURA DEL EDIFICIO	TIPO DE LUMINARIA
Altura hasta 4 metros	Luminaria extensiva
Altura entre 4 y 6 metros	Semiextensiva
Altura entre 6 y 10 metros	Semintensiva
Altura mayor a 10 metros	Intensiva

Fuente: TORRES, Sergio. *Ingeniería de plantas*. p. 150.

Tabla XIV. **Altura de las luminarias sobre el plano de trabajo**

Altura mínima	2/3 h
Altura Aconsejable	3/4 h
Altura óptima	4/5 h

Fuente: TORRES, Sergio. *Ingeniería de plantas*. p. 150.

Tabla XV. **Factores de depreciación**

AMBIENTE	PERÍODO DE MANTENIMIENTO		
	2 500 Hrs	5 000 Hrs	7 500 Hrs
Limpio	0,95	0,91	0,88
Normal	0,91	0,85	0,80
Sucio	0,80	0,68	0,57

Fuente: TORRES, Sergio. *Ingeniería de plantas*. p. 150.

El índice de local K depende de las dimensiones del edificio a ser iluminado y puede ser determinado a través de las ecuaciones:

Para luminarias predominantemente directas.

$$K = a*b / h*(a + b)$$

Para luminarias predominantemente indirectas.

$$K = 3*a*b / 2*h*(a + b)$$

Tabla XVI. **Factores de reflexión de superficies**

SUPERFICIE	COLOR	FACTOR DE REFLEXIÓN
Techo	Blanco	0,7
	Claro	0,5
	Medio	0,3
Paredes	Claro	0,5
	Medio	0,3
	Oscuro	0,1
Piso	Claro	0,3
	Oscuro	0,1

Fuente: TORRES, Sergio. *Ingeniería de plantas*. p. 150.

Tabla XVII. **Reflectancia de colores y materiales**

COLORES	REFLECTANCIA	MATERIALES	REFLECTANCIA
Blanco	0,70 – 0,85	Mortero	0,30 – 0,55
Amarillo	0,50 – 0,75	Hormigón	0,25 – 0,50
Azul	0,40 – 0,55	Ladrillo	0,15 – 0,40
Verde	0,45 – 0,65	Mármol blanco	0,60 – 0,70
Rojo	0,30 – 0,50	Granito	0,15 – 0,25
Marrón	0,30 – 0,40	Madera	0,25 – 0,50
Gris Oscuro	0,10 – 0,20	Espejos	0,80 – 0,90
Negro	0,03 – 0,07	Acero pulido	0,50 – 0,65

Fuente: TORRES, Sergio. *Ingeniería de plantas*. p. 151.

Tabla XVIII. **Factores de utilización**

ÍNDICE DEL LOCAL K	FACTOR DE UTILIZACIÓN								
	FACTOR DE REFLEXIÓN DEL TECHO								
	0,7			0,5			0,3		
	FACTOR DE REFLEXIÓN DE PAREDES								
	0,5	0,3	0,1	0,5	0,3	0,1	0,5	0,3	0,1
1	0,28	0,22	0,16	0,25	0,22	0,15	0,26	0,22	0,16
1,2	0,31	0,27	0,20	0,30	0,27	0,20	0,30	0,27	0,20
1,5	0,39	0,33	0,26	0,36	0,33	0,25	0,36	0,33	0,26
2,0	0,45	0,40	0,35	0,44	0,40	0,35	0,44	0,40	0,35
2,5	0,52	0,46	0,41	0,49	0,46	0,41	0,49	0,46	0,41

Fuente: TORRES, Sergio. *Ingeniería de plantas*. p. 150.

Conociendo estos valores y las medidas del área de Producción, se puede determinar la cantidad óptima de luminarias que se requieren:

El flujo luminoso requerido se puede deducir en la tabla VII asignando el edificio al tipo de industria ordinaria, área de Producción con un valor de 800 lux.

El área a iluminar está definida:

$$A = 12 \text{ metros} * 5 \text{ metros} = 60 \text{ m}^2$$

De la tabla XV se obtiene para un ambiente normal con un período de mantenimiento de 7 500 horas, un factor de depreciación de 0,80.

Para encontrar el valor del índice de local  $K_l$ :

$$K = (5 * 12) / 6 * (5 + 12) = 0,5882$$

El factor de reflexión para las superficies se obtiene de la tabla XVI dependiendo del color del techo, pared y piso.

Techo claro            Factor: 0,5

Pared claro            Factor: 0,3

Piso claro              Factor: 0,1



Figura 39. Factores de utilización de Phillips

ρ cielo	80%			50%			80%			50%			30%		
ρ pared	80%	50%	30%	50%	30%	80%	50%	30%	50%	30%	80%	50%	30%	50%	30%
ρ piso	30%						10%								
<b>K</b>	<i>Luminaria de distribución Semi-directa e Intensiva</i>														
0,60	51	30	22	26	21	48	29	23	26	21	20				
0,80	62	36	29	34	27	58	35	30	33	27	26				
1,00	70	43	35	39	32	64	41	35	38	31	30				
1,25	76	50	41	44	37	70	48	40	43	36	34				
1,50	82	56	47	48	42	74	54	45	47	40	37				
2,00	90	65	56	55	48	79	61	54	53	47	42				
2,50	95	72	62	60	53	83	67	60	57	51	46				
3,00	99	77	68	64	57	85	71	65	60	55	50				
4,00	104	86	77	70	63	87	76	71	65	60	55				
5,00	107	91	84	73	67	90	80	75	68	64	58				

Fuente: Distribuidora Phillips Guatemala.

De la figura 39 se obtiene el valor de  $K_l = 0,29$

Para encontrar el valor del flujo requerido ( $\Phi$ )

$$\Phi = \frac{800 \cdot 60}{0,80 \cdot 0,29} = 206\,896,55 \text{ Lúmenes}$$

El cálculo del número de luminarias se desarrolla de la siguiente manera:

$$N = \frac{206\,896,55}{2 \cdot 2350} = 44,02 \text{ luminarias}$$

El número de luminarias se redondea a 45 para mantener la simetría de la superficie a iluminar.

La distribución de luminarias se denota como:

$$N_{\text{ancho}} = \sqrt{\frac{N_{\text{total}}}{\text{largo}}} \cdot \text{ancho} = \sqrt{\frac{45}{12}} \cdot 5 = 4,33 = 5 \text{ luminarias}$$

$$N_{\text{largo}} = \left(\frac{45}{5}\right) = 9 \text{ luminarias}$$

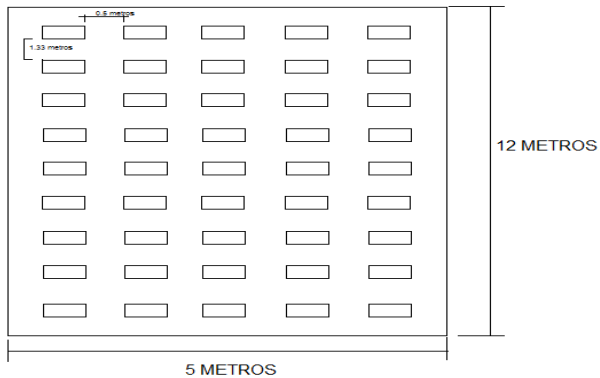
La distancia entre las luminarias queda definido como:

$$\text{Distancia horizontal} = \frac{12}{9} = 1,33 \text{ m}$$

$$\text{Distancia vertical} = \frac{5}{5} = 1 \text{ m}$$

El esquema final para la distribución de las luminarias se encuentra denotado en la figura 40.

Figura 40. **Vista de distribución de luminarias**



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2D versión 19.0.



### **3. DISTRIBUCIÓN ÓPTIMA DE LA MAQUINARIA**

Para encontrar una óptima distribución de equipo que se adecue al sistema de producción que presentan las diferentes estaciones de trabajo, es necesario establecer los requerimientos indispensables que cada opción requiere, para así seleccionar el método en el cual se basará la instalación final de la línea de producción.

#### **3.1. Análisis de los distintos métodos de distribución de planta**

En la evaluación de los distintos métodos para la ubicación de maquinaria se presentan las diferentes condiciones a la que determinado procedimiento se sujeta.

##### **3.1.1. Método de distribución por posición fija**

Este método es adoptado cuando el producto es demasiado grande por lo que no es posible movilizarlo a través del área de Producción, por lo que todo el movimiento de equipo se desplaza alrededor de este.

Con esta definición este método es descartado debido a que las maquinarias que componen las líneas de producción de caucho se mantiene estático y la transformación que sufre el producto se da de estación en estación, siendo este el que se traslada en la planta.

### **3.1.2. Método de distribución por proceso**

El método de distribución por proceso se escoge cuando la producción se da por lotes y el producto debe ser trasladado a los diferentes departamentos que se encuentran en la planta de producción, siguiendo un orden de operaciones necesarias, este método es ventajoso cuando se da una variedad de productos.

En Importadora Los Alpes el producto de caucho a procesar es de un solo tipo, por lo que todas las estaciones relacionadas se encuentran una sola área y la alteración del producto se ve únicamente detallada en esta.

### **3.1.3. Método de distribución por producto**

Este modelo se utiliza cuando todo el equipo involucrado en la transformación del producto se encuentra en una misma área y este se ordena según la secuencia de operaciones determinadas para finalizar el proceso, es decir que se tiene una sucesión clara de procedimientos designadas para cada estación de trabajo.

Debido a que el proceso de transformación de caucho no es muy complejo, ya que se efectúa en un total de tres estaciones de trabajo; este método se puede aplicar buscando optimizar el espacio determinando una estrategia de flujo de línea apta para producción continua o intermitente.

### **3.1.4. Método SLP**

Método racional de distribución de planta (SLP) es un grupo de etapas que permiten analizar sistemáticamente el desarrollo del ordenamiento del equipo

en el área de Producción, basándose en las cantidades producidas en cada estación de trabajo.

De igual manera que el método de distribución por producto, este modelo se aplica a las especificaciones presentadas por los equipos que componen la línea de producción de caucho mostrando a detalle los factores determinantes del proceso.

### **3.2. Selección de ubicación óptima de maquinaria**

El sistema a aplicar para conocer la distribución adecuada de la maquinaria es el procedimiento dictado por el método SLP, siguiendo los pasos que este dicta.

#### **3.2.1. Análisis de productos-cantidades**

Según datos proporcionados por la administración se conoce la demanda mensual del producto final que es de 250 quintales convirtiendo a kilogramos:

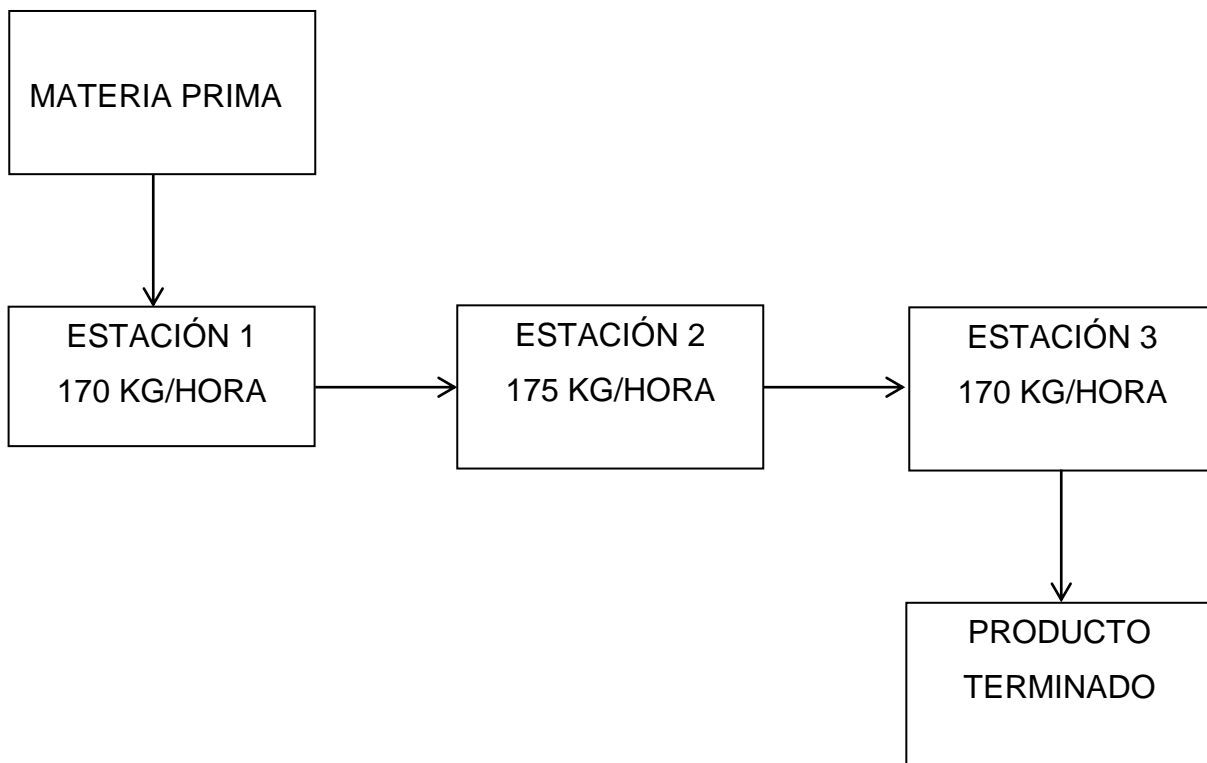
$$250 \text{ qq} * \frac{100 \text{ lb}}{1 \text{ qq}} * \frac{1 \text{ kg}}{2,2 \text{ lb}} = 11 \ 363,63 \text{ kg/mes}$$

De las especificaciones de los equipos se determina que el ritmo de producción es de 170 kg/hora, esto debido a que es el ritmo de la estación más lenta condicionando la regularidad de sistema.

