



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

## **INSTALACIÓN DE MAQUINARIA DE PRODUCCIÓN DE POLIESTIRENO EXPANDIDO**

**Edgar Constantino Peláez Coronado**

Asesorado por el Ing. Efraín Andrés Paiz Cano

Guatemala, octubre de 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**INSTALACIÓN DE MAQUINARIA DE PRODUCCIÓN DE POLIESTIRENO EXPANDIDO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**EDGAR CONSTANTINO PELÁEZ CORONADO**

ASESORADO POR EL ING. EFRAÍN ANDRÉS PAIZ CANO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL**

GUATEMALA, OCTUBRE 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. Raúl Eduardo Ticún Córdova
VOCAL V	Br. Henry Fernando Duarte García
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
EXAMINADORA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADORA	Inga. Priscila Yohana Sandoval Barrios
EXAMINADOR	Ing. Julio Oswaldo Rojas Argueta
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## **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:

### **INSTALACIÓN DE MAQUINARIA DE PRODUCCIÓN DE POLIESTIRENO EXPANDIDO**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, con fecha 28 de julio de 2014.



**Edgar Constantino Peláez Coronado**

Guatemala 27 de julio de 2015

Ingeniero

Cesar Ernesto Urquizu Rodas

Director de Escuela de Mecánica Industrial

Facultad de Ingeniería

Universidad de San Carlos de Guatemala

Presente

Estimado Señor Director:

Por medio de la presente informo que he procedido a revisar el trabajo de graduación elaborado por el estudiante Edgar Constantino Peláez Coronado con carné 2010-20885 de la carrera de Ingeniería Mecánica Industrial con título: "INSTALACIÓN DE MAQUINARIA DE PRODUCCIÓN DE POLIESTIRENO EXPANDIDO".

Considerando que el trabajo ha sido desarrollado de forma satisfactoria, procediendo por este medio a su aprobación.

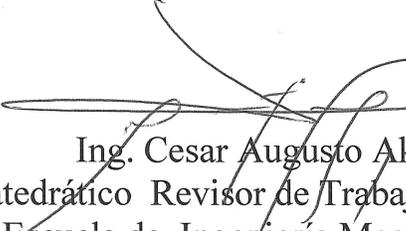
  
\_\_\_\_\_  
ING.EFRAÍN ANDRÉS PAIZ CANO

Efraín Andrés Paiz Cano  
Ingeniero Mecánico Industrial  
Colegiado No. 7.675



Como Catedrático Revisor del Trabajo de Graduación titulado **INSTALACIÓN DE MAQUINARIA DE PRODUCCIÓN DE POLIESTIRENO EXPANDIDO**, presentado por el estudiante universitario **Edgar Constantino Peláez Coronado**, apruebo el presente trabajo y recomiendo la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

  
César Akú Castillo MSc.  
INGENIERO INDUSTRIAL  
C. E. No. 4,373  
Ing. Cesar Augusto Akú Castillo  
Catedrático Revisor de Trabajos de Graduación  
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

Guatemala, septiembre de 2015.

/mgp



REF.DIR.EMI.304.015

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 titulado **INSTALACIÓN DE MAQUINARIA DE PRODUCCIÓN DE POLIESTIRENO EXPANDIDO**, presentado por el estudiante universitario **Edgar Constantino Peláez Coronado**, 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, octubre 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: **INSTALACIÓN DE MAQUINARIA DE PRODUCCIÓN DE POLIESTIRENO EXPANDIDO**, presentado por el estudiante universitario: **Edgar Constantino Peláez Coronado**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Decano

Guatemala, octubre de 2015



/cc

## **ACTO QUE DEDICO A:**

**Mis padres**

Su trayecto de vida es mi ejemplo a seguir.

**Hermanos**

Por ser fuente de apoyo y alegría.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

**Universidad de San  
Carlos de Guatemala**

Por ser mi segunda casa por tanto tiempo,  
dándome experiencias invaluableles.

**Mis amigos de la  
Facultad**

Por acompañarme en este largo y emocionante  
camino.

**Jorge Sanabria**

Por su apoyo incondicional durante el proyecto.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	IX
LISTA DE SÍMBOLOS .....	XIII
GLOSARIO .....	XV
RESUMEN.....	XVII
OBJETIVOS.....	XIX
INTRODUCCIÓN.....	XXI
1. GENERALIDADES.....	1
1.1. Historia de Sistegua, S. A.....	1
1.2. Ubicación.....	2
1.3. Misión .....	2
1.4. Visión.....	3
1.5. Sucursales.....	3
1.6. Procesos realizados .....	4
1.7. Línea de productos.....	5
1.8. Estructura organizacional .....	5
1.8.1. Organigrama.....	5
2. SITUACIÓN ACTUAL.....	7
2.1. Proceso productivo de formación de bloques de poliestireno expandido.....	7
2.1.1. Materia prima utilizada.....	7
2.1.2. Insumos utilizados .....	8
2.1.3. Fases del proceso .....	9
2.1.4. Diagrama de flujo.....	11

2.2.	Descripción de maquinaria actual .....	12
2.2.1.	Caldera.....	12
2.2.1.1.	Tipo de caldera.....	12
2.2.1.2.	Capacidad de la caldera.....	13
2.2.1.3.	Componentes y medidas de la caldera.....	14
2.2.1.4.	Insumos utilizados.....	14
2.2.1.5.	Combustibles utilizados.....	15
2.2.1.6.	Tuberías y accesorios actuales .....	16
2.2.1.7.	Medidores utilizados.....	17
2.2.1.8.	Uso del vapor .....	17
2.2.2.	Compresor.....	19
2.2.2.1.	Tipo de compresor .....	19
2.2.2.2.	Medidas del compresor .....	19
2.2.2.3.	Red de aire comprimido .....	19
2.2.2.4.	Tuberías y accesorios actuales .....	20
2.2.2.5.	Medidores de presión y flujo utilizados .....	20
2.2.2.6.	Capacidad del compresor.....	21
2.2.2.7.	Uso del aire comprimido.....	21
2.2.2.8.	Puntos de purga .....	22
2.2.3.	Máquina expansora de materia prima .....	22
2.2.3.1.	Características del equipo .....	23
2.2.3.2.	Materia prima e insumos utilizados .....	23
2.2.3.3.	Vapor y aire comprimido utilizado .....	23
2.2.3.4.	Producto terminado .....	24
2.2.3.5.	Anclaje.....	24
2.2.4.	Maquinaria formadora de bloques a sustituir.....	24
2.2.4.1.	Características del equipo .....	24

	2.2.4.2.	Componentes y medidas del equipo....	25
	2.2.4.3.	Materia prima e insumos utilizados.....	25
	2.2.4.4.	Vapor y aire comprimido utilizado.....	25
	2.2.4.5.	Producto terminado .....	25
	2.2.4.6.	Medidores utilizados .....	26
	2.2.4.7.	Fugas de aire y vapor .....	26
	2.2.4.8.	Capacidad de producción .....	26
	2.2.4.9.	Anclaje .....	26
	2.2.5.	Cortadoras de bloques .....	26
	2.2.5.1.	Características del equipo .....	26
	2.2.5.2.	Componentes y medidas del equipo....	27
	2.2.5.3.	Uso del equipo.....	27
	2.2.5.4.	Anclaje.....	27
	2.2.6.	Molino para reprocesado .....	28
	2.2.6.1.	Características del equipo .....	28
	2.2.6.2.	Componentes y medidas del equipo....	28
	2.2.6.3.	Uso del equipo.....	29
2.3.		Condiciones laborales de la fábrica.....	29
	2.3.1.	Tipo de edificio industrial y techo utilizado.....	29
	2.3.2.	Pisos industriales y cimentación .....	29
	2.3.3.	Ruido .....	30
	2.3.4.	Iluminación .....	31
	2.3.5.	Ventilación .....	32
	2.3.6.	Equipo de protección .....	32
2.4.		Plano de la planta.....	32
	2.4.1.	Ubicación de maquinaria a sustituir.....	33

3.	PROPUESTA DEL DISEÑO DE MONTAJE E INSTALACIÓN DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN FORMADORA DE BLOQUES.....	35
3.1.	Cimentación y anclaje necesario.....	35
3.2.	Tipos de suelos recomendados .....	36
3.2.1.	Análisis de cargas de diseño.....	37
3.3.	Tipos de cimentación factibles .....	39
3.3.1.	Anclajes.....	40
3.3.2.	Anclaje recomendado.....	40
3.4.	Métodos para reducción de vibraciones.....	42
3.5.	Instalación de tuberías de vapor y aire comprimido .....	43
3.5.1.	Demanda de vapor y aire comprimido por la maquinaria existente .....	43
3.5.2.	Demanda de la máquina a instalar.....	47
3.5.3.	Sobredimensionamiento y subdimensionamiento de tuberías .....	47
3.5.4.	Dimensiones y características de la tubería necesaria para la instalación.....	48
3.5.4.1.	Tipos de materiales en tuberías .....	51
3.5.5.	Golpe de ariete y pérdidas de presión.....	52
3.5.5.1.	Puntos de purga.....	53
3.5.6.	Tipo de trampa de vapor .....	54
3.5.7.	Accesorios y equipo necesario para las instalaciones de aire comprimido y vapor .....	56
3.5.7.1.	Juntas de dilatación.....	56
3.5.7.2.	Junta tipo omega.....	57
3.5.7.3.	Junta tipo fuelle .....	58
3.5.7.4.	Junta tipo telescópica.....	58
3.5.7.5.	Unidades de mantenimiento de aire comprimido.....	59

	3.5.7.6.	Soporte de tubería .....	60
3.5.8.		Factores a considerar en el manejo de vapor.....	62
	3.5.8.1.	Aislamiento térmico .....	62
	3.5.8.2.	Manifold .....	63
3.5.9.		Medidas de seguridad recomendadas.....	64
	3.5.9.1.	Seguridad en el manejo de la caldera.....	64
	3.5.9.2.	Control de nivel de agua.....	65
	3.5.9.3.	Control de presión de vapor.....	66
	3.5.9.4.	Válvulas de seguridad .....	66
	3.5.9.5.	Rutinas de prueba de válvulas.....	67
	3.5.9.6.	Recomendaciones generales de seguridad.....	67
3.5.10.		Recomendaciones para la ubicación óptima del compresor actual .....	68
	3.5.10.1.	Ubicación e instalación de tomas de aire.....	68
	3.5.10.2.	Tubos de admisión y descarga .....	69
3.6.		Instalación de maquinaria de formado de bloques de poliestireno expandido.....	70
	3.6.1.	Equipo y herramientas necesarias para la instalación.....	70
	3.6.2.	Método para el movimiento y ubicación del equipo.....	70
	3.6.3.	Suministro eléctrico requerido .....	72
	3.6.3.1.	Medidas de seguridad en paneles eléctricos .....	73
	3.6.4.	Calibraciones y ajustes necesarios.....	75
	3.6.5.	Colores industriales de la tubería y maquinaria.....	77

3.6.6.	Factores ambientales .....	78
3.7.	Medidores a instalar en la máquina y la tubería .....	79
3.7.1.	Análisis del entorno y valores de trabajo .....	79
3.7.2.	Medidores de flujo .....	80
3.7.3.	Medidores de temperatura .....	81
3.7.4.	Medidores de presión .....	81
3.7.5.	Valores permisibles de operación .....	82
3.8.	Documentación de procesos y planes de mantenimiento .....	83
3.8.1.	Mantenimiento preventivo recomendado para la línea .....	83
3.8.2.	Repuestos necesarios .....	84
3.8.3.	Frecuencia de realización.....	86
3.9.	Costos de montaje e instalación .....	86
3.9.1.	Costo de cimentación y anclaje .....	87
3.9.2.	Costo de tuberías y accesorios neumáticos .....	88
3.9.3.	Costos de tuberías y accesorios de vapor.....	89
3.9.4.	Costo de instalación y medidores.....	90
3.9.5.	Costo de capacitación .....	91
3.9.6.	Análisis financiero .....	91
4.	IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA .....	93
4.1.	Flujo de actividades a seguir .....	93
4.2.	Recurso humano necesario .....	94
4.2.1.	Perfil técnico necesario .....	95
4.3.	Capacitación de operadores .....	96
4.3.1.	Teoría y técnicas a capacitar.....	96
4.3.2.	Lugares de capacitación .....	97
4.3.3.	Tiempo requerido .....	97
4.4.	Tiempo estimado.....	97

4.4.1.	Maquinaria y equipo a detener para la instalación.....	98
4.4.2.	Tiempo de paro de la maquinaria y equipo.....	98
4.4.3.	Cronograma.....	99
5.	SEGUIMIENTO Y MEJORA CONTINUA .....	101
5.1.	<i>Checklist</i> de mantenimiento y limpieza.....	101
5.2.	<i>Checklist</i> de inspección visual .....	102
5.3.	Capacitación continua .....	103
5.4.	Estudios regulares de condiciones de trabajo. ....	104
6.	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL .....	107
6.1.	Reciclaje del poliestireno expandido .....	107
6.1.1.	Características del poliestireno expandido .....	107
6.1.2.	Métodos de reprocesado .....	109
6.1.3.	Características del producto reciclado.....	109
6.2.	Maquinaria.....	110
6.2.1.	Emisiones de gases al medioambiente .....	110
6.3.	Ruido .....	112
6.4.	Medidas de mitigación .....	113
6.4.1.	Tratamientos de desechos de la planta .....	113
6.4.1.1.	Plan de manejo de sólidos.....	113
6.4.1.2.	Manejo de líquidos.....	115
6.4.2.	Métodos para mitigar las emisiones de gases y ruido.....	116
6.4.2.1.	Métodos para mitigar emisiones de gases .....	117
6.4.2.2.	Métodos para mitigación del ruido .....	119

CONCLUSIONES..... 121  
RECOMENDACIONES..... 125  
BIBLIOGRAFÍA..... 127

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Organigrama .....	6
2.	Diagrama de flujo para elaboración de bloques de EPS.....	11
3.	Medición de ruido .....	30
4.	Medición de iluminación .....	31
5.	Plano de la planta.....	33
6.	Diseño de cimentación .....	39
7.	Bases para la reducción de vibraciones.....	43
8.	Dimensión de tubería con base en el caudal de vapor.....	49
9.	Diámetro de tubería por método de la velocidad.....	50
10.	Esquema punto de purga .....	53
11.	Junta tipo Omega.....	58
12.	Junta tipo fuelle .....	58
13.	Junta telescópica.....	59
14.	Control de agua tipo flotador .....	65
15.	Control de límite de presión en caldera.....	66
16.	Formato de calibración para medidores .....	82
17.	Lista maestra de instrumentos de medición .....	82
18.	Listado de tareas para mantenimiento preventivo.....	84
19.	Historial de fallas .....	85
20.	Cronograma mantenimiento preventivo .....	86
21.	Flujo de actividades para la implementación.....	94
22.	Cronograma .....	100
23.	<i>Checklist</i> de mantenimiento y limpieza .....	101

24.	Checklist para inspección visual .....	103
25.	Componentes de los gases de salida .....	111

## TABLAS

I.	Surcursales Sistegua .....	3
II.	Propiedades del EPS.....	8
III.	Consumo actual de vapor .....	18
IV.	Consumos de aire comprimido .....	22
V.	Dimensiones y peso de la maquinaria .....	36
VI.	Cargas muertas del equipo.....	37
VII.	Cargas vivas del equipo.....	37
VIII.	Cargas de operación del equipo .....	38
IX.	Capacidades de cargas de suelos (kilogramo/centímetro cuadrado) ...	38
X.	Resumen del consumo de vapor de los equipos .....	47
XI.	Coeficientes de dilatación .....	57
XII.	Distancia entre soportes para tubería .....	61
XIII.	Listado de herramientas para la instalación.....	70
XIV.	Acciones preventivas ante condiciones inseguras.....	73
XV.	Efectos de la corriente en la persona.....	74
XVI.	Consumos de vapor, aire y electricidad en pruebas .....	77
XVII.	Colores industriales .....	77
XVIII.	Resumen de costos para el montaje e instalación.....	87
XIX.	Costo de cimentación y anclaje .....	88
XX.	Costo de tubería y accesorios neumáticos .....	89
XXI.	Costo de tubería y accesorios para manejo del vapor .....	89
XXII.	Costo de medidores.....	90
XXIII.	Costo de mano de obra .....	90
XXIV.	Costo de pintura industrial .....	90

XXV.	Costo de cursos de capacitación .....	91
XXVI.	Perfil para operador.....	95
XXVII.	Perfil para Mecánico.....	95
XXVIII.	Descripción de cursos técnicos.....	96
XXIX.	Tiempos de paro por actividad.....	98
XXX.	Propiedades físicas del EPS .....	108
XXXI.	Estabilidad química del EPS .....	108
XXXII.	Límites máximos permisibles en la emisión de gases.....	110
XXXIII.	Tiempos de exposición máximos permitidos.....	112
XXXIV.	Niveles de ruido por fuente emisora.....	112



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>Hr</b>	hora
<b>kJ</b>	kilojoule
<b>kg</b>	kilogramo
<b>Kcal</b>	kilocaloría
<b>Lb</b>	libra
<b>Psi</b>	libra por pulgada cuadrada
<b>CFM</b>	pies cúbicos por minuto
<b>Ton</b>	tonelada
<b>Btu</b>	unidad térmica británica



## GLOSARIO

<b>Anclaje</b>	Base colocada en la maquinaria para fijarla al suelo y reducir las vibraciones.
<b>Enchaquetado</b>	Forro aislante colocado a lo largo de la tubería para reducir la pérdida de calor
<b>EPS</b>	Ejercicio Profesional Supervisado
<b><i>Manifold</i></b>	Distribuidor de vapor compuesto por un cilindro principal y las tuberías de alimentación y salida
<b>Mantenimiento preventivo</b>	Es un trabajo programado de reparación en máquinas o líneas de conducción, para evitar paros repentinos por desperfectos no contemplados.
<b>Motor</b>	Elemento mecánico que es accionado con algún tipo de combustible, ya sea diésel o gasolina, y que tiene como fin principal mover algún medio de transporte.
<b>Neumática</b>	Ciencia de la ingeniería perteneciente a la presión de los gases y su flujo.

<b>Termoformadora</b>	Maquinaria de formado de bloques compuestos de poliestireno expandido, utiliza vapor y aire comprimido para la formación de los mismos.
<b>Trampa de vapor</b>	Pieza mecánica utilizada para eliminar el condensado en un flujo de vapor, reduciendo la humedad y mejorando con ello la calidad del mismo.
<b>Unidad FLR</b>	Unidad de mantenimiento utilizada en sistemas de aire comprimido, consiste en un regulador de flujo, un lubricador y un filtro para partículas sólidas.

## RESUMEN

En una empresa dedicada a la producción de poliestireno expandido, se busca realizar la instalación de maquinaria para fabricar el poliestireno expandido. Para ello, se realiza una propuesta de instalación que contempla todos los factores de los equipos principales, auxiliares y el recurso humano necesario.

Se realizó un análisis de la situación actual del proceso productivo y de instalaciones de la empresa, entre los aspectos a considerar están las capacidades y consumos de los equipos que proveen el servicio de vapor y aire comprimido. Adicionalmente, se deben tomar en cuenta las condiciones de infraestructura para la base y el entorno de la maquinaria. Luego, se procede a evaluar el tipo de cimentación y anclajes recomendados según los requerimientos de la maquinaria.

Para la instalación de las tuberías de vapor y aire comprimido, se procedió a determinar el tamaño óptimo de la tubería con base en el método de la velocidad. Se definieron los accesorios y equipos auxiliares necesarios para el funcionamiento adecuado, asimismo, se establecieron las recomendaciones para evitar el golpe de ariete y pérdidas de temperatura en el flujo de vapor.

Durante la instalación de la maquinaria, se realizó un flujo de actividades que especifica los tiempos requeridos y el recurso necesario tanto de equipo como de personal, se contemplaron los tiempos de paro de los equipos auxiliares y el consumo de energía durante las pruebas iniciales de corrida. Los costos incurridos en la instalación fueron desglosados por categoría y tipo.

Adicionalmente, se definió el ahorro obtenido en la instalación de la maquinaria nueva.

Con el fin de asegurar una operación adecuada de la maquinaria luego de instalada, se determinó la instrumentación mecánica correcta y los cursos necesarios para la capacitación del personal. De forma complementaria, se desarrolló un plan de mantenimiento preventivo con base en un historial de fallas y se establecieron rutinas de limpieza e inspección visual, buscando con esto preservar el equipo en óptimas condiciones y extender su tiempo de vida útil.

Finalmente, se realizó un análisis del impacto ambiental generado por la producción de bloques de poliestireno expandido. Esta tiene repercusiones en el ambiente, como emisiones de gases, ruido y desechos, tanto líquidos como sólidos, por lo que un plan de manejo y reducción de los mismos debe ser incorporado en la planta.

## OBJETIVOS

### General

Instalar una máquina de formado de bloques de poliestireno expandido.

### Específicos

1. Cimentar según los requerimientos de la máquina a instalar.
2. Realizar el anclaje que debe tener la máquina en el suelo.
3. Verificar que las capacidades de la caldera y el compresor sean suficientes.
4. Instalar las tuberías óptimas para alimentar de vapor y aire comprimido la máquina.
5. Instalar, según los requerimientos de la maquinaria, el *manifold* necesario para distribuir el vapor adecuadamente.
6. Instalar los accesorios y equipos necesarios para que el vapor y el aire comprimido ingresen a la máquina en condiciones adecuadas.
7. Realizar las instalaciones eléctricas requeridas por el equipo.

8. Instalar los medidores que sean necesarios para un control adecuado de la operación.
9. Realizar un estudio de impacto ambiental de los desechos de la fábrica.

## INTRODUCCIÓN

Una empresa dedicada a la producción de poliestireno expandido, busca ampliar su capacidad productiva y optimizar el uso de vapor mediante el reemplazo de una máquina de producción de poliestireno expandido. La empresa tiene un total de 3 líneas de producción, las cuales han sido incapaces de cubrir la demanda total que se recibe del Departamento de Ventas. Añadido a este problema, una de las máquinas principales de formado de las planchas de EPS muestra bajo rendimiento y exceso de fuga debido a la cantidad de años de servicio, habiendo llegado al final de su vida útil.

Los factores críticos de la calidad del producto terminado en el proceso productivo de bloques de poliestireno expandido son la calidad del flujo de vapor que se alimenta y el preexpandido adecuado de la materia prima. Para esto es necesario contar con un suministro óptimo de vapor y aire comprimido, así como instrumentación de control y personal capacitado en la operación de los equipos principales y auxiliares.

Actualmente no existen bases técnicas para instalar la maquinaria y los aspectos críticos relacionados con la misma. En el presente trabajo se muestran las especificaciones del montaje y diseño de instalaciones necesarias para incorporar la línea de producción, un plan de mantenimiento preventivo, un análisis del entorno y condiciones de la maquinaria, así como un estudio de impacto de las líneas de productos a base de EPS elaborados por la empresa. Lo anterior se hace con el objetivo de implementar, de forma óptima, la línea de producción a instalar



# 1. GENERALIDADES

## 1.1. Historia de Sistegua, S. A.

Sistegua, S. A. fue fundada en 1981, iniciándose en el mercado de servicios para la industria, ofreciendo maquinaria industrial. Luego, en 1985, se creó la división de construcción de casas prefabricadas, utilizando varios sistemas constructivos con propiedades termoacústicas.

Para 1988 se instaló la planta de poliestireno expandido, donde se fabrican productos como: cielos acústicos, planchas para cuartos fríos, material de empaque y otros materiales diversos para la construcción, proveyendo a sus clientes de materiales que proporcionan ahorros energéticos y de climatización.

