



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

**DISEÑO DE LÍNEA DE DISTRIBUCIÓN PARA ADHESIVO VINAMYL, REALIZADO EN LA
EMPRESA CARTONES DE VILLA NUEVA, S.A.**

María Fernanda Santizo de León

Asesorado por el Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda

Guatemala, septiembre de 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE LÍNEA DE DISTRIBUCIÓN PARA ADHESIVO VINAMYL, REALIZADO EN LA
EMPRESA CARTONES DE VILLA NUEVA, S.A.**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

MARÍA FERNANDA SANTIZO DE LEÓN

ASESORADO POR EL ING. EDWIN ESTUARDO SARCEÑO ZEPEDA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA MECÁNICA

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. José Francisco Gómez Rivera (a.i.)
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Ing. Kevin Vladimir Armando Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Esdras Feliciano Miranda Orozco
EXAMINADOR	Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda
EXAMINADOR	Ing. Carlos Aníbal Chicojay Coloma
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:

**DISEÑO DE LÍNEA DE DISTRIBUCIÓN PARA ADHESIVO VINAMYL, REALIZADO EN LA
EMPRESA CARTONES DE VILLA NUEVA, S.A**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 22 de octubre de 2019.



María Fernanda Santizo de León

Universidad de San Carlos de
Guatemala



Facultad de Ingeniería
Unidad de EPS

Guatemala, 27 de abril de 2023
REF.EPS.DOC.015.05.2023.

Ing. Oscar Argueta Hernández
Director Unidad de EPS
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ingeniero Argueta Hernández.


Por este medio atentamente le informo que como Asesor-Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario **María Fernanda Santizo de León** de la Carrera de Ingeniería Mecánica, con carné **No. 201513672**, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **DISEÑO DE LÍNEA DE DISTRIBUCIÓN PARA ADHESIVO VINAMYL, REALIZADO EN LA EMPRESA CARTONES DE VILLA NUEVA, S.A.,.**

En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”


Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda
Asesor-Supervisor de EPS
Área de Ingeniería Mecánica



c.c. Archivo
EDSZ/ra

Universidad de San Carlos de
Guatemala



Facultad de Ingeniería
Unidad de EPS

Guatemala, 03 de mayo de 2023
REF.EPS.D.149.05.2023

Ing. Gilberto Enrique Morales Baiza
Director Escuela de Ingeniería Mecánica
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ingeniero Morales Baiza:

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado: **DISEÑO DE LÍNEA DE DISTRIBUCIÓN PARA ADHESIVO VINAMYL, REALIZADO EN LA EMPRESA CARTONES DE VILLA NUEVA, S.A.**, que fue desarrollado por la estudiante universitaria **María Fernanda Santizo de León** quien fue debidamente asesorada y supervisada por el Ingeniero Edwin Estuardo Sarceño Zepeda.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte del Asesor - Supervisor de EPS, en mi calidad de Director apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,
"Id y Enseñad a Todos"


Ing. Oscar Argueta Hernandez
Director Unidad de EPS



OAH/ra



USAC

TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.EIM.029.2023

El Revisor de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor-Supervisor y del Director de la Unidad de EPS, al trabajo de graduación titulado: **DISEÑO DE LÍNEA DE DISTRIBUCIÓN PARA ADHESIVO VINAMYL, REALIZADO EN LA EMPRESA CARTONES DE VILLA NUEVA, S.A** de la estudiante: **María Fernanda Santizo de León, CUI 3001423900101, Reg. Académico No. 201513672** y habiendo realizado la revisión de Escuela, se autoriza para que continúe su trámite en la oficina de Lingüística, Unidad de Planificación.

"Id Y Enseñad a todos"



Ing. Esdras Miranda Orozco
COLEGIADO 4637

Ing. Esdras Feliciano Miranda Orozco
Revisor
Escuela de Ingeniería Mecánica

|

Guatemala, mayo de 2023

/aej

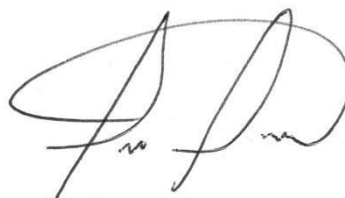
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA

LNG.DIRECTOR.187.EIM.2023

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador de área y la aprobación del área de lingüística del trabajo de graduación titulado: **DISEÑO DE LÍNEA DE DISTRIBUCIÓN PARA ADHESIVO VINAMYL, REALIZADO EN LA EMPRESA CARTONES DE VILLA NUEVA, S.A.**, presentado por: **María Fernanda Santizo de León**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”




Ing. Gilberto Enrique Morales Baiza
Director
Escuela de Ingeniería Mecánica

Guatemala, septiembre de 2023

Decanato
Facultad de Ingeniería
24189101- 24189102
secretariadecanato@ingenieria.usac.edu.gt

LNG.DECANATO.OI.644.2023



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, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE LÍNEA DE DISTRIBUCIÓN PARA ADHESIVO VINAMYL, REALIZADO EN LA EMPRESA CARTONES DE VILLA NUEVA, S.A.**, presentado por: **María Fernanda Santizo de León**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Ing. José Francisco Gómez Rivera

Decano a.i.

Guatemala, septiembre de 2023

JFGR/gaac

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios y María Auxiliadora** “Dios tiene un tiempo perfecto, nunca temprano, nunca tarde”. En todo este recorrido, al mirar atrás, me doy cuenta que estuvieron guiándome y cuidándome en cada decisión que tomé.
- Mi madre** Claudia de León, porque a pesar de los problemas nunca me has dejado sola, gracias por tu amor y apoyo incondicional.
- Mi padre** Víctor Manuel Santizo, porque desde pequeña me has consentido y me has heredado el amor por disfrutar las pequeñas cosas. Gracias.
- Mi abuelita** Pilar López, porque tuvo la fortaleza y valentía de cuidarme durante tantos años. Gracias por llevarme frutas cada fin de semana.
- Mi hermano** Víctor Alejandro Santizo, porque vivimos tiempos difíciles y aún así me apoyaste. Gracias.
- Mi novio** Henry Contreras, por ser el ángel de mi vida, apoyarme y, recordarme que valía la pena seguir adelante en aquellos momentos donde no podía más.

AGRADECIMIENTOS A:

Mis amigos de la Facultad	Porque durante cuatro años me ayudaron a superar obstáculos, seguir adelante y disfrutar los pequeños momentos.
Haydee de Contreras	Por hacerme sentir parte de su familia y recibirme en su hogar, brindándome su ayuda y palabras de ánimo cuando lo necesité.
Henry Contreras	Por permitirme compartir con su familia momentos especiales y brindarme apoyo.
Kevin Guarcas	Por es un amigo incondicional.
Mis amigos de Cartones de Villa Nueva	Cristian Maxia, Hugo Hernández, Ángel Nolasco y Henry Flores, por haberme apoyado, compartido sus conocimientos y hacer más alegres mis días de EPS.
Universidad de San Carlos de Guatemala	Por la formación académica brindada.

	1.2.3.1.	Diseño y desarrollo.....	13
	1.2.3.2.	Planificación	13
	1.2.3.3.	Corrugado	13
	1.2.3.4.	Conversión	13
	1.2.4.	Tipos de estructura.....	13
	1.2.5.	Tamaño de flautas.....	14
	1.2.6.	Clases de <i>tests</i>	15
1.3.		Conceptos elementales para el diseño de tuberías	16
	1.3.1.	Presión	16
	1.3.2.	Temperatura.....	16
	1.3.3.	Densidad	17
	1.3.4.	Peso específico	17
	1.3.5.	Viscosidad cinemática	17
	1.3.6.	Velocidad de fluidos	17
	1.3.7.	Número de Reynolds.....	18
	1.3.8.	Rugosidad	19
	1.3.9.	Caudal másico.....	20
	1.3.10.	Caudal volumétrico.....	20
	1.3.11.	Ecuación de Bernoulli.....	20
	1.3.12.	Bombas	21
	1.3.13.	Pérdidas por fricción con el método de Darcy Weisbach.....	22
	1.3.14.	Pérdidas por accesorios.....	23
	1.3.15.	Instrumentación.....	26
1.4.		Diseño de sistema de tuberías.....	26
	1.4.1.	Diámetro óptimo de conducción	27
		1.4.1.1. Tubería de descarga	27
		1.4.1.2. Tubería de succión.....	27
1.5.		Conceptos teóricos de seguridad industrial.....	28

1.5.1.	Seguridad industrial	28
1.5.1.1.	Definición	29
1.5.1.2.	Seguridad en Guatemala	29
1.5.2.	Peligro y riesgos	30
1.5.3.	Accidentes e incidentes	31
1.5.3.1.	Definición	31
1.5.3.2.	Causas	31
1.5.3.3.	Tipos	32
1.5.4.	Actos inseguros y condiciones inseguras	32
1.5.5.	Marcaje de suelos	32
2.	FASE DE INVESTIGACIÓN	35
2.1.	Diagnóstico	35
2.1.1.	Cantidad de aplicación de adhesivo	35
2.1.2.	Consumo promedio mensual de adhesivo vinamyl	36
2.1.2.1.	Consumo actual	36
2.1.2.2.	Consumo ideal	37
2.1.3.	Costos	39
2.1.4.	Beneficios	40
2.1.5.	Costos y beneficios convertidos a valor actual	40
2.1.5.1.	Costos de desperdicio de adhesivo	41
2.1.5.2.	Costos de importación	42
2.1.6.	Análisis de relación costo beneficio	43
3.	FASE TÉCNICO PROFESIONAL	45
3.1.	Propiedades del adhesivo	45
3.1.1.	Viscosidad	45
3.1.2.	Punto de gel	47

3.1.3.	Densidad	50
3.1.4.	Peso específico	51
3.2.	Diseño de tanque de almacenamiento	51
3.2.1.	Dimensiones.....	51
3.2.2.	Resumen de propiedades del adhesivo	53
3.2.3.	Material.....	53
3.2.4.	Instrumentación.....	54
3.3.	Diseño de red de distribución.....	55
3.3.1.	Determinación de caudal.....	58
3.3.2.	Determinación de velocidad	60
3.3.2.1.	Cálculo del diámetro óptimo de conducción	62
3.3.3.	Selección de material	63
3.3.4.	Selección de accesorios.....	65
3.3.5.	Cálculo de pérdidas de carga.....	66
3.3.6.	Ecuación de Bernoulli.....	69
3.3.7.	Selección de bombas	71
3.3.8.	Selección de compresor	79
3.3.9.	Selección de instrumentación.....	81
3.4.	Diseño de depósito de retorno de adhesivo	81
3.4.1.	Dimensiones.....	81
3.4.2.	Instrumentación.....	82
3.4.3.	Costo de realización del proyecto	82
4.	FASE DE DOCENCIA.....	85
4.1.	Condiciones de seguridad actuales	85
4.1.1.	Actos inseguros.....	86
4.1.2.	Condiciones inseguras	87
4.1.3.	Accidentes de trabajo	90

4.2.	Código de colores para marcaje de suelos.....	90
4.3.	Marcaje de suelos para Cartones de Villa Nueva, S.A.	91
4.4.	Equipo de seguridad.....	93
4.5.	Capacitaciones.....	95
4.5.1.	Actos inseguros	96
4.5.2.	Equipo de seguridad.....	97
CONCLUSIONES		99
RECOMENDACIONES.....		103
REFERENCIAS		105
APÉNDICES		109
ANEXO		113

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Ubicación geográfica de Cartones de Villa Nueva, S.A.....	2
2.	Valores de la empresa Cartones de Villa Nueva, S.A.	3
3.	Organigrama del área de Control de Calidad.....	4
4.	Componentes de empaque de cartón corrugado	5
5.	Viscosímetro de Saybolt.....	9
6.	Viscosidad cinemática expresada en SUS versus la expresada en mm ² /s a 100 F ^o	11
7.	Proceso de elaboración de empaques de cartón corrugado	12
8.	Diagrama de Moody	23
9.	Diferencia entre peligro y riesgo.....	30
10.	Costo estimado del proyecto vs., ahorro	44
11.	Prueba de punto de gel	49
12.	Almidón gelatinizado	49
13.	Dimensiones tanques de almacenamiento.....	52
14.	Tanque de almidón sucio	54
15.	Diseño de sistema de distribución de adhesivo	57
16.	Especificaciones tubería CPVC cédula 80	64
17.	Factor de corrección de presión de tubería CPVC cédula 80 temperaturas de trabajo diferentes a 23 °C.....	65
18.	Aplicaciones de bombas de doble diafragma	72
19.	Guía de materiales de fabricación para bombas de diafragma	73
20.	Curva de rendimiento bomba graco husky 2150.....	78
21.	SCFM requeridos para el compresor	80

22.	Dimensiones tanque de retorno	82
23.	Costos del proyecto vs., costos ocultos	84
24.	Delimitación de suelos actual en planta de producción Cartones de Villa Nueva, S.A.....	85
25.	Colocación de multitas en lugares inadecuados	86
26.	Obstaculización de extintores	87
27.	Obstaculización de paso peatonal	88
28.	Obstaculización de entrada a generadores eléctricos	89
29.	Acumulación de equipo inservible.....	89
30.	Polvo en superficie.....	94
31.	Filtros limpios vs., filtros sucios.....	95
32.	Resultados encuesta sobre el uso de marcaje de suelos	96
33.	Mascarilla quirúrgica después de 8 horas.....	97

TABLAS

I.	Uso del empaque de cartón corrugado según su estructura	14
II.	Características de las flautas de cartón corrugado	15
III.	Régimen de fluido según Número de Reynolds.....	19
IV.	Rugosidad “e” de materiales	19
V.	Resistencia en válvulas y accesorios expresada como longitud equivalente en diámetros de tubería.....	25
VI.	Factor de fricción según diámetro de tubería.....	26
VII.	Aplicación de adhesivo	36
VIII.	Consumo actual de adhesivo vinamyl.....	37
IX.	Consumo ideal de adhesivo vinamyl.....	38
X.	Costos de desperdicio de adhesivo	41
XI.	Costos de mantenimiento y limpieza	42
XII.	Costos de importación	42

XIII.	Ahorro monetario	43
XIV.	Segundos SUS de adhesivo vinamyl	46
XV.	Viscosidad de adhesivo vinamyl	47
XVI.	Masa de adhesivo vinamyl	50
XVII.	Propiedades de adhesivo vinamyl.....	53
XVIII.	Caudal para sección 1.....	59
XIX.	Caudales de trabajo	60
XX.	Velocidad sección 2 y 3 por teorema de Torricelli	61
XXI.	Diámetros de cada sección y tanque	62
XXII.	Accesorio y cantidad	66
XXIII.	Factor de fricción f.....	66
XXIV.	Pérdidas por fricción.....	67
XXV.	Pérdidas por accesorios.....	68
XXVI.	Pérdidas por accesorios en cada sección de bombeo	68
XXVII.	Pérdidas totales del sistema	69
XXVIII.	Presión requerida del sistema sección 1 tanque	75
XXIX.	Presión requerida del sistema sección 1 tanque	76
XXX.	Presión requerida del sistema sección 4 ambos	76
XXXI.	Presión requerida del sistema sección 5 ambos	77
XXXII.	Especificaciones técnicas de bomba.....	79
XXXIII.	Costos reales del proyecto	83
XXXIV.	Código de colores marcaje de suelos	91
XXXV.	Plan marcaje de suelos para Cartones de Villa.....	92

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
Z	Altura para ecuación de bernoulli
h	Altura para volumen de cilindro
A	Área
M	Caudal Másico
Q	Caudal volumétrico
C	Consumo de adhesivo/m ²
Cr	Consumo real de adhesivo Vinamyl
cm	Centímetros
ρ	Densidad
D	Diámetro
a	Factor A
F	Fuerza
°C	Grados Celsius
°K	Grados Kelvin
g	Gramos
g	Gravedad
Kg	Kilogramos
N	Newtons
Re	Número de Reynolds
ma	Masa
m	Metro
ml	Mililitros
mm	Milímetros

e	Rugosidad absoluta
ε	Rugosidad relativa
γ	Peso específico
π	Pi
%	Porcentaje
P	Presión
r	Radio
s	Segundos
SUS	Segundos Universal
t	Temperatura
ν	Viscosidad cinemática
V	Volumen
v	Velocidad

GLOSARIO

Agitador magnético	Instrumento electrónico que usa un campo magnético para mezclar uno o más solutos con un solvente de manera automatizada, de igual forma tiene la capacidad de calentar soluciones.
Batch	Se le denomina así al lote entero de adhesivo que se produce.
Calibre	Es la distancia que existe entre las dos caras del papel.
Dirección de flauta	Se refiere a la dirección del papel médium o flauta, la cual depende de la forma de la caja y el producto que llevará dentro.
Empalmadores	Son aquellos que cumplen la función de unir los papeles en cada cambio de bobina.
Impermeabilizante	Es una sustancia que impide el paso del agua a través suyo, actuando como una capa protectora que protege la superficie.
Insoluble	Se refiere a aquella sustancia que no se disuelve.

Pad	Se refiere a láminas de cartón, de diferentes medidas, que se utilizan como divisiones, soportes, entre otros.
Rombo de seguridad	Es un símbolo utilizado internacionalmente para indicar el nivel de riesgo que una sustancia puede representar para la seguridad y la salud humana.
<i>Stacker</i>	Se le denomina así al área final del proceso de corrugado.
Soluble	Se refiere a aquella sustancia que puede disolverse.
SUS	Segundos Universal, unidad de medida para medición de viscosidad por medio del viscosímetro de Saybolt.
<i>Tack</i>	Es la capacidad de agarre o adhesión que posee el adhesivo.

RESUMEN

La empresa Cartones de Villa Nueva, S.A se dedica a la fabricación y comercialización de cajas de cartón corrugado. Dicha producción puede clasificarse en dos grupos principales que son: caja comercial y caja agrícola, cuya principal diferencia radica en el uso de adhesivo que se utiliza para su elaboración, siendo el que se utiliza para caja agrícola más caro de fabricar por las características que aporta a la caja. Considerando que actualmente cuentan con un único sistema de distribución para ambos tipos de adhesivo, el agrícola se está desperdiciando en la caja comercial cuyo valor de venta es menor.

Con el fin de solucionar la problemática actual se desarrolla la propuesta de un sistema nuevo de distribución de adhesivo, para lo cual se realizó el diagnóstico pertinente sobre los costos generados por esta forma de trabajo y se determinaron los puntos de mejora que la realización del proyecto representa para la empresa, así como la inversión requerida y el ahorro si se lleva a cabo la propuesta, estableciendo que esta inversión puede en su primer año de implementación.

Así mismo se hizo una evaluación del estado actual en temas de seguridad industrial y se plantea la propuesta de una implementación de código de colores en el marcaje de suelos, producto de la necesidad detectada de delimitar los pasos peatonales, los espacios para producto terminado y la restricción de accesos a ciertas área y máquinas que pueden representar un peligro para la integridad, seguridad y salud de los trabajadores dentro de la planta de producción.

OBJETIVOS

General

Disminuir los costos ocultos generados en la producción de cajas de cartón corrugado que utilizan adhesivo tipo vinamyl.

Específicos

1. Identificar al menos dos costos ocultos dentro del proceso de fabricación de adhesivo.
2. Determinar cuánto dinero se pierde actualmente por desperdiciar el adhesivo tipo vinamyl aplicándolo a cajas de uso comercial.
3. Diseñar un sistema de distribución de adhesivo que se adecue a las necesidades de producción según el comportamiento del fluido de trabajo.
4. Establecer una propuesta de proyecto cuyo retorno de inversión sea menor a 3 años.
5. Disminuir el riesgo de accidentes dentro de la planta de producción proveyendo al colaborador un entorno de trabajo óptimo, organizado, ordenado y seguro.

6. Concientizar a los trabajadores sobre la importancia del uso de equipo de seguridad industrial para resguardar su salud.

INTRODUCCIÓN

Una vez detectada la oportunidad de mejora dentro de la empresa en el proceso de corrugación, surge el presente proyecto que tiene como título *Diseño de línea de distribución para adhesivo vinamyl, realizado en la empresa cartones de Villa Nueva, S.A.*

Para su desarrollo inicialmente se estableció la aplicación de adhesivo por metro cuadrado de las láminas de cartón corrugado, para posteriormente establecer el consumo ideal que debía aplicarse y así obtener cuánto dinero se está perdiendo por el método de trabajo que actualmente usan en base al nivel de producción de cajas agrícolas. De igual forma se detectaron otros costos que se están generando y no habían sido contemplados previamente, estos son costos de importación y costos de limpieza y mantenimiento, obteniendo así que el beneficio de la realización de este proyecto radica en el ahorro que se obtendrá al disminuir y mitigar estos costos extras.

Como siguiente paso fue necesario medir y analizar las propiedades del fluido que estaría circulando por el sistema, en este caso adhesivo tipo vinamyl, así como los caudales de trabajo requeridos, desde la cocina de almidón hasta su distribución a la máquina corrugadora. Obteniendo que, a 40 °C, las propiedades de densidad y peso específico del adhesivo son iguales a las del agua, además de ser un fluido ligeramente corrosivo por su presencia de agua y ácido bórico.

Una vez establecidas las propiedades del adhesivo se diseñó el sistema de distribución; desde la determinación del diámetro óptimo de conducción,

capacidad del tanque de almacenamiento según la producción, capacidad de la bomba para suministrar el caudal solicitado, selección de material para tubería, bombas y tanques según las características del fluido, determinación de pérdidas en el sistema por fricción y accesorios considerando que no sobrepasaran el 5 % de la longitud total de tubería, dimensión del tanque de retorno según el caudal establecido a retornar y la capacidad necesaria del compresor para poder suministrar el aire requerido por las bombas, que serán bombas de desplazamiento positivo, de doble diafragma, neumáticas.