### 3.2.2. Definición del proceso productivo

La secuencia del proceso consta de sus diferentes transformaciones a través de las tres estaciones de trabajo que se ven detallados en la figura 41.

Figura 41. Esquema de recorrido del producto



Fuente: elaboración propia.

Cabe destacar que durante el proceso en cada estación no se introducen ni se extraen elementos al producto, por lo que lo procesado en cada fase es lo que se transforman a la siguiente hasta obtener el producto terminado.

### 3.2.3. Factor humano

Los valores máximos de carga que puede soportar un operario en condiciones de trabajo se denotan en la tabla XIX.

Tabla XIX. Valores máximos de carga

CONDICIÓN	PESO (KG)
General	25 kg
Mayor protección	15 kg
Trabajadores entrenados	40 kg

Fuente: Universidad de Málaga, Áreas de seguridad, higiene y ergonomía. *Documentos de la Asociación para la prevención de accidentes*. p. 23.

Según datos proporcionados por los propietarios, de quienes se adquirió la maquinaria, el tiempo que les toma a los operarios en promedio en movilizarse 1 metro son 4 segundos para depositar los 25 kilogramos de materia prima que son recomendados en la siguiente estación, por lo que trasladarse un metro conlleva un tiempo de 0,25 segundos.

### 3.2.4. Cálculo de superficies y definición de necesidades de máquinas

El área requerida por los equipos es determinada a través del cálculo de área física que estos ocupan, multiplicado por un coeficiente de seguridad  $C_s$ , este valor varía según lo realizado dentro de las instalaciones.

Si en el espacio solamente transitan personas el valor de  $C_s$  es 1,3.



Si se necesitan carretillas el valor de  $C_s$  es 1,8.

En el caso de Importadora Los Alpes solamente las personas recorren las instalaciones del área de Producción, por lo que conociendo las áreas de los equipos en el capítulo 1, la superficie calculada se determina por la tabla XX.

Tabla XX. **Cálculo de superficie requerida por maquinaria**

MAQUINARIA	ÁREA	FACTOR	SUPERFICIE REQUERIDA
Criba rotativa de selección inicial	3,3 m <sup>2</sup>	1,3	4,29 m <sup>2</sup>
Tolva de premolido y molido final	3,78 m <sup>2</sup>	1,3	4,90 m <sup>2</sup>
Criba rotativa de clasificación final	4,94 m <sup>2</sup>	1,3	6,42 m <sup>2</sup>
		Σ Áreas	15,61 m <sup>2</sup>

Fuente: elaboración propia.

El espacio con el que cuenta el área de Producción se determina:

$$12 \text{ m} * 5 \text{ m} = 60 \text{ m}^2$$

Al comparar el área disponible con el área requerida, se nota que el espacio es suficiente para organizar las diferentes posiciones en las que se estudiará la distribución de planta.

### **3.2.5. Selección de ubicación óptima de maquinaria**

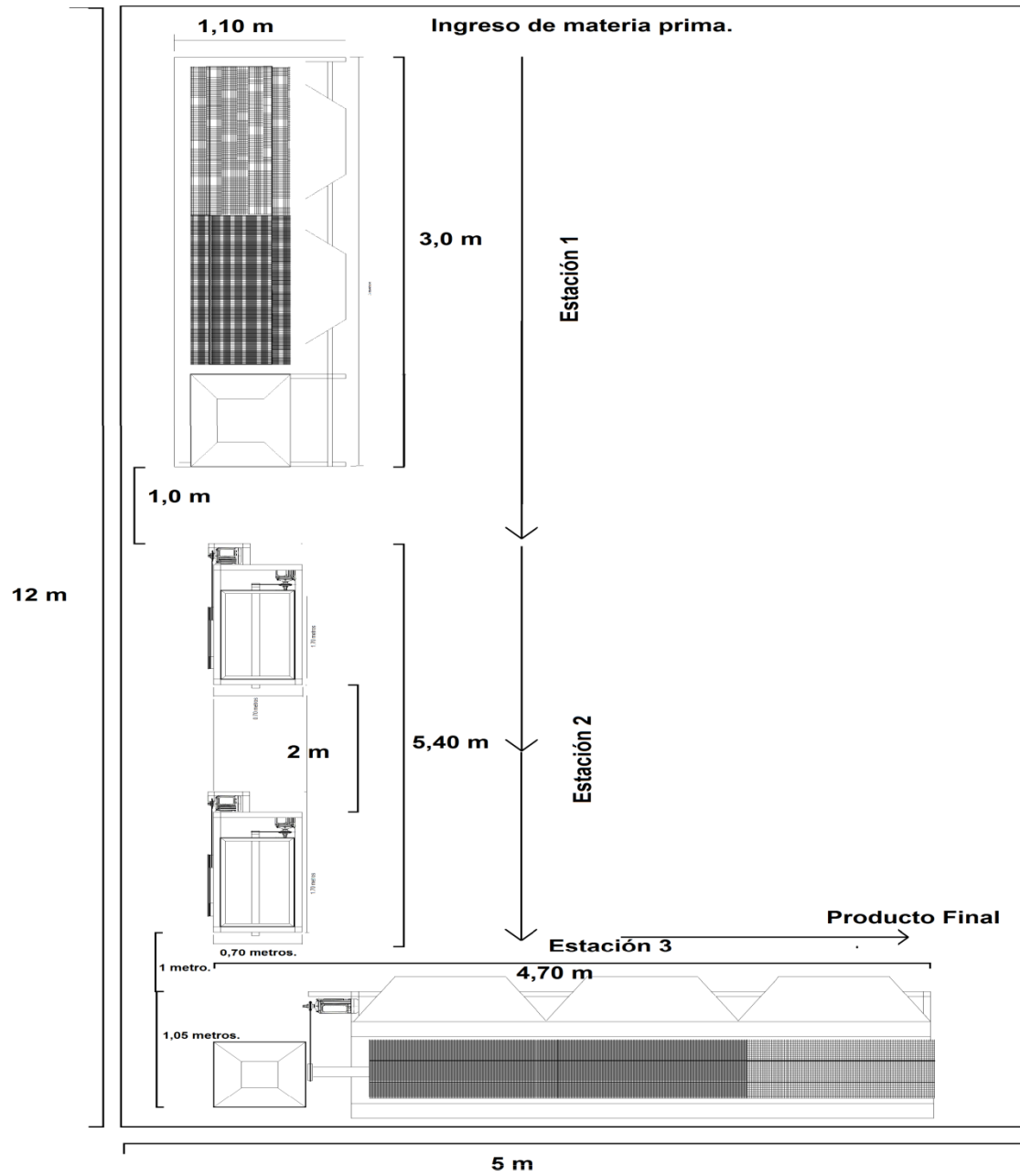
Para seleccionar la opción óptima se toma como base las distribuciones supuestas en posiciones recomendadas, tomando como factor de selección la eficiencia del ritmo de línea.

Según Muther, la secuencia de la producción puede adoptar las formas L, U o S. En cualquier caso se utiliza como punto de inicio la estación 1.

#### **3.2.5.1. Evaluación de distribución en posición L**

En la figura 42 se visualiza el recorrido del producto hasta llegar a su fase final.

Figura 42. Esquema de distribución de maquinaria en L



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2D versión 19.0.

Para calcular el ritmo de línea se necesitan conocer las cantidades equivalentes en todos los procedimientos. Esta cantidad equivalente será el tiempo que toma en procesar 1 kg de caucho, esta se medirá en segundos para llevar un control más exacto respecto a los movimientos de los operarios en cada estación.

Conociendo el ritmo al que trabaja el equipo se puede determinar la unidad equivalente:

$$\frac{170 \text{ kg}}{\text{hora}} = \frac{0,00588 \text{ hora}}{\text{kilogramo}} = \frac{21,17 \text{ segundos}}{\text{kilogramo}}$$

La unidad equivalente que utilizan los operarios en trasladarse un metro, cargando 25 kg, está definido por:

$$\frac{4 \text{ segundos}}{25 \text{ kilogramos} * 1 \text{ metros}} = \frac{0,16 \text{ segundos}}{\text{kg} * \text{m}}$$

Tabla XXI. **Tiempo final para procesar 1 kg es distribución en L**

TAREA	DISTANCIA A PRÓXIMA TAREA	TIEMPO NORMAL	TIEMPO FINAL
Estación 1	-	$\frac{21,17 \text{ segundos}}{\text{kg}}$	$\frac{21,17 \text{ segundos}}{\text{kg}}$
Traslado de estación 1 a estación 2	4 metros.	$\frac{0,16 \text{ segundos}}{\text{kg} * \text{m}}$	$\frac{0,64 \text{ segundos}}{\text{kg}}$

Continuación de la tabla XXI.

Estación 2	-	$\frac{21,17 \text{ segundos}}{\text{kg}}$	$\frac{21,17 \text{ segundos}}{\text{kg}}$
Traslado de estación 2 a 3	6,40 metros	$\frac{0,16 \text{ segundos}}{\text{kg*m}}$	$\frac{1,024 \text{ segundos}}{\text{kg*}}$
Estación 3	-	$\frac{21,17 \text{ segundos}}{\text{kg}}$	$\frac{21,17 \text{ segundos}}{\text{kg}}$
		$\Sigma \text{ tiempo}$	$\frac{65,174 \text{ segundos}}{\text{kg}}$

Fuente: elaboración propia.