En 1992 se inició con el sistema constructivo de muro seco, es decir, la utilización de una estructura interna metálica galvanizada y plancha de tabla de yeso, lo cual revolucionó el mercado de construcción de edificios, casas y oficinas, siendo este sistema mucho más rápido y fácil de instalar que los tradicionales.

En 1995 se instaló una planta para la fabricación de estructura metálica: postes, canales y angulares de diversos tamaños y calibres, utilizando tecnología americana.

En 2005 se inició con la producción de estructuras para cielo falso con tecnología italiana, con lo cual se ofrece productos de alta calidad a un precio competitivo.

En 2009 se abrió la primera tienda en El Salvador, iniciando de esta manera la expansión en Centroamérica.

En 2010 se da un gran paso, innovando la tecnología de los equipos, contando con maquinaria totalmente automatizada para la fabricación del poliestireno expandido.

Sistegua cuenta con una red de distribuidores, la cual hace más rápida y eficiente la entrega de materiales a los clientes dentro del territorio nacional.

## **1.2. Ubicación**

Actualmente, la planta de producción de Sistegua S. A. esta ubicada en el kilómetro 30,5 ruta hacia Amatitlán, en Urbanización del Sur, Guatemala. En esta planta se realiza la producción de bloques de poliestireno expandido, el corte y acabado según los requerimientos del cliente. También se cuenta con la planta de perfilado de metales.

## **1.3. Misión**

"Somos una empresa dedicada a la fabricación y comercialización de sistemas modernos para la construcción. Estamos en constante innovación para que nuestra producción sea eficiente y así poder ofrecer a nuestros clientes productos de alta calidad garantizando la satisfacción de estos."<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Misión proporcionada por Sistegua, S. A.

#### 1.4. Visión

"Ser empresa líder en el mercado guatemalteco y centroamericano en la fabricación y venta de materiales prefabricados para la construcción. Contribuir a la construcción moderna de ambientes interiores y exteriores, aportando al mercado productos de vanguardia elaborados con alta tecnología y manteniendo una relación satisfactoria y a largo plazo con nuestros clientes."<sup>2</sup>

#### 1.5. Sucursales

Sistegua, S. A. cuenta con una variedad de sucursales en el territorio nacional dándole presencia a lo largo del país. Debido a este éxito se ha incursionado en El Salvador, aumentando su cobertura e impacto en el mercado.

Tabla I. **Sucursales Sistegua**

<b>Capital</b>	<b>Departamentos</b>	<b>El Salvador</b>
30 Avenida 27-63, zona 5	Escuintla, Salida a Taxisco	Boulevard Héroes, 1478, San Salvador
13 Avenida 4-72, zona 11, colonia Carabanchel	Chimaltenango, km 52,8, carretera interamericana	Carretera panamericana, San Miguel
Avenida La Castellana 41-54, zona 8	Mazatenango, km 158, carretera a Mazatenango	Residencial Los Próceres, Autopista Sur
9 Avenida 11-60, zona 12, colonia La Reformita	0 Calle 5-27, zona 9, Quetzaltenango	4ta Ave. Sur, Santa Ana
Calzada Aguilar Batres 45-87, zona 12	Huehuetenango, calzada Kaibil Balam	
4ª. calle 17-88 zona 14, La Villa	Santa Elena de La Cruz, Flores, Petén	
Aldea Puerta Parada, lote 20, km.13,5, carretera a El Salvador	13 Ave. 2-15, zona 2 Cobán, Alta Verapaz	
	Km 161, Santa Cruz del Quiché	

Fuente: Sistegua.com. Consulta: abril de 2015.

<sup>2</sup> Visión proporcionada por Sistegua, S. A.

## 1.6. Procesos realizados

Los procesos productivos realizados en área de manufactura se clasifican en sus 2 áreas de producción: producción y acabado de bloques de poliestireno expandido y perfilado de metales.

- Producción y acabado de bloques de poliestireno expandido
  - A partir de poliestireno expandido virgen se realiza la producción de bloques de poliestireno expandido.
  - Se realiza la expansión de variantes del poliestireno expandido a petición del cliente.
  - Corte de planchas de poliestireno expandido para venta en librerías.
  - Corte de planchas de poliestireno expandido para uso en la construcción.
  - Acabado de planchas de poliestireno expandido para usos ornamentales.
  - Acabado de planchas de poliestireno expandido para usos en la construcción.
  
- Perfilado de metales
  - Elaboración de canaletas a partir del proceso de laminado
  - Elaboración de estructuras metálicas para la construcción
  - Según requerimientos del cliente se diseñan perfiles metálicos
  - Área de acabado para las piezas producidas

## **1.7. Línea de productos**

Las líneas de producto con las que cuenta la empresa para su comercialización en las diversas sucursales son:

- Tableros USG
- Compuestos de tabla roca
- Compuestos *durock*
- Perfiles metálicos
- Aislantes térmicos
- Cielos falsos
- Suspensión esmaltada
- *Thermopor*
- *Shingle*

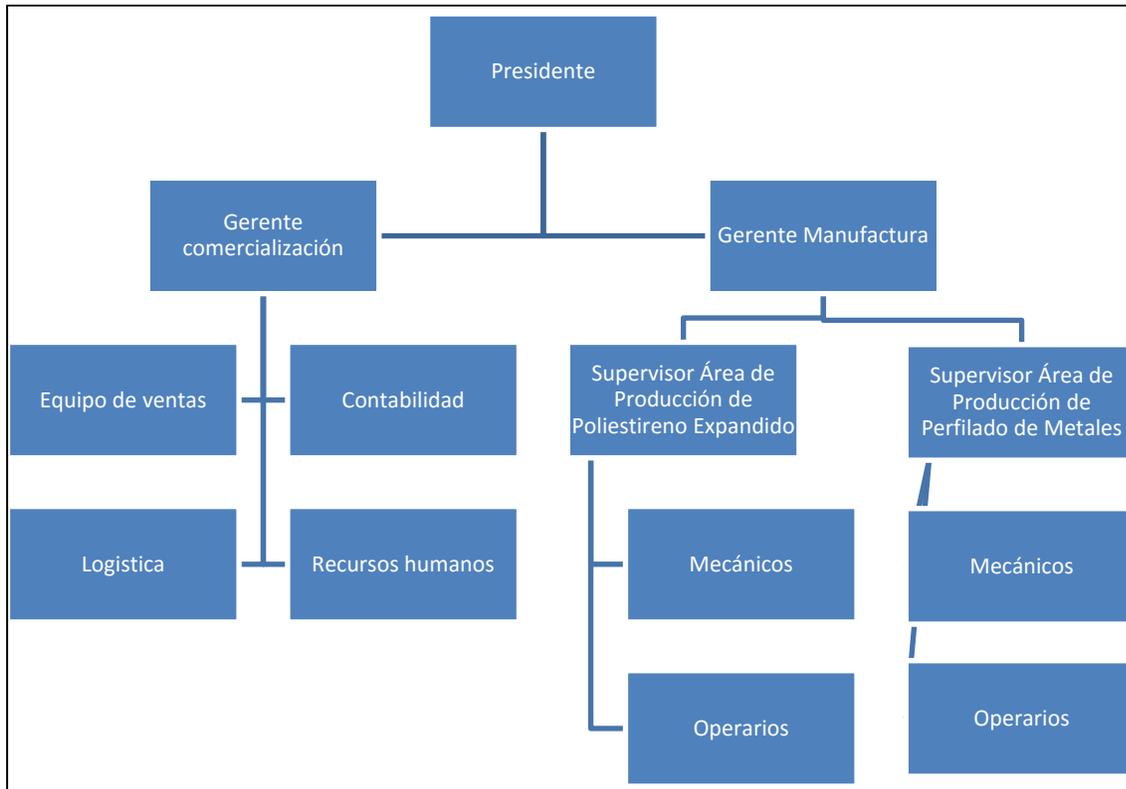
## **1.8. Estructura organizacional**

La estructura organizacional está dividida principalmente en el Área de Comercialización y el Área de Producción o Manufactura. Ambas áreas trabajan en coordinación para lograr suplir la demanda del cliente y el consumidor.

### **1.8.1. Organigrama**

A continuación se muestra el organigrama en la figura 1.

Figura 1. Organigrama



Fuente: elaboración propia, con información proporcionada por Sistegua.

## **2. SITUACIÓN ACTUAL**

### **2.1. Proceso productivo de formación de bloques de poliestireno expandido**

El proceso que se lleva a cabo en la fábrica para la formación de los bloques de poliestireno expandido es bastante sencillo con respecto a los pasos que se deben llevar a cabo. Sin embargo, la maquinaria utilizada requiere de un control preciso, así como un conocimiento de las válvulas a operar, ya que al utilizar vapor y aire comprimido, las presiones y flujos de operación se vuelven factores claves en la obtención de un producto de calidad. Adicional a esto, se debe añadir que los bloques de poliestireno expandido producidos pueden sufrir una serie de adaptaciones y acabados según los requerimientos del cliente, por lo que las herramientas e insumos varían según el pedido en proceso.

#### **2.1.1. Materia prima utilizada**

La materia prima utilizada en las operaciones es el poliestireno expandido en forma virgen, que significa un poliestireno no reciclado y de alta calidad. Este poliestireno viene en forma de perlas, las cuales, luego del proceso de preexpansión por medio de vapor de agua y agitación, se convierten en esferas de hasta 50 veces su tamaño original, su peso es liviano pero resistente.

Según el tiempo de exposición y la temperatura de trabajo, la densidad aparente del material disminuye de  $630 \text{ kg/m}^3$  a un valor entre  $10\text{-}30 \text{ kg/m}^3$

Para el proceso se realiza una mezcla en la dosificadora de la tolva de almacenamiento, en la cual se incluye el poliestireno virgen y el poliestireno reprocesado. Este poliestireno reprocesado es obtenido luego de moler los bloques o planchas de poliestireno expandido que tienen defectos inaceptables. A continuación se encuentran las propiedades del EPS.

Tabla II. **Propiedades del EPS**

Propiedades del Poliestireno Expandible			
Propiedad	Rango de valores		
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	15	32	49
Resistencia a la tensión (kg/cm <sup>2</sup> )	138	414	615
Resistencia a la flexión (kg/cm <sup>2</sup> )	207	640	1,034
Resistencia a la flexión (kg/cm <sup>2</sup> )	70	152	295
Resistencia a la compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	0,0375	0,0346	0,0349
Resistencia a la compresión (kg/cm <sup>2</sup> )		M1 – UNE	
Resistencia térmica (W/m <sup>3</sup> C)		23 727	
Clasificación al fuego			

Fuente: elaboración propia.

### 2.1.2. Insumos utilizados

Para la obtención de las esferas de poliestireno expandido a partir de los granos preexpandidos es necesario utilizar vapor de agua a temperaturas entre 80 -110 °C.

Posteriormente, en el proceso de elaboración del bloque es necesario volver a aplicar vapor de agua a las esferas, estas sufren un proceso de soldadura para formar el bloque requerido. El tiempo y temperatura varía según la densidad del bloque que se requiera, el rango oscila entre los 20-30 minutos de formación.

### 2.1.3. Fases del proceso

El proceso de elaboración se divide en 4 etapas principales:

- Fase 1: preexpansión de perlas

Esta etapa consiste en expandir la materia prima en forma de perlas de poliestireno expandido mediante la aportación de vapor de agua, esto causa que la perla disminuya su densidad aparente de  $630 \text{ kg/m}^3$  a un valor entre  $10\text{-}30 \text{ kg/m}^3$ .

Esto se realiza en la máquina preexpansora de materia prima, la cual mantiene en vibración constante las perlas, para que el vapor de agua tenga mayor eficacia y eficiencia en su aplicación. Estas perlas alcanzan un tamaño de hasta 50 veces su tamaño original. A partir de lo anterior se obtienen esferas de poliestireno expandido con aire por dentro de sus cavidades, lo cual le da un peso liviano a pesar de su tamaño.

- Fase 2: reposo de material y estabilización

Luego de la preexpansión se genera un vacío interior que es necesario aliviar con la penetración de aire por difusión. Para ello, las esferas de poliestireno expandido deben permanecer en tolvas de almacenamiento ventiladas, obteniendo una estabilización del material. Este paso asegura que las esferas tengan una estabilidad mecánica mayor y mejor capacidad de expansión. El material debe reposar en estos silos ventilados por un periodo mínimo de 6 horas.

- Fase 3: expansión y moldeo final de bloque

Luego de que las esferas de poliestireno expandido se han estabilizado, se transportan hacia la máquina formadoras de bloques. Esta máquina tiene un molde que cuenta con entradas de vapor, el cual se llena de las esferas para ablandarlas y luego expandirlas. Al momento que estas esferas se expanden, se unen o sueldan al resto de esferas dentro del molde, formando un bloque sólido cuya densidad y calidad dependen no solo de la materia prima, sino de los ciclos de calentamiento y enfriamiento al que está expuesto en el proceso.

El resultado esperado es un bloque homogéneo, sólido, con una buena apariencia en su exterior, sin abolladuras ni faltas de material. En algunos casos se llegan a formar burbujas de aire dentro del bloque, lo que ocasiona daños en la superficie externa requiera de un acabado manual o corte para poder venderlo.

El bloque final tiene un peso de 57 kg y unas medidas para bloques pequeños de 1 X 3 X 3,5 m y para bloques grandes de 2 X 4 X 4,5 m

- Fase 4: corte y acabado

Los bloques elaborados en el paso anterior pasan al área de corte, en la cual son cortados para formar planchas. Este proceso se realiza por medio de alambres de cobre a alta temperatura, obteniendo una serie de planchas del grosor pedido por el cliente.

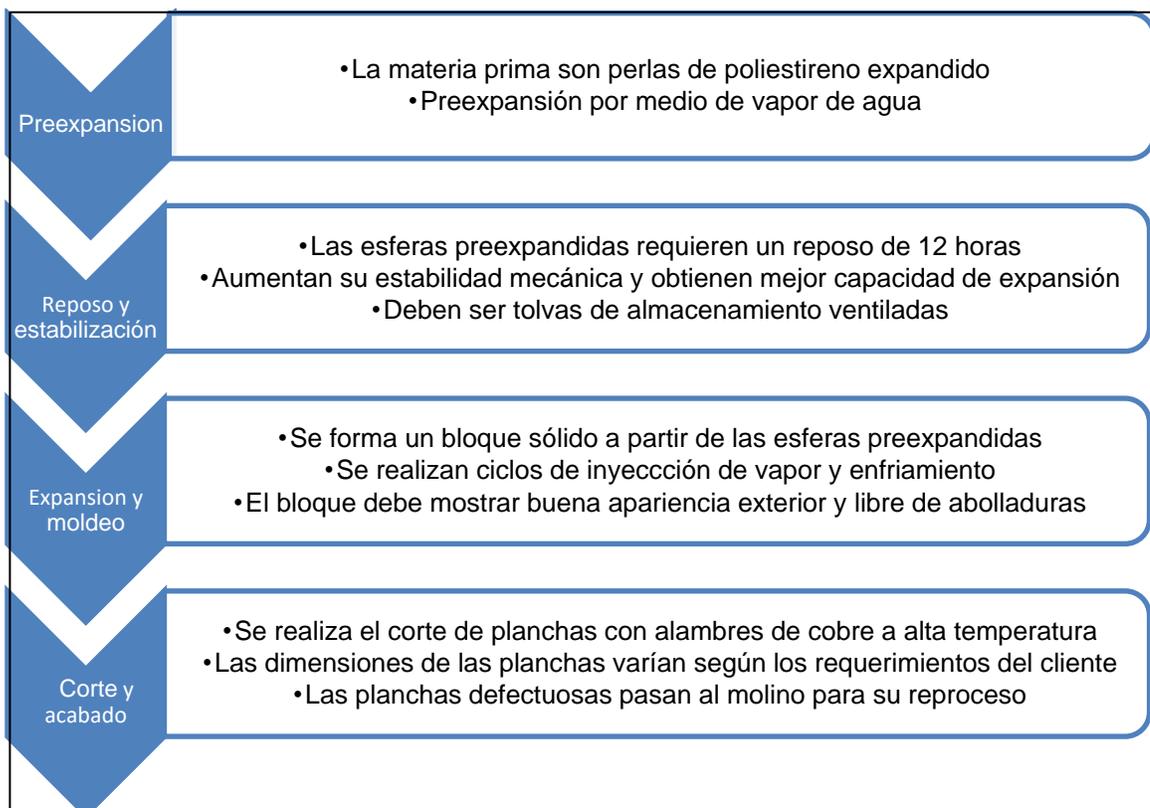
Durante este proceso de corte, las planchas pueden salir defectuosas por defectos de formación del bloque, por lo que este material pasa al área de donde será reprocesado y reutilizado para la formación de bloques de segunda

categoría. Las planchas en buen estado pasan al área de acabado para los detalles finales. Estos detalles varían según el pedido del cliente, ya que en algunos casos solo requieren las planchas rectangulares o pueden requerir un acabado ornamental para la decoración de casas.

#### 2.1.4. Diagrama de flujo

Para resumir el proceso se presenta el siguiente diagrama de flujo, el cual muestra las 4 fases principales, así como los factores más importantes.

Figura 2. Diagrama de flujo para elaboración de bloques de EPS



Fuente: elaboración propia.

## **2.2. Descripción de maquinaria actual**

La maquinaria utilizada en la planta de producción es operada de forma manual. Se cuenta con maquinaria antigua, como el caso de la máquina preexpansora y cortadora de bloques, y con maquinaria más reciente, como la formadora de bloques. Además de esta maquinaria se cuenta con una caldera y un compresor para alimentarla. A continuación se realiza una descripción detallada de cada una.

### **2.2.1. Caldera**

La definición técnica de una caldera es “un recipiente cerrado que contiene un líquido destinado a ser convertido en vapor mediante una fuente calorífica a una presión y temperatura generalmente elevadas”<sup>3</sup> (Mantenimiento y operación de calderas, Luis Fernando Ceballos, 2006)

La caldera se utiliza principalmente para la alimentación de la máquina de preexpansión de perlas de EPS y para las dos máquinas formadoras de bloques. Está instalada a 10 metros de la maquinaria que alimenta.

#### **2.2.1.1. Tipo de caldera**

La caldera utilizada entra en la clasificación de una caldera horizontal pirotubular de 4 pasos, considerando que maneja una presión de 100 psi, se clasifica como de alta presión.

---

<sup>3</sup> CEBALLOS, Luis Fernando. *Mantenimiento y operación de calderas*. p. 56.

### 2.2.1.2. Capacidad de la caldera

La capacidad de la caldera está definida por su potencia, esta potencia viene dada por los BHP (*boiler horsepower*).

La capacidad de una caldera podrá expresarse de la siguiente forma:

$$\text{HPdecaldera(BHP)} = \frac{ms(hg - hf)}{(2\ 257)(15,65)}$$

Donde

ms = peso del vapor producido por la caldera, en kilogramo sobre hora (kg/hr)

hg = entalpía de vapor saturado en kilojoules sobre kilogramos (Kj/kg), a presión absoluta de generación

hf = entalpía del agua que entra a la caldera en kilojoules sobre kilogramos (kJ/kg)

El término de BHP tiende a usarse comercialmente para calderas medianas. En el caso de las calderas pequeñas se tiende a utilizar los valores en kilocaloría sobre hora (Kcal/hr) y unidad térmica británica (Btu/hr), y en el caso de calderas grandes se utilizan kilogramo sobre hora (kg/hr), libra sobre hora (lb/hr) o tonelada sobre hora (Ton/hr). En el caso especial de calderas muy grandes, como las utilizadas en los ingenios, se identifican según su capacidad de generación de energía eléctrica.

En caso sea necesario convertir los valores entre las unidades mencionadas anteriormente, se logra considerando la definición de la ASME para BHP, siendo 1BHP = 15,65 kg/hr o 34,5 lb/hr. La caldera utilizada dentro

de la planta de producción es de 60 BHP, operando a una presión de salida de 100 psi.

### **2.2.1.3. Componentes y medidas de la caldera**

La caldera mide 2,2 metros de ancho, 3 metros de largo y 2 metros de altura.

Sus componentes principales son

- Salida de vapor
- Deflector
- Ventilador
- Control de presión de aire
- Cámara de combustión
- Entrada para llama guía
- Tubería de alimentación de combustible
- Válvulas de seguridad (alivio)
- Quemadores
- Control de nivel de agua
- Chimenea
- Caja eléctrica principal
- Sistema eléctrico de control
- Precalentador de combustible

### **2.2.1.4. Insumos utilizados**

El agua utilizada por la caldera debe ser tratada con químicos para alcanzar un nivel de suavidad mayor y evitar las incrustaciones en la chimenea

y la caldera. Estos químicos se mezclan en el agua antes de su ingreso, como resultado, se tiene un buen funcionamiento de la caldera y aumento de su tiempo de vida.

Los insumos utilizados para el funcionamiento de la caldera son los químicos para el tratamiento del agua a evaporar, el diésel como combustible, y el aire comprimido necesario para mantener la llama dentro de la cámara de combustión.

#### **2.2.1.5. Combustibles utilizados**

Las calderas pueden utilizar una serie de combustibles, estos son:

- Bagazo de caña
- Bunker
- Diésel
- Combustibles fósiles

Estos combustibles varían en su eficiencia, costo y facilidad de manejo

Actualmente, en la caldera se utiliza como combustible el diésel. El problema principal de este combustible es la cantidad de hollín que crea en las paredes de la caldera, así como su eficiencia más baja en comparación al bunker.

### **2.2.1.6. Tuberías y accesorios actuales**

El dimensionamiento de la tubería de vapor es un factor que se debe considerar a detalle, ya que un error puede causar una serie de problemas en la alimentación y eficiencia del vapor. A continuación se listan los riegos:

- Problemas por sobredimensionar tuberías
  - El costo por la tubería es más caro de lo necesario.
  - Los costos de instalación son mayores.
  - Se genera más condensando en la tubería debido a que hay una mayor pérdida de calor.
  - La calidad del vapor es más baja debido al aumento de humedad por el condensado.
  
- Problemas por subdimensionar tuberías
  - El volumen de vapor en la entrega será insuficiente.
  - Mayor golpe de ariete, erosión y ruidos por el aumento de velocidad.
  - Mayor caída de presión generando una presión inferior a la necesaria en la entrega.

Las tuberías actuales de vapor son de 6 pulgadas para la alimentación de la máquina formadora de bloques grandes y de 3 pulgadas para la alimentación de la máquina formadora de bloques pequeños y la preexpansora. Estas tuberías salen del acumulador de vapor, el cual cuenta con 2 aberturas para generar el vapor húmedo necesario en la maquinaria.

Las tuberías son de hierro negro cédula 40, cuentan con un aislamiento térmico de esponja para reducir las pérdidas de calor. Las uniones de las tuberías son juntas hechas de aluminio.

Actualmente no hay puntos de purga en el proceso, lo que genera golpe de ariete y un exceso de humedad en el vapor utilizado, así como erosión en la tubería. Hay 1 regulador de presión con su respectiva válvula de alivio en la entrada de cada máquina formadora de bloques.

#### **2.2.1.7. Medidores utilizados**

Actualmente, hay 4 manómetros colocados a lo largo de la tubería, los cuales cumplen con la función de marcar la presión de salida del acumulador de vapor y la presión de entrada a la maquinaria.

Los manómetros son factores críticos en este proceso, ya que la calidad del producto se basa en las presiones de trabajo del vapor y el aire comprimido, asimismo, un manómetro que indique una presión errónea en la salida de vapor de la caldera o acumulador puede causar accidentes severos ante la falta de un control real del proceso.