Finalmente se realizó un análisis de las condiciones actuales de seguridad en la empresa, detectado algunos actos y condiciones inseguros, en base a esto se propone implementar un código de colores para el marcaje de suelos que permitan delimitar las áreas según su aplicación o el nivel de riesgo que represente para los trabajadores. Así mismo se observó que el papel al ser procesado y sufrir fricción, genera polvillo muy fino que se posa sobre las superficies, representando un riesgo para el sistema respiratorio de las personas al estar en contacto continuo en una jornada normal de trabajo, por lo que se propone el uso de equipo de seguridad extra como mascarillas, para poder reducir el nivel de exposición del personal.

1. GENERALIDADES

1.1. Empresa

Para comprender el mercado y el funcionamiento de la empresa Cartones de Villa Nueva, S.A, es necesario hablar sobre su historia, sus valores, su misión y el crecimiento que ha tenido desde que fue fundada.

1.1.1. Historia

La empresa Cartones de Villa Nueva S.A. fue fundada en Guatemala en el año 2015, desde entonces se ha dedicado a la fabricación de cajas de cartón corrugado, utilizando como materia prima bobinas de papel kraft.

Las ventajas que ofrece la utilización de empaques de cartón corrugado han generado el aumento de demanda de dicho producto, por lo tanto, para poder seguir siendo competitivos en el mercado actual, la empresa se certificó bajo la norma ISO 9001:2015 Sistema de Gestión de Calidad (SGC) con el fin de mejorar y optimizar todos los procesos de los que está compuesta.

1.1.2. Misión

Somos una empresa fabricante de empaque corrugado, en donde buscamos la satisfacción de nuestros clientes a través del cumplimiento de los requisitos y sus requerimientos de tiempo de entrega.

1.1.3. Visión

Ser el principal fabricante de empaque de cartón corrugado de la región, satisfaciendo las necesidades del cliente con productos de alta calidad y el mejor servicio de tiempo de entrega.

1.1.4. Ubicación

La ubicación de las instalaciones se encuentra en: kilómetro 18.5 Carretera al Pacífico 6-51, zona 3 Santa Isabel I, Villa Nueva, Guatemala.

Figura 1. **Ubicación geográfica de Cartones de Villa Nueva, S.A.**



Fuente: Google Maps (2020). *Ubicación de empresa Cartones de Villa Nueva, S.A.* Consultado el 28 de septiembre de 2019. Recuperado de <https://www.google.com/maps/search/CAISA/@14.5200566,-90.5995415,388m/data=!3m1!1e3>

1.1.5. Valores

En la figura 2, se presentan y describen los valores de la empresa Cartones de Villa Nueva, S.A.

Figura 2. **Valores de la empresa Cartones de Villa Nueva, S.A.**

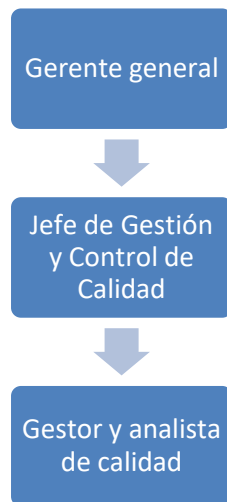


Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Word.

1.1.6. Organigrama

Para comprender mejor el funcionamiento de la empresa se presenta el organigrama del área encargada de supervisar este proyecto.

Figura 3. **Organigrama del área de Control de Calidad**



Fuente: elaboración propia con datos obtenidos de Empresa Cartones de Villa Nueva, S.A (2020). *Organigrama del área de Control de Calidad.*

1.2. Industria de cartón corrugado

Según ACCCSA (2016) debido a la disminución de uso de plásticos, la industria de cartón corrugado ha empezado a cobrar gran importancia como sustituto de material de empaque ya sea primario o secundario, es por esto que es necesario entender la constitución y fabricación de una caja la cual se describe de forma básica a continuación.

1.2.1. Componentes

Según ACCCSA (2016) El cartón corrugado está conformado por dos elementos básicos, los cuales se combinan de diferente manera para lograr tener varios tipos de cartón, estos elementos son:

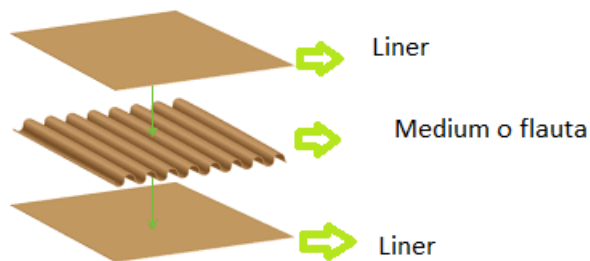
1.2.1.1. Medium

Es el papel que se corruga formando una serie de S's invertidas, es la parte encargada de resistir los esfuerzos a los que será sometido el empaque. También se le conoce con el nombre de flauta, en opinión de Santizo (2004).

1.2.1.2. Liner

Es el papel o papeles planos que van a los extremos de la flauta de una lámina corrugada. Puede ser interior o exterior, dependiendo de la posición que guarde una vez hecha la caja, según opinión de Santizo (2004). Esto se puede observar en la figura 4.

Figura 4. **Componentes de empaque de cartón corrugado**



Fuente: FindGlocal. (s.f.). *Centro de Innovación en Diseño de Empaque El Centro ABRE es un centro enfocado en la innovación y diseño de empaques*. Consultado el 29 de septiembre de 2020. Recuperado de <http://www.findglocal.com/MX/Apodaca/338175596229627/Centro-ABRE>.

1.2.2. Materia prima

Con el objetivo de comprender mejor el proceso de elaboración de una caja de cartón corrugado, se describen las propiedades de la materia prima con la cual se fabrican.

1.2.2.1. Papel

La materia prima para la fabricación de papel es la celulosa que se obtiene de la madera (fibra virgen) y por otro lado, la fibra reciclada que procede del papel recuperado y de fibras vegetales. La madera que se utiliza para la producción de celulosa tiene su origen en plantaciones forestales de especies de crecimiento rápido como eucalipto, chopo y pinos.

El papel utilizado para generar el corrugado o médium, normalmente, es reciclado ya que la longitud de fibra es corta y le permite mantener la forma de S.

1.2.2.2. Adhesivo

Para la unión de los papeles liner y médium se utiliza adhesivo especial hecho a base de almidón.

- El adhesivo se divide en dos fases:
 - Fase 1 o carrier: se refiere a la parte adhesiva propiamente, la cual mediante la aplicación de calor realiza el pegado.

- Fase 2 o portador: es la parte acuosa del adhesivo, la cual permite la unión ó penetración entre papel y adhesivo.
- Los principales componentes del adhesivo son:
 - Agua: es el vehículo a través del cual se transporta el almidón.
 - Almidón: es un hidrato de carbono complejo, inodoro e insípido, en forma de grano o polvo. Los granos son insolubles en agua fría; en el agua caliente se hidrata, se hinchan y rompen adquiriendo así sus propiedades adhesivas.
 - Soda Cáustica -NaOH-: sustancia química de color blanco e inodoro, la cual es soluble en agua. Absorbe humedad y dióxido de carbono del aire, lo cual lo hace corrosivo para metales como zinc, aluminio, estaño y plomo. Se encarga de disminuir el punto de gel y aumentar viscosidad y *tack*.
 - Ácido Bórico: es una sustancia en polvo blanca, inodora que presenta un muy bajo nivel de toxicidad oral y dérmico. Su principal función es la de amortiguar el efecto de la soda cáustica.
 - Resina: es utilizada en la preparación de adhesivo con el fin de controlar el grado de resistencia al agua que poseerá el cartón corrugado. Esta reacciona con los grupos hidroxilos del almidón y hacen que se vuelva insoluble en agua. Se utiliza para la producción de cajas destinadas a cámaras frigoríficas.

Para aumentar la productividad así como aumentar la productividad en planta normalmente se realizan esfuerzos en las propiedades del papel y sus características, sin embargo el adhesivo es un componente importante que impacta los costos de una caja en la cual es importante considerar esfuerzos en su análisis en opinión de Issu (2013).

1.2.2.2.1. Parámetros de calidad del adhesivo

- Punto de Gel

Los gránulos de almidón son insolubles en agua fría. Por lo tanto, si hacemos una suspensión de almidón en agua fría y no la estamos agitando constantemente, el almidón cae al fondo separándose del agua, como ocurriría si hiciéramos lo mismo con agua y arena. Sin embargo, si una suspensión de agua y almidón se calienta por encima de su temperatura de gelatinización, los gránulos de repente pierden su polarización y comienzan a expandirse para hidratarse. Esta es la propiedad de gelatinización.

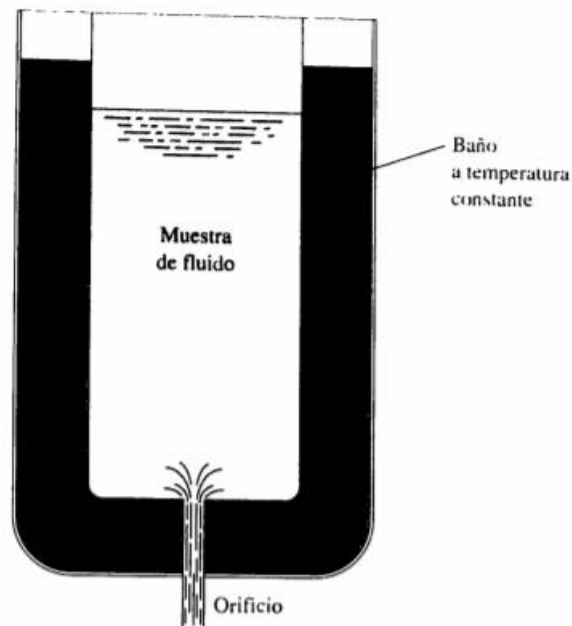
A medida que la suspensión se calienta progresivamente a temperaturas más altas, los gránulos individuales continúan expandiéndose hasta que principian a empujarse y a interferirse unos con otros. Esto produce la consistencia viscosa característica del almidón cocinado. Si a la suspensión de almidón se le da un prolongado cocimiento o si se le agita vigorosamente, algunos de los gránulos expandidos serán deformados y divididos en gránulos de menor tamaño, por consiguiente, la viscosidad bajará. Sin embargo, aún sobrevivirán suficientes gránulos para impartir consistencia a la suspensión.

- Viscosidad

”Es una medida de la facilidad con que circula un fluido” (Mott, 2015, p 24). Para el adhesivo en particular, la viscosidad se ve determinada por la relación Soda Cáustica/ Almidón.

El método utilizado para medir la viscosidad del adhesivo en la industria de cartón corrugado es mediante el Viscosímetro de Saybolt Universal, cuyo principio se basa en la “facilidad con que un fluido pasa por un orificio de diámetro pequeño” (Mott, 2015, p. 50). La muestra de un fluido se coloca en un aparato similar al de la siguiente figura.

Figura 5. **Viscosímetro de Saybolt**



Fuente: Mott (2015). *Mecánica de fluidos*.

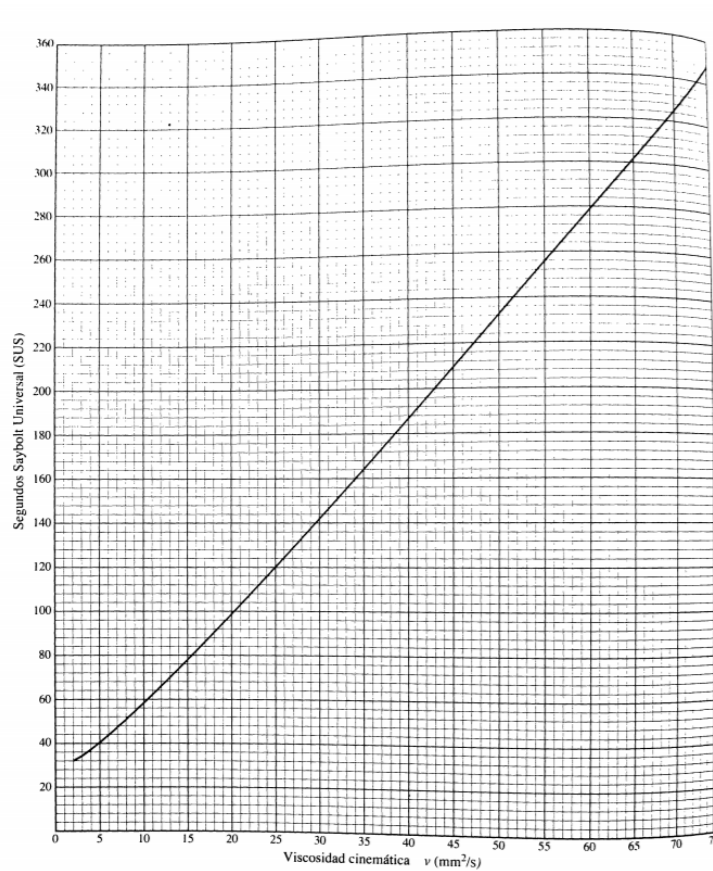
Después de que se establece el flujo, se mide el tiempo que se requiere para reunir 60 ml del fluido. El tiempo resultante se reporta como la viscosidad del fluido en segundos Universal (SUS). Los resultados son relativos, debido a que la medida no se basa en la definición fundamental de la viscosidad. (Mott, 2015, p. 50)

Sin embargo, sirven para comparar las viscosidades de fluidos diferentes. La ventaja de este procedimiento es su sencillez, además de que no requiere equipo complejo, relativamente.

El uso del viscosímetro de Saybolt lo avala el estándar ASTM D88. Sin embargo, dicho estándar recomienda que se utilicen otros métodos para medir la viscosidad, además se recomienda que la viscosidad se reporte en la unidad del SI apropiada, mm^2/s . El estándar ASTM 2161 describe los métodos de conversión preferibles entre las mediciones de la viscosidad SUS y la viscosidad cinemática en mm^2/s . (Mott, 2015, p. 50)

La figura 6 muestra la gráfica de los SUS vs., la viscosidad cinemática para un fluido con temperatura de 100 °F. (38 °C).

Figura 6. **Viscosidad cinemática expresada en SUS versus la expresada en mm²/s a 100 F^o**



Fuente: Mott. (2015). *Mecánica de fluidos*.

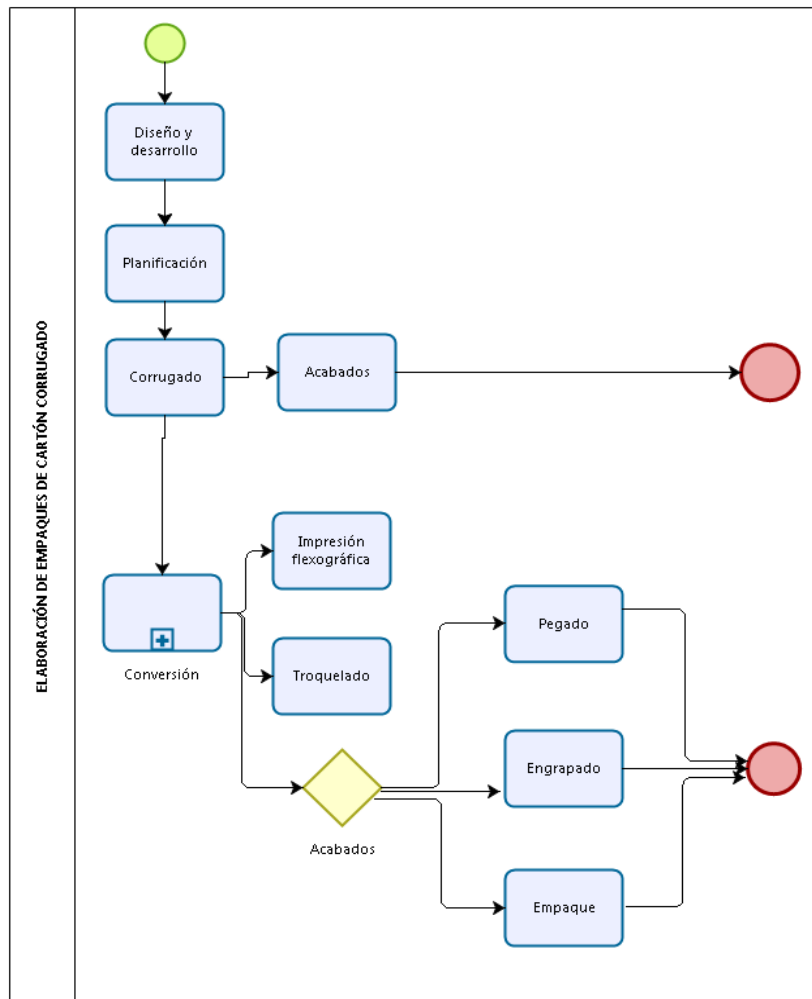
“El valor SUS para cualquier otra temperatura en grados Fahrenheit se encuentra con la multiplicación del valor SUS para 100 °F (38 °C), por el factor A" (Mott, 2015, p. 51) el cual se calcula con la siguiente ecuación 1, redondeando a tres decimales.

$$a = 6.061 \times 10^{-5} t + 0.994 \quad (\text{Ec. 1})$$

1.2.3. Proceso de elaboración

El proceso de fabricación de cartón corrugado se puede clasificar en dos grandes áreas que son corrugado y conversión. Las cuales se pueden apreciar en la siguiente figura 7.

Figura 7. Proceso de elaboración de empaques de cartón corrugado



Fuente: elaboración propia, realizado con Bizagi Modeler.

1.2.3.1. Diseño y desarrollo

En esta etapa del proceso el cliente selecciona el empaque que mejor se adecue a sus necesidades, donde el personal de ventas le brinda asesoría para poder definir las especificaciones de acuerdo con los requisitos funcionales y de desempeño del producto.

1.2.3.2. Planificación

Se programa la producción del día, según las características establecidas por diseño, como por ejemplo color de papel externo, medidas de alto, ancho, largo, entre otros.

1.2.3.3. Corrugado

Durante este proceso, mediante la aplicación de vapor para el acondicionamiento del papel, se le da forma de S al médium. Conjuntamente se adhieren los papeles liner, con lo cual se obtiene una lámina de cartón corrugado.

1.2.3.4. Conversión



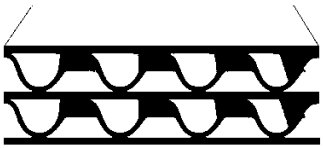
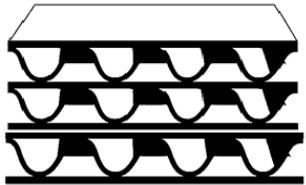
Este proceso abarca desde la impresión, troquelado, pegado y empaque de la caja de cartón corrugado para su posterior entrega al cliente.

1.2.4. Tipos de estructura

La estructura que tendrá el empaque de cartón corrugado depende del producto que se empacará en él. Para lo cual puede necesitarse mayor o menor

resistencia a la compresión, esto se ve determinado por la cantidad de papeles que se usen para su fabricación (estructura) y el gramaje de cada papel (test), tal y como se describe en la tabla I.

Tabla I. **Uso del empaque de cartón corrugado según su estructura**

TIPO	REPRESENTACIÓN GRÁFICA	USO
Single Face		Es una estructura sensible formada por un elemento ondulado pegado a un elemento plano. Por lo tanto, se requiere de dos papeles: un liner y un médium.
Single Wall		Es una estructura rígida formada por un elemento ondulado pegado en ambos lados a elementos planos (liners). Para formar un cartón simple se requiere de tres papeles: dos liners y un médium, donde el médium va entre los dos liners. .
Double Wall		Es una estructura rígida formada por tres elementos planos (liners) pegados a dos elementos ondulados intercalados. Para formar un cartón doble se necesita cinco papeles: tres liners y dos médium.
Triple Wall		Consiste en siete papeles, un doble corrugado más otro médium, y otro liner interior. Es muy poco común encontrarlo en el mercado de cajas comerciales, pues se utiliza para usos específicos del cliente.

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Word.

1.2.5. Tamaño de flautas

Como mencionamos previamente a la onda del corrugado se le conoce con el nombre de flauta. Existen varios tipos, los cuales se clasifican por

tamaños según su altura. Entre más grande sea una flauta, mayor es la resistencia, los datos se pueden apreciar en la tabla II.

Tabla II. **Características de las flautas de cartón corrugado**

Perfil del ondulado	Espesor del cartón corrugado en mm (1)	Altura de la onda en mm (2)	Aso en mm	Número de ondas por metro	Coefficiente de ondulación teórico
CANAL K (Onda muy grande)	6,1 a 7,0	6,0	11,7	90	1,50
CANAL A (Onda grande)	4,5 a 5,8	4,4 a 4,8	8,1 a 9,5	123 a 105	1,48 a 1,60
CANAL C (Onda mediana)	3,6 a 5,0	3,5 a 4,0	7,0 a 8,1	143 a 123	1,39 a 1,50
CANAL B (Onda pequeña)	2,6 a 3,8	2,4 a 2,8	6,0 a 6,8	167 a 147	1,30 a 1,51
CANAL E (Micro canal)	1,2 a 2,0	1,1 a 1,4	3,0 a 4,2	333 a 238	1,17 a 1,43
CANAL F (Mini micro)	0,9 a 1,4	0,75	2,4 a 2,7	416 a 370	1,20 a 1,40
CANAL G	1,0 a 1,1	0,5 a 0,65	1,8	555	1,24 a 1,26
CANAL N	0,5 a 0,8	0,42	1,8	555	1,13 a 1,15

Fuente: Corrugando. (s.f.). *Artículos*. Consultado el 5 de diciembre de 2019. Recuperado de http://www.corrugando.com/index.php?option=com_content&view=article&id=268.