Conociendo el tiempo para producir un kilogramo, y la jornada laboral que es de 8 horas diarias trabajando 6 días a la semana, se puede determinar si se cumple con la demanda requerida.

$$\frac{65\,174 \text{ segundos}}{\text{kg}} = \frac{0,0153 \text{ kg}}{\text{segundos}}$$

$$\frac{0,0153 \text{ kg}}{\text{segundos}} * \frac{3\,600 \text{ segundos}}{1 \text{ hora}} * \frac{8 \text{ horas}}{1 \text{ día}} * \frac{6 \text{ días}}{1 \text{ semana}} * \frac{4 \text{ semanas}}{1 \text{ mes}} =$$

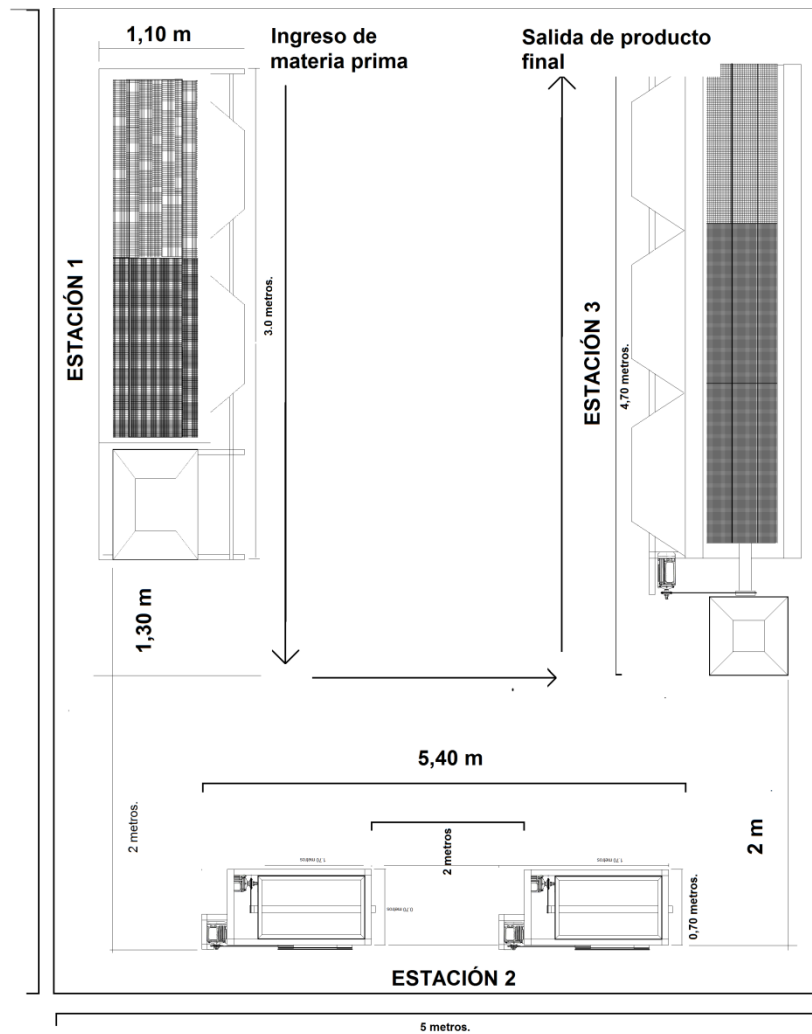
$$\frac{10\,575,36 \text{ kg}}{\text{mes}}$$

Comparando con el valor de la demanda mensual que es de 11 363,63 kg/mes, en esta distribución no se logra cumplir con lo requerido por lo que este tipo de asignación de equipo no se aplica.

### 3.2.5.2. Evaluación de distribución en posición U

En la figura 43 se visualiza el recorrido del producto hasta llegar a su fase final.

Figura 43. Esquema de distribución de maquinaria en U



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2D versión 19.0.

Para el cálculo del ritmo de línea en la distribución de la maquinaria en U se seguirán utilizando las unidades equivalentes que en la distribución en L.

Tabla XXII. **Tiempo final para procesar 1 kg de distribución en U**

TAREA	DISTANCIA A PRÓXIMA TAREA	TIEMPO NORMAL	TIEMPO FINAL
Estación 1	-	$\frac{21,17 \text{ segundos}}{\text{kg}}$	$\frac{21,17 \text{ segundos}}{\text{kg}}$
Traslado de estación 1 a estación 2	3,3 metros	$\frac{0,16 \text{ segundos}}{\text{kg*m}}$	$\frac{0,528 \text{ segundos}}{\text{kg}}$
Estación 2	-	$\frac{21,17 \text{ segundos}}{\text{kg}}$	$\frac{21,17 \text{ segundos}}{\text{kg}}$
Traslado de estación 2 a 3	2 metros	$\frac{0,16 \text{ segundos}}{\text{kg*m}}$	$\frac{0,32 \text{ segundos}}{\text{kg}^*}$
Estación 3	-	$\frac{21,17 \text{ segundos}}{\text{kg}}$	$\frac{21,17 \text{ segundos}}{\text{kg}}$
		$\Sigma \text{ tiempo}$	$\frac{64,36 \text{ segundos}}{\text{kg}}$

Fuente: elaboración propia.

Conociendo el tiempo para producir un kilogramo y la jornada laboral que es de 8 horas diarias, se puede determinar si se cumple con la demanda requerida.

$$\frac{64,36 \text{ segundos}}{\text{kg}} = \frac{0,0153 \text{ kg}}{\text{segundos}}$$

$$\frac{0,0153 \text{ kg}}{\text{segundos}} * \frac{3\,600 \text{ segundos}}{1 \text{ hora}} * \frac{8 \text{ horas}}{1 \text{ día}} * \frac{6 \text{ días}}{1 \text{ semana}} * \frac{4 \text{ semanas}}{1 \text{ mes}} =$$

$$\frac{10\,575,36 \text{ kg}}{\text{mes}}$$

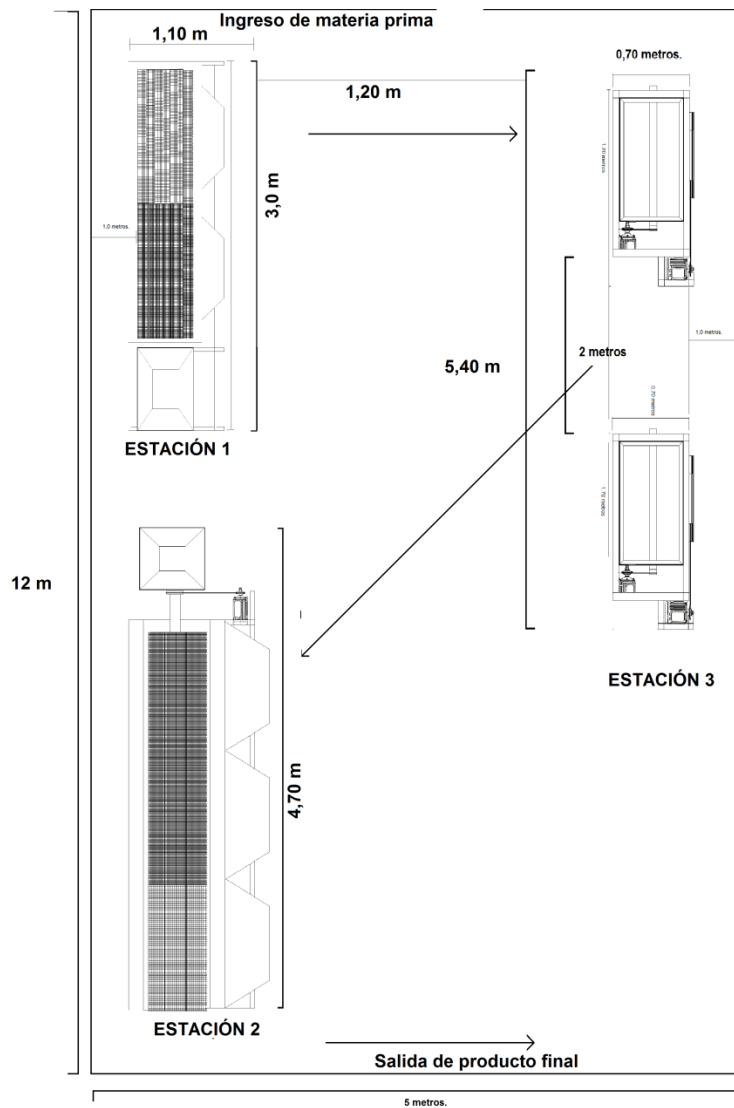
Comparando con el valor de la demanda mensual que es de 11 363,63 kg/mes, en esta distribución no se logra cumplir con lo requerido por lo que este tipo de asignación de equipo no se aplica.



### 3.2.5.3. Evaluación de distribución en posición S

En la figura 44 se visualiza el recorrido del producto hasta su fase final.

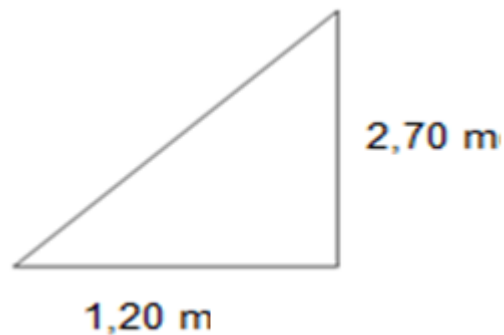
Figura 44. Esquema de distribución de maquinaria en S



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2D versión 19.0.

Para encontrar la distancia entre la estación 2 y la estación 3 se utiliza el teorema de Pitágoras, sabiendo que el producto sale en la parte media de la estación 2 y entra en la parte superior de la estación tres.

Figura 45. **Distancia entre estación 2 y estación 3**



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2D versión 19.0.

Por medio del teorema de Pitágoras:

$$\text{Distancia} = \sqrt{(1,20 \text{ metros})^2 + (2,70 \text{ metros})^2} = 2,95 \text{ metros}$$

Tabla XXIII. **Tiempo final para procesar 1 kg en distribución en S**

TAREA	DISTANCIA A PRÓXIMA TAREA	TIEMPO NORMAL	TIEMPO FINAL
Estación 1	-	$\frac{21,17 \text{ segundos}}{\text{kg}}$	$\frac{21,17 \text{ segundos}}{\text{kg}}$
Traslado de estación 1 a estación 2	1,20 metros	$\frac{0,16 \text{ segundos}}{\text{kg*m}}$	$\frac{0,192 \text{ segundos}}{\text{kg}}$

Continuación de la tabla XXIII.

Estación 2	-	$\frac{21,17 \text{ segundos}}{\text{kg}}$	$\frac{21,17 \text{ segundos}}{\text{kg}}$
Traslado de estación 2 a 3	2,95 metros	$\frac{0,16 \text{ segundos}}{\text{kg*m}}$	$\frac{0,472 \text{ segundos}}{\text{kg*}}$
Estación 3	-	$\frac{21,17 \text{ segundos}}{\text{kg}}$	$\frac{21,17 \text{ segundos}}{\text{kg}}$
		$\Sigma \text{ tiempo}$	$\frac{64,17 \text{ segundos}}{\text{kg}}$

Fuente: elaboración propia.

Conociendo el tiempo para producir un kilogramo, y la jornada laboral que es de 8 horas diarias se puede determinar si se cumple con la demanda requerida.

$$\frac{64,17 \text{ segundos}}{\text{kg}} = \frac{0,0185 \text{ kg}}{\text{segundos}}$$

$$\frac{0,0185 \text{ kg}}{\text{segundos}} * \frac{3\ 600 \text{ segundos}}{1 \text{ hora}} * \frac{8 \text{ horas}}{1 \text{ día}} * \frac{6 \text{ días}}{1 \text{ semana}} * \frac{4 \text{ semanas}}{1 \text{ mes}} =$$

$$\frac{12\ 787,20 \text{ kg}}{\text{mes}}$$

Comparando con el valor de la demanda mensual que es de 11 363,63 kg/mes, con este orden de equipo se satisface la demanda actual del producto, por lo que esta distribución es la óptima según los requerimientos planteados.

## **4. DISEÑO DE MONTAJE Y PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA LOS EQUIPOS**

Con los datos obtenidos de los capítulos anteriores se concluye que tanto el edificio como la distribución de la planta seleccionada para ordenar el equipo, se puede obtener una producción que satisfaga la demanda establecida.

### **4.1. Montaje de equipo**

Las actividades del montaje de equipo deben estar debidamente establecidas, para así lograr estipular el tiempo necesario en llevar la maquinaria a su debido lugar, para aprovechar todos los recursos disponibles.

#### **4.1.1. Esquema final de distribución de planta**

De acuerdo al análisis realizado en el capítulo 3 la manera óptima en el que equipo debe estar distribuido se denota en la figura 44, siendo esta la distribución de maquinaria en S.

#### **4.1.2. Tiempo estimado para el montaje**

Siguiendo el mismo método utilizado para determinar el tiempo que toma desplazar 25 kg de materia prima la distancia de 1 metro, se determina el período mediante el cual se colocará el equipo en su posición deseada, siempre tomando en cuenta que se asume en que toma aproximadamente 4 segundos mover la ya mencionada carga.

Las distancias a mover se denotan en el esquema final de la distribución del equipo.