#### **2.2.1.8. Uso del vapor**

El vapor se utiliza principalmente en las máquinas formadoras de bloques y en la preexpansora. Actualmente hay fugas de vapor en el sistema y con una baja calidad del mismo debido al exceso de humedad.

Los requerimientos de humedad del vapor varían según el tipo de proceso e industria. En el caso que se utilice el vapor para la generación de energía

eléctrica, es necesario contar con vapor seco, debido que la presencia de humedad causa la oxidación de la turbina que recibe el vapor y daños al sistema en general.

En el caso del proceso analizado, es necesario que el vapor tenga cierto grado de humedad para no quemar el bloque de poliestireno expandido, por ello es necesario un grado de humedad en el vapor, pero un exceso de condensando aumenta esta humedad a niveles dañinos al sistema y al producto.

Un factor a considerar es que el alto grado de humedad en la formación de bloques de poliestireno expandido causa que el corte en planchas sea deficiente y se deba dejar el bloque en un proceso de secado al aire, para luego cortarlo adecuadamente. Esta espera de secado se alarga según la cantidad de humedad y las condiciones del lugar, pero se encuentra en un rango de 2 a 9 días.

Los consumos actuales del equipo relacionados al vapor son:

Tabla III. **Consumo actual de vapor**

<b>Equipo</b>	<b>Consumo (kg/h)</b>
Máquina preexpansora	300
Máquina de formado de bloques grandes	1500
Máquina de formado de bloques pequeños (máquina a sustituir)	500

Fuente: elaboración propia.

## **2.2.2. Compresor**

A continuación se encuentran los tipos de compresores.

### **2.2.2.1. Tipo de compresor**

Los tipos de compresores en la industria se dividen en: reciprocantes, paletas deslizantes, tornillo rotativo, lóbulo recto, pistón líquido, centrífugos, flujo mixto y flujo axial. Cada tipo de compresor tiene diferentes usos, eficiencias y capacidad de adaptación a la maquinaria.

El compresor utilizado en la planta es marca Kaeser, tipo tornillo rotativo. Es un compresor adecuado al tipo de industria y de uso general.

### **2.2.2.2. Medidas del compresor**

El compresor mide 3 metros de ancho, 2 metros de largo y 1 metro de altura. Este compresor cuenta con una entrada lateral de aire con filtro interno incorporado, su potencia es de 20 HP

### **2.2.2.3. Red de aire comprimido**

- Las componentes de la red de aire comprimido son
  - Unidad de compresión
  - Línea principal
  - Línea de distribución
  - Línea de servicio
  - Accesorios

- Herramientas
- Separador
- Válvula de paso
- Filtros FR y FLR

#### **2.2.2.4. Tuberías y accesorios actuales**

La tubería utilizada actualmente es de 6 pulgadas de diámetro, es adecuada a los requerimientos de aire comprimido de la maquinaria.

Actualmente solo hay un filtro a la entrada de la máquina preexpansora, por lo que es necesario incorporar filtros para cada máquina y para la pistola de aire comprimido. Se debe remarcar la diferencia entre los filtros FR y FLR, ya que los filtros FR están compuestos de un filtro para la limpieza del aire y de un regulador de paso de aire, mientras que los FLR cuentan con las dos partes anteriores pero incluyen un lubricador de aire. La importancia de la diferencia radica en que los filtros FLR solo son necesarios cuando el aire se conduce a maquinaria que realiza movimiento, en caso contrario no es necesario utilizar el lubricador.

#### **2.2.2.5. Medidores de presión y flujo utilizados**

Actualmente solo se cuenta con el manómetro de salida del tanque de almacenamiento de aire. No se tienen otro tipo de medidores en la línea de aire comprimido.

### **2.2.2.6. Capacidad del compresor**

Para evaluar si la capacidad del compresor es la adecuada y suficiente para alimentar la demanda adicional del equipo nuevo, es necesario conocer el consumo medio del conjunto de utilizaciones del aire comprimido en la fábrica.

La capacidad del compresor o compresores necesarios puede averiguarse estableciendo los siguientes pasos:

- Se estudian detenidamente todas las aplicaciones del aire comprimido en la planta.
- De este análisis se obtiene la maquinaria y equipos neumáticos que utilizan el aire comprimido.
- Se anotan una lista con las máquinas y los equipos, identificando su nombre y características, así como colocando el consumo específico.
- Se establece el coeficiente de utilización individual o el coeficiente de simultaneidad según las características de la industria.
- • Se multiplica el consumo total promedio de aire libre por el coeficiente de simultaneidad para obtener la cantidad de aire libre que deberá suministrar el compresor.
- • Para considerar las pérdidas de aire se le añade un 10% del valor obtenido se agrega un 25% de consumo de aire adicional por posibilidades de ampliación.

### **2.2.2.7. Uso del aire comprimido**

El aire comprimido se utiliza en las máquinas formadoras de bloques y en la preexpansora, su uso es para activar las válvulas de inyección y las electroválvulas, asimismo se utiliza en la manguera a presión para limpieza.

Es de resaltar que las dos máquinas formadoras de bloques tienen consumos distintos de aire ya que una se dedica a la elaboración de bloques pequeños y la otra máquina a la elaboración de bloques grandes.

Tabla IV. **Consumos de aire comprimido**

Equipo y herramienta	Consumo (m <sup>3</sup> /min)	Coefficiente de utilización	Cantidad	Consumo total
Máquina preexpansora	1	80 %	1	1
Máquina formadora de bloques grandes	2,3	85 %	1	2,3
Máquina formadora de bloques pequeños	1,8	60 %	1	1,8
Pistola para pintar	0,3	55 %	2	0,6
Pistola neumática	0,6	30 %	1	0,6

Fuente: elaboración propia.

Como se observa en la tabla IV, el total del consumo es de 6,3 m<sup>3</sup>/min.

#### **2.2.2.8. Puntos de purga**

Son necesarios para eliminar el condensado generado la humedad del aire comprimido, no contar con ellos causa daños a los cilindros y accionadores neumáticos debido a la corrosión creada por dada humedad. Actualmente, el único punto de purga es el del tanque de almacenamiento de aire.

#### **2.2.3. Máquina expansora de materia prima**

A continuación se encuentran las características de la máquina expansora de materia prima.

### **2.2.3.1. Características del equipo**

La máquina expansora de perlas de poliestireno expandido se compone de 3 partes: caja de alimentación de materia prima, ducto de inyección de vapor y tolva de almacenamiento temporal de perlas preexpandidas. Es un equipo que consume 13,3 Kw/hora y funciona con 380 V.

Este equipo se encarga de realizar la preexpansión de la materia prima, tomando las perlas y agitándolas mientras se inyecta el vapor. Esto asegura que el vapor sea absorbido y que las perlas no se unan entre ellas por el calor. La máquina actualmente funciona a un 80 % de su capacidad y alimenta las tolvas de almacenaje.

### **2.2.3.2. Materia prima e insumos utilizados**

Utiliza perla virgen sin expandir como materia prima, se debe alimentar cada 30 minutos de forma manual. La máquina requiere de vapor y aire comprimido para su buen funcionamiento, así como de la supervisión de un operario para verificar los tiempos y cantidad de producto producido.

### **2.2.3.3. Vapor y aire comprimido utilizado**

La máquina consume 300 kg/h de vapor y 1m<sup>3</sup>/min de aire comprimido, el vapor es necesario que sea húmedo para no dañar la materia prima. El aire comprimido debe estar a una presión de 20 psi para que sea adecuado. El área cuenta con una campana de extracción para recapturar el vapor utilizado.

#### **2.2.3.4. Producto terminado**

Se obtienen perlas de poliestireno expandido 50 veces más grandes y con una densidad de  $20 \text{ kg/m}^3$ . Estas perlas requieren de un tiempo de reposo para estabilizarse y asegurar el uso del producto, la omisión de este tiempo de reposo puede causar mala calidad en el producto terminado.

#### **2.2.3.5. Anclaje**

El anclaje utilizado en la máquina es de pernos unidos a placas metálicas lo cual asegura su estabilidad durante el funcionamiento y alarga la vida útil de los componentes de la línea de producción.

### **2.2.4. Maquinaria formadora de bloques a sustituir**

Actualmente se cuenta con 2 máquinas formadoras de bloques, una se dedica a la producción de bloques de poliestireno expandido de tamaño grande y la segunda máquina a la producción de bloques de tamaño pequeño.

La maquinaria que produce los bloques pequeños es obsoleta debido a que ha llegado al final de su vida útil y tiene elevada cantidad de fugas de vapor y aire comprimido, así como una baja en la calidad del producto moldeado.

#### **2.2.4.1. Características del equipo**

La maquinaria cuenta con alimentación automática de materia prima (perlas preexpandidas), la cual funciona a base de un temporizador y un sensor de peso.

La alimentación de vapor y aire comprimido es automatizada, pero requiere de la supervisión constante de un operario en caso se pierda la secuencia o falle un paso de la automatización.

La maquinaria, al momento que detecta que el bloque esta completo, activa el mecanismo de eyección del bloque, el cual es empujado hacia los rodillos donde un operario lo levanta y lleva a la fase de corte o almacenaje.

#### **2.2.4.2. Componentes y medidas del equipo**

El equipo mide 5 metros de largo, 2 metros de ancho y 2 metros de altura. Sus componentes generales son: tolva de alimentación, entrada de vapor, entrada de aire comprimido, motor para apertura del molde. Sus características son que consume 30 Kw/h y se alimenta de 210 V.

#### **2.2.4.3. Materia prima e insumos utilizados**

La materia prima utilizada son las perlas preexpandidas y los insumos no son otros más que el vapor y el aire comprimido utilizados.

#### **2.2.4.4. Vapor y aire comprimido utilizado**

Actualmente la maquinaria de bloque grande consume 1 500 kg/h y la de bloque pequeño 500 kg / h.

#### **2.2.4.5. Producto terminado**

Se fabrican bloques de 57 kg de peso, a partir de los cuales se cortan 600 planchas.

#### **2.2.4.6. Medidores utilizados**

No existen medidores para monitorear los valores.

#### **2.2.4.7. Fugas de aire y vapor**

Actualmente existen varias fugas de vapor y aire, estas fugas son debido al tiempo de vida de la tubería.

#### **2.2.4.8. Capacidad de producción**

La maquinaria es capaz de producir 3 bloques de poliestireno por hora. El tiempo varía con base en la calidad y aprovechamiento del vapor húmedo utilizado.

#### **2.2.4.9. Anclaje**

El anclaje consiste en la inserción de pernos en las bases para reducir la vibración y dar mayor seguridad a la operación del equipo.

### **2.2.5. Cortadoras de bloques**

A continuación se encuentran las características de cortadoras de bloques.

#### **2.2.5.1. Características del equipo**

Luego que los bloques de poliestireno expandido están listos para el corte, se transportan por medio de un *stacker* hacia la maquinaria que realiza

este proceso. El corte se realiza con alambres de cobre a alta temperatura, la altura y separación de estos alambres se determina con base en las medidas de las planchas que se necesita cortar. Las planchas más comunes son de 1 cm de espesor y se pueden obtener hasta 600 planchas por bloque. El equipo no hace ruido excesivo, ni emisiones de gases o polvo. El riesgo de operarlo es bajo.

#### **2.2.5.2. Componentes y medidas del equipo**

Esta maquinaria mide 5 m de largo y 2 metros de ancho, tamaño adecuado para recibir los bloques. Tiene rodillos en su base para mover el bloque con mayor facilidad, también tiene una serie de alambres que cortan el bloque de manera horizontal y otra serie de alambres que lo hacen de manera vertical. El equipo cuenta con iluminación focalizada para observar si el corte se realiza de manera correcta, en la parte inferior tiene una bandeja para la recepción del desperdicio generado en el corte, el cual más adelante se puede reprocesar.

#### **2.2.5.3. Uso del equipo**

El equipo está funcionando a un 78 % de utilización y su función principal es el corte de planchas a partir de los bloques. Las limitantes de uso del equipo son la rotura de los alambres de corte y la falta de abastecimiento de bloques.

#### **2.2.5.4. Anclaje**

El anclaje es por medio de 5 puntos que unen la máquina con el suelo, en estos puntos hay placas de acero unidas por medio de tornillos al suelo. Este equipo requiere de un anclaje más estable y resistente debido a que maneja

pesos más elevados que la otra maquinaria y necesita poca vibración, ya que el corte debe ser exacto.

## **2.2.6. Molino para reprocesado**

A continuación se encuentran las características del molino para reprocesado.

### **2.2.6.1. Características del equipo**

El molino para reprocesado esta hecho de una aleación de acero y aluminio, cuenta con una entrada de material que tiene una fila de alambres de cobre a alta temperatura, los cuales se encargan de partir el material en trozos más pequeños para luego ser molidos. Tiene la capacidad de moler 70 planchas/minuto y genera un alto nivel de ruido y polvo, por lo que es necesario utilizar equipo de protección al operarlo.

### **2.2.6.2. Componentes y medidas del equipo**

El molino está compuesto por una entrada rectangular con 20 alambres de cobre a alta temperatura, los cuales se encargan de partir el material en piezas de menor tamaño. Luego están las cuchillas de molido, en este paso hay un extractor de polvos, el cual se encarga de absorber todo el polvillo generado por la trituración, de esta forma, únicamente se almacena el poliestireno expandido molido para su posterior uso. Este paso es clave ya que el polvillo es dañino para la maquinaria y reduce la calidad, en caso llegará a usarse.

El molino mide 2 metros de largo y 1 metro de ancho, cuenta con escaleras para alimentar el material y varillas para empujar el material.

### **2.2.6.3. Uso del equipo**

El molino se encuentra en un 60 % de utilización y se usa 2 veces al día, en tiempos aproximados de 2 horas. Este tiempo varía según los requerimientos de molido y cantidad de material a reprocesar. Su uso es la parte fundamental del reciclaje del material y facilita la reducción de desechos de la fábrica.

## **2.3. Condiciones laborales de la fábrica**

Para instalar de manera óptima la nueva maquinaria, es necesario determinar las condiciones del entorno. Para ello, es necesario determinar el tipo de edificio industrial, el techo, el ruido generado, la iluminación y la ventilación actual.

### **2.3.1. Tipo de edificio industrial y techo utilizado**

El tipo de edificio industrial es de segunda categoría, debido a que cuenta con un techo de 2 aguas de lámina, ventanas de aluminio, piso de hormigón, paredes de concreto y lámina.

El techo de 2 aguas entrada de aire en los alerones para mejorar la ventilación.

### **2.3.2. Pisos industriales y cimentación**

Los pisos industriales cuentan con los colores industriales según la norma ANSI, identificando las rutas de evacuación en verde y la delimitación de espacios de maquinaria en amarillo.

La cimentación actual es de hormigón con zapatas en algunas máquinas para reducir la vibración. Actualmente, no se cuenta con epóxico en el suelo.

El epóxico tiene la ventaja de mejorar la limpieza del piso, cerrar grietas del suelo, aumentar la reflectancia para mejor iluminación e incrementar la resistencia al desgaste.

### 2.3.3. Ruido

Se realizó un análisis del ruido generado por la maquinaria en el punto donde está ubicada la máquina a sustituir. Para ello se tomaron varias mediciones alrededor de la maquinaria.

Los factores y datos tomados fueron:

- Medición realizada el 28/6/2014 a las 3:00 pm
- Condiciones climáticas regulares, día soleado
- Utilización de decibelímetro en escala B
- Analista: Edgar Constantino Peláez Coronado

Tabla V. **Medición de ruido**

Punto de medición	Decibeles medidos (db)	Tiempo de exposición (hr)	Cantidad máxima según Norma OSHA (HR)
1	95	1	4
2	105	2	1
3	91	1	7
4	96	2	3,5

Fuente: elaboracion propia.

$$\text{Dosificación: } \frac{1}{4} + \frac{2}{1} + \frac{1}{7} + \frac{2}{3,5} = 2,964 \quad 2,964 > 0,5$$

La dosificación de ruido excede los valores permitidos, por lo que el operario debe utilizar equipo de protección auditivo. El valor de 105 db se registró cuando el molino estaba activo.

### 2.3.4. Iluminación

Para determinar las condiciones de iluminación en el punto donde está ubicada la maquinaria a sustituir, es necesario realizar un mapa con los puntos donde se deben tomar las mediciones y determinar la cantidad de luxes presentes en el lugar, para compararlos con la cantidad óptima.

- Operación de maquinaria pesada= 600 luxes
- Equipo utilizado: luxómetro

Tabla VI. **Medición de iluminación**

Punto de medición	Luxes medidos	Luxes recomendados
1	650	600
2	700	600
3	580	600
4	620	600
5	320	600

Fuente: elaboración propia.

La iluminación es adecuada en el área a operar la maquinaria, el punto más bajo de luxes se debe a que este está opacado por la máquina preexpansora.

### **2.3.5. Ventilación**

Actualmente, adicional a la ventilación natural gracias a las ventanas y las entradas de aire por las puertas y techo, hay 2 ventiladores colocados en las paredes.

Esto ayuda a que el ambiente se mantenga fresco y libre de gases dañinos para el personal. El factor más importante a considerar es el polvillo generado por el molido del poliestireno a reprocesar, el cual puede ser molesto en el ambiente. Para ello, el personal porta mascarillas con protección de partículas sólidas.

### **2.3.6. Equipo de protección**

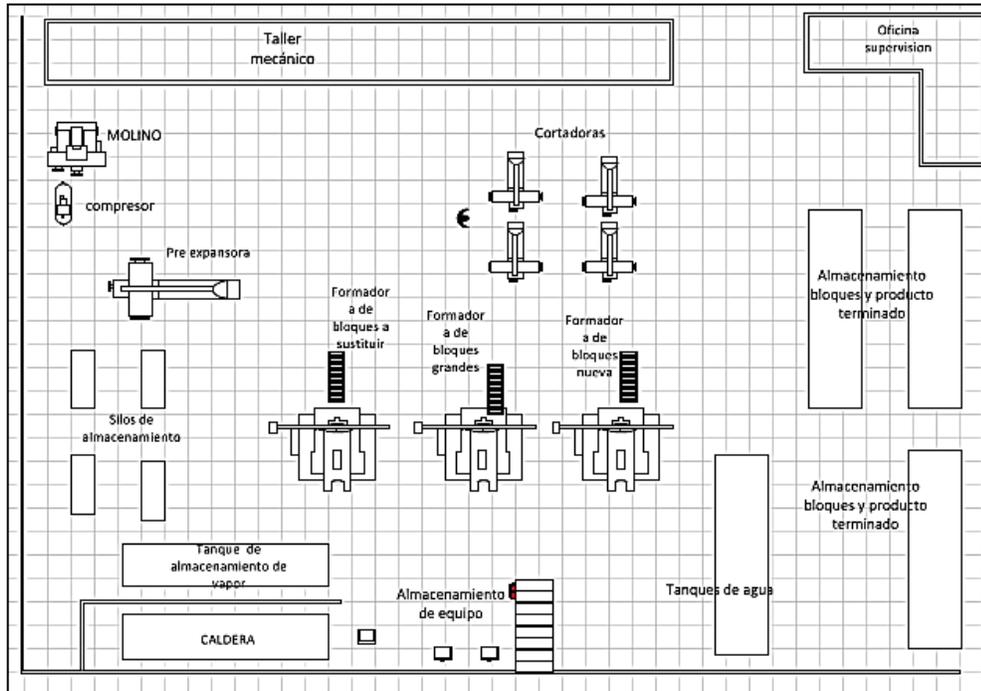
El equipo de protección utilizado por los operarios es:

- Protectores auditivos tipo hongo y orejera
- Calzado cerrado o bota
- Casco de protección
- Guantes
- Faja
- Mascarillas con filtro de partículas sólidas.

## **2.4. Plano de la planta**

Para determinar de mejor manera la ubicación elegida para la instalación de la termoformadora y comprender la ubicación relativa de los equipos auxiliares, se realizó un plano de la planta, colocando las áreas y equipos de mayor relevancia.

Figura 3. Plano de la planta



Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Project.

#### 2.4.1. Ubicación de maquinaria a sustituir

La máquina de formado de bloques a colocar se ubicará a un costado de la máquina de formado de bloques grandes y la máquina de formado de bloques pequeños será removida.



### **3. PROPUESTA DEL DISEÑO DE MONTAJE E INSTALACIÓN DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN FORMADORA DE BLOQUES**

Luego de evaluadas las condiciones actuales del entorno del equipo y sus servicios asociados, se procede a realizar el estudio para el diseño del montaje e instalación de la línea de producción, contemplando todo el proceso, desde la cimentación hasta la fase de pruebas.

#### **3.1. Cimentación y anclaje necesario**

La fiabilidad y los costos implicados en el ciclo de vida de la maquinaria se ven afectados de manera directa por la instalación.

Una instalación incorrecta da problemas de calidad en el producto, reduce la capacidad total, aumenta el tiempo de inactividad y repercute negativamente en los costos de operación.

Una rigidez pobre y falta de masa es propicia para generar niveles de vibraciones anormales que repercuten en la vida útil, implicando mayor frecuencia de mantenimiento preventivo y con ello costos mayores.

Al realizar fundiciones para la maquinaria pesada se tiende a trabajar de forma general con estructuras de acero o concreto estructural. Para realizarlo, se aplica una capa de cemento independiente que posee la rigidez y masa necesaria para soportar el tren de máquinas y absorber las fuerzas provocadas por la operación normal del equipo.

Las fundiciones y estructuras de apoyo colocadas tendrán que contar con una masa total de al menos cinco veces la masa total de desplazamiento o rotación dada en el tren de máquinas instalado.

Los factores principales a considerar son: dimensiones de la maquinaria a instalar, carga estática, carga dinámica y tipo de operación que se va a realizar.

Para el caso analizado en este trabajo los valores son los siguientes:

Tabla VII. **Dimensiones y peso de la maquinaria**

<b>Peso de maquinaria</b>	3 toneladas
<b>Dimensiones</b>	3 x 1,1 x 1,3 metros
<b>Carga dinámica</b>	N/A
<b>Operación a realizar</b>	Termoformado de bloques de EPS

Fuente: elaboración propia.

### **3.2. Tipos de suelos recomendados**

Los terrenos se pueden dividir en dos categorías: las rocas y los suelos sueltos. Se llaman rocas a los terrenos que, en presencia de agua, no tienen una modificación sensible, su capacidad natural y sus conexiones internas hacen que su resistencia sea adecuada a escala de obras de cimientos de máquinas

Con respecto a los suelos sueltos, estos son los terrenos que tienen una capacidad pequeña y que pueden deformarse por influencia de obras de cimientos de máquinas. Entre los suelos sueltos están: las arenas, las gravas, los limos, las arcillas, las margas y los suelos complejos.

Para soportar cargas elevadas, es necesario que el material tenga cierto grado de resistencia y cohesión, para ello se consideran adecuados los siguientes materiales: la roca virgen en su lecho natural, mampostería, depósitos naturales de grava, arcilla seca, limo orgánico o una combinación de estos. Asimismo, se recomienda evitar el material de relleno, el fango y la arcilla húmeda.

El suelo donde se estará colocando la máquina a instalar tiene una composición de roca y arena gruesa. Siendo apto, según los principios anteriores, para el soporte de maquinaria. A continuación se muestra la verificación de la capacidad del suelo como soporte de la maquinaria.

### 3.2.1. Análisis de cargas de diseño

A continuación en las siguientes tablas se muestra el análisis de cargas de diseño.