En la industria guatemalteca de cartón corrugado los tipos de flauta C, B y E son los más utilizados.

1.2.6. Clases de tests

El *test* de un empaque de cartón corrugado se refiere a la combinación de papeles que conformarán la estructura, los cuales están destinados a proporcionar la resistencia necesaria para satisfacer las necesidades del producto que se almacenará.

Los tipos de *test* son según el tipo y calibre del papel que se utilice, el calibre del papel posee unidades de libras por pulgada cuadrada o gramos por metro cuadrado.

1.3. Conceptos elementales para el diseño de tuberías

Para entender mejor este proyecto, es necesario definir los términos relacionados a las propiedades y comportamientos del fluido en sistemas de potencia, así como de los equipos e instrumentación utilizada para la medición de parámetros de control del sistema.

1.3.1. Presión

Es “la cantidad escalar que se obtiene al dividir la magnitud de una fuerza ejercida en forma perpendicular sobre alguna superficie entre el área de la misma” (Mott, 2015, p. 23) su unidad en el sistema internacional es el pascal y en el inglés es psi. Se calcula con la siguiente ecuación:

$$P = \frac{F}{A} \quad (\text{Ec. 2})$$

1.3.2. Temperatura

Magnitud física que expresa el grado o nivel de calor de los cuerpos o del ambiente, y cuya unidad en el sistema internacional es el Kelvin (°K), en opinión de Mott (2015). La ecuación para convertir °C a °K es:

$$^{\circ}\text{K} = \left(^{\circ}\text{C} * \frac{9}{5}\right) + 32 \quad (\text{Ec. 3})$$

1.3.3. Densidad

“Es la cantidad de masa presente por cada unidad de volumen de una sustancia” (Mott, 2015, p. 31), sus unidades en el sistema internacional son Kg/m³. Se calcula con la siguiente ecuación:

$$\rho = \frac{ma}{V} \quad (\text{Ec. 4})$$

1.3.4. Peso específico

“Es la cantidad de peso por unidad de volumen de una sustancia” (Mott, 2015, p. 31). Sus unidades en el sistema internacional son N/ m³. Se calcula con la siguiente ecuación:

$$\gamma = \rho g \quad (5)$$

1.3.5. Viscosidad cinemática

Magnitud que relaciona la viscosidad dinámica con la densidad del líquido, y cuya unidad en el sistema internacional es m²/s.

1.3.6. Velocidad de fluidos

Son mucho los factores que influyen para lograr una velocidad de flujo satisfactoria en los sistemas de fluido. Los más importantes son el tipo de tubería, la longitud del sistema, la caída de presión tolerable, los dispositivos, temperatura, presión y ruido.

La velocidad de flujo se incrementa conforme disminuye el área. Por lo tanto, los tubos más pequeños generarán velocidades elevadas y viceversa. Es deseable mantener velocidades bajas ya que se limitan las pérdidas de energía en la línea de succión., lo que mantiene relativamente elevada la presión en la entrada de la bomba. Esto es de suma importancia ya que las presiones bajas pueden provocar un daño llamado cavitación, el cual genera ruido excesivo, rendimiento degradado y erosión acelerada de la bomba y superficies. El manual Liquid process piping del U.S Army Corps of Engineers, recomienda en las aplicaciones normales de abastecimiento de líquidos que la velocidad del flujo esté en el rango de 1 m/s a 3 m/s, según opinión de Mott (2015).

1.3.7. Número de Reynolds

Es la relación de la fuerza de inercia sobre un elemento de fluido a la fuerza viscosa. Los flujos tienen número de Reynolds grandes debido a una velocidad elevada o una viscosidad baja, y tienden a ser turbulentos. Este valor se calcula mediante la ecuación:

$$Re = \frac{vD}{\nu} \quad (\text{Ec. 6})$$

Para aplicaciones prácticas del flujo en tuberías se ha establecido los rangos de medición del RE y a qué régimen perteneces, esto se observa en la tabla III.

Tabla III. **Régimen de fluido según Número de Reynolds**

Valor	Régimen
< 2000	Laminar
Entre 2000 a 4000	Región crítica
>4000	Turbulento

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Word.

1.3.8. Rugosidad

Existe dos términos que se utilizan para describir el conjunto de irregularidades existentes en el interior de las tuberías comerciales que transportan fluidos, las cuales son:

- Rugosidad absoluta: es el valor medio o promedio de las irregularidades que se presentan en el material, es decir, la variación media del radio interno de la tubería, normalmente se identifica con la letra e.

Tabla IV. **Rugosidad “e” de materiales**

Material	Rugosidad (mm)
Acero (tubos soldados)	0,03-0,09
Acero (tubos estirados)	0,0024
Acero galvanizado	0,06-0,24
Cobre o latón	0,015
Plásticos (PVC, PE, PP)	0,0015
Poliéster reforzado con fibra de vidrio (PRFV)	0,01
Fundición	0,12-0,6
Hormigón	0,3-3

Fuente: Herramientas de ingenieros (s.f.). *Rugosidad*. Consultado el 4 de julio de 2021.

Recuperado de <https://herramientasdeingenieros.com/tag/rugosidad/>.

- Rugosidad relativa: es el cociente entre la rugosidad absoluta y el diámetro de la tubería, por lo tanto, es una cantidad adimensional. Su ecuación de cálculo es:

$$\varepsilon = \frac{e}{D} \quad (\text{Ec. 7})$$

1.3.9. Caudal másico

La cantidad de fluido que pasa por un sistema por unidad de tiempo puede expresarse por medio de tres términos distintos, uno de ellos es el caudal másico. Sus unidades en el sistema internacional son kg/s. Se puede determinar mediante la siguiente ecuación:

$$M = \rho Q \quad (\text{Ec. 8})$$

1.3.10. Caudal volumétrico

Es el tipo de caudal más comúnmente utilizado en el diseño de sistemas de distribución, se mide en m³/s, se determina relacionando la velocidad y el área mediante la siguiente ecuación:

$$Q = vA \quad (\text{Ec. 9})$$

1.3.11. Ecuación de Bernoulli

Esta ecuación toma en cuenta los cambios en la carga de elevación, carga de presión y carga de velocidad entre dos puntos en un sistema de flujo de fluido.

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{(v_1)^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{(v_2)^2}{2g} \quad (\text{Ec. 10})$$

Donde:

$\frac{P_1}{\gamma}$ es la carga de presión

Z_1 es la carga de elevación

$\frac{(v_2)^2}{2g}$ es la carga de velocidad

1.3.12. Bombas

Por lo general las bombas se clasifican como de desplazamiento positivo o bombas cinéticas.

Las bombas de desplazamiento positivo entregan un volumen determinado de fluido por cada revolución del eje de la bomba o por cada ciclo de movimiento de los elementos de bombeo activos, frecuentemente producen presiones muy altas con caudales moderados.

Por otro lado, las bombas cinéticas operan mediante la transferencia de energía cinética desde un elemento giratorio, llamado impulsor, hasta un fluido mientras éste se desplaza hacia y a través de la bomba. Después, una parte de esta energía se convierte en energía de presión tanto estática como dinámica a la salida de la bomba.

La selección de una bomba depende de diferentes factores, por ejemplo: La naturaleza del líquido a bombear, la capacidad requerida, la carga total de la bomba, tipo de fuente de energía, limitaciones de espacio y costos entre otros.

1.3.13. Pérdidas por fricción con el método de Darcy Weisbach

En la ecuación general de la energía, el término H_f se define como la pérdida de energía en el sistema. Un componente de la pérdida de energía se debe a la fricción en el fluido que fluye. Para el caso del flujo en tuberías y tubos, la fricción es proporcional a la carga de velocidad del flujo y a la relación de la longitud sobre el diámetro de la corriente de flujo. Existen diferentes ecuaciones para calcular las pérdidas por fricción, en este caso utilizaremos la ecuación de Darcy Weisbach.

$$H_f = f \frac{L}{D} * \frac{v^2}{2g} \quad (\text{Ec. 11})$$

Donde:

H_L = pérdida de energía debida a la fricción (m)

L = longitud de la corriente de flujo (m)

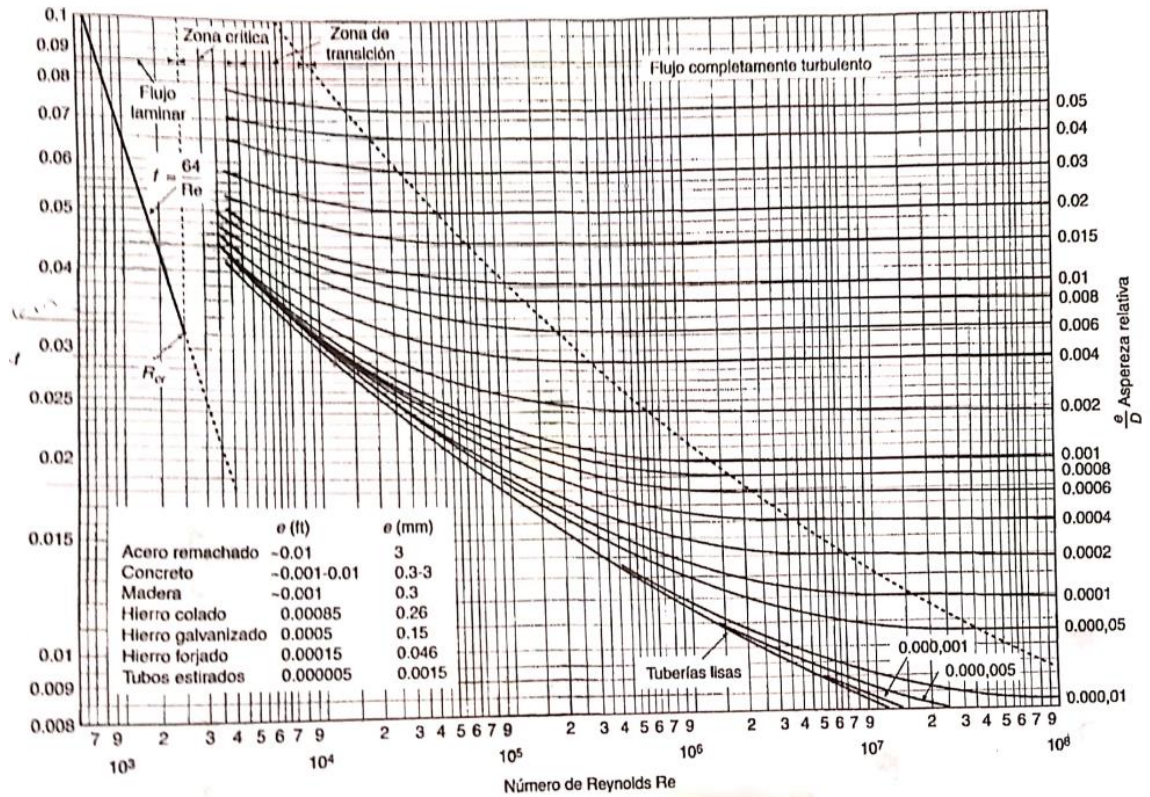
D = diámetro de tubería (m)

v = velocidad promedio (m/s)

f = factor de fricción (adimensional)

Para calcular el factor de fricción es necesario emplear el diagrama de moody, figura 8, este diagrama presenta el factor de fricción f graficado contra el número de Reynolds, con una serie de curvas paramétricas relacionadas a la rugosidad relativa e/D .

Figura 8. Diagrama de Moody



Fuente: Mott. (2015). *Mecánica de fluidos*.

1.3.14. Pérdidas por accesorios

Para calcular las pérdidas por accesorios utilizaremos dos ecuaciones, la cuales son:

$$H_a = k \left(\frac{v^2}{2g} \right) \quad (\text{Ec. 12})$$

Donde:

H_a = pérdidas por accesorios

K = coeficiente de resistencia

v = velocidad

El coeficiente de resistencia no tiene dimensionales porque representa una constante de proporcionalidad entre la pérdida de energía y la carga de velocidad. La magnitud de este coeficiente depende de la geometría del dispositivo que causa la pérdida y en algunas veces la velocidad del flujo.

$$k = \left(\frac{Le}{D}\right) + ft \quad (\text{Ec. 13})$$

Donde:

Le/D = relación de longitud equivalente y se considera constante para un accesorio o válvula

ft = factor de fricción presente en la tubería

El valor de Le/D se encuentra en la tabla V.

Tabla V. **Resistencia en válvulas y accesorios expresada como longitud equivalente en diámetros de tubería**

Tipo	Longitud equivalente en diámetros de tubería L_e/D
Válvula de globo —totalmente abierta	340
Válvula de ángulo —totalmente abierta	150
Válvula de compuerta —totalmente abierta	8
—abierta $\frac{3}{4}$	35
—abierta $\frac{1}{2}$	160
—abierta $\frac{1}{4}$	900
Válvula de retención —tipo oscilante	100
Válvula de retención —tipo bola	150
Válvula de mariposa —totalmente abierta, 2-8 in	45
—10-14 in	35
—16-24 in	25
Válvula de pie —tipo disco de vástago	420
Válvula de pie —tipo disco de bisagras	75
Codo estándar de 90°	30
Codo de 90° y radio largo	20
Codo de 90° para calle	50
Codo estándar de 45°	16
Codo de 45° para calle	26
Doble de retorno cerrado	50
Te estándar —con flujo por la línea principal	20
—con flujo por la ramificación	60

(Reproducido con autorización de Crane Co. *Flow of Fluids through Valves, Fittings and Pipe*, artículo técnico núm. 410, 2011. Todos los derechos reservados).

Fuente: Mott. (2015). *Mecánica de fluidos*.

De igual forma, en la tabla VI se obtiene el valor del factor f_f .

Tabla VI. **Factor de fricción según diámetro de tubería**

Tamaño nominal de la tubería		Factor de fricción, f_f	Tamaño nominal de la tubería		Factor de fricción, f_f
Estados Unidos (in)	Métrico (mm)		Estados Unidos (in)	Métrico (mm)	
½	DN 15	0.026	3, 3½	DN 80, DN 90	0.017
¾	DN 20	0.024	4	DN 100	0.016
1	DN 25	0.022	5, 6	DN 125, DN 150	0.015
1¼	DN 32	0.021	8	DN 200	0.014
1½	DN 40	0.020	10-14	DN 250 a DN 350	0.013
2	DN 50	0.019	16-22	DN 400 a DN 550	0.012
2½	DN 65	0.018	24-36	DN 600 a DN 900	0.011

Fuente: Mott. (2015). *Mecánica de fluidos*.

1.3.15. Instrumentación

La definición de instrumentación en la industria se conoce como el proceso de medir y controlar diversas cantidades en los procesos de producción utilizando diversos instrumentos o elementos industriales. Después de medir la cantidad deseada, los valores medidos se transmiten con fines de indicación, cálculo o de control, ya sea con funcionamiento manual o automático.

1.4. Diseño de Sistema de tuberías

Generalmente, el correcto diseño y buen funcionamiento de un sistema de tuberías depende del tipo de fluido que circulará por él y sus propiedades, con lo cual se debe buscar obtener el valor más bajo de pérdidas en opinión de Rocha (2007).

1.4.1. Diámetro óptimo de conducción

En un sistema de distribución de fluidos es necesario calcular el diámetro óptimo de conducción, aquel que nos asegure la menor pérdida de carga. Por lo que es necesario separar el sistema en dos partes, que son:

1.4.1.1. Tubería de descarga

La adopción de un determinado diámetro para la tubería admite, en principio, tantas soluciones como se quiera, siempre y cuando se disponga la potencia necesaria y de bombas adecuadas, ya que cualquier diámetro puede ser factible para conducir el caudal que se desee, sin embargo, esta indeterminación desaparece cuando se pretende encontrar la solución más económica posible, en opinión de Rocha (2007) y Mott (2015).

A medida que se adopte menor diámetro la pérdida de carga será mayor y se precisará mayor potencia de motor, inversamente; a mayor diámetro corresponderá menor potencia, pero mayor coste de materiales. Por consiguiente, el problema radica en el elegir el diámetro de los tubos que haga a la instalación más económica.

1.4.1.2. Tubería de succión

Diámetros de las tuberías de succión y descarga en relación con los diámetros de las conexiones de la bomba. Por regla general, las tuberías de succión y descarga deben tener como mínimo el mismo diámetro que las respectivas conexiones de succión y descarga de la bomba. Lo usual es que la tubería de succión sea de un diámetro mayor para disminuir las pérdidas de energía a la entrada de la bomba y alejar el peligro de la cavitación (el cual se

explica posteriormente). Cuando se va a conectar una tubería de mayor diámetro a la succión de una bomba, debe emplearse una reducción excéntrica, la cual evita la formación de bolsas de aire. Al emplear un diámetro mayor que el de la conexión de la bomba en la descarga se disminuyen las pérdidas de energía lo cual permite seleccionar una bomba con un motor de menor potencia.

1.5. Conceptos teóricos de seguridad industrial

La seguridad industrial es una disciplina que establece normas preventivas con el fin de evitar accidentes y enfermedades ocupacionales causados por diferentes tipos de agentes, es por ello que es necesario profundizar en la definición de algunos términos que se utilizarán en este proyecto.

1.5.1. Seguridad industrial

La revolución industrial marcó el inicio de la seguridad industrial, como consecuencia de la aparición de la fuerza del vapor y la mecanización de la industria, lo cual produjo el incremento de accidentes y enfermedades laborales. Sin embargo, la fuerza y la seguridad industriales no surgieron simultáneamente, pues cerca del siglo XVIII el cincuenta por ciento de los trabajadores moría antes de los veinte años. Actualmente existen leyes que regulan y establecen los lineamientos necesarios en cuanto a la seguridad del trabajador, así mismo, existen organizaciones que velan por el cumplimiento de dichas leyes.

1.5.1.1. Definición

La seguridad industrial es el sistema de disposiciones obligatorias que tienen por objeto la prevención y limitación de riesgos en una industria; como consecuencia de la actividad industrial, funcionamiento y mantenimiento de instalaciones o equipos. Pretende proteger a quienes de forma ocasional o permanente se encuentran expuestos, incluyendo a las personas, los bienes, flora, fauna y medio ambiente en opinión de Ramírez (2005).

Además, comprende el uso adecuado de procedimientos, instalaciones, vehículos, sistemas de comunicación, herramientas y materiales en los procesos industriales. Implica también la puesta en práctica de dispositivos y protocolos de manejo para casos de emergencia. En esencia el aspecto central de la seguridad en el trabajo consiste en la protección de la vida y la salud de los trabajadores, el ambiente de la familia y el desarrollo de la comunidad, según opinión de Rouge (2005).

1.5.1.2. Seguridad en Guatemala

La parte legal y de gestión de la Salud y seguridad Ocupacional en Guatemala actualmente se ve regulada por las siguientes entidades y leyes:

- Acuerdo Gubernativo de Guatemala 229-2014.
- Decreto 78-2005, Sistema de Calidad.
- Acuerdo Gubernativo 137-2016, Reglamento de evaluación, control y seguimiento ambiental.
- Comisión Guatemalteca de Normas COGUANOR
- Administración de Seguridad y Salud Ocupacional OSHA
- ISO 9001 Procesos de Calidad.

- ISO 45001 Sistema de Gestión y Seguridad y Salud en el trabajo.
- ISO 14001 Sistema de Gestión del Medio Ambiente.

Actualmente el Instituto Técnico de Capacitación y Productividad INTECAP coopera con las empresas para capacitar al personal en diferentes temas de seguridad industrial.

1.5.2. Peligro y riesgos

Normalmente las personas confunden ambos términos, por lo cual es importante aclarar la diferencia entre ellos, de forma visual esta diferencia puede apreciarse en la figura 9.

- Peligro: es la fuente de todos los riesgos.
- Riesgo: es el grado de incertidumbre o probabilidad de que ocurra un accidente a causa de un peligro.

Figura 9. Diferencia entre peligro y riesgo



Fuente: Slideshare. (2020). *Diferencia entre peligro y riesgo*. Consultado el 8 de octubre de 2020. Recuperado de https://es.slideshare.net/SST_Asesores/diferencia-entre-peligro-y-riesgo.

1.5.3. Accidentes e incidentes

Comúnmente, las personas confunden ambos términos, sin embargo, para poder trabajar propuestas que se orienten a la seguridad industrial del personal de trabajo es necesario entender la diferencia entre uno y otro.

1.5.3.1. Definición

- Accidente: se entiende por lesión corporal, ya sea herida o enfermedad, tanto en aspecto físico como psíquico. Debe ser debido a consecuencia del trabajo realizado, es decir durante la realización de tareas encomendadas por el empresario.
- Incidente: es un acontecimiento no deseado, que bajo circunstancias diferentes podría haber resultado en lesiones a las personas o a las instalaciones, es decir, un casi accidente.

1.5.3.2. Causas

Los accidentes ocurren porque la gente comete actos incorrectos o porque los equipos, herramientas, maquinaria o lugares de trabajo no se encuentran en condiciones adecuadas.

La causa inmediata de un accidente puede ser la falta de equipo de protección, pero la causa básica puede ser que el equipo de protección no se utilice porque resulta incómodo.