Tabla XXIV. **Cálculo de tiempo para colocación de equipo**

TAREA	DISTANCIA	PESO MAQUINARIA	TIEMPO NORMAL	TIEMPO FINAL
Traslado de estación 1	11 m	500 kg	$\frac{0,16 \text{ segundos}}{\text{kg*m}}$	880 seg
Traslado de estación 2	11 m	1 000 kg	$\frac{0,16 \text{ segundos}}{\text{kg*m}}$	1 760 seg
Traslado de estación 3	4,30 m	500 kg	$\frac{0,16 \text{ segundos}}{\text{kg*m}}$	344 seg
			$\Sigma$ tiempo.	2 984 seg

Fuente: elaboración propia.

El tiempo para colocar el equipo en su lugar en es de 2 984 segundos, que aproximadamente son 50 minutos.

#### 4.1.3. Materiales y herramientas

Las líneas de producción no necesitan estar pernadas a la cimentación del suelo de la estructura ya que estas solamente se colocarán sobre un material amortiguador, por lo que el único recurso a utilizarse para su instalación es el recurso humano.

De ser necesaria la utilización de alguna herramienta para el levantamiento y desplazamiento de los equipos se recomienda el uso de

polipastos, ya que estos permiten el alza de objetos aplicándoles una menor fuerza, gracias al sistema de poleas con los que está compuesto.

#### **4.2. Diseño de plan de mantenimiento preventivo**

Para realizar un plan de mantenimiento efectivo se deben evaluar todos los factores que se ven involucrados en el equipo, así como todos los puntos que presentan mayor probabilidad de falla.

##### **4.2.1. Puntos críticos de evaluación de equipo**

La evaluación de la maquinaria debe llevarse a cabo de manera periódica, así como las rutinas de mantenimiento preventivo, siendo necesario conocer el tiempo en que sea indispensable realizar la lubricación en las diferentes piezas que sufren rozamiento entre sus superficies.

Las piezas que deben ser lubricadas son rodamientos rígidos de una hilera de bolas dentro de chumaceras tipo puente y tipo brida, que soportan un eje.

Figura 46. **Vista externa de chumacera tipo puente en estación 1**



Fuente: área de Producción.

Figura 47. **Vista externa de chumacera tipo brida en estación 2**



Fuente: estación 2 en área de Producción.

#### **4.2.2. Componentes que están bajo condiciones de carga y esfuerzos**

Con el motivo de presentar un sistema de mantenimiento preventivo efectivo es necesario determinar que piezas están propensas a deteriorarse, y así evitar el paro repentino en toda la línea de producción.

Debido a la naturaleza del proceso para producir caucho, se requiere de la transmisión de movimiento desde un motor eléctrico hacia un eje en las diferentes estaciones de trabajo, siendo estas áreas los puntos críticos que determinan el funcionamiento óptimo de las maquinarias.

Figura 48. **Motor generador de movimiento en eje de estación 3**



Fuente: estación 3 en área de Producción.

En los equipos, los elementos que están sometidos a cargas de tensión durante todo el proceso son las bandas que transmiten el movimiento de los motores, por lo que estas muestran mayor riesgo a presentar fallas. En el capítulo 1 se estudia el valor de estas tensiones.

Debido al movimiento inducido por las correas, los rodamientos se encuentran sometidos a cargas dinámicas. Estos valores de carga son dispuestos por los fabricantes con base en características físicas y de trabajo en la que los elementos se encuentran sujetos.

En la tabla XXV se denotan todos los factores de rodamientos y límites recomendados por los fabricantes de rodamientos, tomando estos datos como base para llevar a cabo la realización del plan de mantenimiento preventivo para los rodamientos.



Tabla XXV. **Factores de rodamientos y límites recomendados para el factor de velocidad**

TIPO DE RODAMIENTO	FACTOR DEL RODAMIENTO BF	LÍMITES RECOMENDADOS PARA EL FACTOR DE VELOCIDAD PARA UNA RELACIÓN DE CARGA [mm/min]		
		C/P=15	C/P = 8	C/P = 4
Rodamientos rígidos de bolas.	1	500 000	400 000	300 000
Rodamientos de bolas con contacto angular.	1	500 000	400 000	300 000

Fuente: *Catálogo general SKF*. p. 239.

Del capítulo 1 se conoce la velocidad a la que rotarán los rodamientos, dado que este valor de las dimensionales en la tabla es milímetros por minuto, por lo que la conversión es la siguiente:

$$v = \frac{9,163 \text{ m}}{\text{s}} * \frac{1\ 000 \text{ mm}}{1 \text{ m}} * \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} = \frac{54\ 9780 \text{ mm}}{\text{min}}$$

Conociendo el tipo de rodamiento que es rígido de bolas y la velocidad de los rodamientos, se determina que el factor de relación de carga C/P = 15, de la tabla XXVI se conocen los valores de C y P.

Tabla XXVI. Factores de cálculo para rodamientos rígidos de bolas

Dimensiones principales			Capacidad de carga básica		Carga límite de fatiga $P_u$	Velocidades		Masa	Designación
d	D	B	dinámica C	estática $C_0$		Velocidad de referencia	Velocidad límite		
mm			kN		kN	rpm	kg	-	
40	52	7	4,94	3,45	0,19	26 000	16 000	0,034	61808
	62	12	13,8	10	0,43	24 000	14 000	0,12	61908
	68	9	13,8	9,15	0,44	22 000	14 000	0,13	*16008
	68	15	17,8	11,6	0,49	22 000	14 000	0,19	*6008
	80	18	32,5	19	0,80	18 000	11 000	0,37	*6208
	80	18	35,8	20,8	0,88	18 000	11 000	0,34	6208 ETN9
	90	23	42,3	24	1,02	17 000	11 000	0,63	*6308
	110	27	63,7	36,5	1,53	14 000	9 000	1,25	6408
45	58	7	6,63	6,1	0,26	22 000	14 000	0,040	61809
	68	12	14	10,8	0,47	20 000	13 000	0,14	61909
	75	10	16,5	10,8	0,52	20 000	12 000	0,17	*16009
	75	16	22,1	14,6	0,64	20 000	12 000	0,25	*6009
	85	19	35,1	21,6	0,92	17 000	11 000	0,41	*6209
	100	25	55,3	31,5	1,34	15 000	9 500	0,83	*6309
	120	29	76,1	45	1,90	13 000	8 500	1,55	6409
50	65	7	6,76	6,8	0,285	20 000	13 000	0,052	61810
	72	12	14,6	11,8	0,50	19 000	12 000	0,14	61910
	80	10	16,8	11,4	0,56	18 000	11 000	0,18	*16010
	80	16	22,9	16	0,71	18 000	11 000	0,26	*6010
	90	20	37,1	23,2	0,98	15 000	10 000	0,46	*6210
	110	27	65	38	1,6	13 000	8 500	1,05	*6310
		130	31	87,1	52	2,2	12 000	7 500	1,9
55	72	9	9,04	8,8	0,38	19 000	12 000	0,083	61811
	80	13	16,5	14	0,60	17 000	11 000	0,19	61911
	90	11	20,3	14	0,70	16 000	10 000	0,26	*16011
	90	18	29,6	21,2	0,90	16 000	10 000	0,39	*6011
	100	21	46,2	29	1,25	14 000	9 000	0,61	*6211
	120	29	74,1	45	1,90	12 000	8 000	1,35	*6311
		140	33	99,5	62	2,60	11 000	7 000	2,3

Fuente: *Catálogo general SKF*. p. 303.

Dado que el diámetro interno del rodamiento es de 40,00 mm y ancho externo B es de 50,00 mm, el valor de la capacidad de carga dinámica C es de 4,94 KN.

De la relación  $C/P = 15$  se determina el valor de P, por lo que la carga dinámica equivalente es:

$$P = \frac{C}{15} = \frac{4,94 \text{ KN}}{15} = 0,3293 \text{ KN}$$

### **4.2.3. Selección de lubricante para elementos**

Al seleccionar el lubricante a utilizar para llevar a cabo las tareas de mantenimiento preventivo se deben tener en cuenta diversos aspectos, como lo son las circunstancias de piezas que se encuentran en constante contacto entre sí. Otra condición para realizar un servicio óptimo al elemento es la presencia constante de lubricante, ya que este varía en su cantidad, según los diferentes sistemas de lubricación.

Para las condiciones de trabajo a la que los equipos están expuestos, los fabricantes de lubricantes proponen que el mejor sistema de lubricación, para los rodamientos, es con base en grasas, debido a la larga duración del servicio.

De acuerdo a FAG Sales Europe Iberia en su edición *Lubricación de rodamientos*, publicación número WL 81 115/4 SB, la lubricación a través de grasas se utiliza aproximadamente en un 90 % debido a su alta durabilidad de servicio sin equipo auxiliar de lubricación.

La lubricación por aceite es ideal si se requiere disipar el calor en los elementos de la maquinaria causado por elevadas demandas de carga durante el trabajo, o si las piezas están sometidas a altas temperaturas desde afuera.

Para la selección del tipo de grasa se tomarán como base los criterios propuestos por los fabricantes SKF y FAG.

#### **4.2.3.1. Selección del tipo de grasa SKF**

Para este criterio es necesario utilizar tabla XXVII, en donde se muestran las sugerencias sobre los tipos de grasa más utilizados.

Tabla XXVII. **Tabla de selección básica de grasa según SKF**

Tabla de selección básica de la grasa		
Utilizar generalmente si:		
Velocidad = $n \cdot dm^*$ hasta 300 000 ** Temperatura = de 50 a 100 °C (de 120 a 230 °F)	<u>LGMT 2</u>	Uso general
A menos que:		
Rodamientos con temperatura prevista constante >100 °C (210 °F).	<u>LGHP 2</u>	Altas temperaturas
Temperatura prevista de rodamiento constante >150 °C (300 °F), exige resistencia a la radiación.	<u>LGET 2</u>	Temperaturas extremadamente altas
Baja temperatura ambiente -50 °C (-60 °F), temperatura prevista del rodamiento <50 °C (120 °F).	<u>LGLT 2</u>	Bajas temperaturas
Cargas de choque, grandes cargas, encendido/apagado frecuente.	<u>LGHB 2</u>	Grandes cargas
Industria de procesamiento de alimentos.	<u>LGFP 2</u>	Procesamiento de alimentos
Biodegradable y para aplicaciones que exigen baja toxicidad.	<u>LGGB 2</u>	Biodegradable

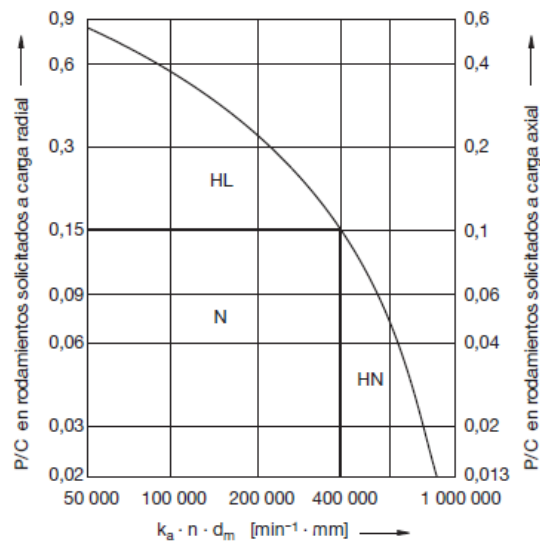
Fuente: *Catálogo general SKF*. p. 300.

Según la tabla XXVII la grasa a utilizar es del tipo LGMT2 código DIN 51825: K2K-30. Que es una grasa con aceite base mineral y espesante de jabón de litio, que ofrece una excelente estabilidad térmica dentro de su rango de temperaturas de funcionamiento. Esta grasa de alta calidad y de uso general es adecuada para una amplia gama de aplicaciones industriales y de automoción.

#### 4.2.3.2. Selección del tipo de grasa Fag Schaeffler Group

En este principio de selección de grasa es necesario conocer los valores de relación de carga y de velocidad de rodamiento. Estos factores se ven relacionados en la figura 46, mostrando la zona del lubricante a utilizar.