Tabla VIII. **Cargas muertas del equipo**

<b>Maquinaria termoformadora</b>
Peso del equipo: 3 000 kg
Tuberías y ductos: 37 kg
Revestimiento aislante: 10 kg

Fuente: elaboración propia.

Tabla IX. **Cargas vivas del equipo**

<b>Maquinaria termoformadora</b>
Personal de mantenimiento: 180 kg

Fuente: elaboración propia.

Tabla X. **Cargas de operación del equipo**

<b>Maquinaria termoformadora</b>
Bloque de EPS: 40 kg

Fuente: elaboración propia.

Presión estimada de la maquinaria

Peso: 3 ton= 3 000 kg

Cargas de operación, vivas y muertas: 37 kg+10 kg+180 kg+40 kg= 267

Kkg

Carga total = 3 267 kg

Área de soporte: 4 barras de 1,5x0,2x0,2 m y 2 barras de 2x3x0,5 m.

$$\frac{3267Kg}{((4*1,5*0,2)m+(2*3*0,5)m)} = 218 \frac{kgf}{m^2} = 0,022 \frac{kgf}{cm^2}$$

Asumiendo un factor de seguridad de 1,5, se considera el valor de 1,5 un factor aceptable para que la cimentación se mantenga estable.

$$0,022 \frac{kgf}{cm^2} * 1,5 = 0,033 \frac{kgf}{cm^2}$$

Tabla XI. **Capacidades de cargas de suelos (kilogramo/centímetro cuadrado)**

Suelo	Profundidad aprox. 90 cm		Profundidad aprox. 30 cm	
Limo blando y fango	0,1	0,2	0,2	0,5
Arcilla blanda	1	1,5	1	1,5
Arcilla densa firme	2	2,5	2,5	3
Arcilla y arena mezcladas	2	3	3	3,5
Grava y arena gruesa	4	5	5	6
Roca en mal estado	7	10	7	10
Roca firme y sana	20	40	20	40

Fuente: elaboración propia.

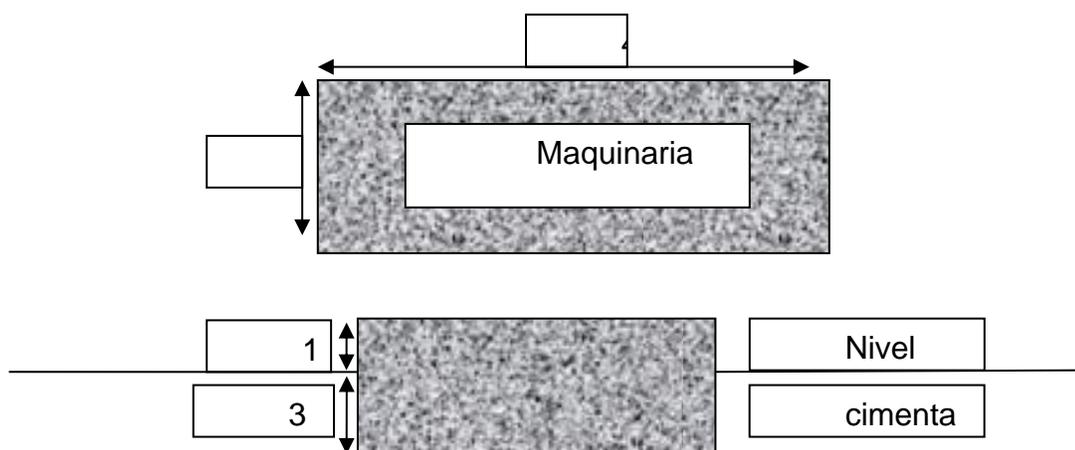
La capacidad teórica del suelo es de  $5 \text{ kgf/cm}^2$  siendo apto para soportar los  $0,033 \text{ kgf/cm}^2$  ejercidos por la maquinaria.

### 3.3. Tipos de cimentación factibles

Ya que el suelo cuenta con la capacidad necesaria para el soporte del suelo, se debe considerar el tipo de cimentación recomendada para la maquinaria.

Se recomienda colocar la maquinaria con una losa que tenga una elevación de al menos 5 cm sobre el nivel del suelo para proteger la base del equipo del agua que pudiera llegar a caer en el piso. Asimismo, es de considerar que una cimentación de este tipo tiene la ventaja de reducir las vibraciones que llegan a la maquinaria producidas del resto de equipos en la planta, aumentando la vida útil de la misma.

Figura 4. **Diseño de cimentación**



Fuente: elaboración propia.

El hormigón para esta cimentación será de 240 kg/cm<sup>2</sup>, utilizando acero como refuerzo.

Uno de los factores más relevantes en la determinación de la altura de la cimentación es el nivel al que se encuentran las bocas de conexión del equipo. Asimismo se debe asegurar que al menos un 75 % de la cimentación esté por debajo del nivel del suelo.

### **3.3.1. Anclajes**

Los tipos más comunes de anclaje de maquinaria que se encuentran son: por medio de fricción, por medio de área de soporte, anclaje autoroscante, epóxico por inyección.

En el caso de las máquinas que están ancladas a una base hecha de hormigón, los pernos a utilizar son de tipo J y se deben fijar en la base de hormigón cuando este sea vertido. Según el tamaño de los pernos, así debe ser el par de apriete aplicado de forma que no se afloje por las vibraciones.

La maquinaria analizada realiza un proceso que no involucra fuerzas dinámicas significativas en su operación. Esta recibe el poliestireno expandido y el vapor en su interior, donde se realiza un proceso de calentamiento y enfriamiento para fabricar el bloque de EPS, luego, una compuerta se abre para extraer el bloque.

### **3.3.2. Anclaje recomendado**

Se recomienda el anclaje de epóxico por inyección. Estos anclajes son muy confiables debido su eficacia en aplicaciones exigentes, cuentan con

características que los hacen ideales para soportar altas resistencias en concreto sólido y con ventajas con respecto a los otros tipos de anclaje.

El epóxico por inyección está compuesto por 2 partes, el producto químico de epoxia con cerámico y el sistema de inyección.

El anclaje de tipo epóxico por inyección se utiliza en caso se tenga poca distancia entre pernos y cuando se tienen problemas de corrosión. Ambos parámetros coinciden con las características del caso, por lo que es un anclaje apto.

El material base a utilizar es concreto reforzado debido a su alta resistencia a la compresión, el cual es el factor con mayor relevancia en la cimentación y anclaje de la termoformadora de bloques a instalar.

Para la instalación del anclaje autoadhesivo se deben seguir los pasos:

- Primero se debe perforar el agujero del tamaño adecuado para la varilla (utilizar broca de ½ pulgada y agujero de 8 centímetros de profundidad). Es vital limpiar el agujero con aire a presión y con una escobilla, para asegurar la eliminación de residuos. Luego se debe repetir la limpieza con aire en todo el agujero.
- Antes de la inyección principal se debe descargar una onza de fluido del epóxico para igualar el color con la tarjeta de instrucción del epóxico. Posteriormente, se procede a introducir la boquilla en el fondo del agujero y llenar el mismo a la mitad de su profundidad.

- Introducir manualmente la varilla en el agujero, se debe realizar con un movimiento lento y giratorio, para evitar burbujas de aire y una cobertura homogénea del epóxico en la varilla.
- El tiempo de secado del epóxico varía según el tipo, por lo que se deben observar las tablas del tiempo de cura.

El epóxico a utilizar puede ser de la variedad SikaGrout -212 (relleno para nivelación y anclaje de equipos y estructuras) de la compañía SIKA.

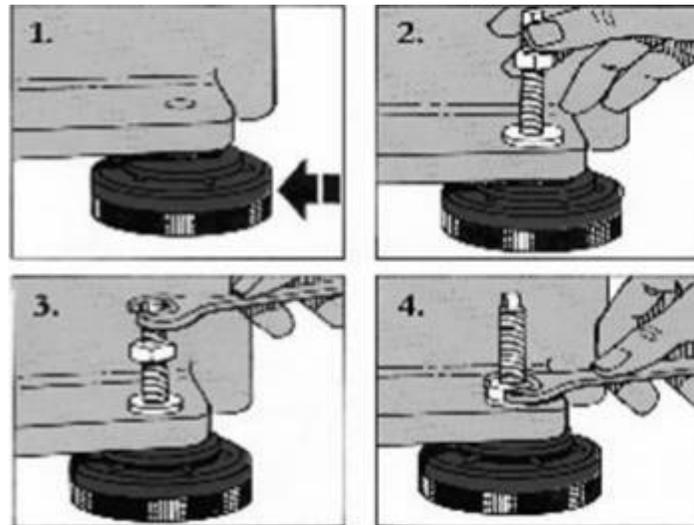
### **3.4. Métodos para reducción de vibraciones**

Las vibraciones tienden a ser una fuente grave de problemas de fiabilidad, especialmente en las máquinas acopladas entre sí, ya que las vibraciones de cada equipo se transmiten y afectan directamente los componentes internos.

Para contrarrestar esto, uno de los métodos más efectivos es colocar la maquinaria sobre una plataforma de hormigón independiente del suelo. La plataforma se vierte en el suelo y se da entre 0,5" a 1" de altura para garantizar el aislamiento apropiado por medio de la absorción de las vibraciones.

Adicionalmente, se debe agregar un control pasivo, es decir, almohadillas elastoméricas o muelles, los cuales están diseñados para absorber o detener la transmisión de la energía generada.

Figura 5. **Bases para la reducción de vibraciones**



Fuente: CRESPO, Carlos. *Mecánica de suelos y cimentación*. p. 56.

### **3.5. Instalación de tuberías de vapor y aire comprimido**

Para el funcionamiento de la termoformadora se requiere de vapor y aire comprimido en los parámetros de operación. Para asegurar esto, se verifica la capacidad y calidad de abastecimiento de ambos servicios.

#### **3.5.1. Demanda de vapor y aire comprimido por la maquinaria existente**

Para proponer dimensiones óptimas de la tubería y verificar la capacidad de la caldera, es necesario conocer el consumo actual de vapor de los equipos instalados en la planta de producción. Para ello, existen una variedad de métodos, siendo el más exacto la utilización de medidores de flujo industriales.

Sin embargo, el alto costo de estos y los requerimientos de la presente investigación hacen que este no sea el método ideal.

Para ello, se estará utilizando el método de llenado de un recipiente con volumen conocido, para proceder al cálculo del consumo de vapor por cada equipo instalado.

Para aplicar la metodología se realizaron los siguientes pasos:

- Se tomaron medidas del interior de los equipos para determinar su volumen.
- Se anotó la presión indicada en el manómetro de la tubería de alimentación de vapor, para utilizar este valor como marca de parada en la presión del recipiente.
- Se procedió a la activación de la alimentación de vapor hacía el equipo.
- Se tomó el tiempo que tardó en llegar la presión interna del equipo a la presión de la tubería.
- Con base en el volumen y tiempo de llenado, se procedió al cálculo del consumo.

Según el manual del fabricante, los consumos teóricos son los siguientes:

- Termoformadora de bloques grandes = 250 kg/h
- Termoformadora de bloques pequeños = 180 kg/h
- Preexpansora = 280 kg/h

Para el cálculo del consumo de vapor de la termoformadora de bloques grandes, se procede a tomar los datos de presión, temperatura, volumen y tiempo de llenado.

Presión = 0,06 MPA

Temperatura vapor = 121 °C

Volumen = 3,04mX1,03mX1,23m = 3,85 m<sup>3</sup>

Tiempo llenado de molde = 26 segundos

Se determinó el volumen específico del vapor sobrecalentado utilizando la tabla de vapor sobrecalentado. Por medio de la presión de 0,06 Mpa y temperatura de 121 °C, se determina que el volumen específico es de 0,2765 kg/ m<sup>3</sup>.

Cálculo para el consumo de vapor:

$$\frac{3,85 \text{ m}^3 \times 0,2765 \text{ kg/m}^3}{26 \text{ s}} = \frac{1,064 \text{ kg}}{26 \text{ s}} = 0,041 \text{ kg/s} = 147,32 \text{ kg/h}$$

El consumo de vapor para el equipo es de 147,32 kg/h.

El consumo de vapor por bloque producido, considerando un tiempo de inyección de vapor de 19 segundos por bloque es:

$$0,041 \text{ kg/s} \times 19 \text{ s} = 0,779 \text{ kg de vapor por bloque.}$$

Para el cálculo del consumo de vapor para la termoformadora de bloques pequeños a reemplazar, se procede a tomar los datos de presión temperatura, volumen y tiempo de llenado.

Presión = 0,06 MPA

Temperatura vapor = 121 °C

Volumen = 2,39 m<sup>3</sup>

Tiempo llenado de molde = 12 segundos

Se determinó el volumen específico del vapor sobrecalentado utilizando la tabla vapor sobrecalentado. Con la presión de 0,06 Mpa y temperatura de 121 °C, se determina que el volumen específico es de 0,2765 kg/ m<sup>3</sup>.

Cálculo para el consumo de vapor:

$$\frac{2,39 \text{ m}^3 \times 0,2765 \text{ kg/m}^3}{12 \text{ s}} = \frac{0,661 \text{ kg}}{12 \text{ s}} = 0,0551 \text{ kg/s} = 198,25 \text{ kg/h}$$

El consumo de vapor para el equipo es de 198,25 kg/h.

Para el cálculo del consumo de vapor para la preexpansora instalada se procede a tomar los datos de presión temperatura, volumen y tiempo de llenado.

Presión = 0,06 MPA

Temperatura vapor = 121 °C

Volumen = 1,93 m<sup>3</sup>

Tiempo llenado de molde = 7 segundos

Volumen específico = 0,2765 kg/m<sup>3</sup>

$$\frac{1,93 \text{ m}^3 \times 0,2765 \text{ kg/m}^3}{7 \text{ s}} = \frac{0,5336 \text{ kg}}{7 \text{ s}} = 0,0762 \text{ kg/s} = 274,32 \text{ kg/h}$$

El consumo de la preexpansora es de 274 kg/h

Tabla XII. **Resumen del consumo de vapor de los equipos**

<b>Equipo</b>	<b>Consumo de vapor (kg/h)</b>
Termoformadora bloques pequeños	198,2
Termoformadora bloques grandes	147,3
Preexpansora	274

Fuente: elaboración propia.

### **3.5.2. Demanda de la máquina a instalar**

El manual del equipo de la termoformadora EPS 3000M indica que el consumo teórico del equipo a instalar es de 160 kg/h.

### **3.5.3. Sobredimensionamiento y subdimensionamiento de tuberías**

Al momento de cotizar y planificar el cambio de tuberías, es común recibir la sugerencia de guiarse con respecto al tamaño de las conexiones del equipo para determinar el diámetro necesario. Este conocimiento empírico da facilidad y rapidez en la elección, pero crea una variedad de problemas en la operación, tanto por tener un sobredimensionamiento como subdimensionamiento.

Sobredimensionar una tubería implica que:

- Habrá una mayor pérdida de calor, lo que conlleva mayor volumen de condensado en la tubería.
- El precio e instalación de la tubería será más caro de forma innecesaria.
- La calidad de vapor disminuye debido a la presencia de condensado.

- Una mala calidad de vapor repercute en la vida útil de los equipos e instrumentos asociados.

Por nociones empíricas se tiene contemplado instalar tuberías de 8 pulgadas ya que las entradas del equipo coinciden con esto.

Subdimensionar una tubería implica:

- La caída de presión y velocidad del vapor serán mayores, lo que genera una presión menor a la requerida en la maquinaria.
- Hay un riesgo incrementado de golpe de ariete, vibraciones y erosión a raíz del aumento de la velocidad.
- El volumen de vapor podría llegar a ser insuficiente en la maquinaria.

#### **3.5.4. Dimensiones y características de la tubería necesaria para la instalación**

Para encontrar la dimensión ideal de la tubería existen varios métodos que se basan en los valores de trabajo del vapor dentro de la tubería de alimentación. En el caso del método en función del caudal, se considera una velocidad aceptable entre 25 y 40 m/s, arriba de esta velocidad hay erosión y ruido en la tubería.

Al contar con los datos de velocidad, presión y caudal, se procede a encontrar la dimensión de la tubería con base en la figura 8.

Presión = 0,7 bar

Velocidad= 25 m/s

Caudal = 160 kg/h

Figura 6. **Dimensión de tubería con base en el caudal de vapor**

Presión bar	Velocidad		kg/h								
	m/s		15mm	20mm	25mm	32mm	40mm	50mm	65mm	80mm	100mm
0,4	15	7	14	24	37	52	99	145	213	394	
	25	10	25	40	62	92	162	265	384	675	
	40	17	35	64	102	142	265	403	576	1 037	
0,7	15	7	16	25	40	59	109	166	250	431	
	25	12	25	45	72	100	182	287	430	716	
	40	18	37	68	106	167	298	428	630	1 108	
1,0	15	8	17	29	43	65	112	182	260	470	
	25	12	26	48	72	100	193	300	445	730	
	40	19	39	71	112	172	311	465	640	1 150	
2,0	15	12	25	45	70	100	182	280	410	715	
	25	19	43	70	112	162	295	428	656	1 215	
	40	30	64	115	178	275	475	745	1 010	1 895	
3,0	15	16	37	60	93	127	245	385	535	925	
	25	26	56	100	152	225	425	632	910	1 580	
	40	41	87	157	250	375	595	1 025	1 460	2 540	
4,0	15	19	42	70	108	156	281	432	635	1 166	
	25	30	63	115	180	270	450	742	1 080	1 980	
	40	49	116	197	295	456	796	1 247	1 825	3 120	
5,0	15	22	49	87	128	187	352	526	770	1 295	
	25	36	81	135	211	308	548	885	1 265	2 110	
	40	59	131	225	338	495	855	1 350	1 890	3 510	

Fuente: SpiraxSarco. *Manual de redes de vapor*. p. 13.

De acuerdo a la tabla, se determina que la dimensión ideal para la tubería, según los valores indicados, es de 50 mm (1,97”) de diámetro.

Es necesario corroborar la validez de la medida encontrada, para ello se debe utilizar un método alternativo como el método de la velocidad, con el cual se calcula la dimensión de la tubería con base en los datos:

Temperatura del vapor = 121 °C

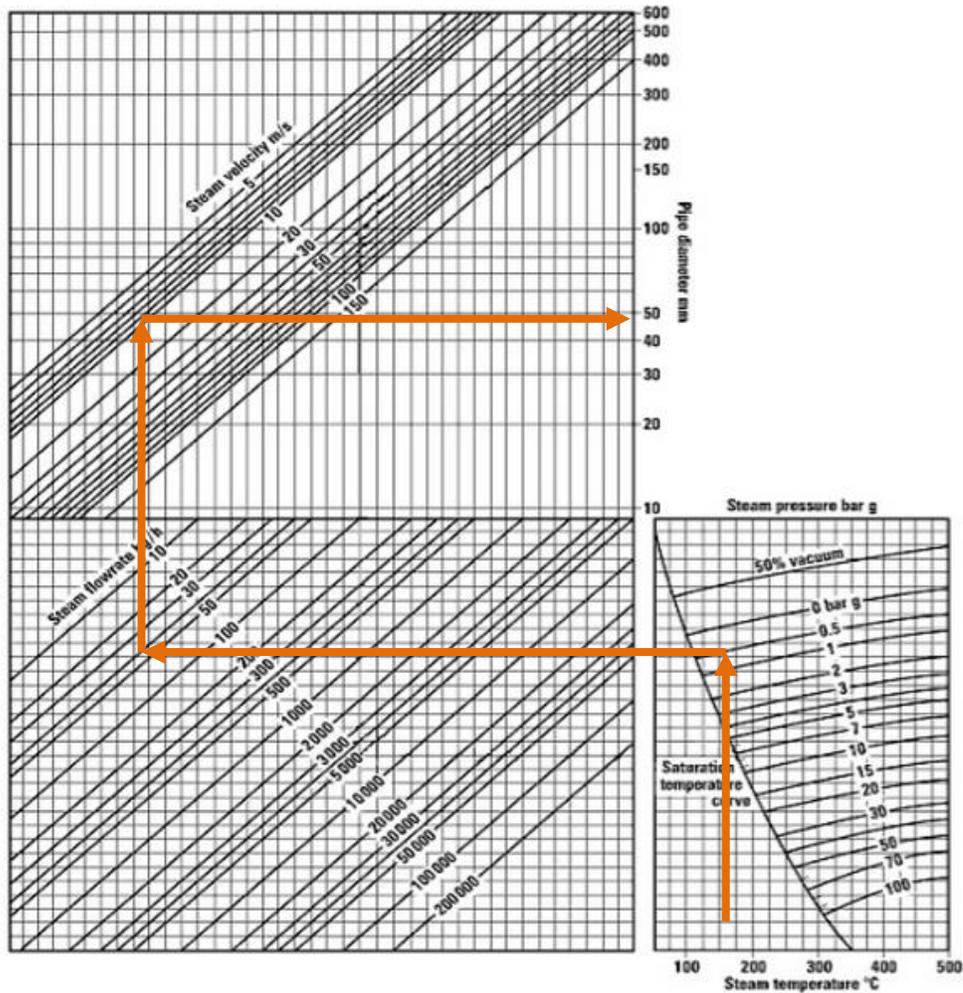
Presión del vapor = 0,6 bar

Caudal de vapor = 160 kg/h

Velocidad = 25 m/s

Luego de tener los datos anteriores, se utiliza la siguiente tabla para encontrar el diámetro ideal.

Figura 7. Diámetro de tubería por método de la velocidad



Fuente: SpiraxSarco. *Manual redes de vapor*. p. 65.

Se obtiene un valor aproximado de 52 mm de diámetro de la tubería ideal, corroborando el valor calculado en el método anterior. Por lo tanto, se concluye que una tubería entre 50 mm y 60 mm es ideal para el vapor a circular hacia la termoformadora a instalar.

#### **3.5.4.1. Tipos de materiales en tuberías**

El material de la tubería depende de los factores y condiciones de uso: calidad del vapor, caudal, presión, velocidad, entre otros. Asimismo, el medio donde se vaya a instalar y cargas externas a las que pueda ser sometida.

Entre los tipos de materiales comunes para las tuberías están los siguientes:

- Acero
- Fibrocemento
- Fundición

Para las tuberías de alimentación de la termoformadora a instalar se recomienda, por su resistencia y precio, la tubería de hierro negro cédula 80. Se recomienda que las válvulas a instalar sean de acero al carbón. Ambos materiales se encuentran fácilmente en el mercado local y no muestran complicaciones en su instalación.

Dado que es una tubería que transporta vapor, es vital que tenga un aislamiento adecuado que mantenga la temperatura a lo largo del trayecto, una variación drástica en la temperatura puede causar problemas de condensado y, por ende, de erosión en la tubería.

El aislamiento puede ser de varios materiales, pero el recomendado, por su durabilidad y capacidad de retención térmica, son las cañuelas de fibra de vidrio de 1" de espesor. Para proteger la cañuela del desgaste externo, es necesario agregar un enchaquetado de protección, este se recomienda que sea

de acero inoxidable, dado el ambiente con alto grado de humedad y la confiabilidad del material.

Las cañuelas de fibra de vidrio son usadas en la mayoría de aislamientos de tuberías de vapor e intercambiadores de calor. Se encuentran fácilmente en el mercado local.

### **3.5.5. Golpe de ariete y pérdidas de presión**

Se denomina golpe de ariete, al impacto o choque violento que se genera en las paredes de una tubería cuando el flujo del líquido es modificado de manera brusca. El golpe de ariete se tiende a dar cuando una válvula en la tubería se cierra rápidamente, lo que inicia un pulso de alta presión que se propaga. Esta onda genera sobrepresiones y depresiones que afectan la tubería, causando deformaciones y su eventual deterioro.