1.5.3.3. Tipos

- Accidente *in itinere* es el que sucede durante el traslado entre la residencia y el trabajo.
- Accidente en misión es el que ocurre en cumplimiento de labores cotidianas o esporádicas de la empresa. En su mayoría son accidentes por atrapamiento, transmisión de energía, o en labores en las que el trabajador excede su capacidad física, en algunos casos incluso por exponerse a radiaciones, ruido, polvo, entre otros.

1.5.4. Actos inseguros y condiciones inseguras

- Actos inseguros: es necesario aclarar, que los actos inseguros son aquellos que el personal realiza por voluntad propia, conscientes del peligro y riesgo que esta acción conlleva. Es necesario mencionar que el 85 % de los accidentes e incidentes ocurre por estos actos inseguros.
- Condiciones inseguras: son aquellas que están en el ambiente de trabajo, y son inherentes al personal de trabajo. Únicamente el 15 % de los accidentes e incidentes laborales ocurre por condiciones inseguras.

1.5.5. Marcaje de suelos

El marcaje de suelos ayuda a crear y mantener una planta de producción ordenada, segura y eficiente. Al utilizar un código de color estandarizado se puede advertir a los trabajadores fácilmente y a simple vista sobre áreas peligrosas, equipo o rutas de paso del montacargas.

Según Brady (2016) las ventajas que se obtiene al implementar un código de colores para el marcaje de suelos son:

- Agilizan búsquedas visuales.
- Enfatizar la información.
- Mostrar asociaciones de equipos.
- Transmitir mensajes importantes (peligro, precaución, entre otros).

La OSHA 1926 Regulaciones en industria de construcción, proporciona una guía sobre los colores y lineamientos que debe utilizarse para la identificación de áreas y equipos por medio de un código de colores.

- Las líneas usadas para delimitar pasillos pueden ser de cualquier color siempre y cuando definan claramente el área considerada espacio de pasillo. Las líneas pueden estar compuestas de puntos, cuadrados, franjas o cinta continua. El ancho recomendado para el marcaje de pasillo varía entre 2" y 6", por lo tanto, cualquier ancho de 2" o mayor se considera aceptable.
- El amarillo debe ser el color básico para designar precaución y marcar peligros físicos.
- El rojo debe ser el color básico para la identificación de peligro equipo y aparatos para protección contra incendios, contenedores de líquidos inflamables, botones de paro e interruptores eléctricos usados para detención de emergencia de equipo.
- El verde será el color designado para indicar una instrucción.

- Se debe aplicar una franja sólida y continua al borde delantero horizontal de cada escalón y se debe extender en toda la longitud de cada escalón.

2. FASE DE INVESTIGACIÓN

2.1. Diagnóstico

Para determinar la viabilidad del proyecto es necesario determinar el beneficio o ahorro que se obtendrá mediante la realización de este, para ello es necesario determinar la aplicación necesaria de adhesivo para cada caja y la cantidad de *batch* de adhesivo vinamyl producidos mensualmente.

2.1.1. Cantidad de aplicación de adhesivo

Para la determinación de la cantidad de adhesivo necesaria a aplicar por metro se utilizaron datos obtenidos del proceso de corrugación y cocina de almidón. Su cálculo se realiza mediante la ecuación

$$Ap = \frac{Kg \text{ de adhesivo}}{Metros \text{ cuadrados corrugados}} \quad (\text{Ec. 14})$$

Los datos utilizados en la tabla VII fueron obtenidos del proceso de corrugación y el área de cocina de almidón.

Tabla VII. **Aplicación de adhesivo**

Día No.	Cantidad de batch producidos/día	kg de adhesivo	Metros cuadrados corrugados	Ap [Kg adhesivo/m ²]	Kg por cada batch
1	10	10,000	988,976	0.010111469	1000
2	11	11,000	110,530	0.099520492	
3	12	12,000	111,851	0.107285585	
4	11	11,000	110,800	0.099277978	
5	11	11,000	111,342	0.098794705	
Promedio	11	11,000	286,700	0.0830	

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel.

Por lo tanto, obtenemos que la aplicación de adhesivo por cada metro cuadrado de cartón corrugado a producir es 0.08 kg/m². Es necesario resaltar que la cantidad de metros cuadrados aquí expresada es general, sin importar qué tipo de adhesivo utilice.

2.1.2. Consumo promedio mensual de adhesivo vinamyl

Es necesario comparar la cantidad de adhesivo que actualmente se produce contra la que idealmente debería producirse para una producción de cajas que necesiten adhesivo vinamyl.

2.1.2.1. Consumo actual

Según el plan de corrugación, por la forma de trabajo, una orden agrícola puede estar programada para las 8 hrs y la siguiente a las 14 hrs, con una última a las 20 hrs. Este método de trabajo obliga a producir un *batch* de adhesivo para cada orden, pues al ser una sola línea de distribución este no puede guardarse y si no se aplica a las cajas de cartón estas pueden

despapelarse. De los 11,000 kg de adhesivo que se producen durante el día se determinó que, en promedio, se producen 3 *batch* de adhesivo tipo vinamyl, lo que equivale a 3,000 kg de adhesivo vinamyl, los datos se presentan en la tabla VIII.

Tabla VIII. **Consumo actual de adhesivo vinamyl**

Día No.	Cantidad de batch producidos/día	Cantidad de batch Vinamyl	C (Kg de adhesivo)
1	10	3	3,000
2	11	4	4,000
3	12	2	2,000
4	11	3	3,000
5	11	4	4,000
Promedio	11	3	3,200

Kg por cada batch
1000

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel.

2.1.2.2. Consumo ideal

Para este cálculo separaremos la cantidad de m² que se producen para cajas agrícolas de la cantidad total de metros corrugados, y tomaremos como cantidad de aplicación el valor determinado en el inciso 2.1.1, la ecuación que se utilizará es la siguiente:

$$A_{pi} = a_p * m^2_{corrugados} \quad (\text{Ec. 15})$$

Tabla IX. Consumo ideal de adhesivo vinamyl

Día No.	M2 corrugados al día	M2 corrugado que debían llevar Vinamyl	Api [Kg de adhesivo/ m2]	Aplicación por metro cuadrado (Ap)
1	988,976	7566	628	0.08
2	110530	6098	506	
3	111851	7987	663	
4	110800	8042	667	
5	111342	8543	709	
Promedio	286,700	7,647	635	

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel.

Es necesario mencionar, que la cocina de almidón siempre produce 1,000 kg de adhesivo, y debido al funcionamiento de la corrugadora esta cantidad estará dividida en dos diferentes tanques. Es decir que como mínimo las dimensiones del tanque deben ser para almacenar 500 kg cada uno.

Primero, se va a determinar la cantidad de adhesivo necesario para la producción establecida, y saber si sobrepasa los 500 kg o es menos, para esto la información se obtuvo del departamento de planificación y área de corrugadora se filtró y clasificó la producción de cajas diaria que lleva adhesivo tipo vinamyl, obteniendo que en promedio la demanda a cubrir es de 7,500 m².

Por lo tanto, la cantidad de adhesivo necesaria para esta demanda es:

$$Cr = C * \text{metros corrugados} \quad (\text{Ec. 16})$$

$$Cr = 0.080 \frac{Kg \text{ de adhesivo}}{m^2} * 7500m^2$$

$$Cr = 600 Kg \text{ de adhesivo.}$$

Esta cantidad debería dividirse entre los dos tanques, dando un resultado de 300 kg c/u. Es decir que la cantidad necesaria si cabrá en el volumen mínimo de 500 kg por tanque. Sin embargo; después de la primera vez de uso se mantendrá un remanente de aproximadamente 100 kg, más los quinientos que se enviarán, obteniendo un total de 600 kg por tanque. Agregando un factor de seguridad del 12 % obtenemos un volumen total para cada tanque de 675 kg.

2.1.3. Costos

Como resultado del análisis que se realizó sobre el proceso de elaboración de adhesivo vinamyl que actualmente realiza la empresa se pudo determinar que existen tres grandes costos en los que incurren, los cuales, pueden reducirse mediante la elaboración de este proyecto. Estos son:

- Costos de desperdicio: generados por la producción de *batch* extras de vinamyl, en el que se incluye desperdicio de almidón, soda cáustica, ácido bórico y resina.
- Costos de mantenimiento y limpieza: debido a las propiedades químicas del adhesivo es necesario limpiar los tanques de almacenamiento una vez al mes, la formación y arrastre de adhesivo solidificado. Al realizar este procedimiento, actualmente, debe tirarse el adhesivo que se encuentre en los tanques.

- Costos de importación de materia prima:
 - Almidón tipo vinamyl: al ser un producto que se compra en países como México, Perú, Brasil se realizan compras al por mayor, de forma mensual. El costo de cada importación dependerá del peso de la carga, por lo tanto, si se reduce el consumo del mismo en el proceso de producción la cantidad de kg por pedido disminuirá o puede mantenerse, pero disminuyendo su frecuencia de compra.
 - Resina: ocurre lo mismo que con la importación de vinamyl, sin embargo, esta materia prima es importada desde Estados Unidos.

2.1.4. Beneficios

En el proceso de calidad, los beneficios que se esperan mediante la realización de este proyecto son: cumplimiento de especificaciones técnicas acordadas con el cliente, aseguramiento de la calidad mediante la medición certera de las propiedades del adhesivo y monitoreo de consumo diario.

En el proceso de producción proyecto los principales beneficios económicos que la empresa Cartones de Villa Nueva, S.A espera recibir son los ahorros que obtendrás al no tener los costos mencionados en el inciso anterior, serán estos los que representen un beneficio económico mediante la mitigación o erradicación.

2.1.5. Costos y beneficios convertidos a valor actual

Previamente se han enumerado los costos que actualmente se generan en la empresa, y los beneficios que pueden obtener mediante la realización del

proyecto; porque lo que ahora se presentan los valores monetarios que cada uno representa.

2.1.5.1. Costos de desperdicio de adhesivo

En la tabla X se establecen los costos diarios actuales vs., el ideal, así como el valor monetario que se pierde.

Tabla X. **Costos de desperdicio de adhesivo**

Actual		Ideal		Desperdicio diario actual	Precio de producción de un batch
Batch de adhesivo	Costo de elaboración	Batch de adhesivo	Costo de elaboración		
3	Q 5,064.00	0.635	Q 1,071.88	Q 3,992.12	Q 1,688.00

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel.

Tal y como se presenta en la tabla X, diariamente se está perdiendo la cantidad de Q3,992.12, es decir que en un mes se están perdiendo Q87,826.64, por lo tanto, al año la empresa está perdiendo Q1,053,919.68 por no tener una línea de distribución de adhesivo vinamyl separada de la línea de distribución de adhesivo normal.

- Costos de mantenimiento y limpieza

Cuando se programa la limpieza de tanques se procura dejar la menor cantidad posible de adhesivo para disminuir la pérdida, generalmente los operadores de corrugadora y el área de cocina de almidón logran dejar 200 kg en cada tanque como máximo. Es decir, un total de 400 kg de adhesivo al mes son desechados. El costo se presenta en la tabla XI.

Tabla XI. **Costos de mantenimiento y limpieza**

Limpiezas realizadas al año	Kg desperdiciados	Batch desperdiciados	Costo Anual
12	4,800	4.8	Q 8,102.40

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel.

2.1.5.2. Costos de importación

La empresa Cartones de Villa Nueva, S.A trabaja bajo el decreto 29-89, es decir que trabaja con exención de impuestos, al ser así, todos los meses debe realizarse una justificación de toda la materia prima utilizada para fabricar producto mediante un descargo. La materia que no se logra descargar (utilizar para producir cajas de cartón) genera un recargo monetario que debe pagarse por mantener la materia prima en bodegas. Este proyecto abarca el almidón vinamyl y la resina que se utiliza para impermeabilizar el adhesivo. Los gastos que se generan se representan en la tabla XII, considerando como el costo mensual el monto que debe pagarse por tener retenida la materia prima.

Tabla XII. **Costos de importación**

Materia prima	Costo mensual	Costo anual
Vinamyl	Q250	Q3,000.00
Resina	Q170	Q2,040.00
Total	Q420	Q5,040.00

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel.

- **Beneficios**

Los principales beneficios que la empresa percibirá mediante la realización de esta propuesta son la disminución de costos de desperdicio, de importación, y la eliminación del costo por limpieza y mantenimiento.

De la tabla X costos de desperdicio de adhesivo, se observa que, si se realizara la propuesta de una línea de distribución de adhesivo exclusiva para vinamyl, se tendría una disminución del 78.83 % en lo que a elaboración de adhesivo se refiere, por ende, la compra del almidón disminuiría el mismo porcentaje, así mismo el costo que actualmente se paga en el proceso de importaciones. Estas disminuciones se presentan en la tabla XIII.

Tabla XIII. Ahorro monetario

Aspecto	Acción	Costo actual Anual	Costo Ideal Anual	Ahorro Anual
Desperdicio de batch	Reducción	Q1,053,919.68	Q223,114.80	Q830,804.88
Importaciones	Reducción	Q5,040.00	Q1,066.97	Q3,973.03
Mantenimiento y limpieza	Eliminación	Q8,102.40	Q0.00	Q8,102.40
TOTAL				Q842,880.32

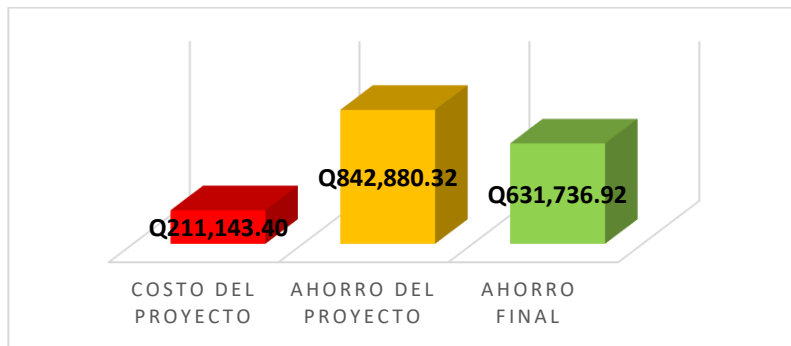
Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel.

2.1.6. Análisis de relación costo beneficio

Utilizando como referencia el costo del actual sistema de distribución el cual tuvo un valor de Q180,000, proyectar el posible ahorro al realizar la propuesta para el sistema de almacenamiento y distribución. Es necesario mencionar que es el costo único de materiales y equipo, no se consideró la mano de obra del persona ni equipos de medición. Esto se presenta en la figura

10, esta información se revalidará una vez se tengan definidos todos los equipos que deben utilizarse en el proyecto que se diseñe, por lo que el costo del proyecto puede variar.

Figura 10. **Costo estimado del proyecto vs., ahorro**



Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel.

3. FASE TÉCNICO PROFESIONAL

3.1. Propiedades del adhesivo

Para comprender el comportamiento del fluido de este sistema es necesario conocer sus propiedades, lo cual permitirá tomar la mejor decisión en cuanto a la selección de materiales y equipo a utilizar durante el diseño del sistema de distribución.

3.1.1. Viscosidad

Previamente se estableció que la viscosidad del adhesivo se determinará por el método de Saybolt, para ello se utilizó una copa Stein Hall y se realizaron diferentes mediciones de 60 ml de adhesivo a temperatura de trabajo de 40 °C para obtener el valor de SUS promedio, los resultados se presentan en la tabla XIV.

Tabla XIV. **Segundos SUS de adhesivo vinamyl**

Temperatura de trabajo	No. De medición	Tiempo [SUS]
40 Celsius	1	52.1
	2	51
	3	50.9
	4	51.3
	5	50.5
	6	51
	7	51.8
	8	50
	9	50.4
	10	50
Promedio		51

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel.

Previamente establecimos que la tabla de conversión de segundos SUS a mm²/s es para fluidos a temperatura de 100 °F (38 °C), para cualquier otra temperatura, los segundos SUS deben multiplicarse por el factor a, el cual está dado por la ecc.1, obteniendo así el valor de:

$$a = 6.061 \times 10^{-5} (51 \text{ SUS}) + 0.994$$

$$a = 0.997$$

Al multiplicar el valor de SUS @ 40 °C por el factor a, obtenemos el valor de SUS @ 38 °C= 50.847, para poder buscarlo en la tabla de conversión. Los datos se resumen en la tabla XV.

Tabla XV. **Viscosidad de adhesivo vinamyl**

Variable	Valor
SUS	51
Factor a	0.997
Viscosidad cinemática del adhesivo	8 mm²/s

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Word.

3.1.2. Punto de gel

El valor de punto de gel es directamente proporcional a la aplicación de calor en las planchas de secado de la máquina corrugadora, por ende, es necesario monitorear y mantener este valor dentro del rango establecido. Además del hecho que debe evitarse que el adhesivo se espese en su recorrido desde la cocina de almidón hacia los depósitos y su retorno desde la corrugadora.

Materiales:

- Agua
- Adhesivo
- 1 vaso de precipitado de 150 ml (vaso 1)
- 1 vaso de precipitado de 600 ml (vaso 2)
- 1 termómetro de alcohol
- 1 recipiente limpio
- 1 soporte universal
- Estufa eléctrica
- Agitador magnético de temperatura estable (controlador de temperatura)

Procedimiento:

- Calentar 800 ml de agua a una temperatura entre 80 °C a 90 °C (no dejar que hierva).
- Cuando el agua esté cerca de su temperatura necesaria, con un recipiente limpio, tomar una muestra de adhesivo vinamyl directamente de la máquina de cocina de almidón.
- Verter 60 ml de adhesivo en el vaso 1.
- Colocar el vaso 1 en el soporte universal.
- Verter 500 ml de agua caliente en el vaso 2.
- Colocar el vaso 1 en el controlador de temperatura.
- Sumergir el vaso 1 dentro del vaso 2, como se muestra en la figura 17.
- Revolver constantemente el adhesivo con el termómetro, evitando rozar el vaso de precipitado.
- Cuando el adhesivo comience a espesarse y sea más difícil de mover, medir la temperatura. Este será el punto de gel.
- Anotar el valor obtenido en el termómetro.

Figura 11. **Prueba de punto de gel**



Fuente: [Fotografía de María Fernanda Santizo]. (Empresa Cartones de Villa Nueva, S.A., Guatemala. 2020). Colección particular. Guatemala.

Figura 12. **Almidón gelatinizado**



Fuente: [Fotografía de María Fernanda Santizo]. (Empresa Cartones de Villa Nueva, S.A., Guatemala. 2020). Colección particular. Guatemala.

De la prueba realizada se determinó que el punto de gel para adhesivo vinamyl es 59 °C.

3.1.3. Densidad

De la ecuación 4 se tiene que, para el cálculo de densidad es necesario tener el valor de la masa de adhesivo y el volumen. Para determinarlos se realizaron las mediciones que se muestran en la tabla XVI.

Tabla XVI. **Masa de adhesivo vinamyl**

	Masa (Kg)	Volumen (m ³)
	0.0496	5.00E-05
	0.050	5.00E-05
	0.049	5.00E-05
	0.050	5.00E-05
	0.050	5.00E-05
Promedio	0.050	5.00E-05

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel.

Por lo tanto, según la ecuación 4 obtenemos que la densidad del adhesivo a temperatura de 40 °C es:

$$\rho = \frac{0.050kg}{5^{-5} m^3}$$

$$\rho = 1000 \frac{kg}{m^3}$$

3.1.4. Peso específico

La ecuación 5 nos indica cómo calcular el peso específico, de esta forma obtenemos:

$$\gamma = 1000 \frac{Kg}{m^3} * 9.8 m/s^2$$

$$\gamma = 9800 N/m^3$$

3.2. Diseño de tanque de almacenamiento

Una vez establecido el comportamiento del fluido que estará recorriendo el sistema, en este caso adhesivo tipo vinamyl, y la capacidad demandada según el ritmo de producción, se procede a diseñar todos los elementos del sistema como los tanques, tuberías, bombas entre otros.

3.2.1. Dimensiones

Es necesario determinar las dimensiones del tanque ya que el espacio disponible para su ubicación es limitado. Par ello utilizaremos la ecuación de volumen de un cilindro, como se muestra a continuación:

$$V = \pi * r^2 * h \quad (\text{Ec. 17})$$

Donde:

V= Volumen

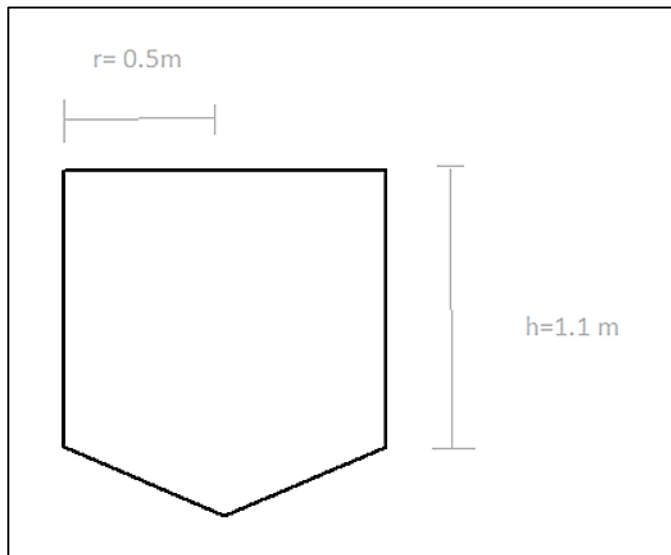
r= radio

h= altura

Previamente determinamos que la cantidad ideal de adhesivo a almacenar para la producción que actualmente tiene Cartones de Villa Nueva es de 675 kg. Por lo tanto, para obtener el volumen necesario en m^3 utilizaremos el valor de la densidad del adhesivo; obteniendo un valor de $0.675 m^3$. Sin embargo, considerando un posible crecimiento en la producción de cajas con adhesivo vinamyl, aumentaremos el volumen 20 %, obteniendo un resultado final de $V= 0.875 m^3$.