Figura 49. Diagrama de elección de grasa según la relación de carga P/C y el factor de velocidad de rodamiento  $k_a \cdot n \cdot d_m$



Fuente: FAG Sales Europe Iberia. p. 310.

El factor P/C se puede determinar ya que es el valor inverso del valor conocido C/P. Por lo que la relación de carga que determinada como:

$$P/C = 1/15 = 0,06667$$

Del capítulo 1 el valor de n es de 1 750 rpm ( $\text{min}^{-1}$ )

El diámetro medio del rodamiento se determina con las especificaciones físicas del rodamiento mostradas en el capítulo 1.

$$dm = (40 + 50) / 2 = 45 \text{ mm}$$

El factor ka, es el valor de 1 para rodamientos rígidos de bolas.

Entonces el factor de cálculo  $ka \cdot n \cdot dm$  es:

$$(1) \cdot (1\,750 \text{ min}^{-1}) \cdot (45 \text{ mm}) = 78\,750 \text{ min}^{-1} \cdot \text{mm}$$

Al graficar estos puntos en el diagrama de la figura 49 se denota que se encuentran en la zona N, que es la zona de servicio normal. En este caso se utiliza el tipo de grasa para rodamientos K según la Norma DIN 5128.

#### **4.2.4. Tiempo de vida del rodamiento**

Para calcular el tiempo de vida de un rodamiento, es decir la vida nominal, se utiliza el método establecido por la Norma ISO 281:1990, a través de la ecuación:

$$L_{10} = (C/P)^p$$

El exponente p es el factor de vida del rodamiento, se utiliza p = 3 para rodamientos de bolas. p = 10/3 para rodamientos de rodillos.

Por lo que la vida nominal de cada rodamiento de la línea de producción está definida por:

$$L_{10} = (15)^3 = 3\,375 \text{ millones de revoluciones}$$

Conociendo la velocidad a la que los rodamientos estarán sometidos y la jornada laboral, se puede establecer el tiempo necesario para el cambio de los rodamientos.

$$\text{Tiempo} = \frac{3\,375 \times 10^6}{1\,750 \text{ rpm}} = 1\,928\,571,429 \text{ minutos}$$

Al establecer la jornada laboral de 6 días a la semana, trabajando 8 horas al día, el cambio en meses de los rodamientos está descrito por:

$$1\,928\,571,429 \text{ minutos} * \frac{1 \text{ hora}}{60 \text{ minutos}} * \frac{1 \text{ día}}{8 \text{ horas}} * \frac{1 \text{ semana}}{6 \text{ días}} * \frac{1 \text{ mes}}{4 \text{ semanas}}$$

El cálculo anterior da como resultado 167,41 meses, trasladando ese valor a años:

$$167,41 \text{ meses} * \frac{1 \text{ año}}{12 \text{ meses}} = 13,95 \text{ años}$$

Aproximando el valor, el cambio cada rodamiento de la línea de producción debe hacerse cada 13 años, manteniendo óptimo el servicio de lubricación.

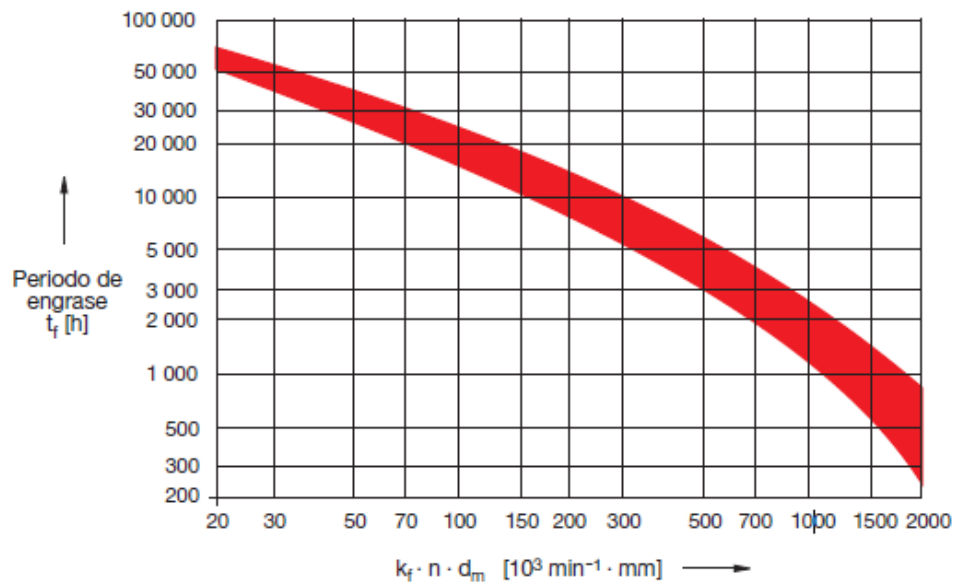
#### 4.2.5. Periodicidad de lubricación

Para la deducción del período de cambio de lubricante es necesario conocer el factor  $k_f \cdot n \cdot d_m$  [ $10^3 \text{ min}^{-1} \cdot \text{mm}$ ]. Siendo  $k_f$  un factor de cálculo dependiendo del tipo de rodamiento, en este caso por ser un rodamiento rígido de bolas se utiliza el valor de 10. Los valores de  $n$  y  $d_m$  son los mismos utilizados con los que se trabajó anteriormente.

$$k_f \cdot n \cdot d_m = (10) \cdot (1750 \text{ rpm}) \cdot (45 \text{ mm}) = 787,50 [10^3 \text{ min}^{-1} \cdot \text{mm}]$$

La Norma DIN 51825 presenta el método para encontrar el período de engrase con base en un diagrama comparando el valor encontrado.

Figura 50. **Períodos de engrase bajo condiciones favorables de ambiente**



Fuente: FAG Sales Europe Iberia. p. 41.



Al evaluar el valor de  $k_f \cdot n \cdot d_m$  encontrado se denota que el valor encontrado se sitúa dentro del rango de 1 000 a 2 000 horas, por lo que para tener un tiempo mayor se procede a encontrar interpolando los valores.

Tabla XXVIII. **Valores ordenados para interpolación**

Tiempo (horas)	Factor $k_f \cdot n \cdot d_m$
2 000	700
T	787,50
1 000	1 000

Fuente: elaboración propia.

Por lo que la interpolación está denotada por:

$$\frac{T - 2\,000}{1\,000 - 2\,000} = \frac{787,5 - 700}{1\,000 - 700}$$

Despejando para T

$$T = \left( \frac{787,5 - 700}{1\,000 - 700} \right) * (1\,000 - 2\,000) + 2\,000$$

Resolviendo la ecuación anterior el período de engrase es de 1 708,3333 horas.

Convirtiendo este valor en meses:

$$1\,708,3333 * \frac{1 \text{ día}}{8 \text{ horas}} * \frac{1 \text{ semana}}{6 \text{ días}} * \frac{1 \text{ mes}}{4 \text{ semanas}} = 8,89 \text{ meses}$$

Aproximando al valor más pequeño el cambio de grasa para los rodamientos debe hacerse cada 8 meses.

#### **4.2.6. Cálculo de vida útil de correas**

En los equipos las correas transmiten movimiento hacia ejes que permiten la rotación para la selección inicial, molienda y selección final de caucho, por lo que es primordial tener un aproximado de tiempo para el cambio de estas.

Para ello es necesario el cálculo de máximo de fuerza individual de cada polea, ya que estas son de diámetro diferente.

##### **4.2.6.1. Máximo de fuerza para poleas pequeñas**

Utilizado los valores encontrados en el capítulo 1, la vida útil de las correas está determinada:

$$T1 = 135,322 \text{ kg}$$

$$T2 = 52,30 \text{ kg}$$

$$V = 9,163 \text{ m/s}$$

$$\text{Diámetro polea menor} = 10 \text{ cm}$$

Longitud de correa = 138 cm. Debido a la longitud se determina que es sección C.

Para encontrar se necesita encontrar el valor de la tensión centrífuga  $T_c$ .

$$T_c = K_c * \frac{V^2}{100}$$

Los valores de Kc se encuentran en la tabla XXIX.

Tabla XXIX. **Constante de proyecto para correas trapezoidales**

Sección	K <sub>b</sub>	K <sub>c</sub>	Fuerza máxima F		
			Para 10 <sup>8</sup>	Para 10 <sup>9</sup>	Para 10 <sup>10</sup>
A	253	0,987	58	47	
B	664	1,698	100	81	
C	1843	3,020	178	145	
D	6544	6,156	363	295	
E	12501	8,872	523	425	
3V	265	0,748	75	63	50
5V	1265	2,142	174	145	102
8V	5565	5,787	384	320	256

Fuente: Gates Rubber Co. Denver Colorado. p. 35.

$$T_c = 3,020 * \frac{(9,163)^2}{100} = 2,536 \text{ kg}$$

La fuerza máxima está definido por:

$$F_{\max} = 135,22 \text{ kg} + 52,30 \text{ kg} + 2,536 \text{ kg} = 190,056 \text{ kg}$$

Se determina como máximo de fuerza N al valor de fuerza que la correa puede soportar con la polea de menor diámetro. Se calcula con la fórmula:

$$N = \left( \frac{Q}{F} \right)^x$$

Los valores de Q, F y X se encuentran en la tabla XXX

Tabla XXX. **Constantes de proyecto para correas trapezoidales**

Sección	10 <sup>8</sup> 10 <sup>9</sup> Máximos de fuerza		10 <sup>9</sup> 10 <sup>10</sup> Máximos de fuerza		Diámetro mínimo de la polea
	Q	x	Q	x	
A	306	11,089			7,62
B	541	10,924			12,70
C	924	11,173			21,59
D	1 909	11,105			33,02
E	2 749	11,100			54,86
3V	330	12,464	482	10,153	6,73
5V	750	12,593	1 086	10,283	18,03
8V	1 650	12,629	2 383	10,319	31,75

Fuente: Gates Rubber Co. Denver Colorado. p. 35.

$$N = \left( \frac{924}{190,56} \right)^{11,173} = 47\,152\,963,08 \text{ máximos de fuerza}$$

#### 4.2.6.2. Máximo de fuerza para poleas grandes

Los máximos de fuerza de cada correa permiten calcular el tiempo de vida probable de las correas, durante el período en el que estas se encuentran sujetas a trabajo.

Conociendo los valores:

$$T1 = 67,73 \text{ kg}$$

$$T2 = 26,18 \text{ kg}$$

$$V = 9,163 \text{ m/s}$$

$$\text{Diámetro polea mayor} = 23 \text{ cm}$$

La fuerza máxima está definido por:

$$F = 67,73 \text{ kg} + 26,18 \text{ kg} + 2,536 \text{ kg} = 96,446 \text{ kg}$$

El máximo de fuerza para la polea mayor es:

$$N = \left( \frac{924}{96,446} \right)^{11,173} = 9,23 \times 10^{10} \text{ máximos de fuerza}$$

#### 4.2.6.3. Máximo de fuerza proporcional para ambas poleas

La proporción está definida como la vida de la correa consumida en una pasada por cada polea.

$$\frac{1}{N''} = \frac{1}{N^{\text{Mayor}}} + \frac{1}{N^{\text{menor}}}$$

$$\frac{1}{N''} = \frac{1}{9,23 \times 10^{10}} + \frac{1}{47\ 152\ 963,08}$$

$$\frac{1}{N''} = 2,12 \times 10^{-08}$$

Por lo que N'' es:

$$N'' = 47\ 128\ 877,85 \text{ máximos de fuerza}$$

#### 4.2.6.4. Vida probable de la correa

Para encontrar la vida probable de la correa es necesario calcular las pasadas de correa por minuto sobre las poleas.

$$\frac{60 \cdot \text{Velocidad}}{\text{Longitud de la correa}} = \frac{60 \cdot 9,163 \text{ m/s}}{1,83 \text{ m}} = \frac{300,43 \text{ Pasadas de correas}}{\text{Minuto}}$$

El valor de la vida probable de cada correa es:

$$\text{Vida probable} = \frac{\text{Máximos de fuerza}}{\text{Pasadas por minuto} \cdot 60} = \frac{1,05 \times 10^{12}}{300,43 \cdot 60} = 2\,614,52 \text{ horas}$$

La vida probable de las correas expresadas en años:

$$2\,614,52 \text{ horas} \cdot \frac{1 \text{ día}}{8 \text{ horas}} \cdot \frac{1 \text{ semana}}{6 \text{ días}} \cdot \frac{1 \text{ mes}}{4 \text{ semanas}} \cdot \frac{1 \text{ año}}{12 \text{ meses}} = 1,13 \text{ años}$$


El cambio de las correas en cada equipo debe hacerse después de 1 año bajo condiciones de servicio.