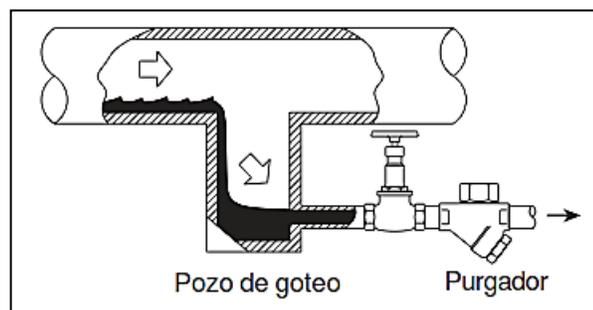
En las tuberías de vapor, la presencia de condensado genera golpe de ariete en las válvulas, trampas de vapor y codos de tubería, reduciendo la vida útil de los mismos y representando un riesgo de seguridad para el personal.

En el sistema de tubería a instalar para la maquinaria nueva, utilizarán tuberías de 9 metros de largo, por lo que es necesario darles una inclinación de mínima de 2 pulgadas, con el objetivo de conducir el condensado en la dirección del flujo y asegurar el buen funcionamiento de las trampas de vapor y condensado.

### 3.5.5.1. Puntos de purga

Los puntos de purga del sistema deben ser colocados en las partes más bajas del sistema. En el caso específico del sistema a instalar, dado que son distancias cortas, es necesario colocar únicamente un punto de purga. Es esencial considerar un ancho de tubería adecuado, ya que, de ser muy corto, el condensado no cae en su totalidad en el punto de purga.

Figura 8. Esquema punto de purga



Fuente: SpiraxSarco. *Manual de redes de vapor*. p. 67.

Considerando lo anterior, se recomienda la instalación del punto de purga en el punto más bajo, es decir, 1 metro antes de la entrada a la termoformadora. El diámetro de la tubería del pozo de goteo deberá ser de al menos 7" y tener una llave de bola para su cierre y apertura. Se debe delimitar el punto alrededor del purgador para evitar riesgos a la seguridad del personal por quemaduras.

### **3.5.6. Tipo de trampa de vapor**

Según las condiciones de operación de la planta, la trampa de vapor recomendada es la termodinámica. Esta trampa funciona de la siguiente manera: el disco es levantado por la mezcla de aire y condensado, causando que fluyan libremente. El vapor, en cambio, aumenta la velocidad en la sección inferior del disco, generando un vacío que lo cierra de golpe. Cuando el vapor baja su temperatura, el disco se abre de nuevo para descargar el condensado acumulado.

La trampa termodinámica cuenta con las siguientes ventajas:

- Resistencia a la corrosión
- Compacta y liviana
- Resistente al golpe de ariete
- Responde a cargas variables

Sus limitaciones son las siguientes:

- No son apropiadas para presiones debajo de 10 libra por pulgada cuadrada (psi).
- Algunos modelos están limitados a contrapresiones de 50 % de la presión de entrada.

Considerando que las condiciones de operación de la trampa de vapor en el sistema incluyen vapor húmedo, presión arriba de 80 libra por pulgada cuadrada (psi) y espacio reducido, se concluye que la trampa termodinámica satisface las necesidades y por lo tanto es recomendable.

Como segunda alternativa, se recomienda la trampa de balde invertido, por su buena resistencia al golpe de ariete, capacidad de presiones de trabajo elevadas y que no hay necesidad de alta sensibilidad o precisión.

Por lo tanto, se observa que en ambos casos las ventajas se acomodan y solucionan las limitantes de la planta y el equipo, mientras que las limitaciones de las trampas no afectan el proceso.

Como recomendaciones adicionales para la eliminación del condensado están:

- Las tuberías deben instalarse de forma que cuenten con un descenso en la dirección del flujo, con una pendiente no menor a 40 mm por cada 10 m de tubería colocada.
- Es recomendable purgar las líneas de vapor en intervalos regulares de 30-50 m, de la misma forma en los puntos más bajos del sistema.
- La tubería debe estar montada de manera que se cuente con el mínimo de puntos bajos, ya que estos acumulan condensado.
- En caso se requiera montar filtros, estos deben ser colocados con la cesta en posición horizontal, para evitar la acumulación de condensado y posterior golpe de ariete.
- Al colocar conexiones para las derivaciones, estas deben partir de la sección superior de la línea, esto con el objetivo de tomar el vapor más seco posible del sistema.

### **3.5.7. Accesorios y equipo necesario para las instalaciones de aire comprimido y vapor**

Los accesorios necesarios son:

- Accesorios de acumulación: es un depósito destinado a almacenar el aire comprimido, está situado a la salida del compresor. Su finalidad es regular la salida del aire comprimido.
- Accesorios de filtro: es muy importante que los compresores tengan un filtro para que no se introduzcan impurezas en el sistema neumático.

#### **3.5.7.1. Juntas de dilatación**

Las tuberías son afectadas por el calentamiento que se genera al pasar vapor a través de ellas, debido a que se dilatan o expanden, lo que crea concentraciones de esfuerzos que pueden llegar a dañar la red de distribución. Por lo anterior, es necesario estimar la dilatación y tomar medidas preventivas.

La dilatación se puede calcular por medio de la siguiente ecuación

$$\text{Dilatación} = L \times \Delta t \times \alpha$$

Donde: L= longitud de tubería entre anclajes metros (m)

$\Delta t$  = Diferencia de temperatura grados Celcius ( $^{\circ}\text{C}$ )

$\alpha$  = Coeficiente de dilatación milímetro sobre metro grado Celcius (mm/m  $^{\circ}\text{C}$ )  $\times 10^{-3}$

Tabla XIII. **Coeficientes de dilatación**

Material	<0	0-100	0-200	0-315	0-400	0-485
<b>Acero suave</b>	12.8	14.0	<b>15.0</b>	15.6	16.2	17.8
<b>Acero aleado</b>	13.8	14.4	15.1	15.8	16.6	17.3
<b>Acero inoxidable</b>	9.4	20.0	20.9	21.2	22.3	22.7

Fuente: SpiraxSarco. *Manual de redes de vapor*. p. 68.

El tramo más largo de la tubería y que requiere del cálculo de dilatación es de 7 metros, con una temperatura ambiente de 22 °C y de vapor de 124 °C. Se considera un coeficiente de dilatación de 15,0.

$$\text{Dilatación} = 8 \times 15 \times 10^{-3} \times (124 - 22) = 12,24 \text{ mm}$$

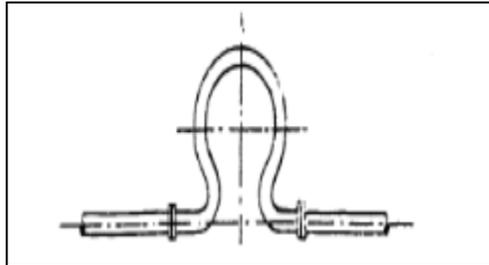
La dilatación es de 12,24 mm, por lo que se requiere de una junta de dilatación que se expanda, como mínimo, esta longitud, para evitar daños a la red de distribución.

La junta de dilatación a colocar puede ser de los siguientes tipos:

### **3.5.7.2. Junta tipo omega**

Esta junta tiene la apariencia de la letra griega omega. Esta curvatura proporciona la flexibilidad para absorber la dilatación o expansión que tenga la tubería en ambos lados.

Figura 9. **Junta tipo Omega**

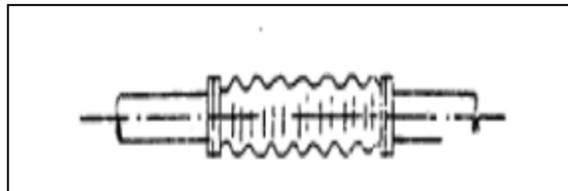


Fuente: material de apoyo, curso de Termodinámica. Fiusac.

### 3.5.7.3. **Junta tipo fuelle**

Esta junta tiene un fuelle que provee la capacidad de absorber la dilatación de la tubería, ya sea de expansión o contracción.

Figura 10. **Junta tipo fuelle**



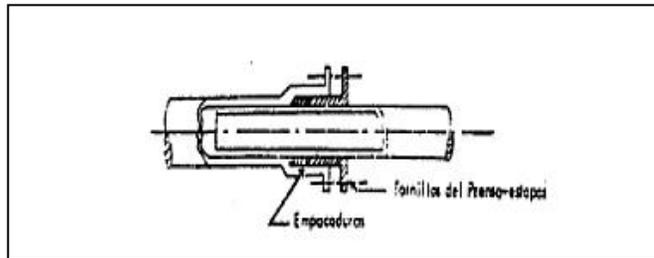
Fuente: material de apoyo curso, de Termodinámica. Fiusac.

### 3.5.7.4. **Junta tipo telescópica**

Esta junta está compuesta de dos tubos, uno adentro de otro, cuenta con un tubo conectado de cada lado de la tubería. Al momento que se da la

expansión o compresión, uno de los tubos se desliza dentro del otro, lo que absorbe el cambio de longitud. Se deben colocar empaques para evitar fugas.

Figura 11. **Junta telescópica**



Fuente: material de apoyo curso, de Termodinámica. Fiusac.

### **3.5.7.5. Unidades de mantenimiento de aire comprimido**

De forma similar a la red de distribución de vapor, el control de la humedad y condensado juega un papel importante en la distribución de aire comprimido.

Desde la toma de aire del ambiente, el compresor y el enfriador eliminan la mayor parte de la humedad del aire en forma de condensado. Sin embargo, a lo largo de la tubería de aire se condensa la humedad remanente del aire, la cual es dañina en caso llegue hasta los equipos que requieren del aire comprimido. Esta humedad puede causar oxidación en los pistones y, eventualmente, deteriorarlos en su totalidad.

Para contrarrestar esto, se utilizan las unidades de mantenimiento de los tipos FLR y FR. Las unidades de mantenimiento FLR son las que llevan un

filtro, lubricador y regulador de caudal, mientras que las FR son las unidades de mantenimiento que llevan un filtro y regulador de caudal.

Es importante conocer la diferencia entre ambas unidades ya que las unidades FLR se deben colocar únicamente en los sistemas que realizan movimiento a partir del aire comprimido. Si se utiliza el FLR en una aplicación que no realiza movimiento, se estaría desperdiciando lubricante y alimentando con un aire con partículas de aceite que, dependiendo de la aplicación, puede ser contraproducente.

Para el caso analizado en este trabajo, se cuenta con un alto grado de humedad en el ambiente, por lo que, adicional al compresor instalado, se recomienda colocar una unidad FR a lo largo de la tubería y una unidad FLR antes de la alimentación a los pistones y electroválvulas de apertura de la termoformadora. Es importante colocar estas unidades en puntos fácilmente accesibles, ya que deben ser purgados regularmente para eliminar la carga de condensado. Asimismo, se deben revisar de forma periódica el estado de los filtros de la unidad, ya que estos tienden a deteriorarse según el grado de suciedad y humedad del aire. Estos filtros son de 40 micras, por lo que se deben contar en el *stock* de repuestos con uno por cada unidad de mantenimiento colocada.

#### **3.5.7.6. Soporte de tubería**

La distancia de los soportes de tubería es de acuerdo con el diámetro de la tubería; el material y si está en posición horizontal o vertical.

Se debe considerar algunos puntos importantes como:

- Es recomendable que los soportes colocados estén montados en las uniones de las tuberías para eliminar tensiones y a intervalos no mayores a los indicados en la tabla X.
- Cuando hay dos o más tuberías soportadas por un accesorio común, la distancia entre los puntos de soporte debe ser la adecuada para la tubería de menor tamaño.

Con base en los valores obtenidos de diámetro nominal de tubería para la red de vapor, se procede a utilizar la siguiente tabla:

Tabla XIV. **Distancia entre soportes para tubería**

Diámetro nominal (mm) Acero/Cobre		Intervalo de recorrido horizontal (m)	
o interior	o exterior	Acero suave	Cobre
12	15		1,0
15	18	2,0	1,2
20	22	2,4	1,4
25	28	2,7	1,7
32	35	2,7	1,7
40	42	3,0	2,0
50	54	3,4	2,0
65	67	3,7	2,0
80	76	3,7	2,4
100	108	4,1	2,7
125	133	4,4	3,0
150	159	4,8	3,4
200	194	5,1	
250	267	5,8	

Fuente: SpiraxSarco. *Manual para redes de vapor*. p. 89.

Para el caso analizado en este trabajo, se cuenta con una tubería de 6" de diámetro interior, equivalente a 152 mm, por lo que el intervalo recomendado es de 4,8 metros entre cada soporte.

### **3.5.8. Factores a considerar en el manejo de vapor**

En el manejo del vapor es necesario considerar el aislamiento térmico de las tuberías, las características del *manifold* a instalar y los componentes de seguridad de la caldera. Estos aspectos forman parte importante del manejo seguro y óptimo de la red de distribución de vapor.

#### **3.5.8.1. Aislamiento térmico**

Cuando una línea de vapor se ha calentado, se produce condensado derivado de las pérdidas de calor por radiación con el ambiente. La tasa de condensación varía según la temperatura del vapor, la temperatura ambiente y el nivel de eficacia del aislamiento instalado.

El aislamiento térmico debe cumplir las siguientes funciones: “reducir la conducción térmica en el material de la tubería, que corresponde a la transferencia de calor; reducir las corrientes de convección térmica que pueden establecerse en espacios llenos de aire o de líquido; y reducir la transferencia de calor por radiación, que corresponde al transporte de energía térmica por ondas electromagnéticas”.<sup>4</sup>

Unos de los materiales más utilizados para aislamiento de tuberías es la cañuela de fibra de vidrio. Estas son medias cañas ya hechas que únicamente se tienen que colocar alrededor de la tubería para protegerla térmicamente. Como medida empírica, se tiene que en tuberías que trabajan a presiones menores de 150 psi, se utilizan 2 pulgadas de espesor de aislante en tuberías mayores a 2 pulgadas y 1 pulgada de espesor en tuberías menores a 2 pulgadas.

---

<sup>4</sup> AVALLONE, Eugene; BAUMEISTER, Theodore. Aislante térmico. p. 67.

### 3.5.8.2. Manifold

El manejo adecuado del vapor para múltiples equipos requiere de un *manifold*, ya que provee mayor estabilidad a la alimentación, una eliminación de condensado y orden en la alimentación de los equipos, así como seguridad en el control. El *manifold* es una clase especial de tubería de distribución, porque puede recibir vapor de una o varias fuentes al mismo tiempo. Usualmente está compuesto por una tubería horizontal, la cual es alimentada de vapor por su sección superior, para luego alimentar las tuberías principales de distribución que se dirigen hacia los equipos. Uno de sus mayores beneficios es el equilibrio de la presión logrado al estabilizar el flujo completo.

El diámetro de la tubería del *manifold* puede ser determinado con base en el proceso de dimensionamiento de tubería realizado en secciones anteriores, sin embargo, también se puede utilizar la siguiente fórmula:

$$\phi_T = \sqrt{\sum(\phi_i)^2}$$

Donde:

$\phi_T$  = diámetro del cabezal

$\phi_i$  = diámetro de cada una de las tuberías que se conectan al cabezal del *manifold*.

Las tuberías que alimentan a los 3 equipos en la planta son de 6, 5 y 3 pulgadas, por lo que, aplicando la fórmula anterior:

$$\phi_T = \sqrt{\sum(6 + 5 + 4) * 2} = 5,29 \approx 6 \text{ pulgadas.}$$

Se concluye que la tubería de entrada al *manifold* debe ser de 6 pulgadas de diámetro.

El *manifold* requiere de controles de presión en cada una de sus conexiones, con el objetivo de monitorear adecuadamente el suministro de vapor. Según lo anterior, la propuesta de las características del *manifold* es la siguiente:

*Manifold* de tubos de hierro negro cédula 40, con tubería de entrada de vapor de 6 pulgadas y 3 tuberías de salida de 6, 5 y 3 pulgadas respectivamente. cuerpo de acero WCB A216. Debe contar con manómetros de 0 a 300 psi, una válvula de mariposa de 6", aislamiento con fibra de vidrio de 2" de espesor y forro con lámina de acero inoxidable.

### **3.5.9. Medidas de seguridad recomendadas**

El manejo de vapor implica una variedad de riesgos, desde su generación y transporte, hasta la utilización en los equipos.

#### **3.5.9.1. Seguridad en el manejo de la caldera**

El punto de riesgo más alto relacionado con la instalación de la termoformadora lo representa el manejo de la caldera para la alimentación de vapor. Toda caldera debe contar con los siguientes componentes de seguridad:

- Control auxiliar de bajo nivel de agua (ALWC)
- Válvulas de Seguridad o alivio
- Detector de llama o Fococelda
- Control de presión de seguridad o límite
- Alarmas tipo acústica o visual

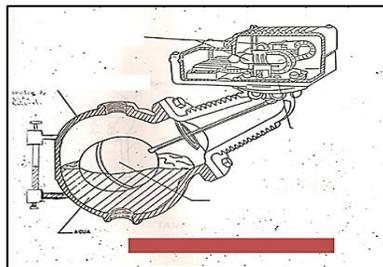
### 3.5.9.2. Control de nivel de agua

El control de nivel de agua es el elemento principal para mantener el nivel de agua en toda la caldera, se encarga de enviar la señal de alimentación que activa la bomba. Su buen funcionamiento es clave para proteger la caldera de explosiones por sobrecalentamiento.

El control de agua más común es el de tipo flotador, este funciona midiendo el nivel por medio de una boya que flota sobre la superficie del nivel de agua y marca uno de los tres niveles, los cuales son:

- Nivel A: indica alto nivel de agua; por lo que la bomba de alimentación de la caldera se apaga en ese punto y el quemador está en condición de trabajar.
- Nivel B: la bomba de alimentación de la caldera arranca cuando el nivel llega a ese punto y el quemador aún está en condiciones de trabajar si no existe otra causa.
- Nivel C: indica punto de cierre del bajo nivel de agua, el quemador se apaga si el nivel de agua baja a ese nivel y se activa la alarma.

Figura 12. Control de agua tipo flotador



Fuente: material de apoyo, curso de Termodinámica. Fiusac.

### **3.5.9.3. Control de presión de vapor**

El control límite de presión de vapor es un dispositivo de control de presión que bloquea totalmente la operación de la caldera cuando la presión excede de la presión normal de operación; por esta razón es llamado también control límite. Este dispositivo es indispensable en toda caldera y debe verificarse que esté instalado correctamente.

Figura 13. **Control de límite de presión en caldera**



Fuente: material de apoyo, curso de Termodinámica. FIUSAC.

### **3.5.9.4. Válvulas de seguridad**

Toda caldera deberá tener una o varias válvulas de seguridad que permitan el desalojo de vapor con una capacidad igual o mayor a la capacidad de generación nominal del equipo.

Si la caldera tiene dos válvulas de seguridad, la primera está calibrada para accionarse a una presión 10 % superior de la presión de trabajo y la segunda está calibrada un 3 % arriba de la primera.

### **3.5.9.5. Rutinas de prueba de válvulas**

Las válvulas de seguridad instaladas en la caldera tienen que ser accionadas de forma manual con regularidad, por lo menos una vez al mes para verificar su funcionamiento adecuado. Los sedimentos aglomerados en el asiento de la válvula podrían pegar la válvula o impedir el cierre total, generando fugas.

De forma semestral se deberá efectuar una prueba de disparo automático de las válvulas, aumentando la presión hasta llegar al límite de diseño o presión de disparo.

En caso de fallo, la válvula deberá ser reemplazada y no reparada, ya que no se puede garantizar la reparación o ajuste de una válvula de seguridad, y dada la criticidad de la misma no es conveniente correr el riesgo.

### **3.5.9.6. Recomendaciones generales de seguridad**

- Los operadores de calderas asignados tienen que inspeccionar de forma periódica la caldera en búsqueda de fugas, combustión correcta, funcionamiento de los dispositivos de seguridad, así como otras funciones.
- Los operadores deben utilizar botas de punta de acero, caso, guantes de látex resistentes a la alta temperatura y lentes de protección.
- La caldera siempre debe conectarse de forma lenta y nunca se debe inyectar agua fría a un sistema caliente. Cambios súbitos de temperatura pueden torcer o quebrar las tuberías internas de la caldera.
- Para prevenir explosiones en la caldera, es obligatorio que los operadores purguen la caldera antes de prender el quemador. Los

operadores de caldera deben verificar la relación de aire a combustible, la condición del tiro y la llama.

### **3.5.10. Recomendaciones para la ubicación óptima del compresor actual**

La operación adecuada del equipo a instalar está directamente relacionada con el suministro de aire comprimido que reciba, si este es insuficiente, de mala calidad o poco fiable, hay un alto riesgo que la maquinaria recién instalada deba detenerse para aplicar soluciones correctivas, Asimismo su vida útil puede disminuir. Por lo anterior, a continuación se encuentran recomendaciones para las tomas de aire y tuberías conectadas al compresor.

#### **3.5.10.1. Ubicación e instalación de tomas de aire**

Para la ubicación e instalación de las tomas de aire que alimentan al compresor se deben considerar las siguientes recomendaciones:

- No colocar la admisión para el compresor en el cuarto de máquinas, ya que el aire suele estar caliente junto al compresor y, por lo tanto, tiende a tener mayor grado de humedad.
- Colocar la entrada de aire en el exterior suele ser mejor porque el aire frío ocupa menos volumen y el compresor comprime más cantidad de aire en cada carrera, además, trabaja a una temperatura más fría.
- Al colocar el punto de admisión en el exterior, es necesario colocarle una cubierta de malla contra los sólidos, esto evita que los papeles y otros cuerpos obstruyan el filtro.

- Colocar la admisión exterior cerca de tubos de drenaje o escape es una mala práctica, debido a que el tubo de admisión succiona los vapores cercanos.
- Se debe tomar en cuenta el lado del edificio en donde se coloque la entrada de aire para que tenga sombra y pueda tomar aire más frío.

### **3.5.10.2. Tubos de admisión y descarga**

Las tuberías de admisión y descarga requieren de ciertas recomendaciones para evitar daños y pérdida de eficiencia en el compresor:

- Los tubos de descarga y admisión nunca deben estar en el mismo conducto, debido a que se eleva la temperatura en la tubería de admisión por la radiación de calor de la tubería de descarga. Esto representa una pérdida de alrededor 1 % de capacidad por cada 5 °F de aumento.
- El diámetro de los tubos de admisión se debe aumentar 2 pulgadas por cada 15 pies de tubo. El tubo debe ser del mismo tamaño o mayor que la conexión de entrada al compresor. El cambio de diámetro es para mantener la presión a pesar de las pérdidas por fricción.
- Los tubos de salida o descarga del compresor deben salir de la parte superior de este, con el objetivo de asegurar aire seco y que no retenga partículas del condensado formado en la parte inferior del equipo.
- Se debe instalar una válvula de seguridad en la tubería de entrada al compresor, graduada de 5 a 10 psi más que la presión de salida.

- La tubería de entrada al compresor debe contar con soportes para evitar el impacto del peso en el compresor y con ello una desalineación. La desalineación del compresor con las tuberías puede generar vibraciones y daños posteriores.

### **3.6. Instalación de maquinaria de formado de bloques de poliestireno expandido**

Luego de realizados los estudios para la cimentación y servicios a utilizar, es necesario determinar las herramientas, equipo y personal requeridos para la instalación de la maquinaria.

#### **3.6.1. Equipo y herramientas necesarias para la instalación**

Para la instalación de la maquinaria de formado de bloques es necesario contar, como mínimo, con los siguientes equipos y herramientas.