De la ecuación de volumen de un cilindro; $V_{cil} = \pi r^2 h$, y considerando el espacio físico con el que se dispone para instalar el tanque, se establece un $r= 0.5m$, obtenemos que la altura del cilindro debe ser de 1.1 m.

Figura 13. **Dimensiones tanques de almacenamiento**



Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Paint.

3.2.2. Resumen de propiedades del adhesivo

Para poder trabajar con mejor claridad y dejar establecidos los parámetros con los que trabajaremos de aquí en adelante vamos a resumir las propiedades y características del adhesivo para el cual se diseñara el sistema de distribución estos datos se muestran en la tabla XVII.

Tabla XVII. **Propiedades de adhesivo vinamyl**

PROPIEDAD / CARACTERÍSTICA	VALOR
Temperatura de trabajo	40 °C
Densidad	1000 kg/m ³
Peso específico	9800 N/m ³
Viscosidad	8x10 ⁻⁶ m ² /s
Punto de gel	59 °C
Corrosivo	Si

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Word.

Considerando que la viscosidad cinemática del agua a 40 °C es 0.658x10⁻⁶ m²/s, vemos la relación de qué tan viscoso es el fluido que trabajaremos.

3.2.3. Material

El grado de degradación y corrosión provocadas por la soda cáustica depende de la concentración de la misma en la formulación de adhesivo, así como la temperatura. En este adhesivo en particular, la presencia de Soda cáustica corresponde únicamente al 5 %. Por este motivo se recomienda utilizar un tanque de acero inoxidable por su gran resistencia a la corrosión y altas temperaturas, en opinión de ACCSA (2008). Sin embargo, se recomendará darle mantenimiento y limpieza al tanque mensualmente para así prolongar la

vida útil del mismo y evitar la generación de incrustaciones del adhesivo en las paredes del tanque, pues al solidificarse es más difícil de limpiar y empieza a actuar como un aislante para el adhesivo, este estado puede observarse en la figura 14.

Figura 14. **Tanque de almidón sucio**



Fuente: [Fotografía de María Fernanda Santizo]. (Empresa Cartones de Villa Nueva, S.A., Guatemala. 2020). Colección particular. Guatemala.

3.2.4. Instrumentación

- Aspa giratoria: debido a las propiedades y sólidos que posee el fluido, es necesario que este se mantenga agitado para evitar la sedimentación.

- Medidor de nivel: debido a las propiedades del adhesivo, así como la necesidad de tener un agitador que periódicamente se activa para mezclar el adhesivo, y considerando que un medidor específicamente de volumen es de costo elevado, se recomienda instalar un sistema automático de detección de nivel, posicionado en el tanque de tal forma que puede indicar el nivel del tanque y por medio de un proceso matemático convertir la información de nivel en un cálculo de volumen basado en las dimensiones del dicho tanque. Para lograr este propósito debe instalarse un sensor de nivel de radar y un PLC, que cumpla la función de visualizar el volumen.

El rango de medición del tanque debe ser de 0.200 m a 1 m o más. Con exactitud de ± 0.1 m.

- Medidor de temperatura: al ser un fluido en movimiento, se recomienda utilizar un sensor infrarrojo para la medición de temperatura, además de ser de alta calidad y bajo costo. El valor de exactitud requerido para este instrumento será de 0.1 °C, en un rango de medición de 0 °C a 60 °C.

3.3. Diseño de red de distribución

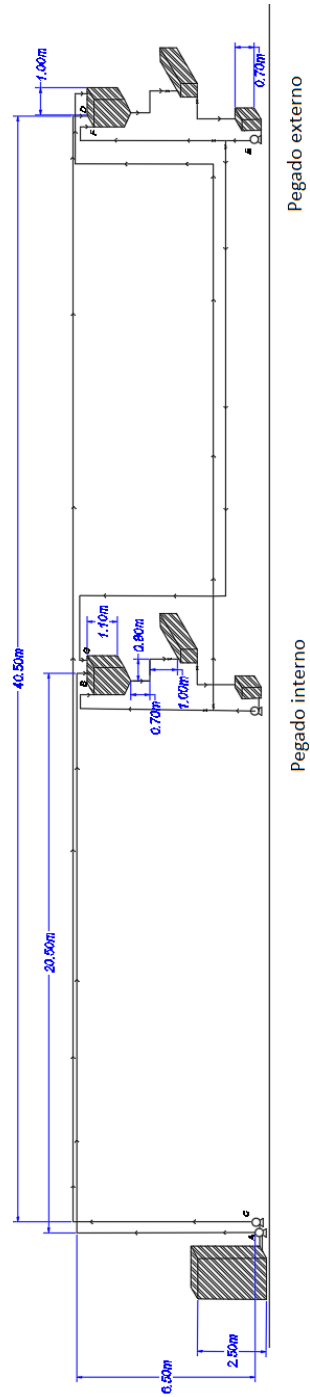
El éxito de un proyecto como este radica en el buen diseño del sistema de tuberías, con el fin de evitar pérdidas, disminuir los costos de materiales e instalación, así como de la correcta distribución de tuberías en el espacio geográfico con el que se dispone.

El diseño de este sistema consiste en enviar adhesivo desde la cocina de almidón a dos diferentes tanques en los cuales permanecerá almacenado, para que cuando necesite utilizarse este se active y por medio de gravedad se envíe

el adhesivo a las bandejas de adhesivo de la corrugadora, donde se encuentra girando el rodillo aplicador de goma; al mismo tiempo este adhesivo debe recircular por lo que, por gravedad también, este debe caer a un depósito que almacenará cierta cantidad de adhesivo y un temporizador activará la bomba que enviará el adhesivo nuevamente hacia el tanque.

Puesto que cada mes deben limpiarse los tanques y realizar un lavado de todo el sistema, el adhesivo que se encuentre en los tanques no puede tirarse, por lo que se utilizará la misma bomba del depósito, con una derivación y una llave para permitir el paso a estas tuberías sólo cuando se realice la limpieza. Estas trasladarán todo el adhesivo de un tanque a otro para permitir el mantenimiento y viceversa. El sistema que se muestra en la figura 15, representa cómo quedaría el sistema de distribución, desde el tanque de cocina de almidón hasta cada uno de los tanques de almacenamiento y los tanques de retorno, así como la dirección de flujo y las cotas.

Figura 15. **Diseño de sistema de distribución de adhesivo**



Fuente: elaboración propia, realizado con AutoCAD.

El sistema de distribución para cada tanque se clasificará en 5 secciones:

- Sección 1: tramo de tubería desde la cocina de almidón hasta el tanque de almacenamiento.
- Sección 2: será desde la salida del tanque de almacenamiento hasta las bandejas de adhesivo de la corrugadora.
- Sección 3: es desde la salida de las bandejas de adhesivo hasta el tanque de retorno.
- Sección 4: la cuarta sección será del tanque de retorno hacia el tanque de almacenamiento.
- Sección 5: esta sección consiste en una ramificación que saldrá del mismo tanque de la sección 4, se utilizará cuando se haga la limpieza de todo el sistema, su objetivo será trasegar todo el fluido del tanque 1 y la bandeja al tanque 2, y viceversa. Ya que actualmente cuando se realiza esta limpieza el adhesivo se tira al desagüe.

3.3.1. Determinación de caudal

La determinación del caudal para cada sección se determinó de diferente forma, la cual se presenta a continuación. Es necesario mencionar que el proceso fue el mismo para cada tanque.

- Sección 1: ya que no se cuenta con dispositivos de medición ni datos técnicos, para obtener el caudal se realizaron aforos de caudal másico, al cual, para los fines de este proyecto se aumentó el 20 % al caudal, de esta manera se agrega un factor de seguridad, garantizando el suministro del fluido y se evita que la demanda sea apenas cubierta; los resultados se presentan en la tabla XVIII.

Tabla XVIII. **Caudal para sección 1**

	Caudal másico (kg/s)	Caudal másico (kg/s) 20%	Caudal volumétrico m3/s	Caudal volumétrico gpm
Tanque 1	1.695	2.034	0.0020	32.000
Tanque 2	1.475	1.177	0.0018	28.000

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Word.

A partir de la sección 2 en adelante, los valores calculados serán iguales para cada tanque.

- Sección 2: considerando el volumen del tanque de 0.875 m^3 y el tiempo en que, a máxima capacidad de producción se vacía el tanque que es de 1 hora. Se obtiene que el caudal es:

$$Q = \frac{0.875 \text{ m}^3}{3600 \text{ s}} = 0.000243 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Considerando 20 % al caudal como factor de seguridad tenemos que el caudal a emplear es:

$$Q = 0.0002916 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 4.62 \text{ gpm}$$

- Sección 3: ya que el sistema está en circulación constante durante todo el proceso, y la bandeja de aplicación de adhesivo está previamente llena con determinado volumen, por selección para el funcionamiento se determinó que el caudal de la sección 3 sea igual al de la sección 2.

- Sección 4: ya que esta sección del sistema consiste en devolver el adhesivo que se encuentra circulando, hacia el tanque de almacenamiento se estableció que cada vez que acumule 1/7 parte del volumen original debe bombearlo de regreso en 1 minuto, por lo tanto el caudal es:

$$Q = \frac{0.125 \text{ m}^3}{60 \text{ s}} = 0.00208 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 33 \text{ gpm}$$

- Sección 5: ya que esta sección saldrá del mismo tanque de retorno en la sección 4, las especificaciones de caudal serán las mismas.

Los resultados de caudal obtenidos para cada sección se resumen en la tabla XIX.

Tabla XIX. **Caudales de trabajo**

No. De tanque	Sección	Caudal volumétrico (gpm)
1	1	32
2	1	28
1	2	4.62
1	3	4.62
1	4	33
1	5	33

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Word.

3.3.2. **Determinación de velocidad**

Ya que el funcionamiento de cada sección del sistema es diferente las velocidades se determinaron de diferente forma, siendo la siguiente:

- Sección 1, sección 4 y sección 5

Como se ha mencionado antes, en sistemas de bombeo es deseable mantener velocidades bajas ya que se limitan las pérdidas de energía en la línea de succión, lo que mantiene relativamente elevada la presión en la entrada de la bomba, la velocidad recomendada en la conducción de flujo se encuentra entre 1 m/s a 3 m/s. Por ende, a criterio propio se trabajará con velocidad de 1 m/s en las secciones 1 y 4.

- Sección 2 y 3

Considerando que la circulación del adhesivo en estas secciones será por gravedad, la velocidad se calculó mediante el teorema de Torricelli, el cual declara que la velocidad con que fluye un líquido contenido en un recipiente abierto a través de un orificio es similar a la velocidad de un cuerpo que cae al vacío desde la misma altura a la que se encuentra líquido hasta el centro de gravedad del orificio, obteniendo la velocidad máxima de circulación del adhesivo con la ecuación 18:

$$V_{\max} = \sqrt{2gh} \quad (\text{Ec. 18})$$

Tabla XX. **Velocidad sección 2 y 3 por teorema de Torricelli**

Tanque	Altura	Velocidad de vaciado
Tanque 1	1.1 m	4.64
Tanque 2	0.50 m	3.13

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel.

3.3.2.1. Cálculo del diámetro óptimo de conducción

Para la determinación del diámetro óptimo de conducción utilizaremos la ecuación no. 9 de caudal volumétrico, despejando el diámetro obtenemos:

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{v\pi}} \quad (\text{Ec. 19})$$

Donde Q es el caudal volumétrico en m³/s y v la velocidad en m/s.

Tabla XXI. **Diámetros de cada sección y tanque**

Tanque	Sección	Caudal (M3/S)	Velocidad (M/S)	Diámetro (M)	Diámetro (IN)
Tanque 1	Sección 1	0.002032	1	0.0509	1.98
Tanque 2	Sección 1	0.001770	1	0.0475	1.85
Tanque 1 y 2	Sección 2	0.0002916	4.64	0.0089	0.35
Tanque 1 y 2	Sección 3	0.0002916	3.13	0.0109	0.42
Tanque 1 y 2	Sección 4	0.00208	1	0.0515	2.01
Tanque 1 y 2	Sección 5	0.00208	1	0.0515	2.01

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Word.

Preliminarmente estos son los diámetros seleccionados para cada sección, posteriormente evaluaremos las pérdidas generadas por fricción y accesorios para determinar si es conveniente usar estos diámetros, en caso afirmativo debe usarse diámetro comercial, que en este caso sería de 2 in.

3.3.3. Selección de material

El material del cual esté hecho la tubería debe ser económico, resistente a la corrosión, de fácil instalación y conexión.

Buscando un material que ofrezca la menor resistencia por fricción posible y se funcione correctamente con las propiedades del adhesivo se selecciona tubería de CPVC (policloruro de vinilo clorado) ya que muestra mayor resistencia al calor y presión comparado con a tubería de PVC ya que el CPVC aumenta la cantidad de átomos de cloro que contiene, según opinión de Janoudy (2015).

El CPVC puede trabajar correctamente a temperaturas de hasta 60 °C y aunque ambos materiales tienen la misma clasificación de presión, cuando aumenta la temperatura el CPVC mantiene su clasificación de presión mejor que el PVC. Al ser un plástico, para los cálculos de pérdidas por fricción se considerará rugosidad relativa del PVC la cual es de 0.0015 mm. Se trabajará con tubería cédula 80, la principal causa para la selección de este valor es la corrosión que genera el adhesivo de trabajo, ya que mientras más delgada sea la pared del tubo más susceptible es a desgastarse, a parte de su mejor resistencia a la presión interna y esfuerzo permisible a la temperatura de operación.

De igual forma es necesario considerar la presión que soporta la tubería, y previamente establecidos los diámetros, obtenemos que para temperatura de trabajo a 23 °C soporta una presión de 400 psi o 27.5 bar, datos que se pueden consultar en la figura 16.

Figura 16. Especificaciones tubería CPVC cédula 80

DIÁMETRO (PULG)	DIÁMETRO EXTERIOR (PULG) (MM)		DIÁMETRO INTERIOR (PULG) (MM)		ESPESOR DE PARED (PULG) (MM)		PRESIÓN (23°C) (PSI) (KG/CM ²)		PESO (LBS/PIE) (KG/M)	
1/2"	0.840	21.3	0.528	13.4	0.147	3.7	850	59.7	0.225	0.33
3/4"	1.050	26.7	0.724	18.4	0.154	3.9	690	48.4	0.302	0.45
1"	1.315	33.4	0.936	23.8	0.179	4.5	630	44.2	0.449	0.67
1 1/4"	1.660	42.2	1.255	31.9	0.191	4.9	520	36.5	0.612	0.91
1 1/2"	1.900	48.3	1.476	37.5	0.200	5.1	470	33.0	0.754	1.12
2"	2.375	60.3	1.913	48.6	0.218	5.5	400	28.1	1.043	1.55
2 1/2"	2.875	73.0	2.290	58.2	0.276	7.0	420	29.5	1.562	2.32
3"	3.500	88.9	2.864	72.7	0.300	7.6	370	26.0	2.130	3.16
4"	4.500	114.3	3.786	96.2	0.337	8.6	320	22.5	3.113	4.63
6"	6.625	168.3	5.709	145.0	0.432	11.0	280	19.7	5.947	8.84
8"	8.625	219.1	7.565	192.2	0.500	12.7	250	17.6	8.849	13.15
10"	10.75	273.1	9.493	241.1	0.593	15.1	230	16.1	13.19	19.60
12"	12.75	323.9	11.29	286.9	0.687	17.4	230	16.1	18.13	26.94

Fuente: Silver Tubos. (2015). *Cédula 80, tubería PVC*. Consultado el 18 de julio de 2022. Recuperado de <https://silvertubos.com/wp-content/uploads/2019/06/SPEC-ST-TUBO-CPVC-CED80-R1.pdf>.

Sin embargo, para temperaturas de trabajo diferentes a 23 °C es necesario aplicar un factor de corrección, que en este caso es del 77 % tal y como se ve en la figura 17, obteniendo un valor final para la presión que soporta la tubería de 308 psi o 21.2 bar.

Figura 17. **Factor de corrección de presión de tubería CPVC cédula 80 temperaturas de trabajo diferentes a 23 °C**

TEMPERATURA °F °C		PVC	CPVC	PPL
70°	21.09°	100%	100%	100%
80°	26.64°	90%	96%	97%
90°	32.19°	75%	82%	91%
100°	32.74°	62%	85%	85%
110°	43.29°	50%	77%	80%
115°	46.07°	45%	74%	77%
120°	48.84°	40%	70%	75%
125°	51.62°	35%	66%	71%
130°	54.39°	30%	62%	68%
140°	60.00°	22%	55%	65%
150°	65.49°	---	47%	57%
160°	71.04°	---	40%	50%
170°	76.59°	---	32%	26%
180°	82.14°	---	25%	---
200°	93.24°	---	18%	---
210°	98.79°	---	15%	---

Fuente: Silver Tubos. (2015). *Tabla de temperatura vs., presión*. Consultado el 18 de julio de 2022. Recuperado de <https://silvertubos.com/wp-content/uploads/2019/07/SPEC-ST-FACTOR-CORRECCION.pdf>.

3.3.4. Selección de accesorios

Para el sistema de tuberías es necesario seleccionar los accesorios que llevará, como válvulas, uniones, codos, entre otros. Es importante determinar la cantidad de accesorios ya que estos también influyen en las pérdidas de energía, ver tabla XXII. Se definirá una sola vez para ambos tanques, pues el sistema es igual para cada uno.

Tabla XXII. **Accesorio y cantidad**

	TE	Codo 90	Válvula	Total
Sección 1	0	2	0	2
Sección 2	0	2	0	2
Sección 3	0	2	1	3
Sección 4	1 línea principal	3	1	5
Sección 5	1 ramificación	4	1	6

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Word.

3.3.5. Cálculo de pérdidas de carga

Las pérdidas de carga de un sistema incluyen las pérdidas por fricción y pérdidas por accesorios, calcularemos las pérdidas para las secciones 1,4 y 5 por ser tramos de flujo impulsados por bomba. En la sección 2 y 3 no es necesario ya que adhesivo circulará por gravedad.

- Pérdidas por fricción:

Utilizando la ecuación 6 determinamos el número de Reynolds para cada sección, utilizando el diagrama de Moody y considerando la rugosidad absoluta obtenemos los siguientes factores:

Tabla XXIII. **Factor de fricción f**

Sección	Diámetro (in)	Reynolds	e/D	Factor F
1	2	6358	0.0000295	0.035
4	2	6433	0.0000291	0.034
5	2	6433	0.0000291	0.034

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Word.

Por lo tanto, para calcular la pérdida por fricción utilizaremos la ecuación 11, por ejemplo, para la sección 1 las pérdidas se determinan de la siguiente manera:

$$H_f = 0.035 \frac{47.5 \text{ m}}{0.0509 \text{ m}} * \frac{(1 \text{ m/s})^2}{2 \left(9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)} = 1.65 \text{ m}$$

De esta forma, utilizando una velocidad de 1 m/s calculamos las pérdidas de las demás secciones, esperando que el porcentaje de pérdidas con relación a la longitud sea menor al 5 %, de esta forma aseguraríamos un correcto funcionamiento del sistema, obteniendo lo siguiente:

Tabla XXIV. **Pérdidas por fricción**

Tanque	Sección	Factor f	Longitud de tubería (m)	D (m)	Hf(m)	%
1	1	0.035	27.5	0.0512	1.03	3.8 %
2	1	0.035	47.5	0.0512	1.67	3.5 %
1 y 2	4	0.034	8.5	0.0512	0.30	3.4 %
1 y 2	5	0.034	27.7	0.0512	0.90	3.4 %

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Word.

- Pérdidas por accesorios

Utilizando la ecuación 13 para determinar el coeficiente de resistencia, y la ecuación 12 para determinar las pérdidas por accesorios obteniendo L_e/D y f_t de las tablas V y VI respectivamente obtenemos lo siguiente:

$$k = 8 * 0.019$$

$$k = 0.152$$

$$H_a = 0.152 * \left(\frac{\left(1 \frac{m}{s}\right)^2}{2 * \frac{9.8m}{s^2}} \right)$$

$$H_a = 0.017 m$$

De esta forma obtenemos las pérdidas por fricción que representa cada accesorio, esto se muestra en la tabla XXV:

Tabla XXV. **Pérdidas por accesorios**

Accesorio	Le/D	Ft	K	Ha
Te línea principal	20	0.019	0.38	0.019
Te ramificación	60	0.019	1.14	0.058
Válvula de compuerta completamente abierta	8	0.019	0.152	0.008
Codo estándar 90	30	0.019	0.057	0.029

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Word.

Para establecer cuánto es la pérdida que estos accesorios representan en cada necesario debemos multiplicarlos por la cantidad que estará presente en la sección, por lo que, utilizando la tabla XXV obtenemos:

Tabla XXVI. **Pérdidas por accesorios en cada sección de bombeo**

	Te	Codo 90	Válvula	Ha
Sección 1	0	0.058	0.008	0.058
Sección 4	0.019	0.087	0.008	0.107
Sección 5	0.058	0.116	0.008	0.181

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Word.