#### 4.3. Esquema de rutas para llevar a cabo rutina de mantenimiento preventivo

El fin de tener hojas de rutas de evaluación para cada maquinaria es establecer los parámetros a seguir por los operarios, para realizar revisiones en el equipo con el fin de detectar fallas o anomalías. También son de utilidad para registrar las fechas en las que se realiza determinado servicio y el período para llevar a cabo este.

Debido a que las características en todos en equipos son muy similares, se realiza un listado general que abarca los elementos críticos a evaluar en toda la línea de evaluación.


Figura 51. **Esquema de lista de evaluación para criba rotativa de selección inicial**

Fecha: _____		
Servicio realizado por: _____		
<b>IMPORTADORA LOS ALPES</b>		
<b>SERVICIO PARA CRIBA ROTATIVA DE SELECCIÓN INICIAL</b>		
DIARIO	<input type="checkbox"/>	Revisión general de estructura
DIARIO	<input type="checkbox"/>	Revisión de malla de selección
DIARIO	<input type="checkbox"/>	Inspección tolva de ingreso de materia prima
DIARIO	<input type="checkbox"/>	Revisión de estado de correas
SEMANAL	<input type="checkbox"/>	Limpieza de estructura
SEMANAL	<input type="checkbox"/>	Limpieza de malla de selección
SEMANAL	<input type="checkbox"/>	Limpieza tolva de ingreso de materia prima
SEMANAL	<input type="checkbox"/>	Limpieza de salida de materia procesada
SEMANAL	<input type="checkbox"/>	Limpieza externa de chumaceras
SEMANAL	<input type="checkbox"/>	Limpieza poleas
8 MESES	<input type="checkbox"/>	Cambio de grasa en rodamientos
ANUAL	<input type="checkbox"/>	Cambio de correas
Si se encontró alguna anomalía que no se especifique en los puntos anteriores, anotarla en el cuadro.		

Fuente: elaboración propia.

En la figura 51 se denotan los puntos específicos para llevar a cabo las rutinas del plan de mantenimiento preventivo para la estación 1, respetando la periodicidad de cada enunciado.

Figura 52. **Esquema de lista de evaluación para tolva de premolido y molido final**


Fecha: _____		
Servicio realizado por: _____		
<b>IMPORTADORA LOS ALPES</b> <b>SERVICIO PARA TOLVA DE PREMOLIDO Y MOLIDO FINAL</b>		
DIARIO	<input type="checkbox"/>	Revisión general de estructura
DIARIO	<input type="checkbox"/>	Revisión de malla de selección
DIARIO	<input type="checkbox"/>	Inspección tolva de ingreso de materia prima
DIARIO	<input type="checkbox"/>	Revisión de estado de correas
SEMANAL	<input type="checkbox"/>	Limpieza de estructura
SEMANAL	<input type="checkbox"/>	Limpieza de malla de selección
SEMANAL	<input type="checkbox"/>	Limpieza tolva de ingreso de materia prima
SEMANAL	<input type="checkbox"/>	Limpieza de salida de materia procesada
SEMANAL	<input type="checkbox"/>	Limpieza externa de chumaceras
SEMANAL	<input type="checkbox"/>	Limpieza poleas
8 MESES	<input type="checkbox"/>	Cambio de grasa en rodamientos
ANUAL	<input type="checkbox"/>	Cambio de correas
Si se encontró alguna anomalía que no se especifique en los puntos anteriores, anotarla en el cuadro.		

Fuente: elaboración propia.



En la figura 52 se denotan los puntos específicos para llevar a cabo las rutinas del plan de mantenimiento preventivo para la estación 2, respetando la periodicidad de cada enunciado.

Figura 53. **Esquema de lista de evaluación para criba rotativa de selección final**

Fecha: _____		
Servicio realizado por: _____		
<b>IMPORTADORA LOS ALPES</b> <b>SERVICIO PARA CRIBA ROTATIVA DE SELECCIÓN FINAL</b>		
DIARIO	<input type="checkbox"/>	Revisión general de estructura
DIARIO	<input type="checkbox"/>	Revisión de malla de selección
DIARIO	<input type="checkbox"/>	Inspección tolva de ingreso de materia prima
DIARIO	<input type="checkbox"/>	Revisión de estado de correas
SEMANAL	<input type="checkbox"/>	Limpieza de estructura
SEMANAL	<input type="checkbox"/>	Limpieza de malla de selección
SEMANAL	<input type="checkbox"/>	Limpieza tolva de ingreso de materia prima
SEMANAL	<input type="checkbox"/>	Limpieza de salida de materia procesada
SEMANAL	<input type="checkbox"/>	Limpieza externa de chumaceras
SEMANAL	<input type="checkbox"/>	Limpieza poleas
8 MESES	<input type="checkbox"/>	Cambio de grasa en rodamientos
ANUAL	<input type="checkbox"/>	Cambio de correas
<p>Si se encontró alguna anomalía que no se especifique en los puntos anteriores, anotarla en el cuadro.</p> <div style="border: 1px solid black; height: 100px; width: 100%;"></div>		

Fuente: elaboración propia.

En la figura 53 se denotan los puntos específicos para llevar a cabo las rutinas del plan de mantenimiento preventivo para la estación 3, respetando la periodicidad de cada enunciado.

#### 4.4. Costos de montaje de equipos

Para tener un exacto registro de los costos estos están desglosados en diferentes rubros que cubren la tarea del montaje en su totalidad. Algunos de estos fueron designados, considerando las condiciones en las que el equipo presenta actualmente, como lo es el caso del transporte.

Tabla XXXI. **Rubros de costos para la tarea de montaje**

<b>RUBRO</b>	<b>CANTIDAD</b>
Transporte de equipo	Q 2 000,00
Mano de obra	Q 5 000,00
Otros gastos	Q 2 500,00
Total	Q 9 500,00

Fuente: elaboración propia.

En otros gastos se incluyen el pago de alimentación para los operarios, así como algún imprevisto durante el transporte del equipo.



## **5. SISTEMA DE REDUCCIÓN DE RIESGOS**

Un sistema de reducción de riesgos son todas las medidas a tomar antes de realizar la actividad de montaje, examinando todos los factores que pueden afectar la salud y la seguridad de las personas involucradas. El fin de esto es mitigar los posibles peligros que existen tanto en las máquinas como en los procedimientos.

### **5.1. Identificación de factores de riesgo en las actividades de montaje**

Un factor de riesgo es toda condición que aumenta las posibilidades para individuos, de padecer alguna enfermedad o lesión debido a las circunstancias a la que este se encuentre sometido.

Las tareas de montaje los elementos que presentan factores de riesgo son el equipo y las instalaciones.

#### **5.1.1. Factores de riesgo de la maquinaria**

Los equipos que componen la línea de producción muestran características individuales que pueden afectar a los operarios al entrar en contacto con ellos, esto debido a que poseen dimensiones que para una sola persona le será imposible manipular, por lo que serán desplazados dentro de las instalaciones por los operarios situándolos en su posición establecida en el capítulo 3.

#### **5.1.1.1. Peso**

Este es el factor más importante a tomar en cuenta debido a que los operarios pueden sufrir lesiones cargando más de lo que corresponde, por ello es necesario conocer la cantidad mínima de personas para desplazar los equipos.

De las condiciones de los equipos se conoce que el peso de cada uno es de 500 kg, del capítulo 3 se estableció que el peso mínimo que puede soportar una persona en condiciones normales de trabajo es de 25 kg y una con mayor experiencia es de 40 kg, por lo que la menor cantidad de personas para trasladar la maquinaria es de:

$$\frac{500 \text{ kg}}{40 \text{ kg}} = 12,5 = 13 \text{ personas}$$

El máximo de operarios necesarios para trasladar el equipo es:

$$\frac{500 \text{ kg}}{25 \text{ kg}} = 20 \text{ personas}$$

#### **5.1.2. Estructura del equipo**

Cada equipo presenta atributos que exponen a los operarios a un riesgo al momento de entrar en contacto con estos, a continuación se muestran los elementos de cada maquinaria con los que hay que tener mayor precaución.

Figura 54. **Factores de riesgo de estructura de criba rotativa de selección inicial, vista lateral**



Fuente: área de Producción.

En la figura 54 se denota una chumacera que se encuentra sujeta de forma que permite el desplazamiento del eje de las poleas, pudiendo desprenderse al efectuar un movimiento.

Figura 55. **Factores de riesgo de estructura en criba rotativa de elección inicial, vista frontal**



Fuente: área de Producción.

En la figura 55 se observan bordes plegados con orillas filosas, siendo estos capaces de cercenar la piel del operario que este manipulando este equipo.

Figura 56. Factores de riesgo para tolva de premolido y molido final



Fuente: área de Producción.

En la estación 2 los equipos presentan bisagras que acoplan la zona de premolido (arriba) y la zona de molido final (abajo). Al estar simplemente sujetas una sobre otra, una fuerza puede generar movimiento que permita la apertura de la bisagra desuniendo las partes que conforman la maquinaria.



Figura 57. **Factores de riesgo en criba rotativa de selección final**



Fuente: área de Producción.

Al igual que la estación 1, la criba rotativa de selección final los bordes plegados presentan un peligro cuando se desee manipular dicha maquinaria, ya que el contacto con el filo puede llegar a lesionar al operario.

### **5.1.3. Factores de riesgo en las instalaciones**

Debido a la naturaleza del montaje los operarios deben mantener una atención continua a los equipos que están manipulando, por lo que es probable que no presten la atención adecuada a su alrededor o a las circunstancias a las que se encuentran expuestas. Por ello es necesaria la evaluación previa a realizar la instalación de maquinaria.

Al examinar detenidamente las condiciones del establecimiento en la zona destinada para el área de Producción en las instalaciones de Importadora Los Alpes, muestra una abertura en el suelo que dirige hacia un sótano.

Figura 58. **Factor de riesgo en instalaciones, apertura en suelo**



Fuente: área de Producción.

Al momento de realizar las actividades de montaje, un operario pueden no percatarse de este agujero y caer de manera repentina, con la posibilidad de lesiones graves.

## **5.2. Procedimientos y herramientas**

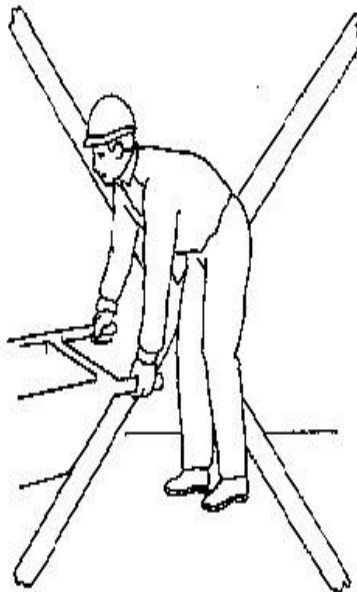
Las condiciones a las que los operarios se encuentran sometidos durante las acciones de montaje no solamente están ligadas a los riesgos propuestos por los equipos y las instalaciones. Los procedimientos, recursos y herramientas están vinculados de manera directa a la salud de los individuos ya que de no conocer de manera correcta la utilización de estos pueden llegar a perjudicar a quien se encuentre ejecutando una tarea en específico.

### 5.2.1. Análisis de riesgo en los procedimientos

La instalación de los equipos consiste en el traslado hasta su punto indicado en el capítulo 3, siendo cargados por los operarios. Este método consiste en el levantamiento, desplazamiento y depósito de las maquinarias haciendo que los obreros utilicen la mayor parte de su cuerpo durante la tarea.

Normalmente una persona al realizar un levantamiento no se percata a que partes de su cuerpo somete a esfuerzos, por lo que al realizarlos de manera continua o con una carga considerable el individuo presenta daños o lesiones.