Tabla XV. **Listado de herramientas para la instalación**

Descripción	Cantidad
Montacargas hombre sentado con capacidad de 5 000 lb y 5,5 m de levantamiento	2
Soldadora eléctrica / oxiacetilénica	1
Taladro industrial	1
Escalera de 20 pies	1

Fuente: elaboración propia.

#### **3.6.2. Método para el movimiento y ubicación del equipo**

La descripción del equipo a instalar es la siguiente:

- China Shangai Machinery Manufacturing Company, LTD
- EPS BM 3000V *automatic vacuum block molding machine*
- Peso: 3 Ton
- Dimensiones: 3x1,1x1,3 metros

El ingreso de la maquinaria a la fábrica se deberá realizar con dos montacargas con capacidad mínima de 5 000 lb y 5,5 m de altura de levantamiento. Se deberá asegurar el equipo con cadenas de metal y lazos de nailon de alta resistencia.

Para la operación de los montacargas se deben considerar las siguientes recomendaciones:

- Los montacargas deberán poseer protección para la cabeza del operador. La protección varía con base en el material que se está manipulando.
- Previo a la utilización del montacargas, el operador debe revisar los frenos, la dirección, la bocina, las llantas y las componentes del sistema de levantamiento. En los montacargas de combustión interna se debe que revisar el aceite, combustible y el nivel del agua.
- No son permitidos pasajeros en los montacargas, así como el levantamiento de personas en las horquillas.
- Los montacargas de combustión a gasolina deben ser usados en lugares con ventilación adecuada, debido a la generación de monóxido de carbono, el cual es altamente tóxico.
- Cuando se conduzca sobre suelos irregulares, se debe tomar precaución e ir despacio, estando alerta en los sitios que produzcan brincos.
- No es permitido que personas se coloquen debajo de las cargas elevadas.

- La carga debe bajarse despacio, ya que una bajada brusca ocasionará que la máquina se incline hacia delante y pueda llegar a voltearse o golpear al operador.

### **3.6.3. Suministro eléctrico requerido**

Parte de la instalación de la maquinaria requiere asegurar un suministro eléctrico adecuado. La maquinaria necesita una alimentación de 220V, por lo que se hace necesario contar con un tablero eléctrico adecuadamente instalado y un banco de capacitores para corregir el factor de potencia del consumo eléctrico.

La utilidad y necesidad de un banco de capacitores se centra en la corrección del factor de potencia y la mejora del perfil de voltaje cuando se trata de arranques o conexiones que requieren un alto voltaje.

Al momento de corregir el factor de potencia, se un impacto económico, ya que se pueden generar ahorros en el consumo de luz y, aún más importante, es que un factor de potencia por debajo de lo estipulado implica penalizaciones monetarias definidas por la empresa eléctrica.

Entre otras ventajas están que el banco de capacitores funciona como dispositivo de seguridad que evita descargas o cualquier variación que pudiera afectar el suministro eléctrico. En el caso de bancos de capacitores fijos, tanto el mantenimiento como la solución de problemas menores, puede realizarse con personal con conocimientos básicos, dada la sencillez de sus procesos de mantenimiento.

### 3.6.3.1. Medidas de seguridad en paneles eléctricos

Las siguientes recomendaciones para condiciones inseguras se fundamentan en las normas de la National Fire Protection Agency (NFPA).

Tabla XVI. **Acciones preventivas ante condiciones inseguras**

Núm.	Condición Insegura	Riesgos asociados	Prevención
1	Instalación eléctrica mal instalada	Lesiones al operador al recibir una descarga eléctrica. Daños al equipos al producirse un cortocircuito.	Verificar el aislamiento total de la instalación
2	Uso de extensión de cable dúplex en la instalación del equipo	Sobrecarga en la línea y probable cortocircuito, produciendo daños considerables en toda la instalación eléctrica.	Evitar el uso de extensiones eléctricas en el equipo.
3	Tableros eléctricos carentes de tapas de protección	Posible conato de incendio por cortocircuito al tener contacto un objeto metálico con los componentes internos.	Colocar tapas y protecciones necesarias para aislar y proteger.

Fuente: Normas NFPA.

Como recomendaciones generales para la industria están:

- Verificar que el cable o alambre no lleve corriente antes de manipularlo.
- La presencia de estática o toques eléctricos leves deben ser considerados como un potencial factor de riesgo, y proceder a llevar el equipo a revisión.

- Siempre utilizar equipo de seguridad como guantes de hule, zapatos industriales, tenazas de hule y cualquier otro equipo de protección, dado el riesgo que presenta la manipulación en curso.
- Nunca sustituir un fusible por un alambre, práctica comúnmente conocida como puentear, ya que representa un alto riesgo de seguridad que puede llevar a incendios o descargas eléctricas.
- No se deben hacer pruebas en conductores de alta tensión con lámparas para determinar si cuentan con corriente. Una lámpara de prueba, de 110 voltios, utilizada en un conductor de 440 voltios, reventará o estallará. Hay probadores de voltaje para cada rango de tensión.
- Se deben realizar inspecciones eléctricas periódicas junto con personal que cuente con experiencia en el tema.
- No se deben utilizar escaleras de aluminio al realizar trabajos eléctricos.

Los efectos de la electricidad en función de su intensidad son los siguientes:

**Tabla XVII. Efectos de la corriente en la persona**

Valores de corriente	Efecto
1 a 3 miliamperio	No ofrecen peligro al mantener el contacto permanentemente. No hay sensación o efecto percibido.
3-8 miliamperio	Se presenta hormigueo desagradable, choque indoloro, el individuo puede soltar el conductor ya que no pierde control de sus músculos.

Continuación de la tabla XV.

8-25 miliamperio	El paso de corriente genera contracción muscular en manos y brazos, efectos de choque doloroso pero sin pérdida del control muscular, pueden aparecer quemaduras.
25-30 miliamperio	La tetanización afecta los músculos del tórax provocando asfixia.
Mayor de 30 miliamperios	Con menor o mayor tiempo de contacto aparece la fibrilación cardiaca la cual es mortal.

Fuente: elaboración propia.

#### **3.6.4. Calibraciones y ajustes necesarios**

Luego de instalada la termoformadora es necesario realizar calibraciones en los ciclos de aire comprimido y vapor para asegurar una correcta operación y calidad en el producto.

En el caso del aire comprimido, se debe verificar que:

- Las electroválvulas funcionen con base en las señales del tablero.
- La fuerza de apertura de los pistones, un exceso o falta de aire puede dañar todo el mecanismo de apertura.
- No existan fugas en las conexiones de aire.
- Que las unidades de mantenimiento FLR cuenten con la cantidad adecuada de lubricante.
- Verificar la velocidad de apertura para alinearla a los tiempos de ciclo del equipo.

En el caso del vapor se debe verificar que:

- No existan fugas en la tubería de alimentación.
- No existan fugas en la tubería de condensado.
- La presión alcanzada en la inyección de vapor esté de acuerdo a los tiempos requeridos para la formación del bloque.
- Con base en la calidad del bloque se puede determinar si el vapor cuenta con la calidad requerida.
- Verificar la presión y temperatura de entrada de vapor a la termoformadora.
- Hacer purgas de vapor a través del equipo, para verificar el flujo de vapor a través del sistema.

Al momento de hacer las pruebas, es importante considerar que se tendrán pérdidas de vapor y aire comprimido. La maquinaria a instalar cuenta con los siguientes consumos promedios:

- Vapor 800 kg/h
- Aire 80 CFM
- Electricidad 15 kw/h

Las calibraciones pueden variar en tiempo, dependiendo de los resultados obtenidos en su desarrollo, por lo que se debe estimar con base en las calibraciones realizadas a los equipos antiguos. Considerando un rango medio de tiempo de calibraciones de 3 horas, se tienen los siguientes consumos:

Tabla XVIII. **Consumos de vapor, aire y electricidad en pruebas**

Servicio	Consumo
Vapor	2 400 kg
Aire comprimido	14 400 CF
Electricidad	45 kW

Fuente: elaboración propia.

### 3.6.5. Colores industriales de la tubería y maquinaria

Al momento de instalar la maquinaria con sus respectivos accesorios y tuberías, es importante considerar la necesidad de un adecuado uso de los colores industriales. Los colores industriales tiene la función de apoyar en la prevención de accidentes, el orden y la limpieza, la productividad de los operadores y reducir los riesgos a la salud, debido a que cada color tiene un significado. A continuación se detalla la propuesta de los colores industriales y su significado para la planta.

Tabla XIX. **Colores industriales**

Color industrial	Significado
Amarillo	Indica precaución o riesgo. Utilizar para delimitar maquinaria y pasos peatonales. En tubería utilizar para ductos con cables eléctricos.
Verde	Se utiliza para indicar elementos de seguridad. Utilizar para rutas de evacuación y botiquines. En tubería, utilizar para agua potable.
Azul	Se utiliza en los carteles para indicar obligación. En tubería, utilizar para aire comprimido
Naranja	Indica elementos de riesgo. Utilizar para tableros eléctricos. En tubería, utilizar para vapor.
Rojo	Identifica los elementos contra incendio. Utilizar para extintores y cajas de manguera contra incendios.

Fuente: elaboración propia.

Debido al grado de humedad presente, es necesario aplicar pintura de grado industrial con epóxico de secado rápido para la señalización y pintura con recubrimiento anticorrosivo para la maquinaria, así como en elementos con riesgo de oxidación.

Los recubrimiento anticorrosivos industriales se clasifican en: alquidáticos, epóxicos, ricos en zinc, acrílicos, poliuretanos y polisiloxanos.

### **3.6.6. Factores ambientales**

El entorno en donde se realicen los trabajos de instalación es extremadamente relevante, ya que esto define ciertos requerimientos y limitaciones en las actividades por realizar.

En el caso analizado, se cuenta con un elevado grado de humedad en el ambiente, causado en parte por el sector geográfico que mantiene temperaturas arriba de los 28 grados y un alto grado de humedad. Asimismo, el uso de vapor y fugas presentes en el sistema ocasionan que en el interior de la fábrica se mantenga un grado de calor y humedad por arriba del ambiente externo.

Otro factor a considerar es que el EPS tiene una baja adherencia entre sus partículas, lo que repercute en la presencia de polvillo y perlas de EPS en el aire. Esto genera el requerimiento de utilizar una mascarilla filtrante de protección contra partículas como parte del equipo de protección personal de los colaboradores en la planta.

### **3.7. Medidores a instalar en la máquina y la tubería**

A continuación se encuentra los diferentes medidores a instalar en la máquina y la tubería.

#### **3.7.1. Análisis del entorno y valores de trabajo**

Todo proceso de producción debe ser controlado en todas las variables que puedan influir en la calidad del servicio y seguridad del proceso, se deben establecer rangos de trabajo para asegurar que se cumplan ambos aspectos. Para con este control se tienen los medidores de presión, temperatura y flujo, los cuales cumplen con ser la ventana del proceso. Estos medidores deben estar correctamente calibrados y seleccionarse con base en el propósito, así como al entorno en donde se tenga planeado instalar.

Los medidores se dividen en críticos y no críticos. Los medidores críticos son aquellos que se utilizan para controlar la calidad del producto y seguridad del proceso. Los no críticos miden variables del proceso con propósitos administrativos. A modo de ejemplo se puede determinar que un medidor crítico es la termocupla en la tubería de entrada a la termoformadora, ya que la temperatura del vapor es crítica para la buena calidad del bloque de EPS. Un medidor no crítico es el manómetro en la electroválvula de los pistones de apertura, ya que si bien es necesario contar con una presión de aire, esta puede tener un rango de variación medio sin que hayan repercusiones en la calidad o seguridad del proceso.

La importancia de la división entre estas dos categorías es definir la prioridad en la calibración y la periodicidad.

Para el análisis del entorno, es importante considerar los siguientes factores: Fuentes de calor, vibraciones, polvo y elementos químicos, con base en estos factores se procede a determinar una carcasa adecuada para el medidor.

### **3.7.2. Medidores de flujo**

Para contar con un control adecuado del consumo variable de vapor de la maquinaria, se vuelve necesario instalar medidores de caudal. Una adecuada medición del caudal de vapor da la oportunidad de obtener un costo unitario acertado y una mejora significativa en la distribución de costos.

Para la medición del aire comprimido es suficiente conocer los pies cúbicos por minuto (CFM) producidos por el compresor y dividirlo dentro de las dos termoformadoras, ya que ambas tienen el mismo consumo en sus pistones de apertura.

Para el caso del vapor, es necesario instalar un medidor de caudal en la tubería de alimentación de la maquinaria nueva. Se debe considerar que se coloca en un tramo recto, lo más alejado posible de cruces de tubería y trampas de vapor. De la misma manera, debe estar en un lugar accesible para la toma de datos.

Con base en las condiciones de la planta, se recomienda un medidor de caudal de tipo turbina, con cuerpo de acero inoxidable, con casquillos y soportes de grafito, capaz de soportar una presión de 150 libra por pulgada cuadrada (psi) con rango de error inferior al +/-1 %. El medidor primario debe ser tipo digital.

### **3.7.3. Medidores de temperatura**

Son necesarios para el control de la calidad y eficiencia de la operación de formado de bloques. Se debe colocar un instrumento primario en la tubería de alimentación con capacidad mínima de soportar 100 °C, un transmisor electrónico y un instrumento secundario de panel instalado en el panel principal de control de la termoformadora. Este instrumento secundario puede ser analógico o digital.

Se recomienda utilizar termocuplas tipo J para el instrumento primario, con una periodicidad de calibración semestral. Los detalles de las características del instrumento deben ser incluidos en la lista maestra de instrumentos de medición.

### **3.7.4. Medidores de presión**

Son necesarios para el control de la calidad y eficiencia de la operación de formado de bloques, Se debe colocar un instrumento primario en la tubería de alimentación con capacidad mínima de soportar 150 psi, un transmisor electrónico y un instrumento secundario de panel instalado en el panel principal de control de la termoformadora. Este instrumento secundario puede ser analógico o digital.

Se recomienda utilizar manómetros Festo R3 para el instrumento primario, con una periodicidad de calibración semestral. Los detalles de las características del instrumento deben ser incluidos en la lista maestra de instrumentos de medición.

### 3.7.5. Valores permisibles de operación

Para asegurar un adecuado monitoreo de los valores permisibles de operación, es necesario contar con un formato de calibración para los medidores instalados, que contenga la información del medidor, condiciones ambientales y valores permisibles.

Figura 14. Formato de calibración para medidores

<b>Fecha</b>				<b>Prioridad</b>	
<b>Orden Núm.</b>				<b>Área</b>	
<b>Instrumento</b>				<b>Ubicación</b>	
<b>Marca</b>					
<b>Modelo</b>					
<b>Núm. serie</b>				<b>Condiciones ambientales</b>	
<b>Rango</b>				<b>Ti:</b>	<b>°C</b>
<b>Escala mínima</b>				<b>Tf:</b>	<b>°C</b>
<b>Resultados del ensayo</b>			<b>Ajuste</b>		
<b>Valor nominal</b>	<b>Valor real</b>	<b>Error</b>	<b>Valor real</b>	<b>Error</b>	

Fuente: elaboración propia.

Figura 15. Lista maestra de instrumentos de medición

Instrumento de medición	Dispositivo indicador	Marca	Modelo	Rango del instrumento de medición	División mínima	Magnitud física a medir	Área
Manómetro	Analógico	Festo	356 759 R3	25	0,2	Presión	Termoformado
Termocopla	Digital	Smart Start	Tipo J	500	1	Temperatura	Termoformado
Ubicación exacta	Intervalo de trabajo	Intervalo de verificación o calibración	Tolerancia operativa	Frecuencia	Tipo de medición (administrativa o productiva)		Tipo de medición (administrativa o productiva)
Tubería de alimentación	5	Bar	0,4	6 meses			Productiva
Tubería de alimentación	90	°C	5	6 meses			Productiva

Fuente: elaboración propia.

La lista maestra de instrumentos de medición es necesaria para llevar el control de las características y requerimientos de los instrumentos instalados, su ubicación y frecuencia de calibración. Deben agregarse todos los instrumentos existentes con su respectiva información.

La calibración de los instrumentos de medición debe ser incluida en los planes de mantenimiento preventivo, como mínimo, de manera semestral para asegurar una operación adecuada de la maquinaria a instalar.

### **3.8. Documentación de procesos y planes de mantenimiento**

A continuación se encuentra el preventivo recomendado para a documentación de procesos y planes de mantenimiento.

#### **3.8.1. Mantenimiento preventivo recomendado para la línea**

A pesar de que es una maquinaria nueva, es necesario preparar un plan de mantenimiento preventivo para mantener el equipo en buen estado y para asegurar la operación adecuada, dándole una vida útil extensa. Es necesario incorporar dentro de los planes de mantenimiento preventivo todos los equipos principales y asociados. Este plan de mantenimiento debe contar con tareas de limpieza y lubricación, así como cambio de piezas de forma periódica o según indicadores visuales.

Debido a la alta humedad y presencia elevada de polvillo, es necesario contar con una serie de tareas relacionadas con la limpieza y lubricación de forma mensual.

Figura 16. **Listado de tareas para mantenimiento preventivo**

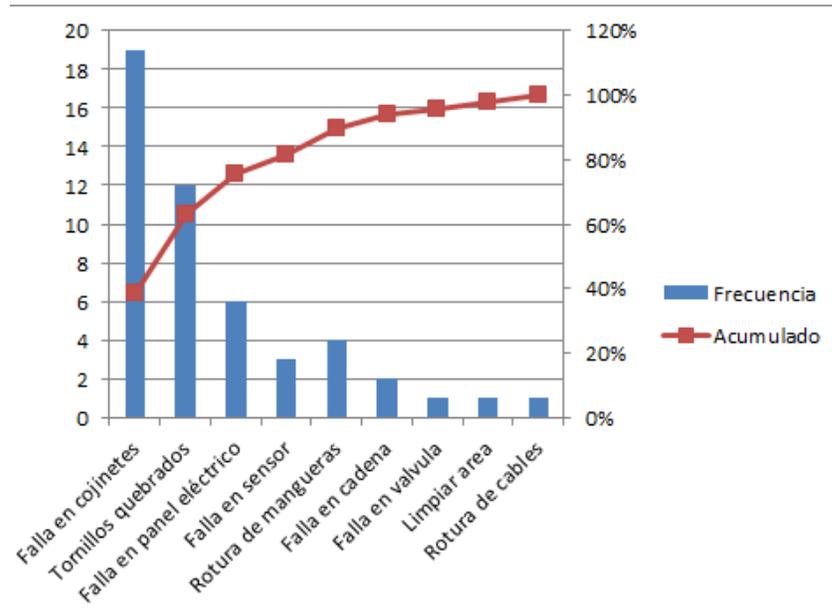
<b>Descripción (cantidad)</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Stock</b>
Revisión microswitch (14)	Mensual	2 unidades
Revisión de sensores capacitivos (2)	2 meses	2 unidades
Revisión cilindros neumáticos (14)	6 meses	2 unidades
Revisión electroválvula (12)	2 meses	
Revisión electroválvula de control (1)	6 meses	1 unidad
Revisión electroválvula hidráulica (1)	Anual	1 bote Telux 46
Revisión de aceite lubricante	2 meses	
Lubricación de barras de cierre con grasa seca	2 meses	2 unidades
Cambio de unidad de mantenimiento neumática	Semanal	3 unidades
Revisión de bornes eléctricos	Semanal	
Revisión mangueras	2 meses	
Revisión tuberías de vapor	2 meses	
Revisión indicadores y controles de presión	6 meses	
Lubricación de cilindros	6 meses	
Limpieza de contactores relay	6 meses	3 unidades
Revisión de cojinetes	6 meses	
Revisión de ventilador centrífugo	6 meses	
Revisión de motores	6 meses	
Aplicación de barniz a motores		

Fuente: elaboración propia.

### **3.8.2. Repuestos necesarios**

Para determinar los repuestos que son necesarios en el *stock* de bodega, se realizó un control de los paros de la termoformadora ya instalada para generar un historial de fallas. Este se realizó por 3 meses, obteniendo los resultados detallados en el Pareto mostrado en la figura 20.

Figura 17. **Historial de fallas**



Fuente: elaboración propia.

Se determina que el 32 % de las causas de paro generan el 76 % de los problemas de interrupción en la producción, las fallas a priorizar son el fallo en cojinetes, los tornillos quebrados y la falla en el panel eléctrico.

Por lo anterior, es necesario tener prioridad en los repuestos y revisión de cojinetes, tornillos, bornes y fusibles, así como tener un *stock* de sensores capacitivos, mangueras neumáticas e hidráulicas.

Los repuestos deben ser almacenados en un mueble específico, libre de humedad y polvo, estar etiquetados adecuadamente y con acceso restringido a los mecánicos de turno.

### 3.8.3. Frecuencia de realización

A continuación se presenta un ejemplo de cronograma para mantenimiento preventivo y actividades de limpieza e inspección.

Figura 18. **Cronograma mantenimiento preventivo**

Maquina	Enero		Febrero		Marzo		Abril		Mayo		Junio	
	RL	M	RL	M	RL	M	RL	M	RL	M	RL	M
Formadora de bloques 1		5h	2h			5h	2h			5h	2h	
Formadora de bloques 2		2h	5h			2h	5h			2h	5h	
Pre Expansora		5h	2h			5h	2h			5h	2h	
Cortadora 1				5h				5h				5h
Cortadora 2			2h				2h				2h	
Cortadora 3				5h				5h				5h
Cortadora 4			2h				2h				2h	
<b>Total</b>		12h	13 h	10h		10h	13h	10h		10h	13h	10h
<b>RL=Revisión y limpieza</b>												
<b>M=Mantenimiento menor</b>												

Fuente: elaboración propia.

### 3.9. Costos de montaje e instalación

Para el montaje y la instalación del equipo se incurre en gastos relacionados con la cimentación y anclaje, las tuberías y accesorios, tanto neumáticos como de vapor, la instrumentación mecánica y la capacitación del personal.

A continuación se presenta la tabla resumen de la estimación de los costos y el desglose cada uno.

Tabla XX. **Resumen de costos para el montaje e instalación**

Costo de cimentación y anclaje	Q 18 400,00
Costo de tuberías y accesorios neumáticos	Q 8 112,25
Costo de tuberías y accesorios de vapor	Q 82 100,00
Costo de instalación y costo de medidores	Q 22 530,00
Costo de capacitación	Q 1 650,00
Costo total de montaje e instalación	Q 132 792,00

Fuente: elaboración propia.

### **3.9.1. Costo de cimentación y anclaje**

Actividades a realizar

- Cavar área para la cimentación
- Colocar estructura metálica y pilotes
- Cementar área
- Soldar anclajes de la maquinaria

Para este trabajo es necesario contar con un soldador y un albañil como mínimo.

Tabla XXI. **Costo de cimentación y anclaje**

Descripción	Costo total
Preparación de área para cimentación	Q 4 800,00
Manufactura de estructura metálica base e instalación	Q 6 700,00
Cimentación	Q 5 200,00
Instalación de anclajes	Q 1 700,00
Total	Q 18 400,00

Fuente: elaboración propia.

Para el relleno de los anclajes se recomienda la utilización de morteros sin contracción, como SikaGrout, los cuales tienen la ventaja de contar con estabilidad volumétrica en sentido vertical, desarrollan resistencia rápidamente y alcanzan alta resistencia final, también son fáciles de utilizar.

### **3.9.2. Costo de tuberías y accesorios neumáticos**

Para la instalación de la tubería y accesorios neumáticos deben considerarse los siguientes costos.