Ya que se han obtenido las pérdidas por fricción y las pérdidas por accesorios se debe determinar sumadas no sobrepasan el 5 % con relación a la longitud de la tubería, con el fin de garantizar el funcionamiento del sistema. Las pérdidas totales del sistema se presentan en la tabla XXVII.

Tabla XXVII. **Pérdidas totales del sistema**

Sección	Tanque	Hf (m)	Ha (m)	HL (m)	%
Sección 1	1	1.03	0.058	1.088	3.95 %
Sección 1	2	1.67	0.058	1.728	3.63 %
Sección 4	Ambos	0.30	0.107	0.407	4.78 %
Sección 5	Ambos	0.90	0.181	1.081	3.90 %

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Word.

3.3.6. Ecuación de Bernoulli

Finalmente, para determinar las pérdidas por carga que ocurrirán en el sistema se utiliza la ecuación 10 incluyendo las pérdidas por fricción y accesorios; para las secciones de bombeo, teniendo la ecuación:

$$\frac{P_a}{\gamma} + Z_a + \frac{(v_a)^2}{2g} = \frac{P_b}{\gamma} + Z_b + \frac{(v_b)^2}{2g} + HL$$

- Sección 1, tanque 1

En esta ocasión Bernoulli se realizará entre el punto A y B. Ya que el tramo de tubería no tendrá cambios en el diámetro podemos eliminar ambas velocidades de la ecuación. Z_a , al estar en el nivel de referencia es cero y la presión P_B es 0 por estar abierta a la atmósfera. De esta forma obtenemos que

$$Hb = Z_b + Hf - \frac{P_a}{\gamma}$$

$$Hb = 6m + 1 - \frac{19,600 \frac{N}{m^2}}{9800 \frac{N}{m^3}}$$

$$Hb = 5m$$

- Sección 1, tanque 2

De igual forma, para la sección 1 del tanque 2, pero en esta ocasión entre el punto C y D, obtenemos:

$$Hb = Z_D + Hf - \frac{P_c}{\gamma}$$

$$Hb = 6m + 1.68 - \frac{19,600 \frac{N}{m^2}}{9800 \frac{N}{m^3}}$$

$$Hb = 5.68 m$$

- Sección 4, ambos tanques

Ya que en ambos tanques la tubería será exactamente igual, se evaluará el punto E y F, para ambos tanques obtenemos:

$$Hb = Z_F + Hf - \frac{P_E}{\gamma}$$

$$Hb = 6m + 0.40 - \frac{5880 \frac{N}{m^2}}{9800 \frac{N}{m^3}}$$

$$Hb = 5.8 m$$

- Sección 5, ambos tanques

En este caso se evaluará del punto E y G, por lo que para ambos tanques obtenemos:

$$Hb = Z_G + Hf - \frac{P_E}{\gamma}$$

$$Hb = 6m + 1.12 - \frac{5880 \frac{N}{m^2}}{9800 \frac{N}{m^3}}$$

$$Hb = 6.52 m$$

3.3.7. Selección de bombas

Una vez establecidos los diámetros de tubería, así como las pérdidas que se generarán debido a la fricción y accesorios, es necesario calcular la presión requerida para poder abastecer el caudal deseado. Para ello es necesario establecer la presión de succión estática, la cual se mide en la distancia vertical desde la superficie del líquido a la línea central de la bomba, y la succión dinámica la cual considera las pérdidas por fricción y accesorios en la tubería a causa de la viscosidad, de igual forma debe determinarse la presión de descarga, ambas presiones sumadas dan como resultado la presión demandada por el sistema.

Para la selección de la bomba también es necesario determinar el material del que estará hecha tanto la carcasa como el diafragma, la bola y otros elementos, considerando que este adhesivo puede ser corrosivo debido a la presencia de ácido bórico y soda cáustica en su composición. Como referencia para la selección de los materiales de construcción de la bomba se utilizó la figura 18 y 19.

Figura 18. Aplicaciones de bombas de doble diafragma

APLICACIONES POPULARES DE LAS BOMBAS DE DOBLE DIAFRAGMA

BOMBAS

	<p>Tamaños de Husky: 205-3300, 1050e Tamaños de ChemSafe: 205-1590</p> <p>Sección húmeda: Plástico, acero inoxidable o Hastelloy Diafragmas: PTFE (sobremoldeado o de dos piezas), Santoprene Bolas de retención: PTFE y Santoprene Asientos: Polipropileno, Santoprene, PVDF, acero inoxidable</p> <p>Mezcla y transferencia de líquido limpiador de parabrisas CP sanitaria Grabado de placas de circuito</p>		<p>Tamaños de Husky: 515-2200, 1050e</p> <p>Sección húmeda: Plástico Diafragmas: PTFE (sobremoldeado o de dos piezas) y Santoprene Bolas de retención: PTFE y Santoprene Asientos: Polipropileno, Santoprene, PVDF, acero inoxidable</p> <p>Bombas de sumidero Abliteros Instalaciones de tratamiento de aguas</p> <p>Centrales eléctricas Lavado de piezas (automoción e industria en general) Lavado de automóviles y camiones</p>
	<p>Tamaños de Husky: 1050-3300, 1050e Tamaños de ChemSafe: 205-1590</p> <p>Sección húmeda: Plástico Diafragmas: PTFE (sobremoldeado o de dos piezas), Santoprene Bolas de retención: PTFE y Santoprene Asientos: Polipropileno, Santoprene, PVDF, acero inoxidable</p> <p>Fundiciones Revestimiento</p>		<p>Tamaños de Husky: 716, 1050, 1590, 2150, 3300, 1050e</p> <p>Sección húmeda: Metal Diafragmas: Geolast, TPE, Buna Bolas de retención: Geolast, TPE, Buna Asientos: Geolast, TPE, Buna</p> <p>Mezcla y transferencia de anticongelante Espucación y refrigerante de máquinas herramienta</p>
	<p>Tamaños de Husky: 1050-3300, 1050e Tamaños de ChemSafe: 205-1590</p> <p>Sección húmeda: Metal o plástico Diafragmas: Policloropreno y Geolast Bolas de retención: Geolast y policloropreno Asientos: Aluminio, Geolast, acero inoxidable</p>		<p>Tamaños de Husky: 716, 1050, 1590, 2150, 3300, 1050e</p> <p>Sección húmeda: Metal Diafragmas: PTFE (sobremoldeado o de dos piezas) y Santoprene Bolas de retención: PTFE y Santoprene Asientos: Polipropileno, Santoprene, PVDF, acero inoxidable</p> <p>Recubrimiento de tuberías Suministro y transferencia de adhesivos Suministro y transferencia de protectores para madera</p>
	<p>Tamaños de Husky: 1590, 2150, 3300</p> <p>Sección húmeda: Metal Diafragmas: Geolast, TPE, Buna Bolas de retención: Geolast, TPE, Buna Asientos: Geolast, TPE, Buna</p>		<p>Tamaños de Husky: 1050, 1590, 2150, 3300 (Juntas de sellado de válvulas de aire de FM)</p> <p>Sección húmeda: Metal Diafragmas: Geolast, TPE, Buna Bolas de retención: Geolast, TPE, Buna Asientos: Geolast, TPE, Buna</p> <p>Plataformas petrolíferas Transferencia y circulación de etilenglicol</p>

Fuente: ARO. (s.f.). *Bombas de diafragma*. Consultado el 9 de junio de 2022. Recuperado de <file:///C:/Users/deleo/Downloads/345089ES-B.pdf>.

De la figura 18 se obtiene una referencia para la selección del material, al clasificar la bomba en aceites, lubricantes y combustibles debido a la alta viscosidad del adhesivo que estamos utilizando. En este caso la recomendación es que los elementos internos sean de Geolast, TPE, bruna, y como podemos verificar en la figura 17, efectivamente el TPE trabaja en un rango de

temperaturas de -29 a 66 °C, y nuestro adhesivo se encuentra a temperatura de 40 °C. Y el material para la carcasa puede ser de aluminio.

Figura 19. **Guía de materiales de fabricación para bombas de diafragma**

MATERIAL	RANGO DE TEMPERATURA	PRECIO	DISPONIBILIDAD			CONDICIONES				***PESO ESPECÍFICO	COLOR	NOTAS
			ASIENTO	BOLA	DIAGRAMA	**PRODUCTOS QUÍMICOS SUAVES	**PRODUCTOS QUÍMICOS AGRESIVOS	*ALTA TEMPERATURA	ABRASIVOS			
POLIPROPILENO	0 a 66 °C (32 a 150 °F)	€	X			X				NA	Blanco	Compatibilidad con una amplia gama de compuestos químicos. De utilidad general.
GEKLAST	-40 a 66 °C (-40 a 150 °F)	€	X	X	X	X			X	0,97	Negro	Buena resistencia a la abrasión. Aproximadamente la misma compatibilidad con productos químicos que la buna.
EPDM	-51 a 135 °C (-60 a 275 °F)	€			X	X		X		NA	Negro	Alta resistencia al calor. Buena resistencia a la permeabilidad al gas y al vapor. Adecuado para soluciones clásticas, ácidos diluidos, cetonas y alcoholes. Recomendado para su uso con el agente desinfectante para limpieza in situ OXONIA.
TPE	-29 a 66 °C (-20 a 150 °F)	€	X	X	X	X			X	1,19	Crema	Buenas propiedades a baja temperatura. Buena resistencia a la abrasión.
ACETAL	-12 a 82 °C (10 a 180 °F)	€	X	X		X			X	1,32	Naranja o blanco	Resistente a un amplio rango de disolventes, además de soportar la fatiga extrema. Buen nivel de resistencia a la abrasión. No utilizar con ácidos o bases.
ALUMINIO	-73 a 204 °C (-100 a 400 °F)	€	X			X		X	X	NA	Plateado	Resistencia moderada a la corrosión y a la abrasión. No utilizar con hidrocarburos halogenados.
SANTOPRENE	-40 a 82 °C (-40 a 180 °F)	€€	X	X	X	X			X	0,84	Azul	Buena resistencia a la abrasión y a los productos químicos. Adecuado para su uso con algunos disolventes (p. ej., MEK, acetona), soluciones clásticas, ácidos diluidos y alcoholes. A menudo se sustituye por EPDM o EPR.
UHMWPE	-40 a 70 °C (-40 a 158 °F)	€€	X		X	X	X		X recomendado	NA	Blanco	La mejor opción para la resistencia a la abrasión: alto nivel de resistencia química.
POLICLOROPRENO ESTÁNDAR (NEOPRENO)	-18 a 82 °C (0 a 180 °F)	€€		X	X	X			X	1,42	Negro	Alta resiliencia. Adecuado para el whisky, el vino, la cerveza y el gas natural. Adecuado para el aceite animal y vegetal, los productos químicos moderados y las grasas. No utilizar con ácidos oxidantes fuertes, ésteres, cetonas, hidrocarburos aromáticos clorados y nitrohidrocarburos.
POLICLOROPRENO SOBREMOLDEADO	-18 a 82 °C (0 a 180 °F)	€€€			X	X			X	NA	Negro	Su vida útil es superior a la del poliocloropreno estándar. Excelente en las aplicaciones abrasivas. Alta resiliencia.
BUNA N (NITILONBR)	-12 a 82 °C (10 a 180 °F)	€€	X	X	X	X				1,43	Negro con punto amarillo	Adecuado para fluidos a base de petróleo, agua, aceites, hidrocarburos y productos químicos SUAVES (p. ej., alcoholes minerales). No utilizar con disolventes o productos químicos fuertes (p. ej., acetona, MEK, cetonas, hidrocarburos clorados y nitrohidrocarburos).
PIVDF (KYNAR)	-12 a 107 °C (10 a 225 °F)	€€€	X			X	X	X		NA	Blanco lechoso	Resistencia a los productos químicos fuertes: ácidos y bases. Buena resistencia a la abrasión. Resistencia a las altas temperaturas.
FLUORELASTÓMERO (FKM)	-40 a 160 °C (-40 a 320 °F)	€€€	X	X	X	X	X	X recomendado		1,80	Negro o blanco	Alta resistencia al calor. Buena resistencia a los productos químicos agresivos, incluidos ácidos y algunos disolventes (p. ej., xileno y alcoholes minerales). Buena resistencia al vapor, así como a los aceites animales, vegetales y de petróleo. Resiste los combustibles sin plomo. No utilizar con cetonas, ésteres de bajo peso molecular ni compuestos que contengan nitrógeno.
PTFE	4 a 100 °C (40 a 212 °F)	€€€	X	X	X	X		X recomendado	X	2,16	Blanco	Máxima compatibilidad química, resistencia extrema a la corrosión, coeficiente de fricción muy reducido, no adhesivo, alta resistencia al calor. Mala resistencia a la abrasión.
PTFE SOBREMOLDEADO	-10 a 82 °C (14 a 180 °F)	€€€			X	X	X	X	X	NA	Azul	El diseño sobremoldeado mejora la resistencia al desgaste y la vida útil del diafragma sin exponer la placa del diafragma al lado del fluido. Mayor vida útil del diafragma en aplicaciones más abrasivas que aún necesitan PTFE. Disponible para bombas de doble diafragma sanitarias e industriales.
ACERO INOXIDABLE	-40 a 493 °C (-40 a 920 °F)	€€€	X	X		X	X	X	X	7,95	Plateado	Alto nivel de resistencia a la corrosión y a la abrasión. Grado 316 pasivado.

Fuente: ARO. (s.f.). *Bombas de diafragma*. Consultado el 9 de junio de 2022. Recuperado de <file:///C:/Users/deleo/Downloads/345089ES-B.pdf>.

Una vez establecido el material del que será la bomba debemos establecer la presión demandada por el sistema, utilizando como base la ecuación de presión hidrostática la cual dice que la presión es la fuerza normal por unidad de área producida por el peso de una columna de líquido, la cual puede expresarse con la siguiente ecuación:

$$P = \gamma h \quad (\text{Ec. 20})$$

Por ejemplo, para la sección 1 en la succión estática, considerando la altura del tanque y superficie libre del fluido, hasta la línea centra de la bomba obtenemos:

$$P = 9800 \frac{N}{m^3} * 2.5m$$

$$P = 24,500 \frac{N}{m^2}$$

Y para determinar la presión por succión dinámica, primero es necesario determinar las pérdidas por fricción que ocurrirían en el tramo desde el tanque hacia la bomba, el cual tiene una longitud de 2 m, de esta forma obtenemos:

$$hf = 0.035 * \frac{2m}{0.0509} * \frac{\left(\frac{1m}{s}\right)^2}{2 * \left(\frac{9.8m}{s^2}\right)} = 0.070 m$$

Tomando esta pérdida como una columna de agua que la bomba necesitaría vencer para cumplir con su función, se puede utilizar este valor para convertirlo a presión.

De esta forma obteneos el siguiente valor para presión de succión dinámica:

$$P = 9800 \frac{N}{m^3} * 0.070m$$

$$P = 686 \frac{N}{m^2}$$

De igual forma, para determinar la presión por descarga estática, consideramos la altura que existe desde el centro de la bomba hasta el punto de descarga, tomando como altura 6 m, obteniendo el siguiente valor:

$$P = 9800 \frac{N}{m^3} * 6m$$

$$P = 58,800 \frac{N}{m^2}$$

Para la pérdida por presión de descarga dinámica, se utiliza altura de pérdidas por fricción que se presenta en la tabla XXVII, de esta forma se obtiene lo siguiente:

$$P = 9800 \frac{N}{m^3} * 1.088m$$

$$P = \frac{N}{m^2} 10,662$$

- Sección 1, tanque 1

Tabla XXVIII. Presión requerida del sistema sección 1 tanque 1

	Valor
De succión estática	24,500 N/m ²
De succión dinámica	686 N/m ²
De descarga estática	58,800 N/m ²
De descarga dinámica	10,662 N/m ²
Presión total requerida	94,648 N/m ² = 0.946 BAR

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Word.

- Sección 1, tanque 2

Tabla XXIX. **Presión requerida del sistema sección 1 tanque 2**

Presión	Valor
De succión estática	24,500 N/m ²
De succión dinámica	686 N/m ²
De descarga estática	63,700 N/m ²
De descarga dinámica	16,934 N/m ²
Presión total requerida	105,820 N/m ² = 1.058 BAR

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Word.

- Sección 4 ambos tanques

Tabla XXX. **Presión requerida del sistema sección 4 ambos tanques**

Presión	Valor
De succión estática	6,860 N/m ²
De succión dinámica	686 N/m ²
De descarga estática	58,800 N/m ²
De descarga dinámica	3,988 N/m ²
Presión total requerida	70,334 N/m ² = 0.703 BAR

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Word.

- Sección 5 ambos tanques

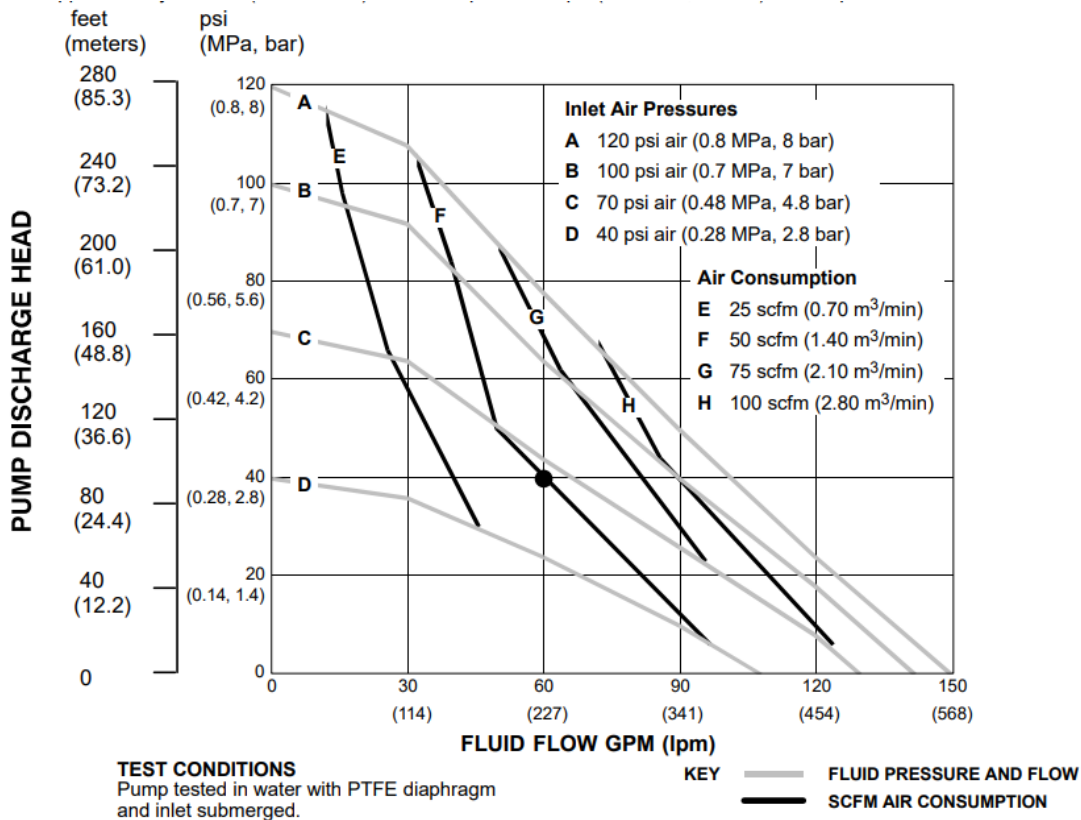
Tabla XXXI. **Presión requerida del sistema sección 5 ambos tanques**

Presión	Valor
De succión estática	6,860 N/m ²
De succión dinámica	686 N/m ²
De descarga estática	58,800 N/m ²
De descarga dinámica	10,593 N/m ²
Presión total requerida	76,939 N/m ² = 0.769 BAR

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Word.

Se ha verificado que para todas las secciones del sistema la bomba debe ser capaz de vencer una presión de 1 bar para poder mover el fluido hasta su punto de descarga. La selección de la bomba se realizará según su curva de rendimiento, en este caso el proveedor sugiere algunas de sus bombas, evaluando la bomba Graco Husky 2150 se puede verificar que para un caudal de 32 gpm la presión de salida de esta bomba será de 2.5 bares, por lo tanto, será capaz de vencer la presión en cada sección del sistema, esto se observa en la figura 20.

Figura 20. Curva de rendimiento bomba graco husky 2150



Fuente: Graco. (s.f.). *Husky 2150 air-operated diaphragm pumps*. Consultado el 9 de junio de 2022. Recuperado de https://www.graco.com/content/dam/graco/tech_documents/manuals/308/308368/308368EN-ZAZ.pdf.

Esta selección puede realizarse con cualquier otra marca de bombas, siempre y cuando se cumpla con las condiciones ya establecidas. Las características de esta bomba son:

Tabla XXXII. **Especificaciones técnicas de bomba**

Presión máxima de trabajo del fluido	120 psi (8 bar)
Rango de operación de presión de aire	20 a 12 psi (1.4 a 8 bar)
Máximo consumo de aire	60 scfm
Flujo máximo	150 gpm
Φ de tubería de entrada	2 in
Φ de tubería de salida	2 in

Fuente: Graco. (s.f.). *Husky 2150 air-operated diaphragm pumps*. Consultado el 9 de junio de 2022. Recuperado de https://www.graco.com/content/dam/graco/tech_documents/manuals/308/308368/308368EN-ZAZ.pdf.