Figura 59. **Forma incorrecta de realizar un levantamiento**

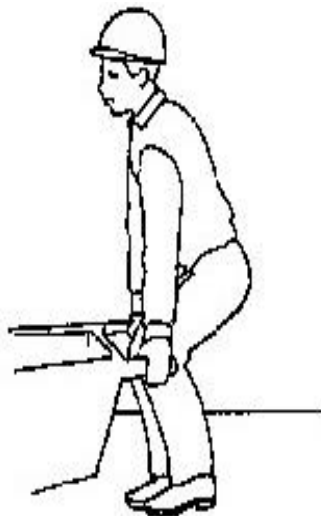


Fuente: Asovictra. *Manual para capacitación de ergonomía en el levantamiento de peso.*  
p. 10.

En la figura 59 se observa que la fuerza, en mayor parte, es ejercida por la espalda que realiza toda la acción de carga estando sujeta a lesiones como torcedura, esguinces, hernias de disco o fractura de vertebras. Estas lesiones pueden causar severo dolor y limitar movimientos.

Para evitar este tipo de lesiones es necesario conocer la manera correcta de llevar a cabo un levantamiento de carga.

Figura 60. **Forma correcta de realizar un levantamiento**



Fuente: Asovictra. *Manual para capacitación de ergonomía en el levantamiento de peso.*

p. 10.

La forma correcta de levantar una carga es mantener los pies a la misma distancia que hay de separación en los hombros, de esta forma se consigue estabilidad y equilibrio. Al llevar a cabo el levantamiento doblar las piernas manteniendo la espalda erguida y realizar la fuerza con estas. De esta manera el peso del objeto se mantiene distribuido de manera uniforme.

Durante el movimiento se debe mantener la carga cerca del cuerpo ya que mientras más extendidos se encuentren los brazos mayor fuerza pierden estos.

Se debe evitar giros, si se desea cambiar de dirección primero se debe detener y cambiar la posición de los pies hacia el sentido del lugar al cual se desea alcanzar.

### **5.2.2. Análisis de riesgo en las herramientas**

De ser necesaria la utilización de herramientas las más utilizadas para el levantamiento de cargas pesadas son las que se basan en sistemas de poleas, con el fin de disminuir el esfuerzo realizado por una persona comúnmente llamados polipastos.

Para determinar la fuerza a utilizar para el levantamiento se utiliza la fórmula:

$$\text{Fuerza} = \frac{\text{Carga}}{2 * \text{Cantidad de poleas}}$$

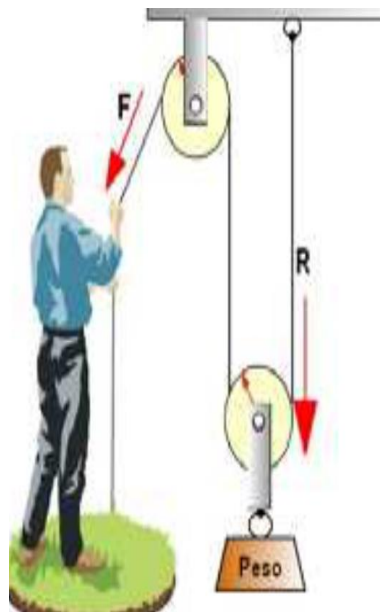
Por lo que la fuerza requerida mediante la utilización de polipastos simples con 2 poleas es:

$$\text{Fuerza} = \frac{500 \text{ kg}}{2 * 2} = 125 \text{ kg}$$

### 5.2.2.1. Posición correcta para el uso de sistema de poleas

El procedimiento para levantar una carga con la ayuda de polipasto consiste en tirar una cuerda en sentido vertical, aplicando una fuerza en sentido contraria a la del peso del objeto.

Figura 61. **Forma correcta de levantar una carga mediante un sistema de poleas**



Fuente: Asovictra. *Manual para capacitación de ergonomía en el levantamiento de peso.*  
p. 13.

De la figura 61 se denota que la fuerza debe ser realizada en su mayor parte por la espalda alta, auxiliada por los hombros y los brazos, de esta forma no se utilizan una zona específica del cuerpo disminuyendo el riesgo de lesiones.



### 5.2.2.2. Riesgo en el uso de sistemas de poleas

Para tener un uso adecuado de polipastos estos deben estar sujetos a una superficie fija que soporte las condiciones de cargas presentadas. Por lo general los polipastos en sus especificaciones de fabricantes indican la carga máxima que estos soportan, siendo estas la guía para la selección de la herramienta indicada, el hacer caso omiso a la información brindada puede llevar a la falla de equipo una vez levantada la carga involucrando tanto la integridad de los operarios como al equipo.




### 5.3. Equipo de protección a utilizar

Con el fin de mitigar todos los riesgos a los que los operarios están expuestos durante el trabajo de montaje, es necesario el equipamiento de estos, con diferentes elementos resguardan su salud.

Tabla XXXII. **Equipo de protección a utilizar**

EQUIPO	CONSECUENCIAS DE SU NO UTILIZACIÓN	IMAGEN
Casco de seguridad	Lesión de diferente magnitud en la cabeza	
Botas de seguridad	Golpes por elementos punzantes en los pies	

Continuación de la tabla XXXII.

Gafas de seguridad con lente de policarbonato claro	Penetración de objetos en ojos	
Faja lumbar	Esguinces en músculos de la espalda	
Guantes industriales	Cortes en las manos	

Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Word versión 2010.

#### 5.4. Aspectos a seguir para mitigación de riesgos

Antes de llevar a cabo el montaje del equipo es necesario que todos los operarios realicen una breve inspección en toda el área donde la maquinaria estará instalada. Al momento de manipular la maquinaria evitar las partes denotadas en cada estación de trabajo, asegurándose que los operarios estén equipados con los implementos mostrados en la tabla XXXII. Es necesario asignar a una persona en específico que dirija a los demás operarios durante el desplazamiento de la maquinaria, tanto al momento del levantamiento como el del depósito de estas siguiendo los procedimientos adecuados para cada determinada tarea.



## 5.5. Costos del sistema de reducción de riesgos

Los costos para realizar un montaje seguro de la línea de producción están ligados directamente al equipamiento de cada operario con los implementos apropiados siendo factor la cantidad de personas involucradas.

Tabla XXXIII. **Costos de equipo de protección industrial por persona**

<b>EQUIPO</b>	<b>COSTO</b>
Casco de seguridad	Q 45,00
Botas de seguridad	Q 500,00
Gafas de seguridad	Q 30,00
Faja lumbar	Q 200,00
Guantes industriales	Q 50,00
<b>TOTAL</b>	<b>Q 825,00</b>

Fuente: IMPORCOMP S. A. *Catálogo de productos, línea de seguridad industrial.* p. 15.

## **6. AMBIENTE**

Los efectos al ambiente que posee el proceso de producción de caucho, una vez instalada la línea de producción, son directamente proporcionales tanto al producto final como las estaciones de trabajo, debido a que cada uno de estos elementos provoca alteraciones ya sea en la atmósfera o en el hábitat donde se encuentran.

### **6.1. Impacto ambiental del caucho**

El caucho es un material que se caracteriza por su elasticidad, repelencia al agua y resistencia eléctrica, propiedades que hacen que sea utilizado para diferentes tareas específicas como en la fabricación de neumáticos, artículos impermeables, aislantes y para fabricar prendas de vestir.

Debido a estas características el caucho es un elemento de alta duración en condiciones ambientales llegando a ser uno de los agentes más contaminantes, por lo que el fin de Importadora Los Alpes es procesar los residuos de diferentes elementos fabricados a base de caucho.

De los anteriores el producto que propone el problema más grande es el desecho de neumáticos ya que la acumulación de estos termina en forma vertederos sin ningún método de tratamiento. La quema de estos produce dioxinas, furanos, xilenos, óxidos de nitrógeno, monóxido carbono, anhídrido sulfuroso, todos ellos altamente tóxicos, siendo esta una actividad prohibido y penada por la ley.

## **6.2. Desechos de caucho**

La mayoría de productos fabricados con base en caucho son desechados al entorno exterior una vez utilizados sin ser tratados de manera correcta. En condiciones ambientales el tiempo de degradación del caucho es aproximadamente de 300 a 500 años, obligando a buscar otras alternativas para la obtención de materia prima, siendo la más viable el reciclaje de productos derivados de caucho.

## **6.3. Reciclaje de caucho**

El reciclaje del caucho es un procedimiento complejo con muchas variantes que llevan a la recuperación de material, en estado apto para su reutilización siendo esta la solución a la problemática de la gran cantidad de productos contaminantes desechados al ambiente.

### **6.3.1. Tratamientos de reciclaje**

Los diferentes métodos para la obtención de caucho dependen del material del cual se desea obtener los residuos, siendo el más común las llantas o neumáticos usados en automóviles.

#### **6.3.1.1. Raspado de llantas**

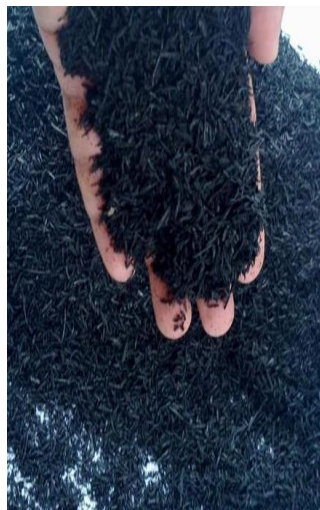
Este proceso es el más utilizado para la obtención de caucho a partir de neumáticos. Este consiste en instalar el neumático en una maquinaria tipo torno que acerca la superficie en un aro de cuchillas rotativas, este entra en contacto con la superficie desgastándola produciendo el caucho destinado para materia prima. De este proceso se obtiene materia prima como lo muestra la figura 63.

Figura 62. **Maquinaria utilizada para raspado de llantas**



Fuente: Retraeder Colombia. *Catálogo General*. p. 4.

Figura 63. **Polvo de hule obtenido de raspado de llantas**



Fuente: producto de muestra para proceso, área de Producción.

Una vez terminado el proceso al neumático ya raspado se le sustituye la superficie con una banda de goma, para luego someterla al proceso de vulcanizado donde se funden ambas partes, generando prácticamente una llanta en un estado apto para su uso.

### **6.3.1.2. Triturado de llantas**

Este método presenta un procedimiento donde no solamente se utiliza la superficie sino todo el neumático en general. El proceso empieza en la recolección de llantas desde diferentes puntos para luego depositarlos en un triturador.

Figura 64. **Vista de triturador de llantas**



Fuente: *Titan Shredders & Titan Recycling Equipment*. p. 10.

Los neumáticos son molidos, en equipos como mostrados en la figura 64, en pequeños trozos de caucho como los mostrados en la figura 65.

Figura 65. **Neumáticos triturados**



Fuente: *Shredders & Titan Recycling Equipment*. p. 16.

### **6.3.1.3. Método de Lehigh Technologies**

Lehigh Technologies propone su propia metodología para convertir el caucho en polvo fino, a través de un procedimiento que consiste en la congelación de neumáticos viejos y la ruptura de estos, en pedazos de media pulgada por medio de un método de trituración convencional. Estas piezas son mezcladas con nitrógeno líquido enfriando criogénicamente el caucho a menos 100 °C.

El caucho resultante del proceso se incorpora después a un molino de alta velocidad que lo fragmenta en partículas de no más de 180 micras.

### **6.3.2. Subproductos de caucho**

Debido a los atributos que presenta el caucho sus aplicaciones resultan ser muy variadas pudiendo usarse en distintas áreas.

### **6.3.2.1. Asfalto goma**

También conocido como hormigón asfáltico es un material resultado de la mezcla del hormigón asfáltico común con caucho (polvo de hule). El fin de utilizar este material es el de aprovechar las propiedades del caucho, permitiendo hasta cierto punto, la deformación en carreteras y la permeabilidad de estas con el fin de mantener la infraestructura en condiciones deseables.

En 2003, el Departamento de Transporte de Arizona demostró que el asfalto goma permite reducir hasta 12 decibelios, sustituyendo las barreras acústicas en carreteras.