**Tabla XXII. Costo de tubería y accesorios neumáticos**

Descripción	Costo unitario	Costo total
3 unidades de mantenimiento FLR	Q 853,75	Q 2 561,25
7 metros de tubería de cobre diámetro 2"	Q 725,00	Q 5 075,00
2 codos de tubería 2"	Q 150,00	Q 300,00
4 acoples neumáticos	Q 35,00	Q 140,00
2 metros de manguera flexible para aire	Q 18,00	Q 36,00
<b>Total</b>		<b>Q 8 112,25</b>

Fuente: elaboración propia.

### **3.9.3. Costos de tuberías y accesorios de vapor**

Para la instalación de la tubería y accesorios para el manejo del vapor, deben considerarse los siguientes costos.

**Tabla XXIII. Costo de tubería y accesorios para manejo del vapor**

Descripción	Costo unitario	Costo total
1 trampa de vapor	Q 16 700,00	Q 16 700,00
7 metros de tubería de cobre diámetro 3"	Q 740,00	Q 5 180,00
4 metros de tubería de cobre de 6"	Q 980,00	Q 3 920,00
2 Codos de tubería 6"	Q 250,00	Q 500,00
Enchaquetado de fibra de vidrio.	Q 4 400,00	Q 4 400,00
2 juntas de dilatación	Q 2 700,00	Q 5 400,00
Manifold	Q 46 000,00	Q 46 000,00
<b>Total</b>		<b>Q 82 100,00</b>

Fuente: elaboración propia.

### 3.9.4. Costo de instalación y medidores

Para la instalación general y la instrumentación mecánica se incurre en los siguientes costos.

Tabla XXIV. Costo de medidores

Cantidad	Descripción	Costo unitario	Costo total
2	Manómetros	Q 950,00	Q 1 900,00
2	Termocuplas	Q .800,00	Q 1 600,00
2	Transmisores electrónicos	Q 750,00	Q 1 500,00
2	Paneles digitales	Q 1600,00	Q 3 200,00
	Total		Q 8 200,00

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXV. Costo de mano de obra

Descripción	Salario	Total
2 operadores	Q 2 645,00	Q 5 290,00
1 mecánico	Q 3 100,00	Q 3 100,00
1 soldador	Q 4 500,00	Q 4 500,00
	Total	Q 12 890,00

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVI. Costo de pintura industrial

Descripción	Unidad	Metraje	Costo unitario	Total
Pintar piso	m <sup>2</sup>	20 m <sup>2</sup>	Q 72,00	Q 1 440,00

Fuente: elaboración propia.

### 3.9.5. Costo de capacitación

Para la operación adecuada de la maquinaria a instalar es necesario capacitar a los operadores del equipo sobre conocimientos eléctricos, mecánicos y electrónicos básicos. Estos cursos los imparten en el Intecap de Villanueva, esta opción se elige por su precio y accesibilidad. Los cursos recomendados son los siguientes

Tabla XXVII. Costo de cursos de capacitación

Curso	Precio
Acometidas eléctricas	Q 100/persona
Electrónica básica	Q 200/ persona
Soldadura oxiacetilénica	Q 100/persona
Mantenimiento básico de máquinas industriales	Q 50/persona
Mediciones mecánicas industriales	Q 100/persona
Costo total (4 operadores)	Q 1 650,00

Fuente: Intecap.

### 3.9.6. Análisis financiero

Con el cambio de la termoformadora se incurre en los costos indicados anteriormente. Asimismo, se deben considerar los ahorros obtenidos por la eliminación de las fugas de vapor y la consecuente mejora en la eficiencia de la termoformadora nueva.

Consumo de vapor de equipo anterior = 500 kg/h

Consumo de vapor de equipo nuevo = 200 kg/h

Diferencia de 300 kg/h

Se procede a calcular el equivalente en galones de diésel por día.

$300 \text{ kg/h} * (2,2 \text{ lb/1kg}) = 660 \text{ lb/h}$

$(660 \text{ lb/h} / (34,5 \text{ lb/h})) * 0,295 = 5,65 \text{ gal/h} * 6 \text{ h/día} = 33 \text{ galones diésel/día}$

Ahorro anual =  $33 \text{ galones diésel} * 240 \text{ días} * Q,22 \text{ gal} = Q 174 240,00$

Recordando que el costo total de la instalación y montaje es de Q 132 792,00

Se tiene una diferencia favorable de Q 41 448,00 a final de año.

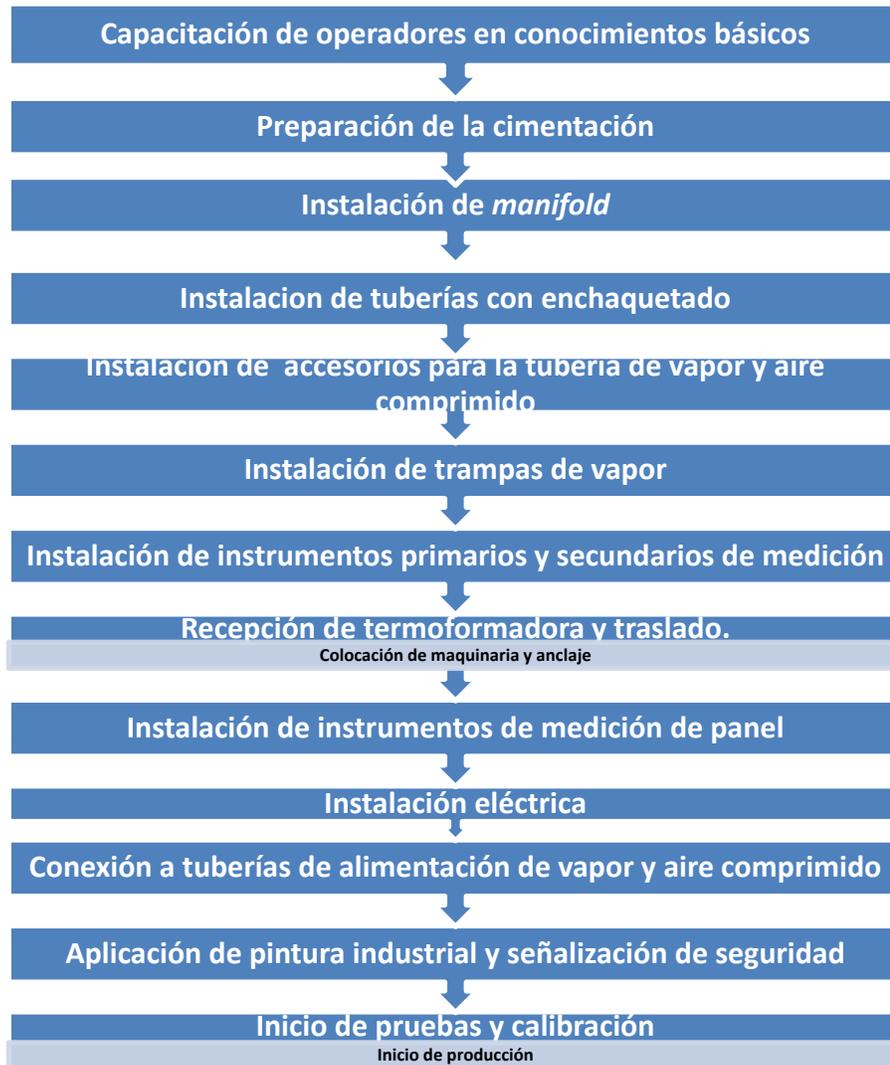
## **4. IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA**

Para realizar la instalación y montaje de la maquinaria es necesario cumplir con una serie de actividades desde su traslado hasta su puesta en marcha.

### **4.1. Flujo de actividades a seguir**

A continuación en la figura 21 se muestra el flujo de actividades a seguir.

Figura 19. **Flujo de actividades para la implementación**



Fuente: elaboración propia.

#### 4.2. **Recurso humano necesario**

El personal encargado de la operación de la termoformadora requiere de conocimientos técnicos para utilizarla de manera adecuada y reducir la probabilidad de accidentes y fallas graves en la maquinaria.

#### 4.2.1. Perfil técnico necesario

A continuación se muestra el perfil técnico necesario.

Tabla XXVIII. **Perfil para operador**

Operador

Formación académica	Bachillerato.
Conocimientos técnicos	Mecánica, mantenimiento industrial, electricidad, manejo de vapor.
Habilidades Personales	<ul style="list-style-type: none"><li>• Organización</li><li>• Trabajo en equipo</li><li>• Integridad</li></ul>
Idiomas	No se requiere
Experiencia previa	1 año en puesto similar

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIX. **Perfil para Mecánico**

Técnico

Formación académica	Técnico en mecánica o electricidad;
Conocimientos técnicos	Mecánica eléctrica, neumática, control de calderas, mantenimiento industrial, interpretación de planos eléctricos.
Habilidades Personales	<ul style="list-style-type: none"><li>• Organización</li><li>• Trabajo en equipo</li><li>• Integridad</li></ul>
Idiomas	Inglés en 60%
Experiencia previa	2 años en puesto similar

Fuente: elaboración propia.

### 4.3. Capacitación de operadores

Los conocimientos técnicos necesarios para la operación de los equipos abarcan desde electricidad hasta habilidades básicas de mantenimiento industrial, aprender los mismos requiere de tiempo que se debe reservar.

#### 4.3.1. Teoría y técnicas a capacitar

La teoría y técnicas que deben aprender los operadores se describen en la tabla XXV.

Tabla XXX. Descripción de cursos técnicos

Curso	Descripción
Acometidas eléctricas (10 horas)	Se estudian las normas de acometidas eléctricas de la Empresa Eléctrica de Guatemala, relacionado a las acometidas eléctricas monofásicas y trifásicas. Se realizan instalaciones y conexiones de acometidas monofásicas y trifásicas, diagramas de la estructura física y eléctrica de las acometidas.
Electrónica Básica (10 horas)	Durante el desarrollo de este evento, se estudian los conceptos básicos de los semiconductores, se realizan circuitos de rectificado, filtrado y regulado de la corriente alterna monofásica. Se realiza la medición de los efectos electrónicos con el uso del multímetro y el osciloscopio.
Soldadura oxiacetilénica (10 horas)	Se estudian conceptos básicos de soldadura, posiciones y tipos de cordones, así como los materiales de aporte.
Mantenimiento básico de máquinas industriales (10 horas)	Durante el desarrollo del seminario el participante adquirirá las competencias básicas para realizar mantenimiento en el puesto de trabajo, tomando en cuenta la seguridad personal y de la máquina.
Mediciones mecánicas industriales (10 horas)	Aprendizaje de competencias y destrezas para realizar un control de calidad en la fabricación de elementos mecánicos, calibrando y verificando a través de instrumentos de medición industrial como: indicadores de carátula, bloques patrón, calibres límite, proyector de perfiles, con tolerancias y ajustes determinadas.

Fuente: Intecap.

### **4.3.2. Lugares de capacitación**

Las opciones son limitadas para los lugares donde se reciban los cursos técnicos. Los centros disponibles son:

- Intecap  
Dirección: 10ª calle 5-04 colonia Enriqueta, zona 5, Villa Nueva  
Cursos: mecánica, electricidad, mantenimiento industrial, electroneumática, soldadura.
- Centro tecnológico de capacitación industrial  
Dirección: 11 avenida 4-06, La Florida, zona 19, Guatemala.  
Cursos: mecánica general, electricidad.

Como opción alterna, algunos proveedores de repuestos ofrecen cursos cortos de capacitación en el tema de su especialidad.

### **4.3.3. Tiempo requerido**

En el centro de capacitación Intecap, los recursos duran 10 horas, divididos en 4 sesiones. Se imparte una o dos veces por semana dependiendo del curso.

### **4.4. Tiempo estimado**

Según el flujo de actividades a realizar, existe la posibilidad de realizar algunas sin detener la maquinaria actual y otras tienen la limitante de requerir el paro de uno o más equipos de la planta, estos tiempos deben ser contemplados en el plan de producción de la empresa.

#### 4.4.1. Maquinaria y equipo a detener para la instalación

Para la instalación de la maquinaria es necesario detener la operación de la siguiente maquinaria y equipos.

- Caldera
- Compresor
- Termoformadora
- Preexpansora

#### 4.4.2. Tiempo de paro de la maquinaria y equipo.

El tiempo de paro de la maquinaria y equipo se describen en la tabla XXIX.

Tabla XXXI. Tiempos de paro por actividad

Actividad/Equipo	Caldera	Compresor	Termoformadora	Preexpansora
Capacitación de operadores en conocimientos básicos.	N/A	N/A	N/A	N/A
Preparación de la cimentación de instalación de <i>manifold</i> .	N/A	N/A	N/A	N/A
Instalación de tuberías con enchaquetado.	5 horas	3 horas	6 horas	6 horas
Instalación de accesorios para la tubería de vapor y aire comprimido. Instalación de trampas de vapor.	6 horas	2 horas	6 horas	6 horas
Instalación de instrumentos primarios y secundarios de medición.	2 horas	2 horas	2 horas	2 horas

Continuación de la tabla XXIX.

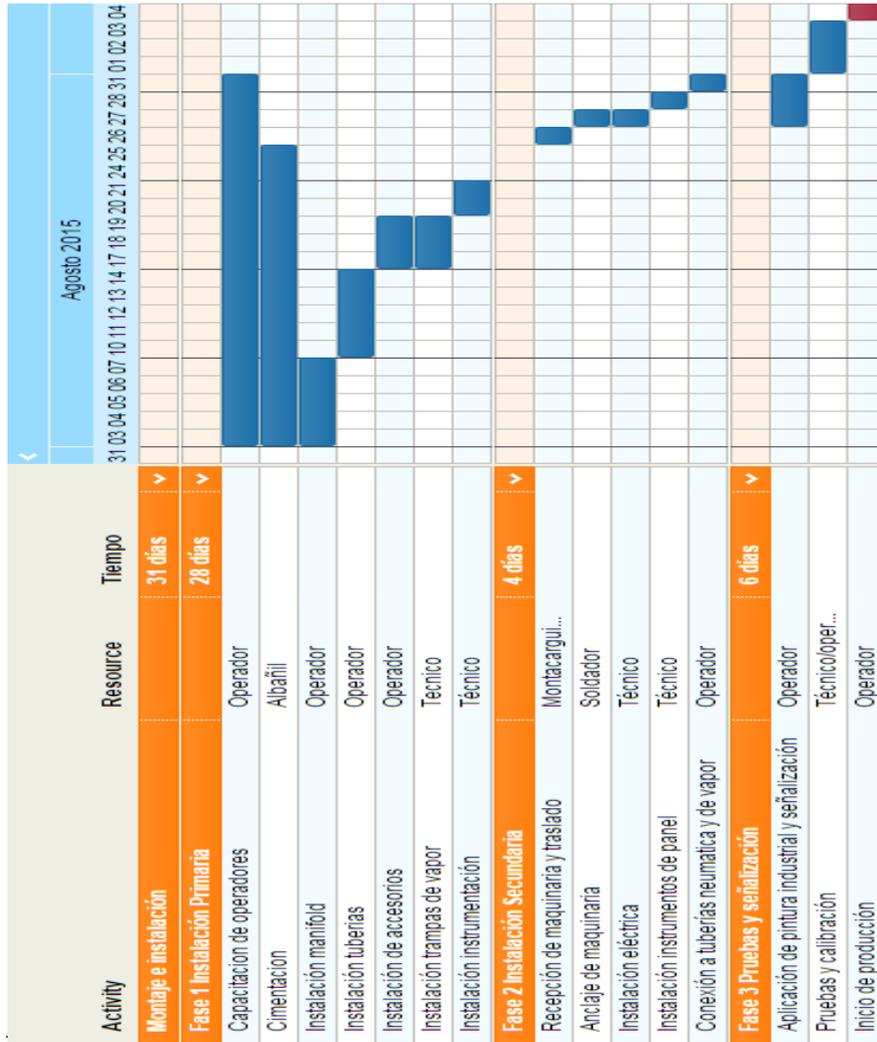
Recepción de termofomadora y traslado. Máquina.	N/A	N/A	N/A	N/A
Colocación de maquinaria y anclaje.	N/A	N/A	N/A	N/A
Instalación de instrumentos de medición de panel.	N/A	N/A	N/A	N/A
Instalación eléctrica.	N/A	N/A	N/A	N/A
Conexión a tuberías de alimentación de vapor y aire comprimido.	1 hora	1 hora	1 hora	1 hora
Aplicación de pintura industrial y señalización de seguridad.	N/A	N/A	N/A	N/A
Inicio de pruebas y calibración.	N/A	N/A	N/A	N/A
Verificación de planes de mantenimiento e ingreso del equipo al sistema.	N/A	N/A	N/A	N/A

Fuente: elaboración propia.

#### 4.4.3. Cronograma

El listado del flujo de actividades a realizar, con sus respectivos tiempos, simultaneidad y requerimiento de personal, se detallan en el siguiente cronograma.

Figura 20. Cronograma



Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Project.

## 5. SEGUIMIENTO Y MEJORA CONTINUA

Para asegurar el seguimiento adecuado de las medidas implementadas y mantener el impacto positivo de las mismas, es necesario realizar auditorías de mantenimiento y limpieza, así como de inspección visual a los equipos. Ambas auditorías proveen información con respecto a la constancia en la aplicación de las rutinas previamente definidas. Asimismo, el personal debe mantenerse en capacitación constante para estar actualizados y renovar conceptos técnicos importantes.

### 5.1. *Checklist* de mantenimiento y limpieza

El *Checklist* de mantenimiento y limpieza se describe en la figura.

Figura 21. *Checklist* de mantenimiento y limpieza

Descripción (cantidad)	Criterio	Tiempo
Revisión microswitch (14)	Sin polvo y sin rajaduras	2 min
Revisión de sensores capacitivos (2)	Sin polvo y sin rajaduras	2 min
Revisión cilindros neumáticos (14)	Sin polvo y sin rajaduras	2 min
Revisión electroválvula (12)	Sin polvo y sin rajaduras	2 min
Revisión electroválvula de control (1)	6 meses	
Revisión electroválvula hidráulica (1)	Sin polvo y sin rajaduras	2 min
Revisión de aceite lubricante	Sin polvo y sin rajaduras	
Lubricación de barras de cierre con grasa seca	Sin polvo y sin rajaduras	2 min
Cambio de unidad de mantenimiento neumática	Sin polvo y sin rajaduras	2 min
Revisión de bornes eléctricos	Sin polvo y sin rajaduras	
Revisión mangueras	Sin polvo y sin rajaduras	
Revisión tuberías de vapor	Sin polvo y sin rajaduras	
Revisión indicadores y controles de presión	Sin polvo y sin rajaduras	
Lubricación de cilindros	Sin polvo y sin rajaduras	
Limpieza de contactores relay	Sin polvo y sin rajaduras	2 min

Continuación de la figura 21.

Revisión de cojinetes	Sin polvo y sin rajaduras	2 min
Revisión de ventilador centrífugo	Sin polvo y sin rajaduras	2 min
Revisión de motores	Sin polvo y sin rajaduras	
Aplicación de barniz a motores		

Fuente: elaboración propia.

El formato deberá ser firmado por el operador en cada mantenimiento y verificado por el supervisor.

## 5.2. **Checklist de inspección visual**

Una parte esencial del buen cuidado de los equipos y su óptimo funcionamiento es hacer una inspección visual durante su operación. Esto favorece la detección temprana de fallas en los equipos, reducir la cantidad de fallas mayores y condiciones potencialmente inseguras para el operador. Para ello, es necesario verificar las componentes del equipo constantemente.

Al realizar la inspección visual se deben incluir todos los sentidos:

- Ver: niveles de aceite, cambios de color, desgaste, vibración, cadenas sueltas, elementos de sujeción sueltos o faltantes, alineación de equipos.
- Oír: sonidos distintos a lo normal, vibraciones, roces de metales, golpes entre piezas, fugas de aire comprimido o vapor.
- Oler: lubricante quemado o cables quemados.

- Sentir: cuidadosamente tocar el equipo para detectar calentamiento o vibraciones anormales.

Figura 22. **Checklist para inspección visual**

Puntos a inspeccionar	Verificado
Manometro de entrada al molde	
Termocupla de entrada al molde	
Manifold	
Mangueras hidraulicas y neumaticas	
Deposito aceite de lubricación	
Block de electrovalvulas	
Cilindros neumaticos	
Verificar: Señales corrosión, vibraciones, fugas de aceite, ruidos anormales, sobrepresiones, piezas o elementos de sujecion flojos.	

Fuente: elaboración propia.

El formato deberá ser firmado por el operador en cada turno y verificado por el supervisor.

### 5.3. Capacitación continua

Como parte del aseguramiento del óptimo funcionamiento de equipos recién instalados, es necesario contar con una capacitación continua del personal. Algunos cursos deben ser impartidos anualmente para mantener actualizado el contenido y continuar aplicando el conocimiento en beneficio de la productividad y seguridad de la planta.

Los cursos que deben ser renovados anualmente son: acometidas eléctricas, mantenimiento básico de equipos industriales y mediciones mecánicas industriales.

#### **5.4. Estudios regulares de condiciones de trabajo**

En el capítulo 2 del presente trabajo se realizó un estudio de las condiciones de trabajo actuales. A modo de resumen, se obtuvieron las siguientes conclusiones en cada estudio:

- Ruido: la dosificación de ruido excede los valores permitidos, por lo que el operario debe utilizar equipo de protección auditivo.
- Iluminación: la iluminación es adecuada en el área a operar la maquinaria y en las áreas de paso de la planta.
- Ventilación: el factor más importante es la presencia elevada de partículas de poliestireno en el ambiente, para ello el personal utiliza mascarillas de protección contra partículas y existen ventiladores de extracción.

Es necesario hacer estudios periódicos de condiciones de trabajo, para verificar que estas se mantengan con valores entre los rangos permitidos, asegurando la seguridad de los trabajadores y su óptimo desempeño. Para lograr esto se recomienda la siguiente periodicidad de estudios del ambiente de trabajo:

- Estudio de iluminación  
Realizar cada 6 meses o cuando se hagan cambios en la infraestructura de la planta, considerar 600 luxes como valor base. Utilizar un luxómetro y realizar un plano de la planta con los valores obtenidos.

- **Estudio de ruido**  
Realizar cada 3 meses o cuando se hagan cambios en la maquinaria instalada en la planta. Considerar 85 db como valor máximo y determinar acciones aislantes y de protección auditiva para compensar los excesos. Utilizar un decibelímetro y realizar un plano de la planta con los valores.
- **Estudio de ventilación**  
Realizar cada 6 meses o cuando se hagan cambios en los ventiladores, número de personal presente en planta o en el proceso de producción. Considerar 5 renovaciones como valor base y la presencia de partículas como factor de riesgo. Asegurar la utilización de mascarillas contra partículas.
- **Estudio de condiciones inseguras**  
Realizar cada 3 meses o cuando se hagan cambios mayores en la planta. El propósito es encontrar condiciones potencialmente inseguras para el personal operativo, se deben inspeccionar los equipos y la infraestructura de la planta en general, verificando su adecuada instalación y operación. Este recorrido se debe realizar con personal de la planta y un especialista en seguridad industrial.



## **6. ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL**

Para asegurar un proceso controlado y con el menor impacto en el medio ambiente, es necesario determinar las propiedades del poliestireno expandido y su reciclaje. Asimismo, es de considerar las implicaciones en las emisiones de gases, desechos líquidos y sólidos.

### **6.1. Reciclaje del poliestireno expandido**

A continuación se muestran las características del poliestireno expandido.