Como se verifica, esta bomba es capaz de bombear los 32 gpm de flujo en la sección 1 y por lo tanto también los 33 gpm requeridos para la sección 4 y 5. Así como será capaz de vencer la presión que generará oposición en el sistema.

3.3.8. Selección de compresor

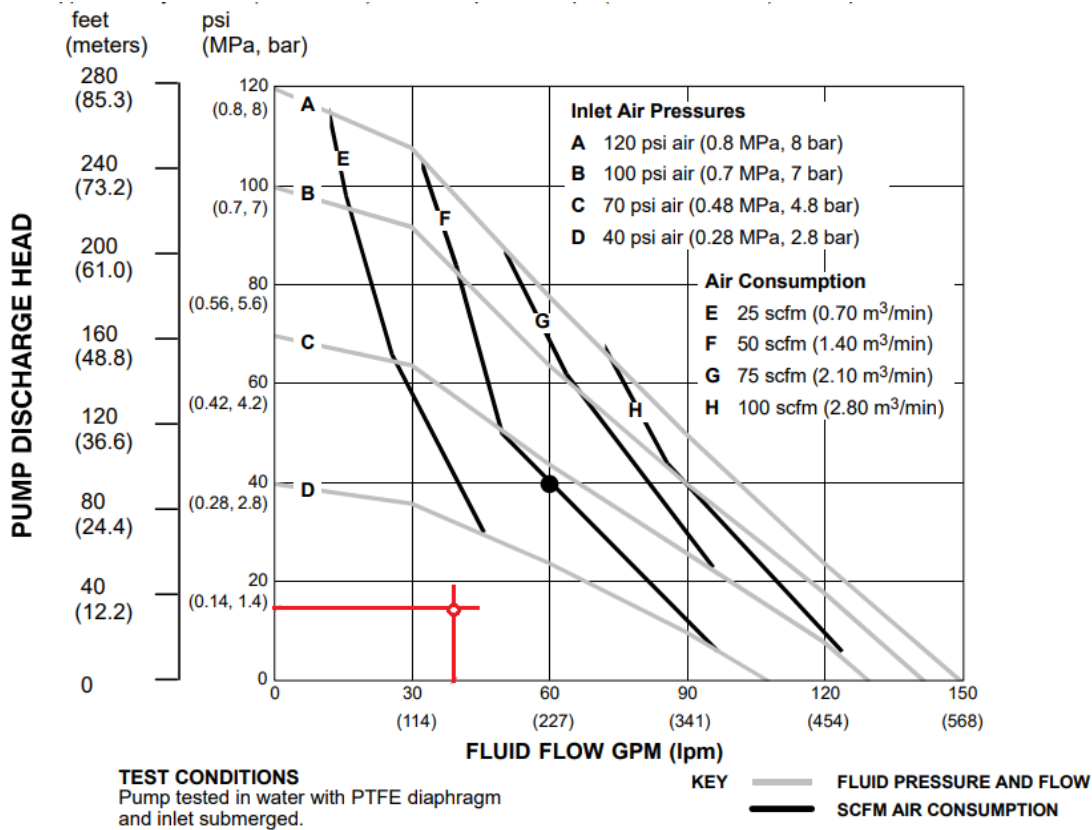
Utilizando la gráfica de rendimiento de la bomba seleccionada, podemos determinar la cantidad de scfm requeridos para el correcto funcionamiento de la bomba para proveer el caudal requerido y vencer las pérdidas por presión.

De la figura 20 se concluye que la cantidad de scfm requeridos es de 25 en la cual estará trabajando a una presión de salida de aproximadamente 2.8 bar, es decir que la bomba sería completamente capaz de vencer los 1 bar requeridos por el sistema de distribución.

En el medio se utiliza un parámetro de referencia para convertir los cfm a HP, para así poder comprar el compresor, este valor es de 4 a 4.5, por lo que se puede decir que se necesita un compresor de 6.25 Hp como mínimo.

Este valor puede variar de proveedor en proveedor dependiendo de la eficiencia de los compresores que ofrezcan.

Figura 21. **SCFM requeridos para el compresor**



Fuente: Graco. (s.f.). *Aluminum, stainless, and ductile iron Husky2150 Air-Operated Diaphragm Pumps*. Consultado el 11 de julio de 2022. Recuperado de https://www.mrostop.com/media/uploads/graco_pdfs/df4311-graco-husky-2150-metal-air-operated-double-diaphragm-pump-manual.pdf.

3.3.9. Selección de instrumentación

La instrumentación requerida para este sistema es mínima, pues los parámetros de control del adhesivo son pocos. En cada sección de tubería se recomienda colocar manómetros y termostatos.

3.4. Diseño de depósito de retorno de adhesivo

Este tanque debe ser capaz de almacenar 1/7 parte del volumen del tanque original, y cuando este se acumule lo bombee de regreso al tanque de almacenamiento. Por lo tanto, el volumen a trabajar debe ser de 0.125 m^3

3.4.1. Dimensiones

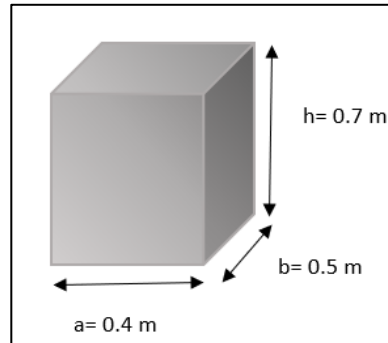
Ya que este será tanque cúbico, utilizaremos la ecuación de volumen de un tanque que es $V = axbxh$, según el espacio con el que se cuenta hemos establecido que $h = 0.6$ y $b = 0.5$.

Despejando a para la ecuación obtenemos:

$$a = \frac{V}{bxh}$$
$$a = \frac{0.125 \text{ m}^3}{0.60\text{m} \times 0.5\text{m}}$$
$$a = 0.41 \text{ m}$$

Considerando que el tanque no debe quedar exacto para que no exista riesgo de que se rebalse aumentaremos 0.1m a la altura. Las dimensiones finales del tanque son:

Figura 22. **Dimensiones tanque de retorno**



Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Word.

3.4.2. Instrumentación

En esta sección únicamente será necesario colocar un sensor de nivel, que cuando detecte el nivel establecido active la bomba y este empiece a enviar el fluido hacia el tanque de almacenamiento.

3.4.3. Costo de realización del proyecto

Realizando una estimación del costo que implicaría realizar el proyecto, considerando principalmente el costo de los tanques, las bombas, tuberías, accesorios, la instrumentación necesaria para medir variables de control y la mano de obra, se ha establecido el costo del proyecto que sería de Q 732,553.

Tabla XXXIII. **Costos reales del proyecto**

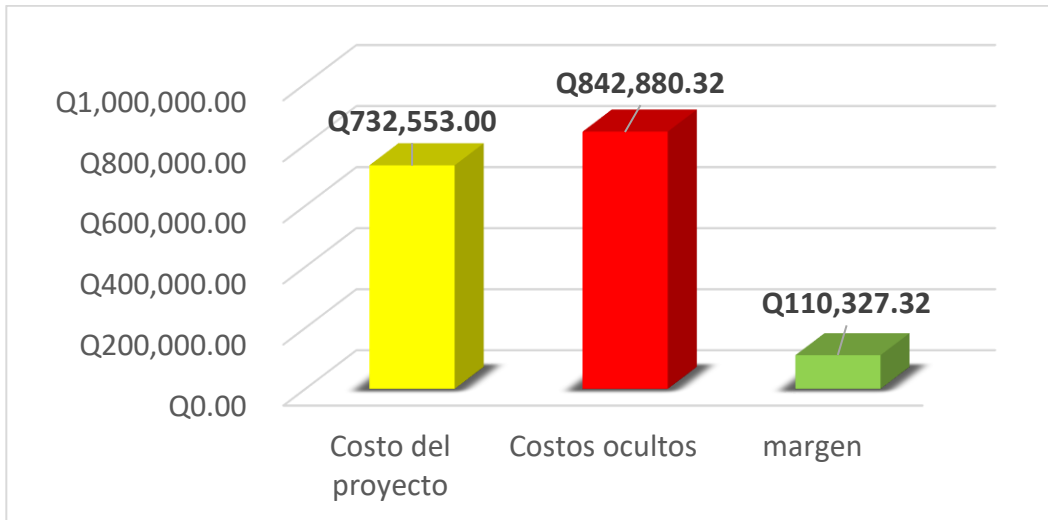
EQUIPO	COSTO UNITARIO	CANTIDAD	TOTAL	Obseraciones
Tanques de almacenamier	Q33,500.00	2	Q67,000.00	
Tanques de retorno	Q2,000.00	2	Q4,000.00	
sistema de medición medidor de nivel y medidor de temperatura	Q21,614.00	2	Q43,228.00	
bombas	Q23,955.00	6	Q143,730.00	
compresor	Q7,200.00	1	Q7,200.00	
tubería	Q35.00	150	Q5,250.00	
Accesorios	---	18	Q3,500.00	
Mano de obra	----	5	Q458,645.00	se espera se realice en 1 mes
TOTAL			Q732,553.00	

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel.

La comparación entre el costo del proyecto y el desperdicio actual se presenta en la figura 23. De la cual podemos concluir que al realizar la propuesta de un diseño de distribución y almacenamiento independiente para adhesivo vinamyl la empresa Cartones de Villa Nueva, S.A. puede recuperar su inversión en el primer año después de implementado el diseño.

Es decir que a partir del segundo año de implementación la empresa puede empezar a percibir ahorros de Q 842 mil quetzales anuales.

Figura 23. **Costos del proyecto vs., costos ocultos**



Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel.

4. FASE DE DOCENCIA

4.1. Condiciones de seguridad actuales

Actualmente la empresa Cartones de Villa Nueva, S.A se encuentra en el proceso de mejorar las condiciones de seguridad y salud ocupacional. Una de sus mayores deficiencias es el marcaje de suelos, ya que no existe delimitación bien definida de las diferentes áreas de trabajo y equipos, lo cual genera la obstaculización de salidas principales y de emergencia, extintores y demás.

Figura 24. **Delimitación de suelos actual en planta de producción
Cartones de Villa Nueva, S.A**



Fuente: [Fotografía de María Fernanda Santizo]. (Empresa Cartones de Villa Nueva, S.A., Guatemala. 2020). Colección particular. Guatemala.

4.1.1. Actos inseguros

Como ya hemos mencionado previamente, los actos inseguros son los que el personal operativo comete conscientes de que son un riesgo. Los actos inseguros que pudieron detectarse como consecuencia de la falta de marcaje de suelos son:

- Utilización de áreas de riesgo como paso peatonal, por ejemplo: pasar por debajo de las bandas transportadoras del *stacker* cuando están levantadas.
- Colocación de mulitas en cualquier lugar de la planta
- Obstaculización de entrada a oficina de calidad
- Obstaculización de paneles eléctricos de las máquinas.
- Obstaculización de equipo contra incendios

Figura 25. **Colocación de mulitas en lugares inadecuados**



Fuente: [Fotografía de María Fernanda Santizo]. (Empresa Cartones de Villa Nueva, S.A., Guatemala. 2020). Colección particular. Guatemala.

Figura 26. **Obstaculización de extintores**



Fuente: [Fotografía de María Fernanda Santizo]. (Empresa Cartones de Villa Nueva, S.A., Guatemala. 2020). Colección particular. Guatemala.

4.1.2. Condiciones inseguras

Las condiciones inseguras se diferencian de los actos inseguros, en que esta se refiere a las condiciones del ambiente o lugar de trabajo, y son inherentes a las acciones del personal operativo. Las detectadas dentro de Cartones de Villa Nueva son:

- Acceso obstruido a los generadores eléctricos.
- Obstaculización de pasillos o carriles de tráfico por falta de espacio en área de producto en proceso.

- Poco espacio para paso peatonal en el área de corrugadora.
- Acumulación de equipos que no sirven y sólo roban espacio en las áreas de paso y producción.

Figura 27. **Obstaculización de paso peatonal**



Fuente: [Fotografía de María Fernanda Santizo]. (Empresa Cartones de Villa Nueva, S.A., Guatemala. 2020). Colección particular. Guatemala.

Figura 28. **Obstaculización de entrada a generadores eléctricos**



Fuente: [Fotografía de María Fernanda Santizo]. (Empresa Cartones de Villa Nueva, S.A., Guatemala. 2020). Colección particular. Guatemala.

Figura 29. **Acumulación de equipo inservible**



Fuente: [Fotografía de María Fernanda Santizo]. (Empresa Cartones de Villa Nueva, S.A., Guatemala. 2020). Colección particular. Guatemala.

4.1.3. Accidentes de trabajo

Hasta la fecha no se han producido accidentes de trabajo que se atribuyan completamente al marcaje de suelos, sin embargo, si han ocurrido accidentes donde la correcta delimitación de puestos de trabajo y maquinaria pudo disminuir las consecuencias del accidente o incluso permitir una actuación rápida; esto ocurrió en una ocasión dónde se necesitó extintor y el más cercano al área estaba obstruida con producto terminado; por lo que se perdió tiempo en trasladarse a buscar el próximo, aumentando considerablemente el riesgo que se corría en la planta de producción en ese momento.

4.2. Código de colores para marcaje de suelos

Para la realización del código de colores sugerido en la tabla VII, se utilizó como guía la Norma OSHA 1926 *Regulaciones en la industria de construcción*, y el criterio propio para designar el uso a cada color, ya que estos pueden ir cambiando en cada industria.

Tabla XXXIV. **Código de colores marcaje de suelos**

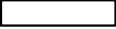




COLOR		USO
Blanco		PASO PEATONAL Identificación de espacios para tránsito peatonal.
Amarillo		PRECAUCIÓN Áreas o recorridos dentro de la plantas que no representan mayor riesgo para el personal pero en los cuales se debe estar o manipular los equipos con precaución
Verde		INSTRUCCIONES Identificación de puntos de reunión
Rojo		PROHIBIDO Acceso prohibido, sólo personas autorizadas.
Azul		PRODUCTO TERMINADO Identificación de área para colocar producto terminado o en proceso.
Amarillo y negro		ALERTA Áreas en las que sólo puede permanecer personal capacitado ya que representa potenciales riesgos ya sea físico o para la salud.
Rojo y blanco		NO BLOQUEAR Áreas que deben estar despejadas por motivos de seguridad y no deben bloquearse por ningún motivo.
Fotoluminiscente		Identificación de escalones y rutas de salida de emergencia.

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Office Excel.




4.3. **Marcaje de suelos para Cartones de Villa Nueva, S.A.**

La clasificación de área y equipos propuesta en la tabla XXXIII, se realizó en base a las actividades, equipos y necesidades que se observaron dentro de la planta de producción de Cartones de Villa Nueva, S.A.

Tabla XXXV. **Plan marcaje de suelos para Cartones de Villa Nueva, S.A.**

Color	ÁREA
	<p>Pasillos y espacios permitidos para transitar dentro de la planta, con ancho mínimo de 2m</p>
	<p>A. Delimitación del espacio físico de las siguientes máquinas: máquinas flexográficas, pegadoras automáticas, pegadora semi-automática, troqueladoras planas, impresoras, mesas de pegado manual, cortadora, engrapadora, Cocina de almidón. La distancia desde el contorno de la máquina hacia afuera debe ser de 20 cm como mínimo.</p> <p>B. Carril de recorrido de montacargas, con un ancho mínimo: igual al ancho del vehículo a utilizar + 1m de holgura.</p>
	<p>A. Identificación de puntos de reunión en caso de emergencia. Identificación de 2 puntos: en frente de garita y enfrente de bodega de despachos.</p>
	<p>A. El área entre la salida de troquel y bandas transportadoras de la Máquina Flexográfica 3.</p> <p>B. Los espacios de la corrugadora, entre las bandejas de almidón y los rodillos de colocación de bobinas del área single, flauta B y doble.</p>
	<p>A. Bodega de producto terminado, área de despachos.</p> <p>B. Espacios designados para colocar producto en área de alimentación de las máquinas y en la salida del stacker.</p>

Continuación de la tabla XXXV.

	<p>Espacio físico que ocupan las siguientes máquinas: caldera, corrugadora, embaladora. La distancia desde el contorno de la máquina hacia afuera debe ser de 20 cm como mínimo.</p>
	<p>A. Paneles eléctricos. La distancia a la que debe colocarse la cinta de marcación debe ser: el ancho de la puerta de la caja del panel + 15 cm hacia afuera, como mínimo.</p> <p>B. Alrededores del área de generadores y transformadores eléctricos. La distancia hacia los alrededores debe ser de 1 m como mínimo.</p> <p>C. Equipos contra incendios Esto incluye extintores, hidrantes y mangueras. La distancia desde el equipo hacia afuera debe ser de 20 cm como mínimo.</p>
	<p>A. Identificación de las escaleras que dan acceso a: -área de montaje -mesanini</p> <p>B. Rutas de evacuación 1era ruta de evacuación: área de despachos, mesas, maquila, cocina de almidón, caldera y flauta C del corrugador debe salir por la puerta 1 2da ruta de evacuación: Oficina de control de calidad, personal de máquinas flexográficas ,pegadoras automáticas, stacker de corrugadora y área de cuchillas debe salir por la puerta 2 (portón principal)</p>

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Office Excel.

4.4. Equipo de seguridad

Actualmente la empresa Cartones de Villa Nueva, S.A. tiene como único equipo de protección:

- Calzado industrial
- Redecilla para cabello

- Tapones auditivos
- Fajas de carga (en los puestos que lo requieran)

Sin embargo, debido a la naturaleza del papel utilizado para fabricar el cartón, el roce o fricción que sufre durante su proceso de conversión genera partículas diminutas que se mantienen en suspensión en el ambiente.

En la figura 29, se puede observar el polvo en la superficie de una máquina generado en un día de trabajo.

Figura 30. **Polvo en superficie**



Fuente: [Fotografía de María Fernanda Santizo]. (Empresa Cartones de Villa Nueva, S.A., Guatemala. 2020). Colección particular. Guatemala.

De igual forma, la figura 31 muestra los filtros del aire acondicionado de la oficina de control de calidad, antes de utilizarse y después de un mes de trabajo, dicha oficina se encuentra dentro de la planta de producción, lo cual puede repercutir grandemente en la salud de los trabajadores.

Figura 31. **Filtros limpios vs., filtros sucios**



Fuente: [Fotografía de María Fernanda Santizo]. (Empresa Cartones de Villa Nueva, S.A., Guatemala. 2020). Colección particular. Guatemala.

Por lo tanto, se hace la recomendación de proporcionar a los trabajadores mascarillas de protección contra polvo y partículas. Al presentar esta información a la gerencia y demostrar la cantidad de polvillo que se genera a diario esta accedió a proveer mascarillas quirúrgicas diariamente al personal que desee utilizarlos luego de recibir las capacitaciones, esto por el presupuesto con el que actualmente cuenta la empresa, pero con la esperanza de empezar a proteger más a su personal de trabajo y progresivamente mejorar la calidad de los equipos de protección que le entregan a su personal operativo.

4.5. Capacitaciones

Cuando se abordan las necesidades y tendencias cambiantes, la organización debe considerar sus conocimientos actuales y determinar cómo adquirir conocimientos adicionales o las actualizaciones requeridas, estos

conocimientos pueden proveerlos un experto o alguien interno que haya adquirido conocimientos por experiencia o investigación.

4.5.1. Actos inseguros

En la empresa Cartones de Villa Nueva, S.A. actualmente, su mayor problema es la aceptación de las personas ante la implementación de las medidas de SSO adoptadas dentro de la planta de producción. Por lo tanto, se reforzaron los conceptos generales de seguridad industrial y se les presentó la propuesta del marcaje de suelos para establecer cuál sería el porcentaje de aceptación ante las mejoras propuestas con una única pregunta. El muestreo fue todo el personal operativo, en total 85 personas, los resultados fueron los siguientes:

Figura 32. Resultados encuesta sobre el uso de marcaje de suelos

Pregunta	RESPUESTAS		
	Definitivamente, Si	No, no cambia en nada la forma de trabajo	Probablemente
¿Ahora que ya conoce la importancia de respetar el marcaje de suelos, estaría dispuesto a cumplir con la idea propuesta?	47 Personas	21 personas	17 personas

Fuentes: Cartones de Villa Nueva, S.A.

El 55 % del personal encuestado respondió que si la propuesta se llevara a cabo estarían dispuestos a cumplir con las reglas que esto conlleva, con el fin de cuidar su integridad física y disminuir el riesgo de cualquier accidente.

Por otro lado 25 % del personal dice no necesitar este tipo de delimitación física pues no haría diferencia en la forma de trabajar, ni representaría ningún beneficio para su seguridad.

El 20 % restante aún no decide si esta propuesta puede beneficiarlos o no por lo que les es indiferente si la propuesta se realiza.

4.5.2. Equipo de seguridad

Después de recibir la capacitación sobre la actual situación del polvillo dentro de la planta de producción, 10 personas empezaron a utilizar mascarilla en las instalaciones, en la figura 32, se muestra cómo queda una mascarilla quirúrgica de 3 capas luego de ser utilizada durante una jornada laboral de 8 horas.

Figura 33. **Mascarilla quirúrgica después de 8 horas**



Fuente: [Fotografía de María Fernanda Santizo]. (Empresa Cartones de Villa Nueva, S.A., Guatemala. 2020). Colección particular. Guatemala.