### **6.3.2.2. Obtención de energía térmica**

El caucho es utilizado como combustible en diferentes centrales de producción siendo en la industria cementera su mayor aplicación, debido a que la combustión de este hace que el porcentaje de azufre que posee se incorpora a la cal de calcinación como carbonato cálcico, que es una materia prima en la producción de cemento.

### **6.3.2.3. Losas de caucho**

Estos productos utilizan las propiedades elásticas e impermeables que presenta el caucho, ofreciendo una opción alterna al uso de losas cerámicas. Las losas de caucho son empleadas en lugares donde se requiere un nivel alto de seguridad como lo son parques infantiles o zonas de niños, además se puede utilizar como pavimentos en rocódromos, clubes hípicas, zonas peatonales, entre otros.

#### **6.3.2.4. Tejas de caucho**

Las tejas de caucho están diseñadas principalmente para repeler la humedad de techos impidiendo filtraciones de agua, también es altamente resistente y libre de mantenimiento. En condiciones exteriores los techos utilizan las tejas de caucho como aislante térmico dando lugar a condiciones menos calientes en interiores.

#### **6.3.2.5. Elaboración de campos deportivos**

En la actualidad los campos en donde se realizan diferentes tipos de deportes están hechos con grama sintética como sustituto de material orgánico. La principal razón es su resistencia al desgaste y que no necesita riego ni secado.

El caucho es utilizado como relleno en la grama realizando la función de tierra en un campo natural, además permite la nivelación de campo así como la impermeabilidad de la superficie.

### **6.4. Maquinaria**

Los equipos que componen la línea de producción presentan su impacto al ambiente al momento de llevar a cabo el proceso para la elaboración de caucho, ya que estos generan situaciones en donde el entorno se ve afectado significativamente.



### 6.4.1. Ruido

Aunque el ruido no se acumula en el ambiente este puede llegar a causar grandes daños en la calidad de vida de los habitantes si no se controla adecuadamente. Algunos de los efectos que puede causar son enfermedades auditivas degenerativas al mantenerse en constante relación con este.

La cantidad con la que el ruido es medido son los decibeles, los niveles permitidos de estos, así como las medidas de mitigación, varían según el tiempo de exposición ante el ambiente.

Tabla XXXIV. **Niveles permisibles de ruido en condiciones laborales**

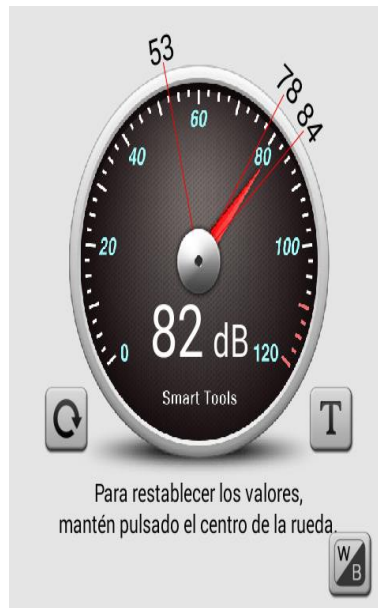
NIVEL PERMISIBLE EN DECIBELES	TIEMPO DE EXPOSICIÓN
85	8 horas
90	4 horas
95	2 horas
100	1 hora
105	0,5 horas
110	0,25 horas
115	0,125 horas

Fuente: Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social de la República de Guatemala.

#### 6.4.1.1. Ruido generado por el equipo

Para saber si el equipo genera contaminación al ambiente mediante el ruido es necesario que este se encuentre de los parámetros mostrados por la tabla XXXIV.

Figura 66. **Cantidad de ruido en decibeles generado por el equipo durante proceso de producción**



Fuente: elaboración propia, por sonómetro para sistema operativo Android desarrollado por Smart Tools Co versión 1.6.0.

Dado que el valor encontrado, que es de 82 decibeles, es menor al establecido para una jornada de 8 horas el equipo no presenta disturbios al ambiente causado por ruido.

#### **6.4.2. Emisiones de residuos a la atmósfera**

Las emisiones de residuos del proceso presentan uno de los mayores factores que contaminan la atmósfera, por lo que es necesario conocer las medidas para mitigar la disipación de estos.

#### **6.4.2.1. Emisión de gases**

La causa de la contaminación atmosférica es la presencia de gases en el aire que comprometan la salud de las personas o afecte a cualquier ecosistema en el hábitat en el que este se vea expuesto.

Los principales gases que contaminan la atmosfera son el monóxido de carbono, monóxido de nitrógeno, dióxido de carbono, metano y dióxido de azufre. Estos son producidos tanto por la utilización de combustibles derivados del carbón como procesos químicos.

En el capítulo 1 se detallan las especificaciones de las maquinarias, en las cuales se observan que ningún equipo requiere de la utilización de combustibles para llevar a cabo la fabricación de caucho, por lo que la línea de producción no genera gases que afecten a la atmósfera.

#### **6.4.2.2. Emisión de residuos de caucho**

El producto final de Importadora Los Alpes es un polvo de caucho fino, que al ser expuesto a la atmósfera este puede esparcir y desplegar pequeñas partículas en el área circundante de la planta de producción, que pueden ser perjudiciales para la salud humana y el ambiente.

Para mitigar el efecto de estos residuos es necesario establecer parámetros a seguir, tanto en el proceso de producción, como para evitar que estas se propaguen en el entorno.

### 6.4.2.3. Reducción de efectos durante el proceso de producción

Para evitar poner en riesgo la salud de los operarios durante las actividades de producción, es necesario implementar a estos con mascarillas que eviten la inhalación de partículas en el aire.

Figura 67. **Mascarilla a utilizar por los operarios**



Fuente: IMPORCOMP S. A. *Catálogo de productos, línea de seguridad industrial.* p. 16.

A su vez es necesario advertir a cualquier individuo sobre el uso de mascarillas antes de entrar al área de Producción con señales puestas en lugares visibles.

Figura 68. **Señalización sobre uso de mascarillas**

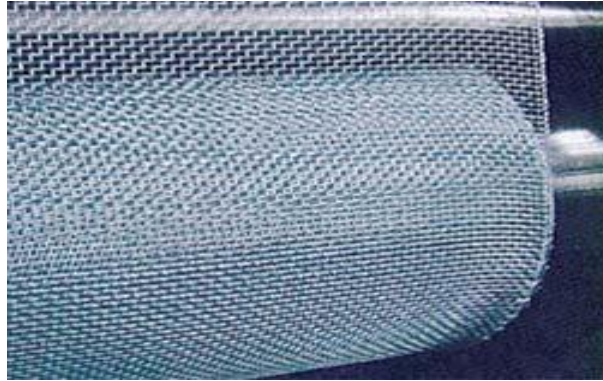


Fuente: IMPORCOMP S. A. *Catálogo de productos, línea de seguridad industrial.* p. 16.

#### **6.4.2.4. Propagación de partículas a la atmósfera**

La principal salida de las partículas residuales a la atmósfera es a través de las ventanas del edificio donde se encuentra el área de Producción, a su vez es necesario mantener la planta ventilada por lo que es necesaria la instalación de mallas protectoras que retengan dichos residuos.

Figura 69. **Malla de seguridad a instalar en ventanas**



Fuente: IMPORCOMP S. A. *Catálogo de productos, línea de seguridad industrial*. p. 16.

Debido a que la medida del valor *mesh* más grande de los equipos es de 60, las mallas a instalar deben ser de un valor *mesh* mayor que este. Hay que tomar en cuenta que mientras más alto es el valor *mesh* más pequeña son las aberturas de la malla.



## CONCLUSIONES

1. Las características que poseen los equipos que conforman la línea de producción definen de forma determinante las condiciones del montaje, ya que al conocerlas y evaluarlas se especifican los requerimientos necesarios que debe cumplir el área de Producción.
2. Al evaluar las condiciones actuales que posee el área en donde se instalará el equipo, se determina que estas satisfacen los requerimientos de espacio, iluminación, ventilación y cimentación, permitiendo llevar a cabo el montaje de la línea de producción.
3. La distribución de la maquinaria propuesta dentro de las instalaciones del área de Producción satisface la demanda requerida de caucho, considerando las condiciones de carga, tiempo y distancia recorrido por los operarios de una estación de trabajo a otra.
4. Para el diseño del plan de mantenimiento preventivo se evalúan todas las circunstancias a la que los equipos están sometidos y se establecen los períodos para los cuales los elementos que lo requieran sean lubricados, así como la vida probable de piezas que presenten probabilidad de falla al realizar su trabajo en específico.



5. Tanto los equipos que conforman la línea de producción como los procedimientos y las herramientas que se utilizan para llevar a cabo el montaje de estos, plantea condiciones que ponen en peligro la salud de los operarios. El sistema de control de riesgo planteado permite llevar un control sobre los elementos de los equipos y las condiciones de las instalaciones, en los cuales los operarios deben tener una mayor precaución así como el equipo adecuado a utilizar.
  
6. Los efectos al ambiente que se provocan al llevar a cabo el proceso de producción no repercuten de manera significativa al ambiente en el cual se encuentran sometidos, esto debido a que las características que presenta el producto final (caucho), permiten la reutilización de los residuos del proceso por parte del equipo, durante el proceso de producción la cantidad de decibeles emitidos no afecta a la salud del operario durante una jornada laboral de 8 horas.

## RECOMENDACIONES

1. Debido a que el método utilizado para determinar la distribución de maquinaria óptima, depende de valores estandarizados que no aplican a todas las capacidades que poseen los operarios, este tiende a mejorar si se establece una cantidad de carga promedio dentro de la planta que aplique a las aptitudes de los individuos a cargo del traslado de la materia prima.
2. Una vez montado el equipo en su ubicación determinada y antes de empezar el proceso de producción, realizar una lubricación nueva a todos los elementos que lo necesiten; de esta manera se lleva un control más detallado en las rutas de evaluación de equipo tomando el día del montaje como día cero.
3. Antes de llevar a cabo el montaje y la manipulación de los equipos asegurarse que los operarios estén equipados con los implementos indicados, así como llevar a cabo una breve inspección de área donde se depositará el equipo.
4. Antes de realizar el proceso de producción revestir las ventanas de ventilación con la medida indicada *mesh*, para evitar la propagación de partículas de caucho al ambiente.



## BIBLIOGRAFÍA

1. Asovictra. *Manual para capacitación de ergonomía en el levantamiento de peso*. Venezuela: Asovictra, 2008, 280 p.
2. CHANG GRANADOS, Randolpho. *Evaluación del montaje e instalación de una planta de café tostado*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánico. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1999. 135 p.
3. Distribuidora Phillips Guatemala. *Catálogo de luminarias*. Guatemala: Philips, 2010. 84 p.
4. Guatemala. Ministerio de Salud. *Legislación ambiental sobre el ruido en Guatemala*. Guatemala: Ministerio de Salud, 2009. 465 p.
5. HIGINIO RUBIO, Alonso. *Diseño mecánico rodamientos, criterios de selección de un rodamiento*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánico. España Universidad Carlos III de Madrid, Facultad de Ingeniería, 2009. 85 p.
6. Instituto Alemán de Normalización. *Din 51825: K2K-30*. Madrid: Aenor, 2009. 200 p.
7. Kauman Rubber Technoligies. *Manual para el montaje de correas*. España: Kauman Rubber Technoligies, 2009. 33 p.

8. *Lubricación de rodamientos*. España: FAG Sales Europe Iberia-España, 2010, Publ. No WL81 115/4 SB. 70 p.
9. MONROY PERALTA, Fredy Mauricio. *Material de apoyo del curso de montaje y mantenimiento de equipo*. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Mecánica. 2006. 150 p.
10. RAMÍREZ HERNÁNDEZ, Julio Francisco. *Plan de lubricación para el mantenimiento mecánico para la maquinaria pesada utilizada en el movimiento de tierra, en la industria de la construcción, por Topsa Construcciones S. A.* Trabajo de graduación de Ing. Mecánico. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2007. 70 p.
11. SKF. *Catálogo general*. Madrid: Aenor, 2006. 1133 p.
12. TORRES, Sergio. *Ingeniería de plantas*. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, 2008. 230 p.