#### **6.1.1. Características del poliestireno expandido**

El poliestireno es un derivado de los hidrocarburos (petróleo o gas natural), es un material muy versátil y apropiado para una amplia cantidad de aplicaciones. El poliestireno expandido (EPS) se define de manera técnica como un material plástico celular y rígido formado a partir del moldeo de perlas preexpandidas de poliestireno expandible, representando una estructura celular cerrada y llena de aire.

Una de las características del EPS es que el calor no lo atraviesa con facilidad, por ello es un buen aislante y utilizado en la industria alimenticia y de la construcción. Esta gran capacidad de adaptación y ligereza en su composición son las características suponen una dificultad al momento de manejar sus residuos. Las propiedades físicas del EPS son las siguientes.

Tabla XXXII. **Propiedades físicas del EPS**

Propiedad	Descripción
Densidad	En función de la aplicación las densidad varían en el intervalo que va desde los 10 kg/m <sup>3</sup> hasta los 35 kg/m <sup>3</sup>
Resistencia mecánica	Los esfuerzos mecánicos de los productos de EPS se evalúan según las siguientes propiedades: Resistencia a la flexión, resistencia a la compresión, resistencia al esfuerzo cortante. Fluencia a la compresión.
Color	El color natural del EPS es blanco.
Tensión de compresión	Esta propiedad es necesaria en los productos de EPS sometidos a cargas, como sus aplicaciones en la construcción. En la práctica la deformación del EPS es inferior a 10 %.
Comportamiento frente al agua	El EPS no es higroscópico, incluso sumergiendo el material completamente en agua los niveles de absorción son mínimos, oscilando entre el 1 % y el 3 % en volumen.

Fuente: CEREN, Mauricio. *Evaluación técnica de alternativas de reciclaje para EPS*. p. 67.

La estabilidad química del EPS se puede ver a detalle en la siguiente tabla.

Tabla XXXIII. **Estabilidad química del EPS**

Sustancia activa	Estabilidad
Solución salina	Estable: el EPS no se destruye con una acción prolongada
Lejías	Estable: el EPS no se destruye con una acción prolongada
Ácido clorhídrico al 35 %	Estable: el EPS no se destruye con una acción prolongada
Ácidos concentrados(sin agua) al 100 %	No estable: el EPS se contrae o se disuelve
Carburantes	No estable: el EPS se contrae o se disuelve
Alcoholes (metanol,etanol)	Estable: el EPS no se destruye con una acción prolongada

Fuente: CEREN, Mauricio. *Evaluación técnica de alternativas de reciclaje para EPS*. p. 68.

### **6.1.2. Métodos de reprocesado**

Actualmente hay algunas alternativas para el reciclado o reprocesado del EPS, las más comunes son:

- Reciclado del EPS durante el proceso productivo

Uno de los métodos más comunes para reciclaje del poliestireno expandido es la trituración de los residuos del material para luego agregarse a las tolvas de alimentación, junto con el material virgen. Esto debe realizarse en un máximo del 30 %, dependiendo de la calidad de bloques que se requiera. Es importante mencionar que al mezclarse con material reciclado se pierden sus propiedades inocuas, por lo que el producto obtenido no debe ser utilizado para propósitos alimenticios.

- Aireación del suelo

Otra alternativa es que el poliestireno expandido se mezcla con el compostaje utilizado para generar abono, el EPS tiene la ventaja de que al estar relleno de aire provee un ambiente más propicio para la generación de compost orgánico.

### **6.1.3. Características del producto reciclado**

Al mezclar el material virgen con un porcentaje del poliestireno expandido reciclado se obtiene un producto de menor calidad que el realizado con material completamente virgen, esto da las siguientes ventajas y desventajas.

- Se obtiene un ahorro de material virgen.
- Se recicla material defectuoso en vez de desecharlo.
- La calidad del producto final es más baja y con mayor cantidad de imperfecciones.
- El producto final no puede ser utilizado en la industria alimenticia.

## 6.2. Maquinaria

Es toda aquella que es necesaria para llevar a cabo un proyecto.

### 6.2.1. Emisiones de gases al medioambiente

La empresa analizada en este trabajo cuenta con una caldera, la cual libera emisiones gaseosas al medio ambiente y, por lo tanto, debe ser controlada para mantenerla dentro de rangos aceptables.

Debido a que la caldera utiliza diésel en su combustión, se debe monitorear el monóxido de carbono y dióxido de carbono que se pueden llegar a producir. Como referencia se utiliza la siguiente tabla.

Tabla XXXIV. **Límites máximos permisibles en la emisión de gases**

Contaminantes	Unidad	Límite máximo
Monóxido de carbono(CO)	mg/m <sup>3</sup>	10,00
Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> )	µg/m <sup>3</sup>	125,00
Partículas de suspensión	µg/m <sup>3</sup>	75,00

Fuente: Banco Mundial. Reglamento de emisión de gases. p. 105.

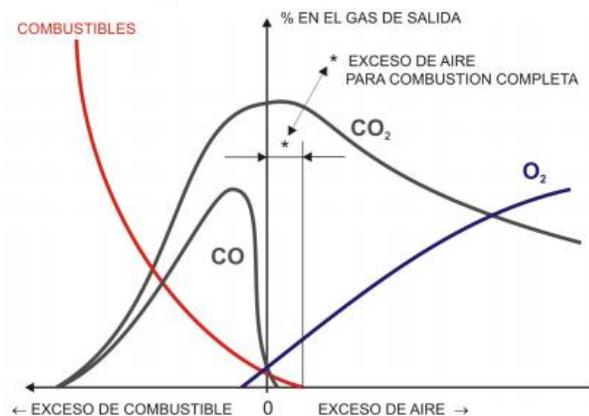
En las emisiones de gases de la caldera, el factor más importante es la combustión adecuada. Una combustión inadecuada genera mayor pérdida de

energía, contaminación e incrustaciones en la chimenea. Por lo anterior, se deben cumplir los siguientes aspectos para una combustión óptima:

- Cantidad de aire en la mezcla dentro del rango de inflamabilidad (30%-173 % para los carburantes).
- Temperatura arriba del punto de ignición (407 °C).
- Deben estar bien mezclados el aire con el combustible.

Los efectos de la variación en el combustible y aire se observan en la siguiente gráfica.

Figura 23. **Componentes de los gases de salida**



Fuente: LIPTAK, B.H. *Instrument Engineers Handbook: Process control*. p. 67.

Al haber una deficiencia de aire, se obtiene un mayor consumo de combustible, generación de CO y CO<sup>2</sup> y una mayor cantidad de hollín en la salida de la chimenea. Con un exceso de aire, el rendimiento general de la combustión disminuye.

### 6.3. Ruido

El límite máximo permisible de exposición es de 85 dB para jornadas de 8 horas al día y cuarenta a la semana, en la tabla XXX se definen diferentes niveles máximos de exposición permitidos al ruido.

Tabla XXXV. **Tiempos de exposición máximos permitidos**

Decibeles	Tiempo de exposición
85 db	8 horas
90 db	4 horas
95 db	2 horas
100 db	1 hora

Fuente: OSHA.

El decibel, cuya abreviación es dB, se define como la variación más pequeña que el oído puede descubrir en el nivel del sonido. Cero decibeles son el umbral de la audición y 120 decibeles del dolor.

El ruido afecta al hombre físicamente, psicológicamente y sociológicamente. El ruido puede dañar el oído, interferir la comunicación, causar molestias, producir cansancio y reducir la eficiencia

Se clasificaron los niveles de ruido con base en la fuente emisora:

Tabla XXXVI. **Niveles de ruido por fuente emisora**

Generador de ruido	Decibeles emitidos
Vehículos	80 db
Termoformadora	90 db
Preexpansora	95 db
Cortadora	70 db
Área de acabados	60 db

Fuente: elaboración propia.

La mayor cantidad de ruido se presenta en los alrededores de la preexpansora y termoformadora. La planta está ubicada en un complejo industrial, por lo que no hay residencias cercanas. En los alrededores hay otras plantas y bodegas, estando la más cercana a 50 metros. No se observa vegetación en el área cercana que pueda ser afectada por las emisiones de la planta.

#### **6.4. Medidas de mitigación**

Conjunto de medidas que se pueden contrarrestar o minimizar los impactos ambientales negativos que pudieran tener algunas intervenciones antrópicas.

##### **6.4.1. Tratamientos de desechos de la planta**

A continuación se muestra el plan de desechos de la planta.

##### **6.4.1.1. Plan de manejo de sólidos**

Actualmente, se ha aumentado la conciencia ambiental por parte de las empresas, de la misma manera, la sociedad y las leyes han enfocado su interés en este aspecto. Por lo anterior, una empresa con planes de crecimiento y expansión debe contar con un plan de manejo de desechos sólidos. Los desechos más comunes del taller y la planta son el EPS, los metales y desechos orgánicos. El plan de manejo de desechos sólidos tendrá que asignar responsables para cada clase de desecho con el fin de velar que se separen apropiadamente.

- **Objetivos**

El objetivo general del plan disminuir la cantidad de desechos sólidos desechados en el recipiente común de basura para contribuir al cuidado del medio ambiente

- **Identificación**

El EPS es el principal desecho de la planta, sin embargo, al triturarse este es reciclado para producir bloques de poliestireno de segunda categoría. El metal es el principal desecho sólido del taller, se tiene chatarra de piezas varias piezas de los equipos, de aluminio, hierro colado, hierro negro y otras variedades. Entre otros desechos se encuentran los materiales orgánicos, que se refiere a papel y cartón principalmente.

- **Recolección**

Se propone colocar un bote de basura para los desechos orgánicos, un área para el poliestireno contaminado y otra área para la chatarra a desechar de manera mensual. Es importante delimitar adecuadamente esta última área ya que los repuestos no deben mezclarse. Esto estará soportado por la organización de los repuestos en muebles con su debida identificación.

El jefe del taller estará a cargo de verificar que los puntos de desecho mencionados anteriormente se mantengan correctamente separados. Un mecánico asignado por el jefe de taller tendrá la responsabilidad de barrer el taller diariamente. Todos los mecánicos deben velar por depositar correctamente los desechos.

- **Tratamiento**

Mensualmente el chatarrero recoge el metal acumulado por la planta, el cual está compuesto por piezas que llegaron al fin de su vida útil, motores, herramientas y tornillos. Es importante mantener el orden y evitar que se mezclen otros desechos. El chatarrero posteriormente se encarga de venderla y reciclarla de varias maneras.

El poliestireno expandido que no se tritura es recolectado por empresas de reciclaje de poliestireno, la frecuencia de su visita dependerá de la cantidad de producción y acumulado de producto en la bodega. Se debe evaluar la utilización de una proporción de los desechos orgánicos para la generación de energía en la caldera, el desperdicio no utilizado se descarta con la empresa recolectora de basura.

#### **6.4.1.2. Manejo de líquidos**

Los desechos líquidos requieren medidas de control dependiendo de sus características y potencial para contaminar el medio ambiente. Su disposición inadecuada contamina los ríos y lagos aledaños, impactando el área de manera negativa y severa. Por ello, es necesario que se cuente con un plan de manejo de aguas negras, el cual no necesariamente implica costos elevados para la empresa que lo utilice.

- **Objetivos**

El objetivo general del plan de manejo de desechos líquidos es reducir la cantidad de aguas negras desechadas por medio del alcantarillado municipal.

- **Identificación**  
Los desechos líquidos que se pueden encontrar son: vapor condensado con partículas de EPS, aceites y grasas.
- **Tratamiento**  
El agua generada por la condensación del vapor puede ser reutilizada en la caldera para aprovechar el calor con el que sale de la maquinaria, sin embargo, es necesario aplicarle los tratamientos químicos y suavización previo a su reutilización. Por ello, se traslada una parte del condensado al depósito de tratamiento de agua, donde se tiene el beneficio que el condensado precalienta el agua, mejorando la eficiencia del ciclo de vapor en la caldera.

Para el agua residual, se recomienda aplicar el tratamiento de filtración por agua clarificada. Este proceso aparta las partículas sólidas para evitar que las aguas residuales se tornen alcalinas o ácidas.

Para ello, el agua se pasa a través de un primer tanque que contiene una lechada de cal, al momento de mezclarse, la cal hará que el pH del agua residual se estabilice, debido que al mezclarse ácidos y alcalinos se obtiene una reacción química que genera agua y sales. Luego, se traslada la mezcla a un segundo tanque, en el cual se filtra el agua por medio de una serie de capas de arena y piedra. Estas capas se encargan de retener las partículas tóxicas. Finalizado el tratamiento, el agua puede ser desechada en el alcantarillado.

#### **6.4.2. Métodos para mitigar las emisiones de gases y ruido**

A continuación se muestran los métodos para mitigar las emisiones de gases.

#### 6.4.2.1. Métodos para mitigar emisiones de gases

El objetivo de los métodos a utilizar es reducir los niveles de partículas tóxicas y gases que emite la caldera al alimentar de vapor a la termoformadora instalada. Por medio de la medición de temperaturas de los gases emitidos por la caldera, se puede optimizar la combustión reduciendo la contaminación generada por la planta. Adicionalmente, si se desea extender el análisis se pueden realizar análisis de gases en base seca y base húmeda, determinando la proporción en los componentes de los gases y detectando presencia de sus componentes.

El grado de opacidad del humo se puede medir para detectar si se encuentra dentro de los límites permitidos por el reglamento de la municipalidad y si la combustión es eficiente, esto se realiza por un estudio de cartas de Ringelmann. Como medida de mitigación adicional a la mejora en la combustión en la caldera, se pueden utilizar filtros de gases y lavadores de mangas.

Para reducir la cantidad de emisiones contaminantes y obtener la combustión óptima, se puede utilizar la siguiente fórmula para determinar la cantidad teórica de aire requerida para la combustión de una unidad en peso de combustible:

$$11,3 \cdot C + 34,34 \cdot \left( H - \frac{O}{8} \right) + 4,29 \cdot S$$

C, H, S → Tanto por uno en peso de los elementos carbono, hidrógeno y azufre en el combustible.

Se sabe que en su composición el diésel tiene de 83 a 86 % de carbono y de 11 a 13 % de hidrógeno; el resto lo conforman átomos de azufre, nitrógeno,

oxígeno, níquel. Aplicando la fórmula, se obtiene que la cantidad teórica de aire es del 13,4 %.

Para asegurar una combustión completa se debe suministrar más aire del teórico para asegurar que cualquier molécula de combustible pueda encontrar las moléculas de oxígeno que necesite para la combustión. Para analizar los componentes de las emisiones se puede utilizar un analizador de gases de combustión colocado en la chimenea de la caldera, este analizador provee de los porcentajes de cada componente en las emisiones. Los precios de estos componentes varían en el rango de Q 4 000-Q 8 000 según la marca.

Es importante recalcar la importancia de tomar en cuenta los otros 2 factores relacionado con una buena combustión, siendo la temperatura un factor importante, así como la mezcla homogénea de aire y combustible.

Como medidas preventivas alternas se recomienda colocar chimeneas más altas para dispersar las emisiones y evitar problemas por la alta densidad de las partículas contaminantes en un punto cercano.

Como segunda alternativa, se puede utilizar el proceso de absorción, su funcionamiento se basa en el hecho que los gases emitidos están compuestos por una mezcla de sustancias que están en fase gaseosa, algunos de estos compuestos son solubles en fase líquida. En el transcurso de absorción de un gas, las emisiones gaseosas que contienen el contaminante a desechar se pone en contacto con un líquido en el que el contaminante se diluye. La transferencia de elementos se realiza por el contacto del gas con el líquido en lavadores húmedos o en sistemas de absorción en seco.

#### **6.4.2.2. Métodos para mitigación del ruido**

Como medidas de mitigación de ruido, ante los valores superiores a 85 db, se debe realizar el análisis en tres niveles: la fuente, el medio y el receptor. Realizar mejoras en la fuente es lo ideal y donde deben enfocarse inicialmente los esfuerzos, dado que a lo mejor, la fuente de ruido impacta toda la planta y no solo a un operador.

Como medidas de control de ruido industrial están:

- Cambio del tipo de proceso realizado.
- Mantenimiento de equipos y lubricación.
- Cambio de calidad de materia prima.
- Instalación de silenciadores y amortiguadores.
- Encapsulamiento de secciones ruidosa en el equipo.
- Uso de cabinas para los operadores.
- Rotación de turnos para evitar exceder el tiempo de exposición permitido.
- Planificación de operación de equipos ruidoso en horarios de descanso o de menor cantidad de personas en la planta.

Luego de aplicar estas medidas, se procede a evaluar nuevamente el ruido y definir la protección auditiva necesaria para el personal. Se debe considerar que los tapones reducen como máximo 35 dB y la utilización de una combinación de tapones y orejeras multiplica su reducción, sino que el segundo protector solo agrega de 5-10 dB extras de protección.

En la planta, actualmente, el equipo con mayor ruido es la preexpansora con 95 dB, la sección más ruidosa es donde se aplica el vapor a las perlas y se utilizan vibradoras para mejorar la absorción. Se recomienda encapsular la

sección y realizar un mantenimiento preventivo en las vibradoras para lubricar y cambiar los amortiguadores.

Se recomienda monitorear los niveles de ruido y evaluar la eficiencia de las medidas de mitigación. Este proceso debe ser documentado apropiadamente para contar con un historial.

## CONCLUSIONES

1. La instalación adecuada de la máquina de formado de bloques de poliestireno expandido engloba aspectos desde su anclaje hasta la capacitación y condiciones de los operadores, la consideración de todos estos aspectos da un escenario claro y más preciso de los requerimientos, reduciendo la probabilidad de fallas en los equipos y accidentes laborales.
2. La cimentación propuesta considera los requerimientos de cargas vivas y muertas de la maquinaria, tomando en cuenta los movimientos del equipo, el peso del personal y las vibraciones a las que se expone. Para ello se realiza una zapata a nivel del suelo aislando las vibraciones y dando una base sólida.
3. Para el anclaje se recomienda utilizar pernos tipo J y morteros de relleno, estos se acoplan a los requerimientos del proyecto y proveen una reducción en las vibraciones y mejora en la solidez general del equipo.
4. La nueva maquinaria de formado de bloques de poliestireno expandido cuenta con un consumo menor por ciclo y sin presencia de fugas, tanto de vapor como de aire comprimido, siendo suficiente la capacidad de la caldera y el compresor actuales. Asimismo, las mejoras propuestas en los sistemas de alimentación aseguran un suministro más eficiente y seguro.

5. Por medio de la determinación de la velocidad y caudal óptimo para reducir el golpe de ariete y pérdidas de energía, se logra determinar el diámetro de la tubería más eficiente, siendo esta de 5 pulgadas en comparación con el valor empírico estimado de 8 pulgadas, esto reduce las pérdidas de calor y el costo de la tubería significativamente.
6. Con base en los requerimientos de la maquinaria, se determina que el *manifold* instalado tiene tuberías de alimentación de 6, 5 y 3 pulgadas, contando con manómetros en cada tubería para un control adecuado, el cuerpo es de acero con un aislamiento de fibra de vidrio con recubrimiento de acero inoxidable.
7. Los accesorios necesarios para el ingreso del vapor y aire comprimido son la trampa de vapor termodinámica y las unidades de mantenimiento FLR, ambos accesorios son de vital importancia para asegurar una calidad adecuada en el suministro de ambos servicios.
8. La instalación eléctrica debe ser de 440 V, adicionalmente, se debe tener un banco de capacitores para regular el factor de potencia y seguir una serie de medidas de seguridad debido al alto amperaje que maneja la maquinaria.
9. Los medidores requeridos para un control preciso y óptimo en la operación de la maquinaria son los medidores de flujo como los flujómetros, los medidores de temperatura como las termocuplas y los medidores de presión como los manómetros, estos medidores deben ser colocados en la tubería y contar con un transmisor electrónico para monitorear la información en el instrumento secundario instalado en el panel principal.

10. El poliestireno expandido tiene la ventaja de ser fácilmente reprocesado para su mezcla con perla virgen, sin embargo, se considera el poliestireno contaminado y el resto de desechos sólidos dentro del plan de manejo ambiental, asimismo, se cuenta con un plan de control y mitigación de los gases y ruido generados por el proceso productivo.



## RECOMENDACIONES

1. La instalación de la maquinaria requiere de conocimientos técnicos y un procedimiento ordenado para evitar riesgos a la seguridad del personal y daños permanentes a los equipos, para ello se debe contar con mecánicos capacitados en el tema y seguir los procedimientos de seguridad paso a paso.
2. Se debe verificar la nivelación de la zapata de manera regular ya que un desgaste de la misma ocasiona una desalineación en los equipos un aumento en las vibraciones que generan daños en los equipos.
3. Los anclajes deben contar con un recubrimiento de pintura anticorrosiva para asegurar su integridad a pesar del alto grado de humedad presente en la fábrica.
4. Se debe verificar, al encender los equipos en el primer turno, que no exista una cavitación severa en las tuberías, así como estar atento a cualquier indicador visual de la maquinaria al momento de ingresar el vapor y aire comprimido a presión.
5. Se deben realizar inspecciones con los equipos parados para detectar posibles fugas de vapor y aire comprimido a lo largo de toda la red de distribución interna.

6. Preservar en buen estado los manómetros colocados en el *manifold*, ya que los mismos son indispensables para reducir el riesgo de accidentes y monitorear el suministro a presión adecuada.
7. Se debe contar con la restricción que solo personal capacitado puede manipular las instalaciones eléctricas y paneles, el personal permitido debe haber recibido cursos de electricidad y los riesgos de la misma, así como contar con el equipo adecuado para las acciones rutinarias.
8. Debe haber un responsable de mantener un orden adecuado en la clasificación de los desechos en el taller, asimismo, dar instrucciones a los operadores de la termoformadora para evitar cruces de desechos líquidos y sólidos.

## BIBLIOGRAFÍA

1. ARRIOLA LARA, Enma Aracely; VELÁSQUEZ MARTELL, Fidel Ernesto. *Evaluación técnica de alternativas de reciclaje de poliestireno expandido (EPS)*. Trabajo de graduación Ing. Industrial. Universidad de El Salvador. Facultad de Ingeniería. 2013. 190 p.
2. CASTILLO JIMÉNEZ, Rafael. *Montaje y reparación de sistemas neumáticos e hidráulicos bienes de equipo y máquinas industriales*. México: IC, 2013. 188 p.
3. CRESPO VILLALAZ, Carlos. *Mecánica de suelos y cimentaciones*. México: Limusa, 2004. 650 p.
4. FONSECA MALDONADO, Pedro José. *Diseño de la red de distribución de vapor para una lavandería industrial*. Trabajo de graduación de Ing. Industrial. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería, 2011. 234 p.
5. JIMENEZ LÓPEZ, Julio César. *Incremento de la productividad de un taller diésel realizando cambios en la infraestructura*. Trabajo de graduación de Ing. Industrial. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. 2010. 78 p.

6. LÓPEZ, Elmer Geovanny. *Diagnóstico ambiental debido al proceso de producción de una fábrica de láminas galvanizadas*. Trabajo de graduación de Ing. Industrial. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. 2007. 78 p.
7. LUSZCZEWSKI, Antoni. *Redes industriales de tubería, bombas para agua, ventiladores y compresores*. España: Reverte, 2004. 302 p.
8. SOLÉ, Antonio Creus. *Instrumentación Industrial*. España: Marcombo, 2012, 800 p.
7. MORAN, Michael J. *Fundamentos de la termodinámica técnica*. España: Reverte, 2004. 888 p.
9. SPIRAX Sarco. *Distribución del vapor*, SpiraxSarco, 2009, 64 p.