Se puede apreciar, que a pesar de no ser mascarilla industrial cumple la función de filtrar cierta cantidad de polvo, teniendo la mayor concentración donde se encuentran las fosas nasales. Sin embargo, no es una protección 100 % efectiva, por lo que se recomienda que en un futuro se utilice mascarilla N95, KN95 o alguna otra certificada.

CONCLUSIONES

1. Luego de observar, analizar y comprender la forma de preparación del adhesivo vinamyl, se identificó que en el método de distribución y almacenamiento que actualmente tiene la empresa Cartones de Villa Nueva, S.A, se tienen 3 tipos de costos ocultos, siendo estos: Costos de desperdicio, costos de mantenimiento y limpieza y costo de importación de materia prima.
2. Para establecer cuánto dinero pierde la empresa actualmente, se determinó la cantidad de kg que idealmente deben producirse según la cantidad de metros cuadrados que corrugan para cajas de mercado agrícola vs., la cantidad actual que se está produciendo, obteniendo un valor de Q 842,880 desperdiciados al año por no tener una línea independiente para almacenamiento adhesivo vinamyl.
3. Una vez se tuvo acceso a la información relacionada al costo de producción adhesivo en la planta de producción, así como sus niveles de producción, se estableció que, si se llevara a cabo la propuesta de una línea independiente para la distribución de adhesivo tipo vinamyl, se reduce un 78.83 % la producción de *batches* de almidón en comparación a la producción actual, para cajas tipo agrícolas. Con base en esto se establece que el costo total del proyecto es de Q 732,555, y considerando los Q 842,880 de desperdicio actual anual en costos ocultos, podemos concluir que la inversión del proyecto se recuperaría en el primer año posterior a su implementación. En adelante la empresa tendría ahorros anuales de Q 842 mil quetzales.

4. Ya que no se cuenta con datos históricos y característicos del fluido, se realizaron aforos, pruebas de viscosidad, y punto de gel para evaluar y definir su comportamiento, así como sus propiedades físicas y químicas, obteniendo un flujo cuyas propiedades de densidad y peso específico son iguales a las del agua pero a una temperatura de trabajo de 40 °C, presentando alta viscosidad.
5. Debido a la presencia de ácido bórico y soda caustica en la fabricación de adhesivo, este se considera corrosivo; además de trabajar a alta temperatura. Es por esto que fue necesario seleccionar un material adecuado, que fuera resistente y se adecuara a las necesidades del sistema. Para los tanques de almacenamiento se estableció el uso de acero inoxidable y para las tuberías el uso de CPVC, que se diferencia del PVC por tener mejor capacidad para trabajar a alta temperatura.
6. Para asegurar el buen funcionamiento del sistema, se estableció que las pérdidas generadas por fricción y accesorios no deben sobrepasar el 5 % respecto a la longitud de la tubería. Para este sistema específicamente se analizó las secciones de tubería que involucran el uso de una bomba para mover el fluido hasta el punto de descarga, obteniendo un resultado satisfactorio ya que no sobrepasan el 4.78 %.
7. Considerando que el adhesivo es altamente viscoso se necesita una bomba adecuada para mover el fluido, en este caso se seleccionaron bombas desplazamiento positivo de doble diafragma, neumáticas, que sean capaces de mover un caudal de 35 gpm y, considerando las pérdidas por fricción y accesorios, que pueda suministrar una presión de descarga de al menos 1 bar.

8. Al tener bombas de accionamiento neumático, es necesario contar un compresor que sea capaz de suministrar la presión de aire requerida por la bomba. Utilizando la curva de desempeño del compresor obtenemos que necesita 25 CFM para suministrar 35 gpm a una presión de 1 bar. En esta industria se utiliza un factor de conversión que varía de 4 a 4.5, para determinar de cuántos HP debe ser el compresor, en este caso se obtiene que debe ser un compresor de al menos 6.25 Hp.

9. La seguridad industrial en la planta de producción de Cartones de Villa Nueva, S.A actualmente es deficiente en cuanto a la delimitación de área, y aunque no se ha generado un accidente por esta razón si aumenta el riesgo de que ocurra uno. Por lo tanto, se propone el uso de código de colores para marcaje de suelos que indiquen una instrucción según el color, dentro del cual se incluye: delimitación de pasos peatonales, área prohibida, producto terminado y alertas, dicha propuesta tuvo una aceptación del 55 % con el personal operativo.

10. Debido a la naturaleza del papel utilizado para fabricar el cartón, el roce o fricción que sufre durante su proceso de conversión genera partículas diminutas que se mantienen en suspensión en el ambiente. Luego de comunicar y concientizar al personal directivo, ellos autorizaron proporcionar mascarillas al personal que así lo deseara, sin embargo, no sería algo impositivo. Diez personas comenzaron a utilizar mascarilla.

RECOMENDACIONES

1. Permitir al supervisor de producción de planta en Cartones de Villa Nueva S.A con apoyo del operador de cocina de almidón y la validación del Departamento de Control de Calidad, empezar a generar un historial de los datos de medición de viscosidad y temperatura del adhesivo vinamyl, de esta forma podrán empezar a comprender el comportamiento del fluido y mejorar sus parámetros de calidad aceptables para un correcto funcionamiento del adhesivo en la máquina corrugadora.
2. Implementar un sistema de tanques de almacenamiento para poder mantener una correcta aplicación de adhesivo ya que es necesario mantener su viscosidad, debido a que esta propiedad varía según la temperatura es importante controlarla con un sistema TVC (*Temperature/ viscosity control*) de sus siglas en inglés, por lo que se recomienda al supervisor de corrugadora y director de operaciones implementar este sistema. Haciendo circular agua caliente por un sistema de tuberías dentro del tanque, normalmente están hechas de acero al carbono o acero inoxidable. La temperatura a la que debe mantenerse este sistema es 15 °C por debajo de la temperatura del punto de gel. Adicional es recomendable agregar un colorante al agua que circulará por el sistema para detectar una posible fuga.
3. Considerar que el adhesivo al circular por las tuberías suele dejar restos, los cuales se van gelatinizando e incrustando, esto restringe el flujo y puede dañar el diafragma de las bombas, generar espuma en el

adhesivo y por ende problemas de aplicación en la máquina corrugadora, se sugiere que el jefe de mantenimiento y mecánicos aumenten la frecuencia de limpieza y mantenimiento por lo menos 2 veces al mes en el cual se haga circular una mezcla de agua y ácido bórico por todo el sistema.

4. Realizar un estudio sobre enfermedades ocupacionales, el cual permita implementar mejores medidas para el cuidado del personal en un futuro, debido a la alta presencia de polvillo en el ambiente y la exposición de los trabajadores.
5. Necesario crear una especificación de áreas críticas y restringidas, definiendo el personal autorizado para ingresar. De igual forma establecer quién es el personal autorizado para operar las máquinas.

REFERENCIAS

1. ACCSA. (Agosto de 2008). Corrugando: Adhesivo para cartón corrugado. *Revista Oficial de la Asociación de corrugadores del Caribe, Centro y Sur América*, 1(VI), 3-49. Recuperado de <https://www.academia.edu/9281200/Corrugando>
2. ACCCSA. (Septiembre de 2016). Propiedades del cartón corrugado. *Revista Oficial de la Asociación de corrugadores del Caribe, Centro y Sur América*, 1(III), 3-38. Recuperado de http://www.corrugando.com/index.php?option=com_content&view=article&id=289
3. ARO. (s.f.). *Bombas de diafragma*. [Mensaje en un blog]. Recuperado de <file:///C:/Users/deleo/Downloads/345089ES-B.pdf>
4. Brady. (2016) *Guía para marcaje de piso: reglamentos, normas de colores, consejos, soluciones y más*. Recuperado de https://d37iyw84027v1q.cloudfront.net/common/floor_marking_guide_latina_america.pdf
5. Corrugando. (s.f.). *Artículos* [Mensaje en un blog]. Recuperado de http://www.corrugando.com/index.php?option=com_content&view=article&id=268

6. FindGlocal. (s.f.). Centro de Innovación en Diseño de Empaque El Centro ABRE es un centro enfocado en la innovación y diseño de empaques [Mensaje en un blog]. Recuperado de <http://www.findglocal.com/MX/Apodaca/338175596229627/Centro-ABRE>
7. Graco. (s.f.). *Aluminum, stainless, and ductile iron Husky2150 Air-Operated Diaphragm Pumps* [Mensaje en un blog]. Recuperado de https://www.mrostop.com/media/uploads/graco_pdfs/df4311-graco-husky-2150-metal-air-operated-double-diaphragm-pump-manual.pdf
8. Graco. (s.f.). *Husky 2150 air-operated diaphragm pumps* [Mensaje en un blog]. Recuperado de https://www.graco.com/content/dam/graco/tech_documents/manuals/308/308368/308368EN-ZAZ.pdf
9. Herramientas de ingenieros. (s.f.). *Rugosidad*. [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://herramientasdeingenieros.com/tag/rugosidad/>
10. Issu. (Octubre de 2013). Novedades de la industria. *La revista del corrugado edición primavera 2013, 1(3)*. Recuperado de https://issuu.com/cafcco/docs/la_revista_del_corrugado_-_edici__n/23
11. Janoudy, F. (2015) *Reparación de equipos mecánicos y eléctricos de plantas de tratamiento de agua y plantas depuradoras*. España: ¿Elearning S.L. Recuperado de <https://books.google.com.gt/books?id=xcZWDwAAQBAJ&pg=PA362&dq=tuberias+de+pvc+propiedades&hl=es419&sa=X&ved=2ahUKEwiN35j50PzvAhXMnuAK>

HcyuAPoQ6AEwAnoECAEQAg#v=onepage&q=tuberias%20de%20pvc%20propiedades&f=false

12. Mott, R. (2015) *Mecánica de fluidos*. México: Pearson Education.
13. Ramírez, C. (2005). *Seguridad Industrial: Un enfoque integral*. México: Limusa.
14. Rocha, A. (2007). *Hidráulica de tuberías y canales*. Perú: Universidad Nacional de Lima.
15. Rouge, W. (2005). *Seguridad industrial en una empresa exportadora de productos textiles* (Tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. recuperado de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/03/03_2686.pdf
16. Santizo, M. (2004). *Control de calidad aplicado a la industria de cajas comerciales de cartón* (Tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Recuperado de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_1324_IN.pdf
17. Slideshare. (17 de agosto, 2020). Diferencia entre peligro y riesgo. [Mensaje en un blog]. Recuperado de https://es.slideshare.net/SST_Asesores/diferencia-entre-peligro-y-riesgo
18. Silver Tubos. (2015). Cédula 80, tubería PVC. [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://silvertubos.com/wp-content/uploads/2019/06/SPEC-ST-TUBO-CPVC-CED80-R1.pdf>

APÉNDICES

Apéndice 1. Trifoliar del uso de mascarilla

“LA SALUD ES COMO EL DINERO, NUNCA TENEMOS UNA IDEA REAL DE SU VALOR HASTA QUE LA PERDEMOS”

-JOSH BILLINGS



¿Por qué debemos usar mascarilla?



Cartones de Villa Nueva, S.A

Así que...

CONOCE TUS PULMONES



Los pulmones son los órganos que utilizamos para respirar, son los responsables de traer el oxígeno de la atmósfera hacia el cuerpo e intercambiarlo por dióxido de carbono.

Están constantemente expuestos al polvo que respiramos, sin embargo poseen mecanismos de defensa que les permite protegerse. Los bronquios, por ejemplo, captan la mayoría de polvo y lo mueven hacia afuera de la garganta de donde es más fácil toser. Por lo que la inhalación excesiva puede resultar en enfermedades que se manifestarán años después.

¿POLVO?

Debido a la naturaleza del papel utilizado para fabricar el cartón, y el roce o fricción que sufre durante su proceso de conversión, se observa que este libera partículas diminutas que se mantienen en suspensión en el ambiente.



Foto tomada en Calisa Cartón, S.A

¿Qué reacciones puede tener nuestro cuerpo?

Generalmente depende del área donde se establecen las partículas. Si se queda en:

- Nariz: puede producir rinitis.
- Tráquea: puede producir traqueítis.
- Bronquios: puede producir bronquitis.

¡UTILIZA TU MASCARILLA!

Actualmente existen diferentes tipos de mascarillas, sin embargo, asegurate de utilizar aquellas elaboradas por entidades certificadas para mascarillas de uso industrial, de esta forma aseguras una protección adecuada.

* Las mascarillas de uso quirúrgico o médico no se deben utilizar en la industria.



Fuente: elaboración propia, realizado con Photoshop.

Apéndice 2. Encuesta marcaje de suelos

USO DEL MARCAJE DE SUELOS

Por favor, encierre con un círculo su respuesta a la siguiente pregunta



Ahora que ya conoce la importancia de respetar el marcaje de suelos ¿estaría dispuesto a cumplir con la idea propuesta?

Definitivamente, SI.

Probablemente

No, no cambia en nada mi forma de trabajo

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel.

Apéndice 3. Registro propuesto para control de limpieza del sistema de adhesivo

Logo de la empresa	REGISTRO Limpieza sistema de adhesivo RE-PD-XX		Producción
Fecha de emisión:	No. De edición:	Fecha de edición:	Página 1 de 1

LIMPIEZA DE SISTEMA DE ADHESIVO AÑO _____

Mes	Fecha	LIMPIEZA		Operador	Firma	Observaciones
		Tanque 1	Tanque 2			
Enero						
Febrero						
Marzo						
Abril						
Mayo						
Junio						
Julio						
Agosto						
Septiembre						
Octubre						
Noviembre						
Diciembre						

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel.

Apéndice 4. Incrustaciones de adhesivo en tubería y tanques



Fuente: [Fotografía de María Fernanda Santizo]. (Empresa Cartones de Villa Nueva, S.A., Guatemala. 2020). Colección particular. Guatemala.

ANEXO

Anexo 1. Boletín proveedor Harper love Conociendo el adhesivo



HARPER LOVE

ADVANCED ADHESIVES REPORT

YOUR CORRUGATING NEWSLETTER FROM HARPER LOVE November 2018

Understanding Starch

by Wayne Porell

As they have been for 80-plus years, today's corrugator adhesives are made up primarily of water, starch (typically corn, wheat, pea, or tapioca), caustic soda, and borax (in powdered, liquid, or boric acid form). While the basic method of making starch has remained the same for 80-plus years, automated starch mixing systems and modern polymers and resins have greatly improved the starch's consistency and performance characteristics. Lower gel points, better control of viscosity and temperature, and specialty liquid additives are enabling corrugator speeds to continue to reach new highs.

In a completed batch of starch, the cooked or "carrier" portion of the batch acts as a suspending agent for the raw uncooked starch and prevents it from settling out. It, therefore, helps control the viscosity. Caustic soda is added to control the gel point and provides the chemical energy to dissolve and cook the carrier starch. Borax is needed to impart viscosity and tack, to improve film properties, and to control slinging. Along with caustic, borax determines the penetration into both the liners and medium.

Performance Additives

Liquid performance enhancement products have been advancing to help bond papers at higher speeds on today's newer machines.

In 1934, Jordan C. Bauer of the Stein-Hall Company developed a starch-based adhesive using cooked starch as a carrier agent to keep the remaining starch suspended. Today, this Stein-Hall method continues to be the basis of modern starch adhesives.

Products have been developed to improve penetration and adhesion on high compression liners and wax replacement papers. Other products improve drying, water hold out, retack, and other properties to meet the needs of the specific application and equipment characteristics. Specialty products and additives maximize corrugator performance and quality under a broad range of operating conditions.

Moisture and Water Resistance

Moisture resistant adhesive (MRA) and water-resistant adhesive (WRA) are easily attained with the addition of a soluble resin which crosslinks the starch molecules. Depending on the specific resin, water resistance can generally be achieved by adding approximately 1.5% resin by volume to the starch adhesive; moisture resistance typically requires approximately 0.8% resin by volume. When running MRA, the glue lines should be between 0.060" and 0.070"; WRA typically requires glue lines to be between 0.080" and 0.100". To a point, running wider glue lines by increasing the glue application rate will generally improve the overall water resistance.

There are several recognized tests for evaluating the water resistance of combined board. The most frequently used is a 24-hour soak test, performed by soaking a combined board sample in room temperature water



Continuación de anexo 1.

for 24 hours and then pulling the liners away from the medium. The amount of fiber tear determines the degree of wet strength. There are other more objective tests, such as the FEFCO Wet Shear test, and the Linke™ test developed by HarperLove. These tests provide quantitative results which can be evaluated and compared, but they require testing equipment that some plants do not have. Plants that run a lot of water resistant boxes generally have the equipment to perform wet pin testing to ensure their boxes are meeting the customers' specifications and to minimize box failures in the field.



Application

The starch application system is critical in producing consistent, flat, well-bonded, dry sheets. On today's modern machines, operators rely on digital readouts to tell the gap between the metering and glue roll and the gap between the glue roll and the corrugator roll. These gauges must be checked and calibrated weekly to ensure accuracy. Metering rolls and glue rolls that are out of parallel or out of round can cause inconsistent or excessive starch application. In most instances, the variation in starch application will lead to warp and delamination. Variations in starch viscosity can also change the amount applied to the flute tips—lighter starch will transfer less and heavier starch will apply more at the same gap.

Storage

Starch storage is the final critical component of running

an efficient corrugator. After a batch of starch is made, it is transferred to a storage tank. It is very important that the storage tank have a properly functioning Temperature Variance Control (TVC) system to maintain the adhesive at a pre-set temperature. Changes in the temperature of the starch will have a direct effect on the viscosity. The resulting viscosity change can lead to inconsistent starch application by changing the film on the glue roll and the flow in the adhesive pans on the corrugator. This ultimately leads to inconsistencies on the corrugator which limits the corrugator speeds and produces a poor-quality bond.

One of the keys to successful storage is to make no more adhesive than is needed. If not used promptly, the starch viscosity can change due to temperature variances and shear from the agitator in the storage tank. The gel point will also increase over time, which can all lead to slower speeds and bonding issues on the corrugator.

Conclusion

While the basic formula for making starch-based adhesive has been around since early in the last century, chemical additives and automated starch mixing systems have improved the consistency and performance characteristics of the finished adhesive. Combined with modern corrugator technology and sound operating practices, today's starch adhesives can deliver unprecedented quality and speed.

Starch Mixers

One of the most important machines in the plant is one that is often overlooked: the starch mixer. It is usually installed in an enclosed room or a back corner somewhere close to the corrugator and is generally taken care of by the bailer operators or clamp trunk drivers or sometimes the supervisors. Their other jobs take precedence over the starch mixer in most cases, and the mixer is often neglected or ignored until a problem arises. Careful attention to preventative maintenance can minimize the occurrence of problems.

The mixer should be cleaned daily. If it is not cleaned thoroughly and regularly, the buildup of materials can cause an overweight alarm. A clean mixer also helps ensure accurate weights and volumes of the raw materials being added to the batch. When cleaning the mixer, it is important to clean the inside top of the mixer where dried starch can build up. A water hose can be used for daily cleanup. For weekend cleanups, a formula should be set up to add enough water to fill the mixing tank to within 10"

Continuación de anexo 1.

of the top. With the mixer running, this water helps remove the buildup from along the sides of the mixing tank and will splash the inside of the top to remove buildup there. Heating the water will better help remove the dried portion of the buildup. To prevent potential safety issues, do not use water hotter than 120°F. After cleaning the mixer, the water should be transferred to a non-running storage tank to clean it as well.

The vent sock should be replaced with a clean one at least once a month. The starch transfer sock from the silo to the mixer should be changed yearly. When these socks get dirty with buildup of starch on the inside and dust on the outside, the fibers in the socks clog and can't breathe. The socks also wear and degrade over time. If the mixer tank is not able to vent when ingredients are added, the addition amounts will be inaccurate and will result in out-of-spec starch which can cause bonding issues at the corrugator. The filters for the electrical cabinet should also be cleaned weekly.

The load cells should also be checked weekly and cleaned, if needed, to prevent anything from interfering with weighing the ingredients correctly. It only takes one load cell not working correctly to create issues with the starch formula.

The mixer and associated systems should be checked regularly for steam, caustic, water and air leaks. Particular attention should be paid to the steam valve that heats the water. If this valve is leaking, it can cause small gel balls in the starch which will get transferred to the storage tank. When these gel balls get pumped to the corrugator, they can get lodged between the glue and metering rolls and cause dry streaks in the combined board which will result in increased waste. If the valve fails sufficiently, it can start blowing though and can gel an entire batch of



starch in the mixer. It can also blow the starch out of the mixer if the lid is not clamped down. The resulting hot starch blowing out can cause severe burns if any employee is in the area at the time.

The borax hopper should be checked not only for cleanliness but also to ensure it is securely attached to the mixing tank. If the bolts for the hopper become loose from vibration, the scales will not measure correctly which will lead to viscosity issues. It's also important to check the chain and sprockets for the borax hopper for wear.

Several preventive maintenance tasks should be performed regularly to ensure the reliability of the system. The bearings on the system need to be greased and the load cells inspected for debris. The electrical cabinet should be vacuumed to remove dust buildup which could be a fire hazard. The mixer should be calibrated semi-annually according to the manufacturer's instructions.

When checking the components of the starch kitchen, don't overlook the remote computer. It is usually located at the dry end of the corrugator with the knife and slitter controls. This is a very useful tool for troubleshooting the system. You can get data from the system to see when any issue started and why the issue happened.

Most of this doesn't take much time to perform, but when completed on a regular basis will make the starch kitchen more reliable and the starch more consistent from batch to batch. This will lead to fewer alarms, less down time, and better combined board at the corrugator.

